

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення ефективності вирощування кукурудзи в умовах виробничого підрозділу Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП».

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГ – 41  
спеціальності 208 Агроінженерія  
(шифр і назва спеціальності)

	_____	<u>Носаль Ю.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Сташків М.Я.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Сташків М.Я.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	<u>Бабій А.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<u>Левкович М.Г.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2026

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«    »

20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Носаль Юрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності вирощування кукурудзи в умовах  
виробничого підрозділу Новоставці філії «Рідний край»  
ПрАТ «Зернопродукт МХП».

Керівник роботи Сташків М.Я., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» січня 2026 року № 4/9 – 56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 12.06.2026

3. Вихідні дані до роботи агротехнічні вимоги до вирощування кукурудзи; типовий  
технологічний процес посіву кукурудзи; базова конструкція посівного комплексу

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

*Вступ.*

*1. Аналіз об'єкту дослідження*

*2. Технологічна частина*

*3. Проектна частина*

*4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці*

*Загальні висновки.*

*Перелік посилань*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Схема розподілу зон неоднорідності та рельєфу поля. 2. Засоби механізації швидкісного висіву кукурудзи. 3. Схема конструкцій приводів висівних апаратів. 4. Схема модернізації посівного комплексу John Deere DB37. 5. Модернізована висівна секція сівалки. Складальне креслення. 6. Техніко-експлуатаційні показники машинно-тракторного агрегату. 7. Схема параметрів SpeedTube та гідросистеми дотискання DeltaForce. 8. Схема для розрахунку зусилля модуля FurtowForce та електричного балансу архітектури SRM



## Реферат

Автор роботи – Носаль Юрій Васильович

Тема роботи – Підвищення ефективності вирощування кукурудзи в умовах виробничого підрозділу Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП».

Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Керівник роботи – Сташків Микола Ярославович, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

Мета роботи – підвищення ефективності та якості вирощування кукурудзи на зерно у виробничому підрозділі Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП» шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та розробки проекту модернізації робочих органів посівного комплексу *John Deere DB37* елементами електронної екосистеми *Precision Planting*.

Об'єкт дослідження – технологічний процес точного швидкісного висіву насіння кукурудзи на зерно широкозахватним посівним комплексом в умовах Західного Лісостепу України.

Предмет дослідження – закономірності взаємодії робочих органів сівалки *John Deere DB37* (електропривода *vDrive*, стрічковим транспортером *SpeedTube*, модуля *FurrowForce*) з насіннєвим матеріалом та ґрунтовим середовищем при зміні швидкісних режимів руху агрегату.

Методи дослідження. – комплексний методологічний підхід, що базується на основних положеннях теорії тракторів та сільськогосподарських машин, законах теоретичної механіки, опору матеріалів, а також аналізі даних цифрової платформи *Climate FieldView* холдингу МХП та методах математичного моделювання.

Отримані результати:

- проведено аналіз умов вирощування кукурудзи на дослідному полі;
- проведено огляд існуючих приводів та систем доставки насіння сівалок;
- обґрунтовано технологічні вимоги до оцінки якості посіву;
- виконано кінематичний розрахунок та оцінено продуктивність агрегату;
- складено баланс часу робочої зміни машинно-тракторного агрегату;
- розраховано параметри швидкісного висіву системою SpeedTube;
- розраховано притискне зусилля системи закриття борозни FurrowForce;
- розраховано баланс електричної потужності компонентів сівалки;
- визначено небезпечні виробничі фактори та вимоги охорони праці;
- розглянуто заходи та вимоги з пожежної безпеки при роботі МТА.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано проєкт модернізації робочих органів посівного комплексу John Deere DB37 автоматизованими елементами Precision Planting, що забезпечує роботу агрегату на підвищених швидкостях без втрати сингуляції, ліквідує зони перекриття на клинах полів, оптимізує витрати насіннєвого матеріалу та підвищує загальну операційну ефективність вирощування культури.

Структура роботи.

Робота складається з розрахунково – пояснювальної записки та ілюстративної частини. Розрахунково – пояснювальна записка складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків та переліку посилань.

Обсяг роботи: розрахунково – пояснювальна записка – 69 арк. формату А4, ілюстративний матеріал – 10 арк. формату А4.

Ключові слова: кукурудза, JohnDeere DB37, Precision Planting, vDrive, SpeedTube, FurrowForce, Climate FieldView, ефективність, машинно – тракторний агрегат.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОСІВНОЇ ТЕХНІКИ.....	8
1.1. Загальна характеристика підприємства Філія «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП».....	8
1.2. Характеристика дослідного «Поля 1» виробничого підрозділу Новоставці та аналіз умов вирощування кукурудзи.....	14
1.3. Біологічні особливості та аналіз потенціалу гібридів кукурудзи ДКС3972 та AQ P8904.....	17
1.4. Аналіз світового досвіду та технічних рішень модернізації посівних комплексів системами Precision Planting.....	19
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	24
2.1. Аналіз технології і організації вирощування кукурудзи в умовах виробничого підрозділу Новоставці.....	24
2.2. Обґрунтування технологічних вимог та оцінка якості посіву кукурудзи .....	32
2.3. Кінематичний розрахунок, оцінка продуктивності та балансу часу зміни посівного комплексу .....	36
3. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	41
3.1. Огляд технічних пропозицій для точного висіву кукурудзи та порівняльний аналіз типів привода висівних апаратів.....	41
3.2. Обґрунтування конструкції висівної секції з інтегрованими модулями Precision Planting.....	45
3.3. Технологічний та інженерний розрахунок параметрів швидкісного висіву системою SpeedTube.....	52
3.4. Розрахунок параметрів притискного зусилля інтелектуальної системи закриття борозни FurrowForce .....	55
3.5. Електричний розрахунок та баланс потужності електронних компонентів архітектури SRM сівалки.....	58
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	60
4.1. Аналіз стану охорони праці у виробничому підрозділі Новоставці та вимоги безпеки при експлуатації машинно – тракторних агрегатів.....	60
4.2. Пожежна безпека при використанні машинно – тракторних агрегатів у рослинництві.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	67

## ВСТУП

Технологічне оновлення агропромислового комплексу України та підвищення його конкурентоспроможності вимагають впровадження елементів точного землеробства й автоматизованих систем. Стрімкі кліматичні зміни, що супроводжуються тривалими весняними посухами та дефіцитом продуктивної вологи у верхніх горизонтах ґрунту, змушують аграріїв переглядати традиційні підходи до проведення посівної кампанії.

Кукурудза на зерно є стратегічною та високорентабельною культурою у вітчизняному рослинництві. Реалізація її генетичного потенціалу безпосередньо залежить від першого етапу онтогенезу – якості та точності укладання насіння в ложе борозни. Сучасні агротехнічні вимоги висувають жорсткі критерії до дотримання заданої норми висіву, просторової рівномірності розміщення насіння у рядку, стабільності глибини загортання та створення оптимального притискового зусилля, що виключає утворення повітряних кишень або переущільнення стінок борозни.

Більшість широкозахватних посівних комплексів, зокрема базова 16-рядна сівалка John Deere DB37, у заводському виконанні використовують класичні механічні або централізовані гідравлічні приводи висівних органів. За умов підвищення робочих швидкостей понад 8 –10 км/год ці системи через високу інерційність та кінематичні люфти спричиняють агротехнічний брак – появу «двійників» і пропусків. Це посилює внутрішньорядкову конкуренцію рослин за світло, вологу та живлення, знижуючи загальну продуктивність посіву.

