

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет (ННІ) конструювання та дизайну

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету (Директор ННІ)

Конструювання та дизайн

(назва кафедри (ННІ))

(підпис)

Роговський І.Л.

(ПІБ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

(назва кафедри)

(підпис)

Ловейкін В.С.

(ПІБ)

“ ____ ” _____ 2025р.

“ ____ ” _____ 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТЕРСЬКА

**на тему : Дослідження ефективності вирощування кукурудзи з
використанням технології Precision Planting на базі сівалки точного висіву
Fendt Momentum**

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма Робототехнічні системи і комплекси
сільськогосподарського виробництва

(назва)

Спеціальність Освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Доктор технічних наук, професор _____

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Ромасевич Ю.О.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Крушельницький В.В.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Агєєв М.О.

(ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет(НИІ) _____

КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

конструювання машин і обладнання

д.т.н., професор _____ Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(науковий ступінь, (підпис) (ПІБ)
вчене звання)

“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

АГЄЄВ МИКИТА ОЛЕКСІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність _____ 133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Освітня програма _____ Робототехнічні системи і комплекси сільськогосподарського
виробництва _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи _____ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ
PRECISION PLANTING НА БАЗІ СІВАЛКИ ТОЧНОГО ВИСІВУ FENDT
MOMENTUM

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 16 ” грудня р. № 2269 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи _____

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз літератури
2. Провести дослідження вирощування кукурудзи
3. Аналіз отриманих даних
4. Охорона праці

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “ 19 ” грудня 2024 р.

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Крушельницький В.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Агєєв М.О.

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота викладена на 47 сторінках друкованого тексту, містить 2 таблиці, 19 рисунків, 20 джерел використаної літератури.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, яка полягає у необхідності впровадження інтенсивних технологій точного землеробства для оптимізації використання ресурсів та максимізації прибутковості агровиробництва в умовах кліматичних змін.

У першому розділі «Огляд літератури» проаналізовано звіт Precision Technology Institute (PTI) за 2024 рік щодо впливу сингуляції, притискного зусилля та систем закриття борозни на врожайність. Надано детальну технічну характеристику досліджуваної сівалки Fendt Momentum, оснащеної системами vSet2, vDrive, DeltaForce, SmartFirmer, FurrowForce, а також кастомізованою системою внесення сухих добрив.

У другому розділі «Закладення досліджень ефективності сівалки Fendt Momentum» описано методику проведення трьох польових експериментів на базі ПП «Агрон»: дослідження впливу налаштувань притискного зусилля DeltaForce (автоматичний, легкий, важкий, стандартний режими); дослідження ефективності різних норм рідких азотних добрив (КАС) при технології Strip-till.

У третьому розділі «Аналіз закладених досліджень ефективності сівалки Fendt Momentum» проведено розрахунок та аналіз біологічної врожайності за результатами відбору зразків. Встановлено, що оптимальним налаштуванням притискного зусилля був режим «Стандарт» (46 кг), який забезпечив найвищу врожайність (19,49 т/га). Визначено, що надмірні норми азотних добрив затягують вегетацію, а технологія Strip-till в умовах дослідження показала гірші результати через проблеми з рослинними рештками порівняно з оранкою.

У четвертому розділі «Охорона праці» висвітлено комплекс заходів техніки безпеки при експлуатації сільськогосподарської техніки, роботі з

гідравлічними та електричними системами, а також правила пожежної безпеки та використання засобів індивідуального захисту.

Висновки: результати досліджень підтвердили, що використання технологій Precision Planting дозволяє мінімізувати вплив людського фактора та забезпечити стабільність агротехнічних параметрів. Доведено, що правильне налаштування систем, зокрема Delta Force та Furrow Force є вагомим фактором, який може змінювати врожайність на 15-20%.

Ключові слова: Fendt Momentum, Precision Planting, кукурудза, Delta Force, врожайність, точне землеробство, Strip-till.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	6
1.1. Аналіз досліджень технології Precision Planting	6
1.2. Огляд сівалки Fendt Momentum	16
1.3. Конструктивно-технологічна характеристика об'єкта.....	18
РОЗДІЛ 2. ЗАКЛАДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ СІВАЛКИ FENDT MOMENTUM.....	24
2.1. Закладання дослідів №1	24
2.2. Закладання дослідів №2	27
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ СІВАЛКИ FENDT MOMENTUM.....	30
3.1. Аналіз закладеного дослідів №1	30
3.2. Аналіз закладеного дослідів №2	34
3.4. Підсумковий аналіз досліджень.....	37
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	41
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Bu/A – Bushels per Acre (бушелів на акр, одиниця вимірювання врожайності)

Conceal – система внесення рідких азотних добрив у ґрунт

DeltaForce – автоматизована гідравлічна система контролю притискового зусилля

FurrowForce – двоступенева автоматизована система закриття борозни

FurrowJet – система внесення рідких стартових добрив у борозну

GPS – Global Positioning System (глобальна система позиціонування)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (нормалізований диференційний вегетаційний індекс)

No-till – система нульового обробітку ґрунту

PSI – Pounds per Square Inch (фунт на квадратний дюйм, одиниця вимірювання тиску)

PTI – Precision Technology Institute (Інститут точних технологій)

SeedTube – стандартна висівна трубка (насіннепровід)

SmartDepth – система автоматичного контролю та регулювання глибини висіву

SmartFirmer – сенсорний пристрій для ущільнення насіння та аналізу параметрів ґрунту

SpeedTube – високошвидкісний стрічковий транспортер для подачі насіння

Strip-till – система смугового обробітку ґрунту

VCT – Vertical Contouring Toolbar (рама з вертикальним копіюванням рельєфу)

vDrive – електричний привід висівного апарата з індивідуальним керуванням

vSet – вакуумний висівний апарат точного дозування

VRA – Variable Rate Application (технологія диференційованого внесення матеріалів)

ВВП – вал відбору потужності

КАС – карбамідно-аміачна суміш (рідке азотне добриво)

ПП – приватне підприємство

ВСТУП

Сучасний агропромисловий комплекс перебуває на етапі технологічної трансформації, де ключовим драйвером ефективності стає повна роботизація виробничих процесів. В умовах глобальних викликів та необхідності ресурсозбереження, традиційні механічні підходи поступаються місцем інтелектуальним автоматизованим системам. Найбільш критичним етапом, що вимагає прецизійного машинного керування, є посівна операція. Її результативність залежить від здатності технічної системи в реальному часі підтримувати задані параметри — глибину закладання, сингуляцію та силу притиску, нівелюючи вплив зовнішніх збурень та людського фактора. Технологічною відповіддю на ці завдання є впровадження високотехнологічних робото-технічних комплексів, таких як Fendt Momentum [1]. Ця машина являє собою складну мехатронну систему, що інтегрує сенсори, контролери та виконавчі механізми платформи Precision Planting. Актуальність магістерської роботи полягає у необхідності інженерного аналізу функціонування цих автоматизованих контурів керування та оцінці їхньої адаптивності до реальних умов експлуатації на ґрунтах України.

Об'єктом дослідження є технологічний процес автоматизованого висіву кукурудзи з використанням робото-технічного комплексу Fendt Momentum 16.

Предметом дослідження є робота систем роботизованого керування та контролю (vSet, DeltaForce, SmartFirmer, FurrowForce), а також вплив налаштувань сенсорів і актуаторів на якісні показники виконання операції.

Метою роботи є комплексна оцінка ефективності застосування робототехнічних систем точного висіву, аналіз роботи алгоритмів адаптивного керування притискним зусиллям та визначення впливу автоматизації технологічного процесу на кінцеву продуктивність.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Аналіз досліджень технології Precision Planting

Аналіз науково-дослідних даних, представлених у звіті «2024 RESEARCH SUMMARY» від Precision Technology Institute (PTI) [2], закладає фундаментальну емпіричну базу для оптимізації сучасних агротехнологічних процесів у вирощуванні кукурудзи та сої. Представлені матеріали є результатом сьомого року комплексних польових досліджень, проведених в Іллінойсі, і фокусуються на детальному вивченні взаємозв'язку між використанням передових технологічних рішень та їхнім агрономічним і економічним ефектом. Звіт акцентує увагу на критичній важливості етапу сівби, розглядаючи його як ключовий детермінуючий фактор майбутньої врожайності та рентабельності.

У контексті кваліфікаційної роботи, особливий інтерес представляє аналіз ефективності специфічних компонентів системи точного висіву, зокрема, систем дозування насіння vSet, автоматизованого контролю притискного зусилля DeltaForce, сенсорних технологій SmartFirmer та інноваційних закриваючих систем FurrowForce. Ці технології розроблені для вирішення фундаментальних агрономічних викликів, пов'язаних із просторовою варіабельністю полів, гетерогенністю ґрунтових умов та необхідністю забезпечення ідеального середовища для кожної насінини. Звіт Precision Technology Institute [3] надає багаторічні дані, що дозволяють кількісно оцінити економічні збитки від неоптимальних налаштувань сівалки та, відповідно, обґрунтувати доцільність інвестицій у їх автоматизацію.

Розглядаючи систему дозування насіння vSet, дослідження Precision Technology Institute чітко ідентифікує проблему неякісної сингуляції (Рис. 1.1) (поодинокого дозування) як значний фактор економічних втрат. У дослідженні «vSet Planter Singulation Study» була змодельована ситуація зниженої точності розкладки насіння шляхом використання модифікованих

висівних дисків vSet із заблокованими та додатковими отворами для створення пропусків та двійників [4].



Рис. 1.1. Візуальне зображення двійника

Контрольний варіант забезпечував 99.5% точності розкладки, тоді як експериментальні диски показали 95%. Багаторічні дані (2018-2024) демонструють, що таке, на перший погляд, незначне погіршення точності призвело до економічних втрат. Дослідники Precision Technology Institute кількісно визначили цей зв'язок: кожний відсоток втрати сингуляції корелює зі середнім зниженням врожайності. Це підкреслює необхідність високоточної механічної сингуляції, яку забезпечує vSet.

Звіт також вказує, що дозуючий апарат vSet у поєднанні з контролером vDrive [5] є технологічною платформою для реалізації більш складних завдань, таких як мультигенетичний висів (Multi-genetic Planting), що вимагає точності дозування. Окрім точності дозування, не менш важливим є забезпечення оптимальних умов для проростання. Технологія SmartFirmer виступає як діагностичний інструмент, що трансформує процес контролю якості сівби з суб'єктивного (візуальна перевірка) в об'єктивний, керований даними.

SmartFirmer - це сенсор, що надає «віртуальні очі в борозні», забезпечуючи безперервний моніторинг вологості ґрунту в насіннєвій борозні в режимі реального часу для кожного рядка. Звіт Precision Technology Institute встановлює еталонний показник ідеальної вологості борозни для проростання кукурудзи на рівні близько 32%.

Отримані дані дозволяють оператору приймати обґрунтовані рішення щодо коригування глибини висіву. Наприклад, у дослідженні SmartDepth 2024 року, сенсори SmartFirmer показали, що на всіх тестових глибинах вологість перевищувала 32%, складаючи в середньому 39.2%, що свідчило про відсутність необхідності у заглибленні для пошуку вологи. Таким чином, SmartFirmer є ключовою сенсорною ланкою, що надає критично важливу інформацію для систем автоматичного керування, таких як DeltaForce та SmartDepth.

Саме система DeltaForce реалізує принцип диференційованого підходу до керування притискним зусиллям висівної секції, що є однією з найпоширеніших агрономічних проблем, яка часто залишається без уваги. Дослідження Precision Technology Institute «DownForce Management Study» доводить, що як недостатнє, так і надмірне притискне зусилля призводить до значних економічних збитків. Недостатнє зусилля (Too light) спричиняє зменшення глибини висіву, розміщення насіння в сухому шарі ґрунту та формування слабкої кореневої системи.

Надмірне зусилля (Too heavy) провокує ущільнення бічних стінок борозни (Рис. 1.2), що також обмежує доступ рослини до води та поживних речовин. DeltaForce замінює пасивні системи (пружини, пневмоподушки) на активні гідравлічні циліндри, які здійснюють автоматичний контроль притискного зусилля індивідуально для кожного рядка зі швидкістю реакції 200 разів на секунду. Це дозволяє системі миттєво адаптуватися до змінних умов, таких як колії від техніки, глинясті «лінзи» чи ущільнені розворотні смуги.



Рис. 1.2. Переущільнення ґрунту під час проходження сівалки

Хоча дані за 2024 рік показали неоднозначні результати (незначне збільшення врожайності від надмірного зусилля $+1.1 \text{ Bu/A}$), багаторічні дані за 2018-2024 роки є більш показовими. Вони свідчать, що недостатнє зусилля в середньому призводить до втрат -12.7 Bu/A (або $-\$54.19/\text{A}$), а надмірне - до втрат -4.8 Bu/A (або $-\$21.54/\text{A}$). Таким чином, підтверджується, що автоматизований гідравлічний контроль DeltaForce є необхідним для підтримання коректної та стабільної глибини висіву, що є фундаментом для рівномірних сходів.

Нарешті, після коректного дозування (vSet), діагностики середовища (SmartFirmer) та забезпечення глибини (DeltaForce), останнім вагомим етапом є закриття борозни, для чого призначена система FurrowForce. Дослідження Precision Technology Institute «FurrowForce Closing System Study» визначає дві головні мети цього процесу: усунення повітряних кишень та руйнування ущільнених бічних стінок борозни. FurrowForce [6] є двоступеневою системою: перший ступінь використовує зубчасті колеса для закриття борозни знизу вгору, руйнуючи ущільнення, а другий ступінь - «зшиваючі» колеса - несе вагу для ущільнення ґрунту над насіниною. Дослідження 2024 року, яке проводилось у чотирьох різних системах обробітку ґрунту (No-till, Vertical till, Strip-till, Conventional), показало, що налаштування тиску має вирішальне значення. Мале значення тиску (15 PSI) призводить до середніх втрат врожайності -6.1 Бу/А порівняно зі стандартним (Standard 35 PSI), тоді як високий тиск (Heavy 55 PSI) дав середню прибавку +6.4 Бу/А. Найбільш виражений ефект спостерігався в умовах No-till, де налаштування FurrowForce забезпечило приріст у +16.4 Бу/А порівняно зі стандартним. При порівнянні з традиційними пасивними закриваючими колесами, FurrowForce продемонструвала явну перевагу в умовах зниженого обробітку (No-till та Vertical till), де її здатність до автоматичної адаптації та двоступенева конструкція забезпечували ефективно закриття борозни, тоді як традиційні гумові колеса показували найбільші втрати (Рис. 1.3).

Звіт Precision Technology Institute підсумовує, що в умовах, які ускладнюють закриття борозни, необхідна більш надійна (robust) система, якою і є FurrowForce.

Таким чином, аналіз представленої літератури дозволяє констатувати, що технології vSet, DeltaForce, SmartFirmer та FurrowForce формують єдину інтегровану систему, спрямовану на мінімізацію агрономічних ризиків на етапі сівби. Ефективність цієї системи ґрунтується не лише на ізольованій роботі кожного компонента, але й на їхньому потужному синергетичному

ефекті. Дослідження «Planter "All Wrong" Study» слугує переконливим доказом цього. У цьому експерименті моделювалася ситуація, коли оператор одночасно ігнорує три ключові аспекти: використовує легке притискне зусилля (проблема, яку вирішує DeltaForce), допускає 95% сингуляцію (проблема, яку вирішує vSet) та не використовує очищувачі рядків (що створює несприятливі умови, які FurrowForce має виправляти).

і



Рис. 1.3. Погане закриття борозни

Результати за 2021-2024 роки показали, що така комбінація помилок призводить до середніх втрат врожайності на рівні -15.6 Бу/А та економічних збитків. Це демонструє, що недоліки в одному аспекті (наприклад, нездатність DeltaForce підтримувати глибину) можуть повністю нівелювати переваги, досягнуті іншим компонентом (наприклад, ідеальною сингуляцією vSet). Рослина, розміщена у сухому ґрунті, не зможе реалізувати свій потенціал, незалежно від того, наскільки точно вона була відокремлена від сусідніх.

Поглиблюючи аналіз взаємодії компонентів, необхідно детальніше розглянути роль SmartFirmer не просто як діагностичного інструменту, а як активного сенсора в замкненій системі управління. Дані про вологість

грунту, що збираються SmartFirmer , слугують вхідним сигналом для системи SmartDepth, яка, в свою чергу, автоматично коригує глибину висіву. Це перетворює процес сівби з пасивного виконання заданих налаштувань на активний, адаптивний процес, що реагує на мікрорівніть поля. Критична важливість такої адаптації підтверджується дослідженням «Multi-Year Day of Emergence Study». Багаторічні дані (2018-2024) кількісно оцінюють катастрофічний вплив нерівномірних сходів на кінцевий врожай. Рослини, які зійшли всього на 24 години пізніше за основну масу, показали втрату врожайності на -13.5%. Затримка на 36 годин призводила до втрат -29.2% , а на 48 годин і більше - до -65.5% та -71.7% відповідно. Саме для запобігання цьому часовому лагу і розроблена інтеграція SmartFirmer та SmartDepth: система гарантує, що кожна насінина потрапляє у зону з адекватною вологістю (рекомендовано 32%), що є передумовою для одночасного старту. У той же час, DeltaForce забезпечує механічну здатність висівної секції досягти цієї заданої глибини, долаючи опір ґрунту, підтримуючи постійний контакт з ґрунтовою матрицею та запобігаючи "вистрибуванню" секції.

У цій інтегрованій системі FurrowForce виконує фінальну, але не менш важливу функцію. Вона працює в тандемі з DeltaForce. Якщо DeltaForce керує вертикальними силами для досягнення глибини, то FurrowForce відповідає за управління бічними силами та фінальною структурою ґрунту навколо насінини. Двоступенева конструкція FurrowForce є ключовою: зубчасті колеса першого ступеня руйнують ущільнення бічних стінок, яке могло бути створене дисковими сошниками, особливо якщо DeltaForce застосовував значне зусилля для заглиблення у важких умовах. "Зшиваючі" колеса другого ступеня потім забезпечують оптимальне ущільнення ґрунту безпосередньо над насіниною, усуваючи повітряні кишені, що є критичним для капілярного підйому вологи до насінини [7]. Дослідження 2024 року в різних системах обробки ґрунту яскраво ілюструє цю синергію. В умовах no-till, де опір ґрунту

максимальний і DeltaForce працює з найбільшим навантаженням, важке налаштування FurrowForce (Heavy 55 PSI) показало феноменальний приріст у +16.4 Bu/A порівняно зі стандартним налаштуванням. Це свідчить про те, що в складних умовах здатність DeltaForce підтримувати глибину повинна бути доповнена відповідною здатністю FurrowForce агресивно і водночас коректно закрити борозну. На противагу цьому, традиційні гумові колеса в умовах no-till показали найгірші результати, втрачаючи -13.2 Bu/A відносно автоматизованої FurrowForce, що підкреслює їхню нездатність впоратися з ущільненими стінками борозни та забезпечити належний контакт насіння з ґрунтом. Таким чином, кожна з розглянутих технологій вирішує свою частину комплексної проблеми, а їхня спільна робота, керована даними (SmartFirmer) та автоматизована (DeltaForce, vSet, FurrowForce), створює агрономічні умови, максимально наближені до ідеальних для кожної окремої рослини.