У зв'язку з цим виникає технічна необхідність модернізації наявних посівних комплексів інноваційними системами від Precision Planting. Інтеграція індивідуальних електричних приводів vDrive, високошвидкісних конвеєрів доставки насіння SpeedTube та автоматизованих модулів контролю закриття борозни FurrowForce дозволяє перетворити стандартну посівну машину на інтелектуальний комплекс. Впровадження таких рішень забезпечує максимальну операційну ефективність, оптимізацію витрат дорогого посівного матеріалу та підвищення врожайності.

# 1. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОСІВНОЇ ТЕХНІКИ

## 1.1. Загальна характеристика підприємства Філія «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП»

Ефективне функціонування сучасного аграрного підприємства в умовах жорсткої ринкової конкуренції можливе лише за умови побудови чіткої організаційно – виробничої структури, яка спирається на високопродуктивний машинно – тракторний парк та інноваційні цифрові технології управління [8].

Базою для аналізу, розробки та впровадження проектно – конструкторських рішень у даній кваліфікаційній роботі є Філія «Рідний край» «Зернопродукт МХП». Підприємство повністю інтегроване у вертикально – орієнтовану структуру міжнародного агроіндустріального холдингу МХП, який займає лідируючі позиції у сфері птахівництва, м'ясопереробки та рослинництва в Україні та Східній Європі. Стратегічний вектор розвитку холдингу МХП базується на концепції «Digital Agriculture» – повному контролі кожного етапу виробництва за допомогою цифрових систем, супутникового моніторингу та автоматизованих систем виконавчих пристроїв.

Філія «Рідний край» розпочала свою активну господарську діяльність у 2010 році, об'єднавши навколо себе земельні паї кількох районів. Організаційно – адміністративний центр та центральна садиба підприємства територіально розташовані в селі Новоставці Хмельницького району Хмельницької області. З метою оптимізації логістичних маршрутів, раціонального розподілу техніки та оперативного управління великими масивами земель, територія філії розділена на два великі регіональні виробничі підрозділи (ВП): ВП Новоставці та ВП Квітневе. Загальний земельний банк, який знаходиться в довгостроковій оренді та безпосередньому обробітку філії, становить солідні 29 438 гектарів ріллі. Географічно посівні площі в межах Хмельницької та Тернопільської областей. Таке просторове розташування характеризується значною неоднорідністю

рельєфу, різноманітністю мікрокліматичних умов та ґрунтового покриву, Це формує додаткові труднощі для агрономічної та інженерно – технічної служб у процесі планування та організації польових робіт. Основним напрямом господарської діяльності рослинницької галузі філії «Рідний край» є високоінтенсивне вирощування зернових, зернобобових та технічних культур. У структурі посівних площ підприємства ключові позиції займають озима пшениця, кукурудза на зерно, озимий ріпак, соя високопротеїнових сортів та цукровий буряк. Поряд із рослинництвом, підприємство є потужним виробником продукції тваринництва, активно розвиваючи галузь молочного скотарства. На поточний операційний період загальна чисельність великої рогатої худоби у філії налічує 3 631 голову, з них 1 340 голів становить високопродуктивне дійне стадо, що характеризується високими показниками молочної продуктивності. Наявність тваринницького сектору суттєво впливає на структуру рослинництва: підприємство змушене вирощувати значні обсяги кукурудзи на силос, люцерни та однорічних трав для формування збалансованої кормової бази (силосу, сінажу). Це створює жорсткі часові рамки для проведення польових робіт, змушуючи інженерів мінімізувати терміни посіву зернової групи за рахунок підвищення продуктивності та швидкості роботи машинно – тракторних парку.

Технічна політика філії «Рідний край» сформована за принципом комплектування парку виключно сучасними енергонасиченими машинами і широкозахватними адаптерами світових брендів. Енергетичну основу важкого тракторного парку становлять гусеничні трактори *Challenger – MT 865* (потужністю понад 500 к.с.) та колісні трактори високих класів тяги *John Deere 8R* та *9R*. Для виконання операцій основного обробітку ґрунту, дискування та передпосівної культивуації використовуються комбіновані знаряддя від компаній *Horsch*, *Bednar* та *Amazone*. Обробіток посівних обслуговується високопродуктивними широкозахватними комплексами, серед яких ключове місце займає 16 – рядна просапна сівалка *John Deere DB37* з шириною міжрядь 70 см.

Для детального аналізу енергетичного та технологічного потенціалу виробничого підрозділу, нижче систематизовано технічні характеристики базових тракторів господарства, що забезпечують виконання всього спектра важких польових робіт (рис. 1.1, 1.2) (табл. 1.1, 1.2).



Рисунок 1.2 – Трактор John Deere 8R 410

Таблиця 1.2. – Технічні характеристики John Deere 8R 410

Параметр John Deere 8R 410	Значення
Виробник двигуна	John Deere
Модель двигуна	PowerTech PSS (об'єм 9,0 л, 6 циліндрів)
Потужність двигуна	302 кВт / 410 к.с.
Трансмсія	e23 PowerShift (з системою Efficiency Manager)
Передачі	23 вперед / 11 назад
Довжина	6610 мм
Максимальна швидкість	40 км/год
Ширина	3420 мм
Висота	3450 мм
Розмір задніх шин	710/70 R42
Вага	14 т



Рисунок 1.1 – Трактор гусеничний Challenger – МТ 865

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики Challenger – МТ865

Параметр Challenger МТ865	Значення
Виробник двигуна	Caterpillar
Модель двигуна	C18 Acert
Потужність двигуна	391,5 кВт/525 к.с.
Трансмісія	Caterpillar Powershift
Передачі	16 вперед/4 назад
Максимальна швидкість	40 км/год
Довжина	6850 мм
Ширина	3600 мм
Висота	3500 мм
Ширина гусениць	762 мм
Вага	21 т

Оскільки основним об'єктом модернізації у даному проєкті виступає посівний комплекс, що працює в зчипці з гусеничним енергозасобом, його вихідні інженерно – конструкторські параметри, на рисунку 1.3 та в таблиці 1.3.



Рисунок 1.3 – Широкозахватна причіпна просапна сівалка John Deere DB37

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики сівалки John Deere DB37

Параметр John Deere DB37	Значення
Тип посівної машини	Широкозахватна причіпна просапна сівалка
Кількість посівних рядків	16 шт.
Стабільна ширина міжряддя	70 см
Робоча ширина захвату	11,2 м
Конструкція робочої рами	Трисекційна, шарнірно – складана
Місткість центральних бункерів для насіння (CCS)	3520 літрів (2 бункери по 1760 л)
Об'єм бака для стартових рідких добрив РКД	1900 літрів
Конструктивний тип висівного апарату	Вакуумний апарат vSet 2
Кількість отворів на дозуючому диску кукурудзи	27 шт.

Продовження таблиці 1.3

Тип індивідуального привода дозуючих дисків	Електричний мотор постійного струму vDrive
Система примусової доставки насіння в борозну	Високошвидкісний елеватор SpeedTube
Система автоматизованого копіювання рельєфу	Гідравлічні циліндри DeltaForce з тензодатчиками
Конструкція закриття насінневої траншеї	Двоступеневий механічний модуль FurrowForce
Робочий тиск у вакуумній системі апарату	4,0 – 4,5 кПа
Робоча швидкість обприскування та посіву	12 – 15 км/год (зі SpeedTube)
Потреба в потужності двигуна трактора	від 280 до 350 к.с.