Подальший аналіз дослідницького звіту РТІ дозволяє поглибити розуміння функціональної необхідності та економічної доцільності інтегрованої системи точного висіву, розширюючи її застосування за межі виключно вирощування кукурудзи. Дані, представлені у звіті, переконливо свідчать, що агрономічні принципи, на яких базуються DeltaForce, FurrowForce, vSet та SmartFirmer, є універсальними та знаходять своє підтвердження і у вирощуванні сої. Розгляд цих технологій у контексті іншої культури з відмінною морфологією, архітектонікою та компенсаторною здатністю підсилює валідність висновків щодо їхньої фундаментальної ролі у сучасному землеробстві. Так, дослідження «DownForce Management Study» для сої [8] дзеркально відображає результати, отримані для кукурудзи. Багаторічні дані (2020-2024) чітко показують, що відхилення від оптимального притискового зусилля призводить до суттєвих економічних втрат: недостатнє зусилля (light downforce) спричинило середні втрати врожайності на рівні -1.8 Bu/A та економічні збитки в розмірі -\$20.73/A, тоді як надмірне зусилля (heavy

downforce) призвело до втрат -0.9 Bu/A та $-\$10.78/\text{A}$ відповідно [9]. Хоча дані конкретно 2024 року показали незначну аномальну перевагу легкого зусилля, довгострокова тенденція беззаперечно підтверджує, що автоматизований контроль DeltaForce для підтримки стабільної глибини є настільки ж критичним для сої, як і для кукурудзи. Це спростовує тезу про те, що здатність сої до гілкування може повністю нівелювати помилки при сівбі.

Аналогічний висновок стосується і фінального етапу - закриття борозни. У дослідженні «Soybean Closing Wheel Study» система FurrowForce (в режимі Auto Standard) виступила еталоном, з яким порівнювалися інші пасивні системи. Найгірші результати продемонстрували традиційні подвійні гумові колеса (Dual Rubber), які показали відставання у врожайності на -3.3 Bu/A порівняно з FurrowForce. В економічному вираженні ця різниця трансформувалася у колосальні втрати в розмірі $-\$37.82/\text{A}$. Інші пасивні системи, такі як Dual Yetter Cast Twister або Martin Furrow Crusher, також не змогли досягти ефективності FurrowForce, показавши економічні втрати від $-\$7.45/\text{A}$ до $-\$9.45/\text{A}$ відповідно. Це дослідження підтверджує висновки, зроблені на кукурудзі: пасивні системи не здатні адекватно впоратися з ущільненням бічних стінок та усуненням повітряних кишень у змінних умовах, тоді як двоступенева конструкція FurrowForce з активним контролем тиску забезпечує стабільно вищу врожайність та рентабельність. Таким чином, звіт доводить, що переваги FurrowForce не обмежуються лише умовами no-till чи важкими ґрунтами, але є системною перевагою технології закриття борозни.

Сенсорна технологія SmartFirmer також підтвердила свою незамінність у вирощуванні сої. У рамках дослідження SmartDepth саме SmartFirmer виступав у ролі сенсора, що керував автоматичною системою заглиблення. Результати показали, що автоматизований режим, керований даними SmartFirmer про вологість, забезпечив найвищу врожайність (63.2 Bu/A) та, відповідно, найвищий чистий прибуток ($\$724.27/\text{A}$) серед усіх

фіксованих ручних налаштувань глибини. Система, керуючись даними сенсора, підтримувала середню вологість у борозні на рівні 39.9% , що знову ж таки перевищувало рекомендований мінімум у 32%. Це демонструє, що SmartFirmer є надійним інструментом зворотного зв'язку, що дозволяє системі SmartDepth [10] приймати правильні рішення "на ходу", уникаючи як занадто мілкового посіву в сухий ґрунт, так і непотрібного надмірного заглиблення, що могло б затримати сходи. Здатність системи перевершити будь-яке статичне налаштування доводить цінність адаптивного підходу, керованого даними.

Таким чином, аналіз літератури зі звіту РТІ підтверджує, що ефективність системи, що складається з vSet, DeltaForce, SmartFirmer та FurrowForce, є доведеною не лише для кукурудзи, але й для сої. Більше того, ця система демонструє синергетичний ефект у поєднанні з іншими передовими агрономічними практиками, такими як ранні терміни сівби. Дослідження «Corn Starter Fertilizer Response by Planting Date Study» показало, що агрономічна та економічна віддача від стартових добрив (ROI +\$31.08/А на 6 травня) була найвищою саме при ранніх посівах. Важливо відзначити, що внесення цих добрив здійснювалося за допомогою FurrowJet [11] (який є технологічним розширенням FurrowForce) та Conceal [12]. Це свідчить про те, що DeltaForce та FurrowForce не лише створюють оптимальне фізичне середовище для раннього посіву (забезпечуючи глибину та контакт з ґрунтом у холодних та вологих умовах), але й слугують платформою для точного розміщення хімічного середовища (стартових добрив), що є необхідним для компенсації повільної мінералізації в непрогрітому ґрунті. SmartFirmer у цій системі виступає гарантом того, що насіння потрапляє у вологу зону, DeltaForce - що секція фізично досягне цієї глибини, а FurrowForce (та її похідні) - що борозна буде коректно закрита, а стартові добрива розміщені безпечно та ефективно. Отже, представлені дослідження підтверджують, що дана інтегрована система є адаптивним, керованим даними механізмом для управління мікросередовищем насінини,

що дозволяє мінімізувати ризики та максимізувати прибуток у широкому діапазоні культур та агротехнологічних умов.

Комплексний аналіз наукового звіту Precision Technology Institute за 2024 рік не обмежується лише ізольованою оцінкою кожної технології, але й надає цінні дані про їхню адаптивність та ефективність у контексті варіативних агрономічних практик, таких як система обробітку ґрунту та швидкість сівби. Це дозволяє сформувавши цілісне уявлення про DeltaForce, FurrowForce та vSet не як про окремі опції, а як про взаємопов'язані елементи єдиної системи, що реагує на широкий спектр польових викликів. Зокрема, дослідження «Corn Tillage/Closing Wheel Study» детально вивчає продуктивність FurrowForce та інших закриваючих систем у чотирьох різних середовищах: conventional-till (традиційний обробіток), vertical-till, strip-till та no-till. Результати 2024 року є надзвичайно показовими: саме в умовах no-till, які вважаються найбільш складними для закриття борозни через високу щільність ґрунту та велику кількість рослинних решток, автоматизована система FurrowForce продемонструвала свою максимальну перевагу. Вона забезпечила найвищу врожайність (273.3 Bu/A), перевершивши всі інші пасивні системи на величину від +2.6 Bu/A до +13.2 Bu/A. Найбільший провал у no-till показали традиційні гумові колеса (Dual Rubber), які поступилися FurrowForce на 13.2 Bu/A, що трансформувалося в економічні втрати -\$53.69/A [13]. Це емпірично доводить, що двоступенева конструкція FurrowForce з її здатністю руйнувати ущільнені стінки та автоматично адаптувати притискне зусилля є не просто покращенням, а критичною необхідністю для досягнення успіху в ресурсозберігаючих системах землеробства.

1.2. Огляд сівалки Fendt Momentum

Об'єктом даного дипломного дослідження є високоточна пневматична просапна сівалка **Fendt Momentum 16** [14], яка має 16-рядів з

міжряддям 70 см, що експлуатується в умовах реального виробництва на аграрних підприємствах України (Рис. 1.4).

Дослідження проводилися на базі провідного аграрного підприємства Приватної Агрофірми ПП «Агрон» [15], виробничі площі якого локалізуються в районі села Тербовля Тернопільської області. Цей регіон характеризується умовами західного Поділля з переважанням сірих лісових ґрунтів та чорноземів опідзолених, що визначає високу варіабельність умов вегетації.



Рис. 1.4. Вигляд сівалки у складеному положенні

Технологічний комплекс (посівний агрегат) функціонує у парі з енергонасиченим колісним трактором Fendt 942 Varіo [16]. Цей трактор, оснащений безступінчастою трансмісією VarіoDrive [17] та системою автоматичного ведення VarіoGuide [18], забезпечує необхідну тягову потужність, точність навігації та стабільність швидкості, що є критичними передумовами для реалізації повного потенціалу сівалки.

Безпосередню відповідальність за технічний стан, налаштування та експлуатацію дослідного об'єкта несе головний інженер ПП «Агрон»

Завальський Василь Вікторович, який супроводжує роботу даної сівалки в господарстві четвертий посівний сезон поспіль. Його практичний досвід та експертна оцінка стали невід'ємною частиною аналізу експлуатаційної ефективності агрегату (Рис. 1.5).



Рис. 1.5. Загальний вигляд визріваючої секції

1.3. Конструктивно-технологічна характеристика об'єкта

Сівалка Fendt Momentum 16 представлена у максимальній заводській конфігурації, що інтегрує повний спектр технологічних рішень від Precision Planting [19]. Дана комплектація перетворює агрегат з механічного знаряддя на автоматизований комплекс для управління мікросередовищем кожної насінини.

Сівалка побудована на базі рами Vertical Contouring Toolbar (VCT), що складається з трьох незалежних секцій. Це забезпечує безпрецедентне копіювання рельєфу кожним рядом у вертикальному діапазоні до 167 см.

Система Load Logic [20] в режимі реального часу зважує бункери та раму і автоматично перерозподіляє вагу між усіма колесами сівалки, активно запобігаючи надмірному ущільненню ґрунту та мінімізуючи колійний ефект.

Кожна з 16 секцій оснащена високоточним вакуумним дозуючим апаратом vSet2 [21], який гарантує рівень сингуляції (поодинокого дозування) понад 99%. Система дозування vSet®2 та приводу vDrive® зображена на рисунку 1.6.

Привід кожного апарату здійснюється індивідуальним електромотором vDrive. Така конфігурація усуває потребу в ланцюгових та карданних передачах і є технологічною основою для реалізації диференційованого висіву (VRA) згідно з електронними картами-завданнями, а також забезпечує миттєве погектарне відключення секцій.