Проте, як показує детальний інженерний аналіз та внутрішня статистика експлуатації техніки у ВП Новоставці, базові механічні та гідравлічні вузли сівалки *John Deere DB37* при роботі на швидкостях понад 8 км/год починають обмежувати продуктивність всього гусеничного комплексу *Challenger*. Вони не дозволяють у повній мірі реалізувати завдання диференційованого посіву та автоматичного відключення секцій на клинах полів, які закладені в електронні контури цифрової екосистеми МХП. Це обумовлює необхідність виконання даного інженерного проекту з глибокої модернізації посівної техніки автоматизованих компонентами *Precision Planting*.

## 1.2. Характеристика дослідного «Поля 1» виробничого підрозділу Новоставці та аналіз умов вирощування кукурудзи

Експериментально – виробничі дослідження, а також безпосереднє технологічне та інженерно – економічне обґрунтування проекту модернізації робочих органів просапного посівного комплексу у даній роботі розглядаються на прикладі конкретного робочого масиву підприємства – «Поля 1», яке організаційно закріплене за виробничим підрозділом (ВП) Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП». Загальна фізична (корисна) площа дослідного масиву становить 168,85 гектара.

Завдяки багаторічній інтеграції цифрової телеметричної платформи *Climate FieldView*, *Geopard* та регулярному проведенню детального агрохімічного обстеження методом сіток (з відбором проб через кожні 5 га та GPS – прив'язкою точок), було встановлено, що дослідне характеризується високим рівнем неоднорідності за геоморфологічними ознаками рельєфу, механічним складом, вмістом доступних форм макроелементів та поточною вологозабезпеченістю ґрунтового профілю.

Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений переважно чорноземами глибокими малогумусними важкосуглинковими на лесових відкладах. Вміст органічної речовини (гумусу) у верхньому орному шарі (0...30 см) становить у середньому 3,2 – 3,8%, що є типовим та сприятливим показником для Західного Лісостепу України. Реакція ґрунтового розчину (водневий показник) є слабкислою або близькою до нейтральної (рН = 6,0...6,5). Проте, з інженерно – агрономічної точки зору, головною проблемою даного ґрунтового масиву є його висока схильність до швидкого переущільнення та утворення щільної «плужної підшви» на 28...32 см під дією систематичного проходу важких ґрунтообробних і посівних агрегатів.. Це призводить до порушення природного капілярного підняття вологи та суттєво обмежує вертикальний ріст кореневої системи кукурудзи в літній період.

Рельєф «Поля 1» має виражений хвилястий характер з наявністю складних геоморфологічних елементів: затяжних схилів крутизною від  $2^\circ$  до  $4^\circ$ , вододільних плато та замкнутих мікропонижень (так званих агрономічних «блюдець»). Загальний перепад висот над рівнем моря в межах цього єдиного масиву становить 14 метрів. Подібний неоднорідний топографічний профіль безпосередньо впливає на перерозподіл продуктивної вологи, швидкість водної ерозії на схилах та формування локальних мікрозон із різним рівнем потенційної родючості. Просторову цифрову модель рельєфу та векторний розподіл висот дослідного масиву «Поля 1» за результатами тривимірного сканування представлено на рисунку 1.4



Рисунок 1.4 – Цифрова карта рельєфу, експозиції схилів та висотного зонування дослідного поля.

Наявність виражених вододільних плато, ерозійно – небезпечних схилів крутизною понад  $3 - 5^\circ$  та наносних низин, що чітко візуалізуються на топографічній карті, обумовлює високу варіативність умов розвитку рослин кукурудзи

Аналіз історичних карт вегетаційного індексу NDVI та карт відносної врожайності минулих років, які акумулюються у хмарі *Climate FieldView*, Geopard чітко вказує на наявність трьох виражених мікрозон:

1. Зона змитих схилів (Ерозійна зона): Характеризується зменшеною товщиною гумусового горизонту, низьким вмістом вологи та підвищеною щільністю ґрунту. Через постійний стік опадів тут спостерігається хронічний дефіцит азоту та калію.
2. Зона плато (Стабільна зона): Має вирівняні показники родючості та середню вологозабезпеченість, де кукурудза розвивається за класичним сценарієм.
3. Зона наносних низин і мікрознижень (Акумуляційна зона): Відрізняється глибоким гумусовим шаром, високою концентрацією поживних речовин, але водночас є зоною підвищеного ризику тимчасового перезволоження та запливання ґрунту під час весняних дощів. Карта «здоров'я поля» рис.1.5



Рисунок 1.5 – Карта розподілу рівня біомаси (NDVI) дослідного поля у системі Climate FieldView

Така просторова диференціація робить традиційний посів із постійною нормою та фіксованим, статичним притискним зусиллям секцій абсолютно неефективним. При переході тракторного агрегату зі схилу в низину стандартні механічні пружини або не дотискають сошник сівалки (через що насіння лягає занадто мілко, у сухий комкуватий шар), або надмірно затискають його у перезволоженому ґрунті низини, створюючи ефект «загладжування» бічних

стінок борозни, які коріння кукурудзи після проростання не здатне пробити фізично.

Кліматичні умови зони розташування ВП Новоставці належать до Помірно теплого, вологого підрайону Лісостепу. Середньорічна кількість опадів становить 580 – 620 мм, проте за останні роки спостерігається нерівномірний їх розподіл із жорсткими посухами саме в період квітня та травня – під час посівної кампанії кукурудзи. Це ставить перед агрономічною та інженерною службою холдингу завдання оптимізації посівної секції сівалки для роботи на підвищених швидкостях, щоб встигнути провести посів у максимально стислі терміни, гарантуючи при цьому точне укладання кожної насінини у стабільний вологий шар ґрунту на глибину 5 – 6 см.

### **1.3. Біологічні особливості та аналіз потенціалу гібридів кукурудзи DKC3972 та AQ P8904**

Для досягнення максимальних показників операційної ефективності та валового збору зерна на полі, агрономічною та інженерною службами ПрАТ «Зернопродукт МХП» впроваджено практику диференційованого посіву передової світової генетики кукурудзи, адаптованої до умов Західного Лісостепу. У досліджуваному операційному сезоні 2025 року на полі висівалися два високотехнологічні гібриди: DKC3972 F1 (селекція *DeKalb Monsanto*) та AQ P8904 (інноваційна лінійка *AQUAmax* від компанії *Pioneer Corteva*). Обидва гібриди належать до середньоранньої та середньостиглої груп, адаптовані до цифрових технологій, але мають суттєві біологічні та морфологічні відмінності, що визначає специфіку їх точного висіву.

1. Гібрид кукурудзи DKC3972 (ФАО 300). Цей гібрид характеризується зубоподібним типом зерна, надзвичайно високою швидкістю вологовіддачі на заключних етапах дозрівання та потужною початковою енергією росту (*Vigor*), що дозволяє проводити посів при мінімально допустимих температурах ґрунту.

Це дозволяє збільшувати густоту посіву до 75 – 80 тис. рослин/га.

З погляду інженерно – технічного забезпечення посіву, насіння гібрида *DKC3972* проходить якісну заводську калібровку, проте форма зернівки є дещо асиметричною – плескатою та витягнутою. При використанні застарілих механічних пальцевих апаратів або стандартних вакуумних систем із жорсткими металевими виштовхувачами таке витягнуте насіння схильне до утворення «двійників». Дві вузькі насінини можуть одночасно присмоктатися до одного отвору висівного диска через надмірний вакуум. Це обґрунтовує необхідність переходу на вакуумні апарати нового покоління *vSet 2*, оснащені м'яким полімерним п'ятидольним виштовхувачем та сінгулятором, який делікатно скидає зайве зерно назад у камеру живлення.

## 2. Гібрид кукурудзи AQ P8904 (ФАО 280).

Насіння цього гібрида має правильну округлу, кулясту форму. Кругле і важке насіння вимагає створення підвищеного та стабільного рівня вакуумного розрідження у висівній камері сівалки для надійної фіксації на отворах диска під час руху комплексу по нерівностях рельєфу поля. Більше того, при падінні такого кулястого насіння через стандартну пластикову гравітаційну трубку на швидкості понад 10 км/год, воно через свою форму та вагу починає хаотично відбиватися від стінок сошника (ефект м'яча). Це призводить до повного руйнування розрахованого інтервалу розкладки насіння в рядку. Даний фактор зумовлює обов'язкове впровадження системи примусової доставки насіння стрічковим транспортером *SpeedTube*, де насінина затискається гумовими лопатками і доставляється на дно борозни без вільного падіння.

Під час фінального комбайнового обмолоту, який виконувався роторними машинами *New Holland CR9.80* наприкінці листопада 2025 року, обидва гібриди завдяки високій синхронності сходів сформували вирівняний качан та продемонстрували рекордно низьку збиральну вологість зерна на рівні 14%. Це дозволило ВП Новоставці відправити продукцію на елеватор без значних витрат на штучне термічне сушіння.

#### **1.4. Аналіз світового досвіду та технічних рішень модернізації посівних комплексів системами Precision Planting**

У сучасній світовій практиці сільськогосподарського машинобудування та агроінженерії підвищення якості роботи просапних посівних комплексів реалізується двома альтернативними шляхами. Перший шлях передбачає повну заміну наявного парку техніки на нові заводські посівні комплекси останнього покоління від провідних брендів (*John Deere, Kinze, Horsch, Great Plains*), що вимагає залучення колосальних капітальних інвестицій, які в умовах нестабільного макроекономічного стану аграрного сектору України мають тривалий термін окупності. Другий, більш раціональний та інженерно обґрунтований шлях, полягає в проведенні глибокої модернізації вже наявної в господарстві посівної техніки за допомогою інтеграції спеціалізованих автоматизованих та електронних систем від інноваційних компаній. Світовим лідером у сфері розробки таких технологій точного висіву є американська корпорація *Precision Planting*.

Традиційні широкозахватні сівалки, зокрема базова серія *John Deere DB*, які у своєму заводському виконанні виходили з конвеєра, тривалий час спиралися на класичні механічні архітектури. Привод висівних дисків у них здійснювався централізовано від опорно – приводних коліс або загального гідромотора через систему трансмісійних валів, ланцюгових передач, редукторів та сполучних муфт. Така схема має низку критичних конструктивних недоліків. По – перше, наявність великої кількості механічних пар тертя неминуче призводить до накопичення люфтів у ланцюгах та зносу зірочок, що викликає мікрозатримки та автоколювання висівного диска під час руху по нерівностях поля. Це є першопричиною хаотичного зсуву інтервалів між насінинами в рядку. По – друге, механічний або загальний гідравлічний привід фізично нездатний забезпечити індивідуальне рядкове регулювання норми висіву та миттєве відключення окремих секцій при переході на клини поля, розворотні смуги чи зони перекриттів, що спричиняє перевитрату дорогого насінневого матеріалу

кукурудзи та формування зон критичного загущення.

Компанія *Precision Planting* пропонує концепцію поглибленої рядової модернізації, яка інтегрується безпосередньо на раму практично будь – якої класичної просапної сівалки. Світовий досвід експлуатації та численні дослідження в агрокліматичних зонах Північної та Південної Америки, а також у Європі довели, що модернізація посівної секції автоматизованими компонентами повністю руйнує обмеження класичних гравітаційних сівалок, розділяючи процес сівби на чотири автономні, але синхронізовані рівні цифрового контролю:

1. Електронно – вакуумне дозування (Висівний апарат *vSet 2* + електромотор *vDrive*). Замість механічних висівних апаратів, інженери *Precision Planting* розробили полімерний висівний апарат *vSet 2*. Завдяки унікальній геометрії внутрішньої камери та застосуванню плаваючого п'ятидольного дискового виштовхувача (скидача двійників), система забезпечує рівень сингуляції (поштучного розділення насіння) на рівні 99,2 – 99,8%, незалежно від фракції, форми чи маси 1000 насінин кукурудзи. Інтегрований індивідуальний електропривід *vDrive* є мотором постійного струму, який закріплений безпосередньо на корпусі кожного апарату *vSet 2*. Електронний контролер секції щомиті зчитує реальну швидкість руху конкретного рядка через GPS/радарних датчиків коригуючи частоту обертання висівного диска. Це дозволяє повністю компенсувати кутові швидкості крил сівалки *John Deere DB37* під час виконання криволінійних маневрів на «Полі 1», усуваючи проблему загущення внутрішнього радіуса та зрідження зовнішнього радіуса розвороту.
2. Примусова високошвидкісна конвеєрна доставка (Система *SpeedTube*). У класичній конфігурації сівалки насінина після скидання з диска падає на дно борозни через пластикову трубку під дією сили тяжіння (гравітації). При цьому швидкість вільного падіння насінини становить близько 3 – 4 м/с. Якщо трактор рухається зі швидкістю понад 8 – 9 км/год, швидкість руху сошника відносно землі стає значно вищою за швидкість падіння насіння. При вильоті

з трубки насінина отримує сильний горизонтальний кінематичний імпульс, починає хаотично відбиватися від стінок висівної трубки (ефект рикошету) що впливає на рівномірність розкладки насіння повністю руйнуючи задану розкладку. Модуль *SpeedTube* повністю ліквідує гравітаційний фактор. Він являє собою компактний вертикальний елеватор, всередині якого обертається нескінченна еластична стрічка з гумовими лопатками. Насінина, скинута диском *vSet 2*, відразу захоплюється лопатками, які примусово і контрольовано супроводжують її до самого низу борозни. Швидкість обертання стрічки динамічно синхронізована зі швидкістю руху трактора таким чином, що лінійна швидкість вильоту насінини назад чітко дорівнює поступальній швидкості руху агрегату вперед. Завдяки цьому досягається так звана «нульова відносна швидкість» – насінина лягає у ґрунт наче в нерухомому стані, без найменшого кочення чи рикошету, що дозволяє безпечно підняти робочу швидкість посівного комплексу з 8 до 14 – 16 км/год без втрати агротехнічної якості. Наочне підтвердження технологічної переваги примусового супроводження насінини над класичним гравітаційним методом за умов високошвидкісних режимів роботи МТА представлено на рисунку 1.6



**SpeedTube, 15 км/год**



**Стандартний насіннепровід 15 км/год**

Рисунок 1.6 – Стан посівів кукурудзи із системою примусового супроводження *SpeedTube* та із стандартним гравітаційним насіннепроводом

3. Автоматизоване гідравлічне копіювання рельєфу (Система *DeltaForce*). Традиційні механічні пружини або пневматичні подушки загального контуру діють на секцію сівалки зі статичним зусиллям. Для розуміння конструктивних

передумов переходу до інтелектуальних виконавчих механізмів, на рисунку 1.7 наведено порівняльний аналіз еволюції систем регулювання притискного зусилля просапних посівних комплексів від класичних механічних варіантів до систем динамічного копіювання.