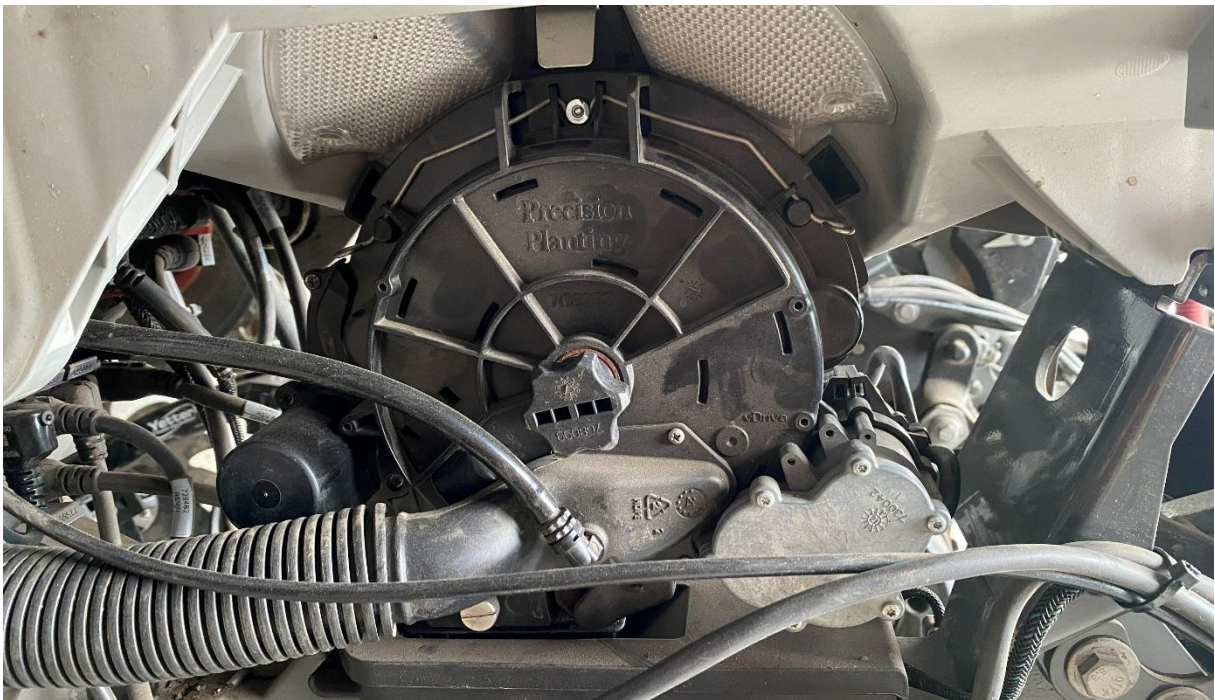


Рис. 1.6. Зовнішній вигляд висівного апарату vSet2

На кожній секції сівалки (Рис. 1.7) встановлена активна гідравлічна система DeltaForce [21]. За допомогою інтегрованого тензOMETричного датчика (load cell), система 200 разів на секунду вимірює фактичне

навантаження на ґрунт і через гідروциліндр миттєво додає або знімає вагу з секції. Це гарантує, що кожна насінина закладається на точно задану глибину, незалежно від гетерогенності поля (ущільнені колії від трактора, глинисті "блюдця" чи пухкі ділянки).

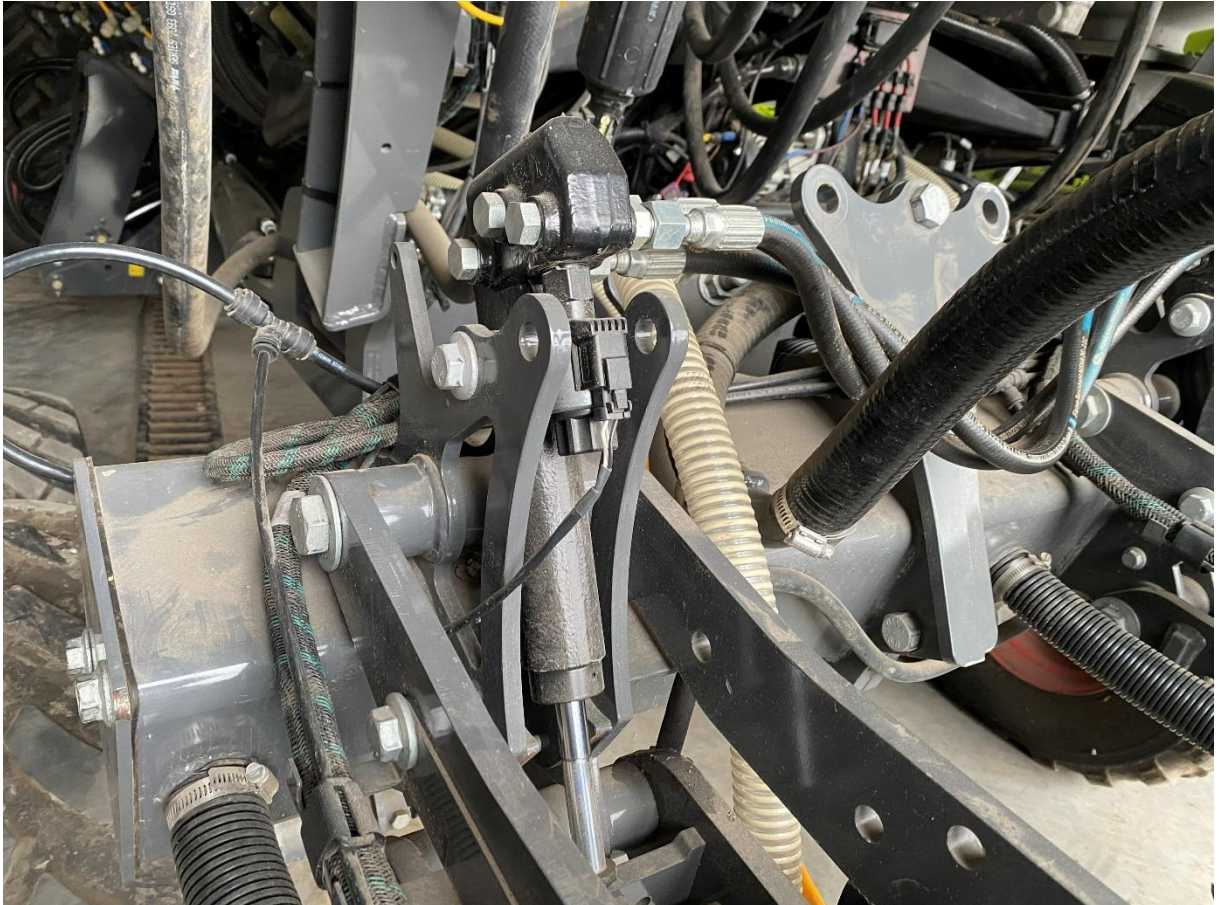


Рис. 1.7. Зовнішній вигляд гідравлічного циліндру Delta Force

Безпосередньо в посівному ложі, одразу після падіння насінини, функціонує сенсор SmartFirmer [23]. Він інтегрований у прикочуючий "язичок" і в режимі реального часу вимірює ключові параметри середовища: вологість ґрунту, його температуру, наявність пожнивних решток та однорідність структури борозни.

За фінальний етап сівби відповідає автоматизована система FurrowForce [24] (Рис. 1.8). Її двоступенева конструкція вирішує два завдання: зубчасті диски руйнують ущільнені бічні стінки борозни, створені

сошником; "зшиваючі" колеса ущільнюють ґрунт над насінною, усуваючи повітряні кишені та забезпечуючи ідеальний ґрунтовий контакт.



Рис. 1.8. Двоступенева закриваюча система Furrow Force

Важливою особливістю дослідного об'єкта є його кастомізація, проведена інженерною службою ПП «Агрон». Оскільки заводська комплектація передбачала роботу лише з рідкими добривами, а господарство орієнтоване на використання гранульованих, сівалка була власноруч дообладнана системою внесення сухих добрив від Vaderstad [25] (Рис. 1.9). Ця модифікація включала монтаж центрального бункера для добрив та пневматичної системи подачі гранул до кожної висівної секції.

Для поглибленого розуміння практичних аспектів експлуатації цього унікального комплексу було проведено експертне інтерв'ю з головним інженером ПП «Агрон», Завальським Василем Вікторовичем, який керує експлуатацією сівалки четвертий рік.

Інженер дає агрегату найвищу оцінку: "Сівалка супер. Інноваційна, технологічна. Надійна". При цьому він підкреслює, що висока надійність є прямим наслідком правильної експлуатації та зберігання під час міжсезоння.



Рис. 1.9. Бункер та пневматична система внесення сухих добрив

Інженер В. В. Завальський виділив ключові аспекти, що вимагають уваги в польових умовах. Серед них найважливішим фактором є не механічне обслуговування, яке мінімальне, оскільки "точок змащування тут таких немає", а саме точність налаштувань. "Саме головне – це пильнувати за правильними налаштуваннями" [26].

Інженер прямо пов'язує майбутній врожай з коректною роботою ключових технологій Precision Planting [27], встановлених на Fendt Momentum: "Від налаштування залежить майбутній урожай, правильна глибина, відповідний прижим DeltaForce [28], правильний FurrowForce - закриття борозни". Він наголошує, що нехтування цими налаштуваннями призводить до негайних агрономічних порушень: "...буде протягувати насіння, не буде дожимати, не буде правильно руйнувати борозну. Це все втрата в кілограмах на гектар".

Окремо головний інженер відзначив високу ефективність використання карт-завдань диференційованого висіву, яку дозволяє реалізувати система vSet/vDrive [29]. За його словами, господарство використовувало карти-приписи на окремих полях і планує розширювати цю практику, оскільки вона забезпечує велику економію насіння. В. В. Завальський навів конкретний виробничий приклад:

"Я порівняний минулий рік. У мене було два поля по 15 гектарів... На одному полі 5 зон продуктивності... норма була від 65 тисяч до 82 тисяч... а на одному полі 82 тисячі. Тобто логічно, що у нас тут менше насіння пішло... А врожайність вийшла така саме, як при 86 тисяч [ймовірно, малася на увазі норма 82 тис.]".

Цей досвід підтверджує економічну доцільність VRA. Зазначається, що карти-приписи формувалися на основі аналізу зон продуктивності, знімків NDVI та карт вологості ґрунту.