Рисунок 1.7 – Конструктивна еволюція систем регулювання притискного зусилля посівних секцій

Проте, через неоднорідність «Поля 1» (наявність змитих твердих схилів та пухких низин) опір ґрунту постійно змінюється. На твердому субстраті пружина не може заглибити сошник (насіння лягає мілко, у суху зону), а на м'якому – секція провалюється занадто глибоко, надмірно ущільнюючи ложе опорними колесами. Система *DeltaForce* замінює пружини індивідуальними двосторонніми гідроциліндрами на кожній секції, які працюють у парі з тензометричними датчиками ваги (*Load Cell*). Датчик що секунди понад 200 разів вимірює залишкове зусилля на опорних колесах секції. Коли система фіксує, що сошник зустрів тверду ділянку і починає вимілюватися, гідророзподільник миттєво подає тиск у верхню порожнину циліндра (зусилля дотискання до 290 кг). При переході на м'який ґрунт тиск подається у нижню порожнину (функція полегшення секції), що гарантує ідеальну, абсолютно однакову глибину закладання всього масиву насіння по всій площі поля. Конструктивне виконання виконавчого гідроциліндра прецизійного дотискання, який монтується на паралелограмну підвіску кожної секції сівалки John Deere DB37 замість штатних пружин, представлено на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Виконавчий двосторонній гідроциліндр автоматизованої системи динамічного копіювання рельєфу DeltaForce

4. Інтелектуальне двоступеневе закриття борозни (FurrowForce). Завершальним етапом посіву є закриття насінневої траншеї. Звичайні V – подібні чавунні або гумові колеса часто просто притискають ґрунт зверху, створюючи над насінною щільну кірку, під якою, через неповне сходження стінок борозни, залишаються повітряні порожнечі де накопичується цвіль, а корінь не знаходить опору. Модуль *FurrowForce* діє за принципом повноцінного двоступеневого контролю. Перша пара зубчастих дискових коліс під кутом підрізає та руйнує бічні стінки борозни, повністю загортаючи насінину пухким, вологим ґрунтом з придонного шару. Друга пара гладких ущільнюючих коліс, яка працює під контролем індивідуального пневмоциліндра, завершує процес, ущільнюючи верхній шар із заданим притиском. Це повністю ліквідує повітряні кишені та забезпечує швидке відновлення капілярного підняття вологи з глибоких горизонтів ґрунту до насінини.

Глобальний аналіз впровадження систем від *Precision Planting* в аналогічних великих агрохолдингах світу (США, Бразилія, країни ЄС) переконливо свідчить, що окупність інвестицій у модернізацію настає під час першої посівної кампанії. Економічний ефект досягається за рахунок трьох факторів: економії насіння на клінах (до 5 – 7%), підвищення продуктивності МТА та скорочення строків посіву на 35 – 40%, а також отримання абсолютно синхронних, дружніх сходів (в межах 24 годин), що трансформується в додаткову прибавку валового збору кукурудзи в розмірі від 0,6 до 1,4 тонни з гектара.

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Аналіз технології і організації вирощування кукурудзи в умовах виробничого підрозділу Новоставці

Сучасне високоефективне рослинництво в структурі такого великого вертикально – інтегрованого холдингу, як МХП, базується на жорсткому дотриманні науково обґрунтованих технологічних регламентів, де кожен елемент – від чергування культур у просторі й часі до систем живлення й хімічного захисту – підпорядкований єдиній меті: одержанню максимального виходу високоякісної продукції з одиниці площі при мінімальній собівартості. В умовах виробничого підрозділу (ВП) Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП» кукурудза на зерно виступає однією з найголовніших культур інтенсивного типу, що вимагає залучення потужного машинно – тракторного парку та передових автоматизованих рішень.

Основою для розробки та аналізу операційних процесів у цьому проєкті є фактичні дані, отримані з цифрової телеметричної платформи *Climate FieldView* по дослідному масиву «Поля 1» (площа 168,85 га) за трирічний період. Аналіз структури землекористування та чергування культур на даній площі виявив наступну схему трипільної сівозміни, адаптованої до умов Західного Лісостепу:

- 2023 рік: Кукурудза на зерно (базовий сезон із монокультурою);
- 2024 рік: Соеві боби (високотехнологічна бобова культура – попередник);
- 2025 рік: Кукурудза на зерно (досліджуваний виробничий сезон із впровадженням диференційованого швидкісного висіву).

Розміщення кукурудзи у весняний період 2025 року після соєвих бобів є агрономічно та інженерно обґрунтованим кроком спеціалістів ВП Новоставці. З біохімічної та ґрунтово – кліматичної точок зору, соя виступає одним із найкращих попередників для просапних зернових культур. Завдяки життєдіяльності бульбочкових бактерій на кореневій системі сої, у ґрунті фіксується значна кількість атмосферного азоту, який після мінералізації

рослинних решток переходить у доступні для кукурудзи ( $NO_3^-$ ) та амонійну ( $NH_4^+$ ) форми в обсязі 60 – 80 кг/га діючої речовини.

Це дозволяє суттєво знизити дози стартового хімічного азоту під час весняного внесення та зменшити загальні витрати підприємства на закупівлю мінеральних добрив. Крім того, стрижневий корінь сої проникає у глибокі шари ґрунту, руйнуючи щільні горизонти та залишаючи після відмирання систему мікрокапілярів. Це значно покращує аерацію, водовбиральну здатність та структурно – агрегатний стан вилугованого чорнозему «Поля 1», створюючи ідеальні умови для швидкого розростання мичкуватого коріння кукурудзи.

Календарні строки проведення посівної кампанії у 2025 році на дослідному полі, зафіксовані датчиками трактора Challenger, припали на період з 21.04.2025 22.04.2025 року. Посів у ці дати повністю відповідав агротехнічним вимогам, оскільки температура ґрунту на глибині загортання насіння (5...6 см) стабілізувалася на позначці +9...+11С. Операція виконувалася надпотужним енергонасиченим машинно – тракторним агрегатом у складі гусеничного трактора Challenger – МТ 865 та 16 – рядної сівалки точного висіву John Deere DB37 із шириною міжрядь 70 см. Густану фактичного посіву показано на рис. 2.1



Рисунок 2.1 – Картограма фактичної густоти посіву кукурудзи на «Полі 1» у системі Climate FieldView

У процесі проходу МТА на полі здійснювався диференційований посів середньостиглого гібрида ДКС3972 та посухостійкого гібрида АQ Р8904 із середньою встановленою нормою висіву 0,95 посівних одиниць на гектар (що відповідає густоті близько 75 – 76 тис. насінин/га). Одночасно з укладанням насіння в борозни, конструкція сівалки забезпечувала точне локальне припосівне внесення рідких комплексних добрив (РКД) власного виробництва холдингу МХП марки NPK 4:14:3 з питомою нормою 0,059 т/га (59 кг/га).

Перехід від сухих гранульованих добрив до рідких стартових РКД є важливою особливістю технології МХП. У посушливих умовах весни сухі гранули амофосу чи нітроамофоски довго розчиняються в ґрунті, поглинаючи дефіцитну вологу з насінневого ложа. Натомість рідкі РКД марки NPK 4:14:3 вже перебувають у стані готового розчину. Система Conceal з дозуючим витратоміром *vApplyHD*, інтегрована на сівалку *John Deere DB37*, через спеціальні форсунки подавала рідкі добрива точним стрічковим способом на відстань 5 см вбік від насінини та на 5 см глибше її залягання (технологія «5x5»). Це гарантувало миттєвий доступ молодій кореневої системи до легкозасвоюваних ортофосфатів навіть за умов весняного похолодання, коли засвоєння фосфору з твердого ґрунту блокується біологічно.

Важливим етапом організації виробництва на полі став комплексний хімічний захист посівів кукурудзи від бур'янового компонента, який здійснювався високопродуктивними самохідними обприскувачами з нормою виливу робочого розчину 100 – 200 л/га. Внесення досходового (ґрунтового) гербіциду виконував самохідний обприскувач *John Deere M4040*. Для забезпечення високої точності дозування робочого розчину та мінімізації його знесення вітром, обприскувач було попередньо відкалібровано інженерною службою. Технічні характеристики та загальний вигляд самохідної машини, що забезпечувала хімічний захист дослідного поля, представлено на рисунку 2.2 та в таблиці 2.2



Рисунок 2.2 – Самохідний обприскувач John Deere M4040

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики обприскувача John Deere M4040

Параметр John Deere M4040	Значення
Потужність двигуна номінальна	205 кВт (275 к.с.)
Потужність двигуна максимальна	224 кВт (300 к.с.)
Об'єм бака для розчину	4000 л (1056 гал.)
Об'єм промивного бака	400 л (105 гал.)
Довжина штанги	27.4 – 36.6 м (90 – 120 футів)
Швидкість обприскування	0 – 32,0 км/год (0 – 20 миль/год)
Транспортна швидкість	48,0 км/год (30 миль/год)
Підвіска	Незалежна пневматична з автоматичним вирівнюванням
Кліренс	170,0 см (67 дюймів)
Вага (без розчину)	12 100 кг (26 675 фунтів)
Об'єм паливного бака	379 л (100 гал.)
Тип двигуна	6.8 л, PowerTech Plus
Кількість циліндрів	6
Тип трансмісії	Гідростатична, постійний повний привід 4WD
Матеріал бака	Нержавіюча сталь
Матеріал штанги	Сталь або вуглецеве волокно (карбон)

Який би стримував першу потужну хвилю однорічних злакових та деяких дводольних бур'янів, було застосовано базовий гербіцид Айдахо (концентрат суспензії) з нормою 2 л/га.

Оскільки вода у водоймах Хмельницької області часто характеризується підвищеною жорсткістю та лужною реакцією (що призводить до швидкого лужного гідролізу та зниження ефективності діючих речовин пестицидів), в бак обприскувача обов'язково додавали спеціалізований кондиціонер води та поверхнево – активну речовину Текнофіт рН+ з нормою 0,05 л/га. Текнофіт рН+ миттєво підкислював робочий розчин до оптимального рівня рН 5,5 – 6,0, зв'язував солі жорсткості (кальцій, магній) та суттєво знижував поверхневий натяг крапель, забезпечуючи ідеальне покриття та фіксацію препарату на поверхні ґрунту.

Подальші операції з внесення страхових післясходових гербіцидів у фазу 3 – 5 листків кукурудзи здійснювалися за допомогою нового самохідного обприскувача John Deere 412R, що дозволило повністю ліквідувати загрозу забур'яненості посівів.

Сучасна концепція хімічного захисту посівів у виробничому підрозділі передбачає використання високотехнологічних висококліренсних машин нового покоління. Потужною альтернативою та перспективним технічним рішенням для внесення розчинів рідких мінеральних добрив і засобів захисту рослин на великих площах є самохідний обприскувач John Deere 412R, обладнаний інтелектуальними системами дозування ExactApply. Повний перелік інженерно – технічних показників вузлів та систем даного обприскувача наведено в таблиці 2.3 та на рисунку 2.3



Рисунок 2.3 – Самохідний обприскувач John Deere 412R

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики самохідного обприскувача John Deere 412R

Параметр самохідного обприскувача John Deere 412R	Значення
Виробник двигуна	John Deere
Модель та робочий об'єм двигуна	PowerTech PSS (9,0 л, 6 – циліндровий, турбонадув)
Номінальна потужність двигуна	266 кВт / 326 к.с. (максимальна до 357 к.с.)
Екологічний стандарт двигуна	Tier 4 Final / Stage V
Тип силової трансмісії та привода	Інтелектуальна гідростатична CommandDrive™ (постійний повний привід 4WD з протибуксувальною системою)
Об'єм основного бака для розчину	4542 л (1200 галонів)
Конструктивна довжина робочої штанги	До 40,23 м (сталь або вуглецеве волокно / карбон)
Робоча швидкість руху в полі (максимальна)	До 40,2 км/год (25 миль/год)
Транспортна швидкість переміщення	До 56,3 км/год (35 миль/год)
Агротехнічний провіт (кліренс рами)	152,0 см
Бортова система навігації та автоматизації	Інтегрований приймач StarFire 7000 (SF – RTK), дисплей Gen 4 4600 CommandCenter
Конструкційна (експлуатаційна) вага агрегату	14,21 т

Завдяки впровадженню трансмісії CommandDrive™ обприскувач забезпечує економію пального до 20% порівняно з машинами попередніх серій за рахунок автоматичного регулювання обертів двигуна залежно від рельєфу поля та умов руху МТА.

Завдяки чіткому узгодженню інженерних та агрономічних процесів у ВП Новоставці, а також постійному цифровому контролю через інтерфейс *Climate FieldView*, посіви кукурудзи сформували абсолютно вирівняний, синхронний стеблостій. Це заклало міцну основу для проведення успішного прямого комбайнування роторними комбайнами *New Holland CR9.80* наприкінці листопада 2025 року, де зафіксована базова вологість зерна склала рекордно низькі 14%, повністю виключивши потребу у додатковому енергомісткому сушінні. Показано на рисунку 2.4 врожайності зерна кукурудзи.



Рисунок 2.4 – Карта фактичної врожайності зерна кукурудзи за результатами автоматизованого моніторингу комбайнів.

Процес прямого комбайнування та технологічного обмолоту здійснювався за допомогою двороторних зернозбиральних машин, які дозволяють зберегти

цілісність зернівки кукурудзи та забезпечують мінімальний рівень мікропошкоджень ендосперму. Загальний вигляд та інженерні параметри комбайна наведено нижче (рисунок 2.5, таблиця 2.5).



Рисунок 2.5 – Роторний зернозбиральний комбайн New Holland CR9.80

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики комбайна New Holland CR9.80

Параметр New Holland CR9.80	Значення
Тип комбайна	Зернозбиральний комбайн з роторною системою обмолоту
Двигун	FPT Cursor 13
Потужність	517 к.с. (Макс. 571 к.с.)
Об'єм двигуна	12,9 л
Система обмолоту	Дворорна Twin Rotor
Ширина ротора	559 мм
Об'єм зернового бункера	12 500 літрів
Продуктивність зернового шнеку	126 л/с
Максимальна швидкість	30 км/год.
Тип трансмісії	Гідростатична, 4 – швидкісна
Система очищення	Трикаскадна Triple – Clean та активне решето
Система управління	Автоматизована, з моніторингом IntelliView IV

## 2.2. Обґрунтування технологічних вимог та оцінка якості посіву кукурудзи

Проектування та комплексний розрахунок технологічних параметрів посіву кукурудзи в умовах ВП Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП» є найважливішим етапом оптимізації використання машинно – тракторного парку. Раціональна побудова процесу дозволяє мінімізувати питомі витрати палива енергетичним засобом, скоротити до мінімуму коефіцієнт холостих ходів, оптимізувати логістичні потоки постачання технологічних матеріалів (насіння, рідких добрив) та забезпечити бездоганне виконання агротехнічних вимог щодо строків та якості сівби кукурудзи на полі .

Для забезпечення глибокого системного аналізу взаємозв'язку між нормою висіву та кінцевою продуктивністю посіву в умовах господарства використовується функціонал синхронного аналізу електронних карт у системі точного землеробства. Це дає змогу зіставити планові завдання диференційованого висіву з фактичною розкладкою насіння на полі. (рис. 2.6).