Водночас, експлуатація виявила і високу технологічну складність даного комплексу. Як зазначив головний інженер, в ході роботи фіксувалися програмні збої. Зокрема, було зафіксовано нештатну ситуацію, коли "під час посіву всі секції піднялися догори". Поглиблена діагностика встановила, що причиною стало некоректне "мінусове" значення, яке раптово з'явилося у налаштуваннях DeltaForce. Однак, завдяки високій технічній кваліфікації та практичному досвіду головного інженера, ця нетривіальна проблема була оперативно діагностовано та благополучно вирішена, що дозволило уникнути простою техніки та порушення агротехнічних строків.

Отже, для подальшого дослідження використовувався унікальний посівний комплекс Fendt 942 Vario + Fendt Momentum 16 з кастомізованою системою сухих добрив Vaderstad, що експлуатується висококваліфікованою інженерною службою ПП «Агрон» для реалізації завдань точного землеробства.

РОЗДІЛ 2

ЗАКЛАДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ СІВАЛКИ FENDT MOMENTUM

2.1. Закладання дослідів №1

Дослідження агротехнологічних факторів проводилося на базі ПП «Агрон» у 2025 році. Аналіз у даному розділі зосереджено на полі №23, загальною площею 91,1 га. Посівна операція (сівба кукурудзи [31]) на цьому полі була проведена 25 квітня 2025 року за допомогою 16-рядного посівного комплексу Fendt Momentum.

Погодні умови весни 2025 року внесли суттєві корективи в агротехнічні строки. Сівба відбулася у відносно пізні терміни, при цьому у ґрунті фіксувалася достатня, а подекуди й надмірна вологість. Період після сівби характеризувався несприятливими метеорологічними умовами: спостерігалися затяжні дощі, що тривали понад три тижні, та значне зниження середньодобових температур. Як наслідок, насіння тривалий час перебувало у холодному, перезволоженому ґрунті, що спричинило суттєвий стрес для рослин на ранніх етапах розвитку. Перевірка стану посівів, проведена 14 травня 2025 року (через 19 днів після сівби), значно затримані сходи, що свідчить про гостру нестачу тепла для нормальної вегетації.

Поле №23

Кукуруза	Контроль	Легк.	Важкий	Стандарт
Швидкість	13	13	13	13
Притискне зусилля	Auto	Light (23 кг)	Heavy (200 кг)	46 кг
Добрива	FJ/Conceal			
Висівна трубка	SeedTube			
Норма висіву	80 тис			
Норма виліву	50/150			
Закриття борозни FF	АВТО			
Автоматична глибина SD	АВТО			

Рис. 2.1. Зведена інформація закладання дослідів поля №23

Загальні технологічні параметри сівби на полі №23 (Рис. 2.1) були стандартизовані для забезпечення чистоти досліду. Посів виконувався на стабільній швидкості 13 км/год. Була задіяна система дворівневого внесення рідких добрив: 50 л/га стартового добрива через аплікатори FurrowJet та 150 л/га КАС (Карбамідно-аміачна суміш [32]) через аплікатори Conceal. Важливо зазначити, що на даному полі використовувалися стандартні насінневі трубки (SeedTube), а не високошвидкісні SpeedTube [33]. Системи автоматичного контролю глибини SmartDepth та автоматичного закриття борозни FurrowForce функціонували у штатному автоматичному режимі (Авто). Планова норма висіву становила 80 тис. насінин/га (при середній фактичній по полю 85,3 тис./га).

В межах одного поля було закладено чотири дослідні ділянки (Рис. 2.2), що відрізнялися виключно налаштуваннями системи DeltaForce [34]. Всі інші параметри (швидкість 13 км/год, норма висіву 80 тис./га, внесення добрив FurrowJet [35] /Conceal [36] 50/150 л/га, FurrowForce Авто) були ідентичними.



Рис. 2.2. Поле №23 с закладеними ділянками притискного зусилля

Ділянка «Легке» (Light): Встановлено примусове фіксоване зусилля 23 кг. Ця зона моделювала сценарій недостатнього притиску, що потенційно призводить до втрати контакту секції з ґрунтом (Loss of Ground Contact). Карти якості посіву з монітора 20/20 Gen 3 [37] зафіксували на цій ділянці 3.2% часу втрати контакту з ґрунтом.

Ділянка «Стандарт» (Standard): Встановлено фіксоване зусилля 46 кг. Це налаштування виступало як еталонний фіксований параметр, обраний агрономом.

Ділянка «Важке» (Heavy): Встановлено примусове надмірне зусилля 200 кг. Ця зона моделювала сценарій значного переущільнення ґрунту та стінок борозни. Карти якості посіву зафіксували на цій ділянці 18.3% часу надмірного ущільнення (Excess Compaction).

Ділянка «Контроль» (Auto): Система DeltaForce працювала у штатному автоматичному режимі. На цій ділянці система самостійно підтримувала оптимальний тиск, внаслідок чого показник якісного притиску (Good Down Force) склав 78.5% [38].



Рис. 2.3. Перші сходи на дослідній ділянці

Практичний досвід головного інженера підтверджує критичну важливість даного дослідження. В. В. Завальський наголошує, що саме "правильний прижим DeltaForce" та "правильний FurrowForce - закриття борозни" є ключовими факторами (Рис. 2.3), від яких залежить якість сівби та майбутній врожай. Некоректні налаштування, за його словами, призводять до того, що сівалка "не буде дожимати" або "не буде правильно руйнувати борозну", що є прямою "втратою в кілограмах на гектар".

2.2. Закладання дослідів №2

Другий дослід був закладений на полі №9 з метою визначення впливу диференційованих норм внесення рідких азотних добрив (КАС) на продуктивність кукурудзи в системі Strip-till [39] (Рис. 2.4).

Поле №9				
Кукуруза	КАС 100	КАС 200	КАС 300	Контроль
Швидкість	13	13	13	13
Притискне зусилля	Auto 46 кг			
Добрива	FJ/Conceal			
Висівна трубка	SeedTube			
Норма висіву	80 тыс	80 тыс	80 тыс	80 тыс
Норма виліву	30/100	30/200	30/300	30/150
Закриття борозни FF	Авто			
Автоматична глибина SD	Авто			

Рис. 2.4. Зведена інформація закладання дослідів по КАС на полі №9

Посівна операція на даному полі проводилася в період з 24 по 28 квітня 2025 року. Посівний комплекс Fendt Momentum працював на швидкості 13 км/год. Всі ділянки дослідів мали ідентичні базові налаштування:

- Норма висіву: 80 000 насінин/га.
- Висівна трубка: SeedTube.
- Притискне зусилля DeltaForce: Auto 46 кг.

- Закриття борозни FurrowForce: Авто.
- Автоматична глибина SmartDepth: Авто.

Змінним фактором виступала норма внесення КАС через систему Conceal, тоді як норма внесення стартового добрива через FurrowJet (FJ) була фіксованою - 30 л/га [17].

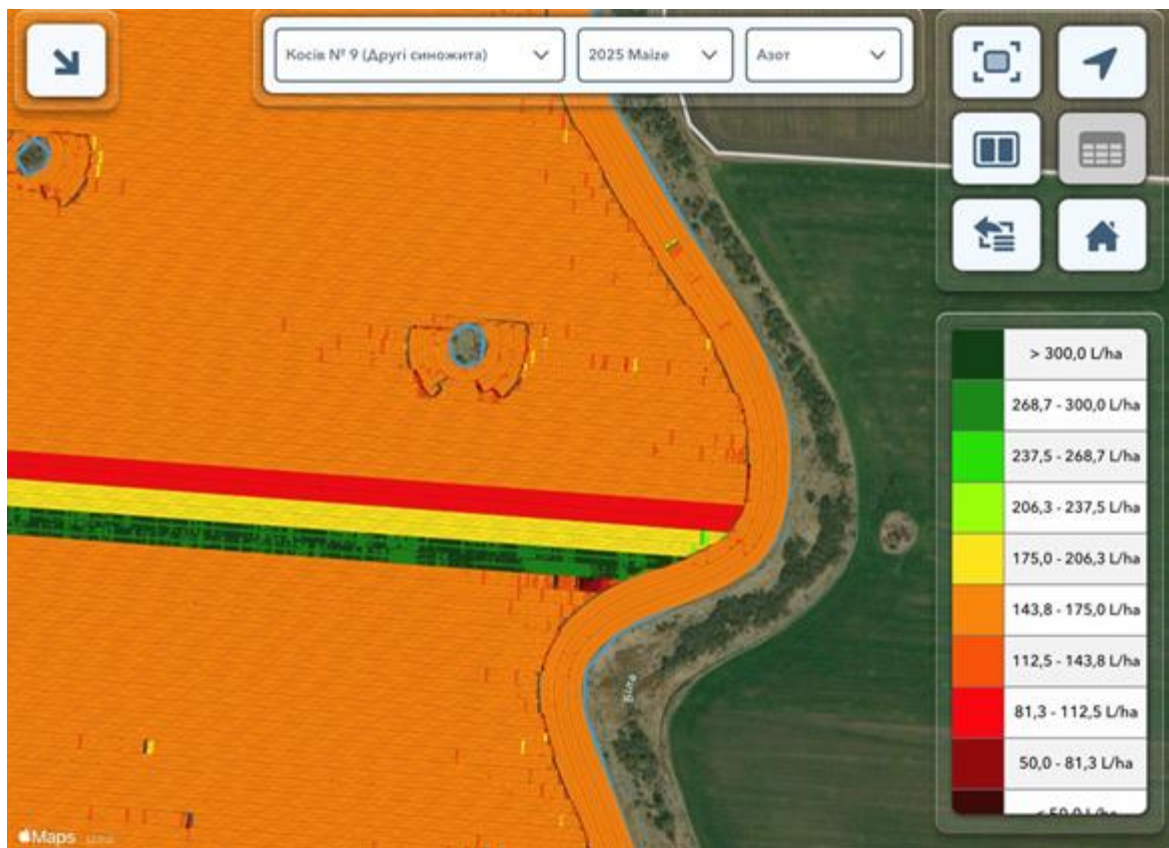


Рис. 2.5 Поле №9 с закладеними ділянками по КАС

Було закладено чотири дослідні ділянки (Рис. 2.5):

- Ділянка «KAS 100»: 30 л/га (FJ) + 100 л/га (Conceal).
- Ділянка «KAS 200»: 30 л/га (FJ) + 200 л/га (Conceal).
- Ділянка «KAS 300»: 30 л/га (FJ) + 300 л/га (Conceal).
- Ділянка «Контроль»: 30 л/га (FJ) + 150 л/га (Conceal).