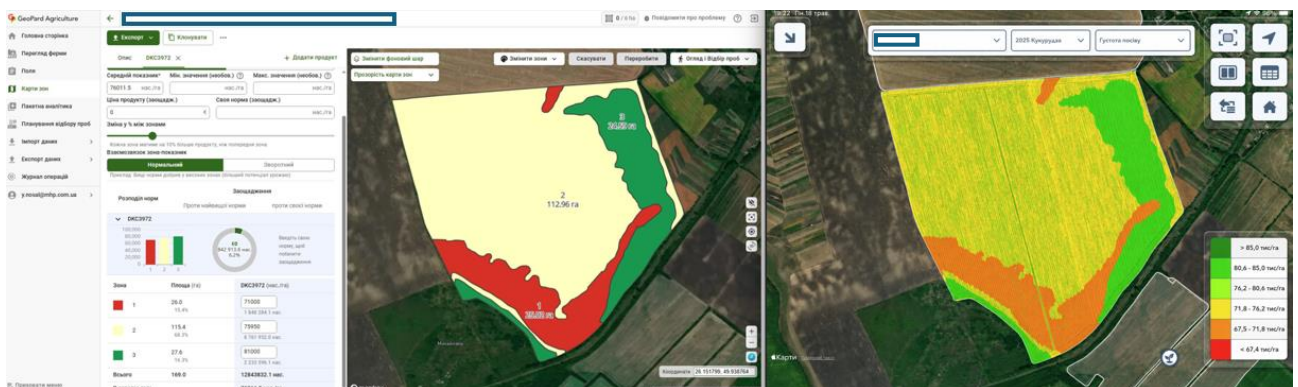


Рисунок 2.6 – Проектована карта завдань диференційованого висіву в системі GeoPard та фактична карта дотримання густоти посіву гібридів кукурудзи в Climate FieldView

Комплексне зіставлення зонованої густоти посіву та фактичних показників урожайності кукурудзи на зерно в інтерфейсі платформи Climate FieldView (рисунок 2.7) дозволяє чітко відстежити та проаналізувати вплив технологій точного землеробства на фінальну врожайність культури



Рисунок 2.7 – Порівняння зонованої густоти посіву та фактичних показників урожайності кукурудзи на зерно в інтерфейсі платформи Climate FieldView

Основою для аналізу та налаштування технологічного процесу у цьому проекті є дані, отримані з цифрової платформи Climate FieldView. Для підтримки високої якості сівби, мінімізації відсотка пропусків чи двійників насіння, у ВП Новоставці впроваджуються суворі технологічні вимоги на всіх етапах роботи МТА. Комплексна система оцінки якості для умов дослідного поля структурована за трьома класичними етапами:

1. Вхідний технологічний контроль (виконується до початку польових робіт):

- **Посівний матеріал:** контроль вологості, чистоти та калібрування насіння кукурудзи за даними лабораторних аналізів підприємства. Лабораторна схожість має становити не менше 95% за повної відсутності сторонніх домішок. Контроль покладається на головного агронома та інженера з якості перед засипанням кожної партії у бункери сівалки.
- **Цифрові карти – завдання:** 100% верифікація просторових контурів та диференційованих норм висіву, розроблених у програмі GeoPard. Файли завдань експортуються в бортовий комп'ютер Precision Planting 20/20 SeedSense інженером – програмістом точного землеробства перед виїздом МТА в поле.

2. Поточний контроль параметрів (здійснюється безпосередньо у процесі сівби):

- Швидкісний режим руху МТА: утримання стабільної робочої швидкості гусеничного агрегату на рівні 12,0 км/год (із конструктивно допустимим коливанням у межах 10,5...13,0 км/год). Контроль здійснюється безперервно за допомогою супутникової навігації GPS та радара швидкості з виведенням даних у реальному часі на екран монітора, де відповідальними є тракторист – машиніст та диспетчер філії. Фактичний просторовий розподіл швидкісних режимів руху посівного агрегату John Deere DB37 на площі дослідного масиву, зафіксований бортовими датчиками, наведено на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Карта робочої швидкості руху посівного агрегату John Deere DB37

- Глибина закладання насіння: стабільне утримання параметрів в межах 5,0...6,0 см з максимальним відхиленням не більше  $\pm 0,5$  см. Контроль виконується в автоматичному режимі бортовою системою DeltaForce (частота опитування тензодатчиків становить 200 Гц).
- Показник сингуляції висіву: мінімально допустимий рівень якісного поштучного розподілу насіння становить 99,0% (при цьому частка «двійників» не повинна перевищувати 0,5%, а пропусків – менше 0,5%).

Облік ведеться в реальному часі за допомогою радіочастотних тривимірних датчиків waveVision із відображенням поточної інформації на екрані монітора в кабіні трактора.

- Стан закриття борозни та притискне зусилля: автоматичний контроль за допомогою модулів DeltaForce та двоетапних коліс FurrowForce для ліквідації повітряних кишень навколо насінневого ложа та усунення ефекту «зависання» сошника. Технічний нагляд здійснює тракторист – машиніст за графічними індикаторами монітора.
- Внесення рідких добрив: контроль за нормою внесення стартових РКД на рівні 80 л/га (допустиме відхилення  $\pm 5\%$ ) за електронними витратомірами посівного комплексу.

3. Приймальний контроль якості (виконується після завершення технологічної операції):

- Геометричні параметри міжрядь: контроль ширини міжрядь (норма 70 см  $\pm$  см) та стикових міжрядь (норма 70 см  $\pm$  3 см) за допомогою вимірювальної рулетки вибірково в 3 – 5 місцях по діагоналі поля агрономом філії.
- Фінальна густота посіву: досягнення планових показників 75...76 тис. рослин/га відповідно до встановлених зон диференційованого висіву. Контроль здійснюється на основі автоматичних звітів платформи Climate FieldView та польового підрахунку сходів кукурудзи після повної появи сходів головним агрономом та обліковцем.

Впроваджені технологічні вимоги та комплексна система оцінки якості дозволяють повністю ліквідувати ризики виникнення технологічних збоїв, оптимізувати витрати палива енергетичного засобу Challenger – MT 865 та забезпечити дружню, синхронну появу сходів кукурудзи у ВП Новоставці.

### 2.3. Кінематичний розрахунок, оцінка продуктивності та балансу часу зміни посівного комплексу

Обґрунтування кінематичних параметрів робочої ділянки та руху МТА. Дослідне поле виробничого підрозділу Новоставці має корисну площу 168,85 га та конфігурацію, наближену до витягнутого прямокутника із середньою довжиною робочого гону  $L_{\text{гон}} = 1650$  м. Для забезпечення максимальної продуктивності широкозахватного гусеничного агрегату у складі трактора Challenger – МТ 865 та 16 – рядної сівалки John Deere DB37 (ширина захвату)  $B = 11,2$  м. обґрунтовано застосування човникового способу руху з грушоподібними відкритими розворотами на поворотних полосах.

Розрахуємо мінімально необхідну довжину виїзду агрегату ( $l$ , м) за межі контрольної лінії поля, яка гарантує повний вихід заднього закриваючого модуля сівалки FurrowForce з борозни перед початком виконання маневру розвороту. При кінематичній довжині трактора з причепом  $l_a = 12,3$  м. Довжина виїзду дорівнює:

$$l = 0,5 \times l_a = 0,5 \times 12,3 = 6,15 \text{ м.}$$

Мінімальний радіус повороту МТА за умов безпечної експлуатації широкозахватних гідрофікованих рам сівалок John Deere  $R_0 = 8,5$  м. На основі цих даних означимо повну довжину холостого розвороту агрегату при переході на наступний суміжний прохід ( $L_{\text{xx}}$ , м) за кінематичною формулою:

$$L_{\text{xx}} = 4 \times R_0 + 2 \times l, \quad (2.1)$$

$R_0$  – мінімальний радіус повороту машинно – тракторного агрегату за умов безпечної експлуатації гідрофікованих рам, м ( $R_0 = 8,5$  м).