Під час закладання досліду та подальших обстежень було виявлено суттєвий побічний фактор, що міг вплинути на чистоту експерименту. Поле готувалося за технологією Strip-till (осіннє нарізання смуг). Протягом

зимово-весняного періоду вітром нанесло значну кількість пожнивних решток безпосередньо у підготовлені смуги.

Під час посівної операції, незважаючи на роботу очищувачів рядків, не всі рештки були повністю видалені з борозни. Це призвело до нерівномірності розвитку рослин, оскільки наявність пожнивних решток у посівному ложі негативно впливала на формування качана, навіть за умови достатнього забезпечення добривами. Цей фактор необхідно враховувати при подальшому аналізі результатів врожайності, оскільки він частково нівелював очікуваний ефект від диференційованого внесення азоту.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ СІВАЛКИ FENDT MOMENTUM

3.1. Аналіз закладеного досліду №1

Для визначення попереднього впливу агротехнологічних факторів на продуктивність рослин, до проведення повноцінного збирання врожаю комбайном, було проведено ручний відбір зразків та розрахунок біологічної врожайності. Ця оцінка дозволяє отримати кількісне уявлення про потенціал, закладений на різних ділянках досліду, та виявити ключові тенденції.

Розрахунок біологічної врожайності проводився на основі даних, отриманих з репрезентативних вибірок (Рис. 2.7) (25 качанів з кожної дослідної ділянки), відібраних 15 жовтня 2025 року. Для розрахунків використовувалася єдина теоретична густина стояння рослин на момент збирання, що становила 75 000 рослин на гектар.



Рис. 2.7 Вибірка качанів на полі №23

Обчислення проводилося у два етапи:

Розрахунок валової врожайності (Вал, т/га) при фактичній вологості. Цей показник відображає масу зерна з 1 гектара без корекції на вологість.

$$B = \frac{m \cdot D}{1\,000\,000} \quad 2.1$$

де: B - біологічна врожайність кукурудзи, т/га;

m - середня зернова частка качана, г;

D - густина стояння рослин, рослин/га;

1 000 000 - коефіцієнт переведення грамів у тонни.

Розрахунок базисної врожайності (Базис, 14%). Цей показник є стандартизованою величиною, що приводить всю отриману врожайність до єдиного базису вологості 14% для коректного порівняння .

$$B_{14} = B * \frac{100 - W_f}{100 - 14} \quad (2.2)$$

де: B₁₄ - урожайність, перерахована на базову вологість 14 %, т/га;

B - валова (фактична) урожайність, т/га;

W_f - фактична вологість зерна, %;

14 - базова вологість зерна, %;

100 - коефіцієнт для переходу відсотків у розрахунок сухої речовини.

На полі №23 було закладено чотири зони з різними налаштуваннями притискного зусилля DeltaForce: "Контроль" (автоматичний режим), "Легке" (23 кг), "Важке" (200 кг) та "Стандарт" (46 кг).

Незважаючи на складні погодні умови після сівби (низькі температури та затяжні дощі, що "розмили" частину ефекту), аналіз біологічної врожайності виявив суттєву різницю між дослідними ділянками. Отримані дані наведено у таблиці 2.1.

Показники біологічної врожайності на полі №23

Показник	Контроль (Auto)	Легке (23кг)	Важке (200кг)	Стандарт (46кг)
Вибірка, качанів	25	25	25	25
Середня вага качана, г	263,25	272,25	341,5	346
Зернова частка, г	223,25	232,25	301,5	306
Фактична вологість, %	23,60%	29,00%	31,00%	25,50%
Розрах. Вал, т/га	16,74	17,42	22,61	22,95
Базис 14%, т/га	14,58	14,1	17,79	19,49

Аналіз даних, представлених вище, дозволяє зробити наступні попередні висновки:

- Ключовим фактором, що диференціював врожайність, стала середня маса зерна з одного качана (зернова частка). Ділянки "Стандарт" (306,0 г) та "Важке" (301,5 г), де застосовувалося сильне притискне зусилля, показали значно вищу індивідуальну продуктивність рослин порівняно з ділянками "Легке" (232,25 г) та "Контроль" (223,25 г). Це візуально підтверджується на фотографіях відібраних зразків, де качани з ділянок "Стандарт" та "Важке" виглядають суттєво більшими та більш виповненими.
- Різниця у потенційній врожайності між варіантами є різною. Найкращий результат показала ділянка "Стандарт" (46 кг) з базисною врожайністю 19,49 т/га. Найгірший результат зафіксовано на ділянці "Легке" (23 кг) - 14,10 т/га. Таким чином, різниця між найкращим та найгіршим варіантом налаштування притискного зусилля склала 5,39 т/га потенційної врожайності.
- Несподіваним результатом стало те, що ділянка "Контроль" (де DeltaForce працювала в автоматичному режимі) показала один з найгірших результатів (14,58 т/га), практично зрівнявшись з

ділянкою "Легке" (14,10 т/га). Це можна пояснити тим, що в умовах перезволоженого ґрунту під час сівби, автоматична система коректно зменшувала притиск для уникнення надмірного ущільнення, однак це призвело до недостатнього контакту насінини з ґрунтом або занадто мілкої глибини, що в подальшому негативно вплинуло на розвиток рослин.

- Звертає на себе увагу підвищена вологість зерна на ділянках "Важке" (31%) та "Легке" (29%). Це може свідчити про те, що обидва неоптимальні режими (надмірний тиск та недостатній тиск) спричинили фізіологічний стрес, що призвів до затримки дозрівання культури порівняно з ділянками "Стандарт" та "Контроль".

Попередні дані біологічної врожайності чітко демонструють (Рис. 2.8), що налаштування притискного зусилля є одним з найкритичніших факторів, що впливають на формування врожаю.



Рис. 2.8. Порівняння качанів з різних ділянок поля притискного зусилля

Подальший аналіз, що включатиме дані фактичного збирання врожаю з карт врожайності, дозволить верифікувати ці результати та надати остаточні економічні розрахунки.

3.2. Аналіз закладеного досліді №2

На полі №9 було закладено дослід для оцінки реакції кукурудзи на різні норми внесення азотних добрив (КАС) через систему Conceal при фіксованій нормі стартового добрива (30 л/га) через FurrowJet [40]. Рослини вирощувалися за технологією Strip-till.

Обстеження та відбір зразків для розрахунку біологічної врожайності проводилися 15 жовтня 2025 року (Рис. 2.9). Розрахунки базувалися на тих самих методологічних підходах, що й для поля №23, з використанням умовної густоти стояння рослин 75 000 на гектар.



Рис. 2.9. Вибірка качанів на полі №9 на ділянках з КАС

Розрахунок валової врожайності (Вал, т/га) при фактичній вологості:

$$B = \frac{m \cdot D}{1\,000\,000} \quad (2.3)$$

де: B - біологічна врожайність кукурудзи, т/га;

m - середня зернова частка качана, г;

D - густина стояння рослин, рослин/га;

1 000 000 - коефіцієнт переведення грамів у тонни.

$$B_{14} = B * \frac{100 - W_f}{100 - 14} \quad (2.4)$$

де: B₁₄ - урожайність, перерахована на базову вологість 14 %, т/га;

B - валова (фактична) урожайність, т/га;

W_f - фактична вологість зерна, %;

14 - базова вологість зерна, %;

100 - коефіцієнт для переходу відсотків у розрахунок сухої речовини.

Таблиця 2.2

Показники біологічної врожайності на полі №9

Показник	КАС 100 (30+100)	КАС 200 (30+200)	КАС 300 (30+300)	Контроль (30+150)
Вибірка, качанів	25	25	25	25
Середня вага качана, г	325	354	340	294
Зернова частка, г	285	314	300	254
Фактична вологість, %	34,40%	33,10%	40+%	37,50%
Розрах. Вал, т/га	21,39	23,61	22,56	19,09
Базіс 14%, т/га	16,00	18,00	15,43	13,60

Аналіз даних, представлених у таблиці 2.2 дозволяє зробити наступні попередні висновки:

- Найвищий показник біологічної врожайності, як валової (23,61 т/га), так і базисної (18,00 т/га), був зафіксований на ділянці «КАС 200». Це досягнуто за рахунок найбільшої середньої зернової частки качана (314 г).
- Дослід чітко продемонстрував дію закону спадної родючості. Подальше збільшення норми азоту до 300 л/га (ділянка «КАС 300») не призвело до росту врожайності. Навпаки, базисна врожайність впала до 15,43 т/га, що на 2,57 т/га менше, ніж на ділянці «КАС 200»
- Надмірна норма азоту на ділянці «КАС 300» суттєво вплинула на фізіологію рослин. На момент обстеження (15 жовтня) вологість зерна на цій ділянці перевищувала 40%. Це підтверджує висновок агрономічного звіту, що велика норма Азотних добрив (КАС) [41] подовжила вегетаційний період. Рослини з надмірним азотним живленням не встигли увійти у фазу повної стиглості, що є критичним ризиком при настанні ранніх заморозків.
- Контрольна ділянка з нормою 150 л/га КАС показала найнижчу базисну врожайність - 13,60 т/га.
- Ускладнюючий фактор: Важливо враховувати зафіксований у звіті ускладнюючий фактор: наявність пожнивних решток у смугах Strip-till, які не були повністю очищені під час сівби. Агрономічний звіт констатує, що "при наявності пожнивних решток рослина не сформувала повноцінний качан, навіть при наявності достатньої кількості добрив". Цей фактор нерівномірності посівного ложа, ймовірно, вніс свої корективи у чистий ефект від норм добрив.



Рис. 2.10. Порівняння качанів з різних ділянок поля КАС

Попередні результати біологічної врожайності вказують на те, що в умовах 2025 року та при технології Strip-till на полі №9 (Рис. 2.10), оптимальною нормою внесення КАС (через Conceal) була 200 л/га. Збільшення норми до 300 л/га виявилось економічно недоцільним та агрономічно ризикованим через суттєву затримку дозрівання.

3.3. Підсумковий аналіз досліджень

Ключовою метою даного дослідження є не лише фіксація параметрів роботи посівного комплексу Fendt Momentum, але й встановлення чітких кореляційних зв'язків між застосованими агротехнологічними налаштуваннями та фінальним економічним результатом - врожайністю. Повноцінний аналіз ефективності експериментальних ділянок, закладених на полях №23 (дослід з притискного зусилля DeltaForce [42]) та №9 (досліди з норм добрив Conceal та технологій обробітку ґрунту), передбачає проведення компаративного аналізу між даними монітора 20/20 Gen 3 під час сівби, проміжними даними біологічної врожайності та, зрештою,

даними фактичної (облікової) врожайності, отриманими безпосередньо з бортових систем зернозбирального комбайна.

Однак, на поточний момент проведення дослідження, виконати фінальний етап цього аналізу - зіставлення біологічної врожайності з обліковою - не є можливим. Причиною цього є суттєвий зсув (продлонгація) вегетаційного періоду культури у 2025 році, що унеможливило проведення збиральних робіт у традиційні агротехнічні строки.

Відхилення у фенологічному розвитку рослин було спричинене низкою кумулятивних погодно-кліматичних факторів, зафіксованих в агрономічному звіті:

- Посівна операція на дослідних полях проводилася у відносно пізні строки (наприклад, 25 квітня на полі №23) в умовах достатньо вологого ґрунту.
- Безпосередньо після сівби спостерігався тривалий (понад 3 тижні) період аномально низьких температур та затяжних дощів. Це призвело до значного стресу для молодих рослин та затримало появу сходів (зафіксовано 14 травня).
- Як наслідок раннього стресу, спостерігалася загальна затримка розвитку; у липні рослини все ще перебували на стадії 7-8 листків, що не відповідає календарним нормам.
- На ділянках з високими нормами азотних добрив (дослід на полі №9) було зафіксовано додаткове подовження вегетаційного періоду.

Ці фактори призвели до того, що на момент останнього обстеження (15 жовтня 2025 року), коли проводився відбір зразків для розрахунку біологічної врожайності (Рис. 2.12), культура на багатьох ділянках ще не досягла повної фізіологічної стиглості, а вологість зерна була екстремально високою (наприклад, 37,5% на ділянці Strip-till та понад 40% на ділянці "KAS 300").

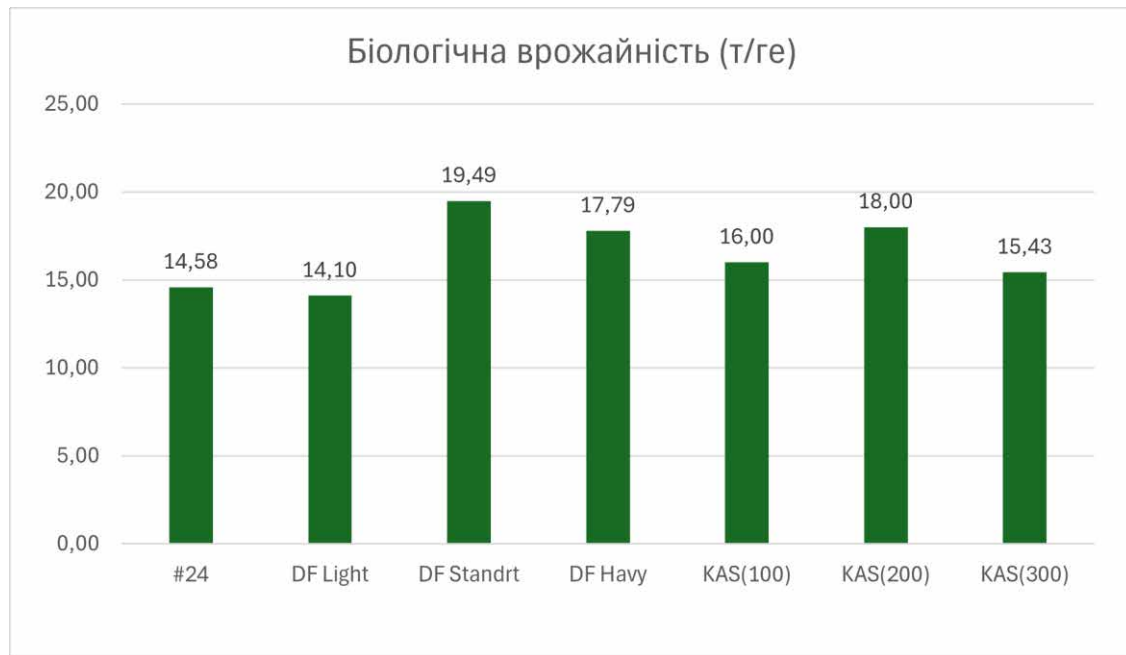


Рис. 2.12. Графік біологічної врожайності на усіх ділянках

Таким чином, збирання врожаю на дослідних полях перенесено на більш пізні терміни, коли вологість зерна знизиться до технологічно прийнятних показників. Фінальні результати дослідження, що включатимуть карти врожайності та точні дані облікового збору, будуть отримані та проаналізовані після завершення збиральної кампанії.

На даному етапі дослідження, єдиним доступним інструментом для порівняльного аналізу закладених дослідів залишається біологічна врожайність, детально розрахована у попередніх підрозділах. Показники, отримані шляхом ручного відбору (наприклад, перевага ділянки "Стандарт" (46 кг) на полі №23 з результатом 19,49 т/га або оптимальність норми "KAS 200" з результатом 18,00 т/га на полі №9) є ключовими прогностичними індикаторами ефективності застосованих технологій.

Необхідно зазначити, що показники біологічної врожайності, розраховані в даній роботі, є теоретичним максимумом, оскільки вони базуються на умовній густоті стояння (75 000 рослин/га) і не враховують неминучих втрат. Очікується, що фактична (облікова) врожайність буде меншою за розраховану біологічну. Ця різниця буде зумовлена наступними факторами:

- Реальна густина стояння рослин на момент збирання буде нижчою за теоретичні 75 000, внаслідок нерівномірності сходів, стресових факторів та конкуренції, особливо на ділянках з пожнивними рештками (наприклад, Strip-till).
- Неминучі втрати під час роботи зернозбирального комбайна (втрати на жатці, недомолот, втрати при сепарації та очищенні).
- Втрати від вилягання, хвороб та пошкодження шкідниками, які могли виникнути в період між розрахунком біологічної врожайності (15 жовтня) та фактичним збиранням.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є комплексом організаційних, технічних та профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці під час виконання робіт, пов'язаних із експлуатацією сільськогосподарської техніки, проведенням досліджень та виконанням технологічних операцій у полі.

Метою заходів з охорони праці є запобігання травматизму, професійним захворюванням, аваріям, а також забезпечення належного рівня безпеки під час виконання польових і лабораторних робіт у процесі дослідження сівалки та технологій точного землеробства.

Загальні вимоги безпеки передбачають дотримання чинних нормативних документів, інструкцій з експлуатації машин та обладнання, правил техніки безпеки під час роботи з механізмами, електричними та гідравлічними системами, а також дотримання правил особистого захисту.

До виконання робіт допускаються лише особи, які пройшли інструктаж з охорони праці, навчання з безпечних методів роботи, перевірку знань та мають навички поводження з технікою.

При роботі з посівною технікою необхідно забезпечувати справність усіх агрегатів [43], особливо гідравлічних систем, електричних приводів, висівних секцій та елементів під тиском. Перед початком робіт виконується технічний огляд вузлів та перевірка відсутності підтікання оливи, пошкоджень шлангів або зношених деталей.

Особливу небезпеку становлять гідравлічні системи [44], оскільки гідравлічний тиск може перевищувати 150 бар. Заборонено знаходитися під піднятою рамою сівалки або ремонтувати елементи під тиском. Усунення несправностей допускається лише після повного зняття тиску.

Електричні системи сівалки та контролерів, що працюють в мережі постійного струму 12 Вольт та з високими струмовими навантаженнями,

потребують контролю якості ізоляції та надійності контактів. Будь-які підключення виконуються при вимкненому живленні.

Під час роботи з обертовими деталями, такими як дискові сошники, колеса, приводні механізми, забороняється виконувати очищення або налаштування без повної зупинки трактора та виключення ВВП [45].

Ризик порізів та травм підвищується при роботі з дисковими сошниками та гострими елементами висівної секції. Працівник повинен використовувати рукавиці, захисне взуття та дотримуватися безпечної дистанції від працюючої техніки.

Очищення посівних секцій від рослинних решток виконується лише після повної зупинки агрегату. Заборонено видаляти рослинність руками при працюючому обладнанні або під час руху сівалки.

При проведенні досліджень у полі необхідно враховувати умови рельєфу, наявність нерівностей, колій та сторонніх предметів, які можуть спричинити прослизання, заклинювання секцій або аварійну ситуацію.

Під час руху посівного агрегату оператор повинен утримувати оптимальну швидкість, що відповідає правилам безпеки та рекомендаціям виробника техніки. Різкі повороти, рух на високій швидкості або на нерівностях збільшують ризик поломок та втрати контролю.

Важливим фактором безпеки є захист від пилу, який утворюється під час роботи техніки. Пил може містити залишки пестицидів, добрив або частки ґрунту, тому рекомендовано використовувати респіратор.

Засоби індивідуального захисту, обов'язкові під час роботи: захисні рукавиці, окуляри, за необхідності – респіратор, спецодяг, взуття із твердим носком.

При роботі з мінеральними добривами, що можуть застосовуватися у технології посіву, слід уникати контакту шкіри та органів дихання з гранулами чи рідиною. Усі змішування та заправка виконуються у добре вентильованих місцях.

Під час роботи зі спектральними датчиками, електронікою та контролерами заборонено торкатися оголених контактів, проводити підключення при увімкненому живленні або розбирати корпуси приладів без спеціальної підготовки.

У разі зміни параметрів техніки "на ходу", наприклад регулювання глибини посіву на системі SmartDepth [47], оператор повинен контролювати дорогу та уникати будь-яких дій, що відволікають увагу від керування трактором.

Перед початком дослідної роботи у полі необхідно провести навчання персоналу щодо принципів роботи з системами DeltaForce, SmartFirmer, vDrive, SpeedTube [48] та іншими технологічними компонентами.

Під час демонтажу чи монтажу секцій необхідно використовувати підіймальні пристрої відповідної вантажопідйомності, оскільки одна секція може важити понад 150 кг.

Під час запуску програмного забезпечення моніторів [49] заборонено наближатися до рухомих частин та знаходитися між трактором і сівалкою, щоб уникнути наїзду або затискання.

Усі польові роботи необхідно проводити при належному освітленні, уникаючи роботи в темряві без світлових приладів, що знижує ризик травм та наїздів на перешкоди.

Пожежна безпека передбачає наявність вогнегасника у кабіні трактора [50], регулярну перевірку паливних магістралей та відсутність витікань легкозаймистих рідин.

Перша допомога повинна бути доступною на місці роботи: аптечка, засоби для промивання очей, антисептики. Оператор повинен знати порядок дій при травмах та опіках.

Заборонено допускати до техніки сторонніх осіб, тим більше дітей або необізнаних людей, особливо під час роботи обладнання у полі.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було проведено комплексне дослідження ефективності інтеграції робото-технічних систем точного землеробства у технологічний процес посіву на базі високотехнологічного комплексу Fendt Momentum. Результати дослідження підтверджують, що сучасна аграрна робототехніка трансформує підхід до рослинництва, перетворюючи його на керований автоматизований процес, де ключову роль відіграють алгоритми прийняття рішень та швидкість реакції виконавчих механізмів. Визначальним фактором продуктивності посівного комплексу є здатність системи Precision Planting забезпечувати стабільність заданих параметрів у режимі реального часу. Особливу увагу в роботі приділено аналізу роботи автоматизованої системи керування притискним зусиллям DeltaForce, яка реалізує принцип зворотного зв'язку. Встановлено, що гідравлічні актуатори системи, реагуючи на дані тензометричних датчиків, миттєво адаптують навантаження на висівну секцію, підтримуючи задану глибину незалежно від щільності ґрунту. Це дозволяє робото-технічному комплексу уникати надмірного ущільнення ґрунту та забезпечувати агрономічну рівномірність, недосяжну для систем із пасивним механічним налаштуванням. Дослідження підтвердило, що саме автоматизація контролю глибини та притиску є критичною для формування рівномірних сходів. Разом із тим, аналіз експериментальних даних виявив, що навіть при використанні передових робото-технічних комплексів на кінцевий результат впливають стохастичні зовнішні фактори, такі як погодні умови та фенологічні особливості культури, що вносить корективи в оцінку економічної ефективності. Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що майбутнє агровиробництва ґрунтується на повній автоматизації технологічних операцій. Ефективність робото-технічного комплексу Fendt Momentum залежить не лише від його апаратної частини, а й від точності калібрування сенсорів та коректності заданих алгоритмів роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сівалки точного висіву Fendt MOMENTUM [Електронний ресурс] // Агроструктура – Режим доступу: <https://www.agrostructura.com.ua/technique/fendt/teches/fendt-momentum>
2. 2024 PTI Yield Summary Report [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2024. – С. 1. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/pti>
3. Precision Technology Institute [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/pti>
4. 2024 PTI Yield Summary Report [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2024. – С. 10. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/pti>
5. vDrive [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planters/vdrive>
6. FurrowForce Operator’s Guide For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1667424817/FurrowForce%20Operator's%20Guide%20\(955778_02\).pdf](https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1667424817/FurrowForce%20Operator's%20Guide%20(955778_02).pdf)
7. 2024 PTI Yield Summary Report [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2024. – С. 21. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/pti>
8. 2024 PTI Yield Summary Report [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2024. – С. 192–194. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/pti>
9. 2024 PTI Yield Summary Report [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2024. – С. 194. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/pti>
10. SmartDepth Operator’s Guide For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file->

[1614975806/SmartDepth%20Operations%20Manual%20\(955773\)%20.pdf](https://www.precisionplanting.com/products/planter/1614975806/SmartDepth%20Operations%20Manual%20(955773)%20.pdf)

11. FurrowJet [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planter/furrowjet>
12. Conceal [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planter/conceal>
13. 2024 PTI Yield Summary Report [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2024. – С. 198. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/pti>
14. Fendt Momentum | Плантатори [Електронний ресурс] // Fendt – Режим доступу: <https://www.fendt.com/ua/momentum-highlights>
15. ПП Агрон [Електронний ресурс] // Агрон – Режим доступу: <https://agron.in.ua/>
16. Колісний трактор Fendt 900 Vario [Електронний ресурс] // Агроструктура – Режим доступу: <https://www.agrostructura.com.ua/technique/fendt/teches/fendt-900-vario>
17. VarioDrive [Електронний ресурс] // Fendt – Режим доступу: <https://www.fendt.com/us/fendt-innovations/vario-drive>
18. Lane Guidance | Smart Farming [Електронний ресурс] // Fendt – Режим доступу: <https://www.fendt.com/us/technologies/guidance>
19. Інструкція з експлуатації: Сівалка Momentum [Електронний ресурс] // Fendt. – Документ ACX3102220
20. Fendt MOMENTUM - the next level of improved accuracy [Електронний ресурс] // Fendt. – Режим доступу: <https://www.fendt.com/ua/fendt-momentum-the-next-level-of-improved-accuracy>
21. vSet [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planter/vset>
22. DeltaForce [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planter/deltaforce>

23. SmartFirmer [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу:
<https://www.precisionplanting.com/products/planters/smartfirmer>
24. FurrowForce [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу:
<https://www.precisionplanting.com/products/planters/furrowforce>
25. Vaderstad [Електронний ресурс] // Vaderstad – Режим доступу:
<https://www.vaderstad.com/ua>
26. Operator's Guide – Planters For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://assets2.brandfolder.io/bf-boulder-prod/6zk48sg68v73nmn77cpt3pc/v/1086690254/original/2020%20Operators%20Guide%20for%20Planters%20-%20Gen3%20\(955709\).pdf](https://assets2.brandfolder.io/bf-boulder-prod/6zk48sg68v73nmn77cpt3pc/v/1086690254/original/2020%20Operators%20Guide%20for%20Planters%20-%20Gen3%20(955709).pdf)
27. Precision Planting | Upgrade Your Farm Equipment [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу:
<https://www.precisionplanting.com/>
28. DeltaForce Operator's Guide For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20\(955702\).pdf](https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20(955702).pdf)
29. vDrive Operator's Guide For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1663270597/vDrive%20Operators%20Guide%20-%20Gen%203%20\(955701\).pdf](https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1663270597/vDrive%20Operators%20Guide%20-%20Gen%203%20(955701).pdf)
30. DeltaForce Operator's Guide For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20\(955702\).pdf](https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20(955702).pdf)
31. Словник українських наукових і народних назв судинних рослин / Ю. Кобів. — Київ : Наукова думка, 2004. — 800 с. — (Словники України). — ISBN 966-00-0355-2.

32. Карбамідно-аміачна суміш (КАС) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/dobriiva-azotni/karbamidno-amiachna-sumish-kas-id16202>
33. SpeedTube [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planters/speedtube>
34. DeltaForce Operator's Guide For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20\(955702\).pdf](https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20(955702).pdf)
35. FurrowJet Owner's Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1583169997/FurrowJet%20Owner's%20Manual.pdf>
36. Conceal Owner's Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1646850218/Conceal%20Quick%20Reference%20Guide.pdf>
37. 20|20 Gen 3 [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planters/2020>
38. 2020 Quick Reference Guide - Gen 3 [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1637202521/Quick%20Reference%20Combined.pdf>
39. Смуговий обробіток ґрунту (Strip-till) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/smugoviy-obrobitok-gruntu-strip-till-id20490>
40. FurrowJet Owner's Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1583169997/FurrowJet%20Owner's%20Manual.pdf>
41. Карбамідно-аміачна суміш (КАС) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/dobriiva-azotni/karbamidno-amiachna-sumish-kas-id16202>

42. DeltaForce Operator's Guide For Gen 3 20|20 Displays [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20\(955702\).pdf](https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1616621984/DeltaForce%20Operators%20Guide%20-%20Gen3%20(955702).pdf)
43. Інструкція з експлуатації: Сівалка Momentum [Електронний ресурс] // Fendt. – Документ АСХ3102220
44. Правила безпеки в гідравлічних систем [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tio.alias.v.ua/articles/pravila-bezpeki-v-gidravlichnih-z.html>
45. Колісний трактор Fendt 1000 Vario [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agrostructura.com.ua/technique/fendt/teches/fendt-1000-vario>
46. vApply Operator's Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://s3.amazonaws.com/pp3-products/file-1553287191/vApply%20Operator's%20Guide%20955656.pdf>
47. SmartDepth [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planters/smartdepth>
48. SpeedTube [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planters/speedtube>
49. 20|20 Display Monitors [Електронний ресурс] // Precision Planting. – Режим доступу: <https://www.precisionplanting.com/products/planters/2020>
50. Інструкція з експлуатації: Сівалка Momentum [Електронний ресурс] // Fendt. – Документ АСХ3102220