$l$  – довжина виїзду агрегату за межі робочої лінії поля, м.

$$L_{\text{xx}} = 4 \times 8,5 + 2 \times 6,15 = 34 + 12,3 = 46,3 \text{ м.}$$

Ширина поворотної смуги ( $E$ , м), яка повинна бути попередньо відбита та засіяна в останню чергу (поперек основних загонів), визначається з умов

безпечного маневрування гусеничного комплексу без критичного зсуву верхньої кулі ґрунту:

$$E = 3 \times R_0 + l \quad (2.2)$$

$E$  - ширина поворотної смуги поля, необхідна для безпечного маневрування без зсуву верхнього шару ґрунту, м.

$R_0$  - мінімальний радіус повороту агрегату, м.

$l$  - довжина виїзду агрегату, м.

$$E = 3 \times R_0 + l = 3 \times 8,5 + 6,15 = 25,5 + 6,15 = 31,65 \text{ м.}$$

З урахуванням кратності ширини захвату сівалки ( $B = 11,2 \text{ м}$ ), залишково приймаємо конструктивну ширину поворотної смуги, рівну трьом проходкам посівного комплексу:

$$E_{\text{прийнято}} = 3 \times B = 3 \times 11,2 = 33,6 \text{ м.}$$

$E_{\text{прийнято}}$  - остаточна конструктивна ширина поворотної смуги, узгоджена з габаритами заліза, м.

Для верифікації теоретичних кінематичних розрахунків та просторової оптимізації руху МТА, інтегровано дані спеціалізованого планування маршрутів ("Posiv\_AB"). Відповідно до згенерованого цифрового плану для контурів поля, оптимальний азимутальний напрямок руху агрегату становить  $165^\circ$ , що дозволяє розбити масив на 120 послідовних робочих проходів при стабільній ширині захвату комплексу 11,2 м (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – План траєкторії руху посівного МТА ("Posiv\_AB").

Загальна протяжність холостих маневрів на поворотних полосах за грушоподібною траєкторією оптимізована навігаційною системою до значення 5,85 км, тоді як сумарний корисний робочий хід сошників становить 151,88 км.

Розрахунок експлуатаційної продуктивності посівного комплексу. Завдяки модернізації висівних секцій швидкісними елеваторами SpeedTube, робоча швидкість руху гусеничного агрегату була безпечно збільшена до  $V_p = 12$  км/год. Чиста годинна теоретичної продуктивності посівного комплексу ( $W_r$ , Га/год) визначається за формулою:

$$W_r = 0,1 \times B \times V_p \times \tau, \quad (2.3)$$

$W_r$ - чиста годинна експлуатаційна продуктивність агрегату, га/год.

$B$  - ширина захвату сівалки, м.

де  $\tau$  – коефіцієнт використання робочої години зміни, що враховує витрати години на розвороти, щозмінне ТО та зупинки для технологічної заправки бункерів насінням кукурудзи та баків рідкими добривами РКД ( $\tau = 0,82$ ).

$$W_r = 0,1 \times 11,2 \times 12 \times 0,82 = 11,02 \text{ га/год.}$$

Проте, при розрахунку реального треку руху в системі цифрового моделювання, яка враховує складну геометричну конфігурацію країв поля, звуження масиву та кутове уповільнення важкого трактора під час виконання розворотів, середня експлуатаційна продуктивність становить 9,28 га/год. Змінна продуктивність МТА за умов тривалості однієї робочої зміни  $T_{зм} = 10$  год складати:

$$W_{зм} = 9,28 \times 10 = 92,8 \text{ га/зміну.}$$

Інженерний баланс часу зміни та аналіз цифрового маршруту. Відповідно до підтверджених телеметричних даних цифрового проекту посіву, повний баланс години на повне закриття всього масиву поля площею 168,85 га становить 18 годин 12 хвилин (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Дані моніторингу про витрати часу та точність розміщення під час цифрового посіву кукурудзи.

Категорія	Параметр	Значення
1. Часові витрати зміни	Загальна година на повне закриття поля	18 год.12 хв
	Чистий ходовий час корисного висіву	17 год.10 хв
	Час на виконання поворотів та маневрів	1 год. 2 хв
2. Лінійний пробіг агрегату	Загальний технологічний шлях комплексу	157,73 км
	Довжина робочих гонів із заглибленим сошником	151,88 км
	Шлях переїздів на поворотній смузі	5,85 км
	3. Точність просторового покриття	Загальна область технологічних перекриттів
	Пропущена (незасіяна) зона масиву поля	0,06га

З аналізу ходових метрик системи "Posiv\_AB" видно, що чиста година безпосереднього корисного висіву становить 17 годин 10 хвилин, а година на

виконання неробочих маневрів розвороту – 1 годину 2 хвилини. Область технологічних перекриттів на складних клинах поля завдяки автоматичному порядковому відключенню секцій електроприводами vDrive мінімізована до 1,31 га, а пропущені зони становлять лише 0,06 га, що підтверджує високу інженерну точність впроваджуваного комплексу точного землеробства.

Для детального аналізу використання години безпосередньо в процесі виробництва, структуру однієї стандартної 10 – годинної зміни ( $T_{зм} = 600$  хв) деталізовано у вигляді балансу години зміни (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Баланс часу робочої зміни посівного МТА  
Challenger – MT 865 + John Deere DB37

Елемент балансу часу зміни	Позначення	Розрахункова формула / обґрунтування	Значення, хв	Частка від $T_{зм}$ , %
Час чистої роботи	$T_p$	$T_{зм} \times \tau = 600 \times 0,82$	492	82,0
Час холостих розворотів	$T_{хх}$	На основі розрахунку траєкторії та кількості маневрів	34	5,7
Час технологічного обслуговування	$T_{тех}$	Заправка насіння та РКД автомобілем із гідрошнеком (3 заправки по 12 хв)	36	6,0
Час щозмінного ТО та підготовки	$T_{то}$	Очищення посівних дисків, щодобовий технічний огляд комплексу	38	6,3
Загальний час зміни	$T_{зм}$	$T_p + T_{хх} + T_{тех} + T_{то}$	600	100,0

Таким чином, розрахована структура часового балансу та параметри кінематики посівного МТА забезпечують стабільне виконання робіт у стислі агротехнічні строки, оптимізують логістику технологічного завантаження посівного матеріалу й добрив та максимізують коефіцієнт використання технічного потенціалу модернізованої системи *Precision Planting*.

### 3. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Огляд технічних пропозицій для точного висіву кукурудзи та порівняльний аналіз типів привода висівних апаратів

У сучасному агроінженерному секторі якість розкладки насіння просапних культур, рівномірність отримання сходів та формування оптимальної архітекτονіки майбутнього стеблостою є головними факторами, що визначають біологічну та економічну ефективність вирощування кукурудзи на зерно. Однією з ключових технологічних операцій у рослинництві є сівба, а її якість безпосередньо залежить від конструктивного виконання та типу привода висівних апаратів посівного комплексу.

Історично широкозахватні просапні сівалки, які експлуатувалися в аграрному секторі, зокрема базова серія *John Deere DB*, використовували механічні або централізовані гідравлічні системи приводів висівних робочих органів. Проте в умовах інтенсивного виробництва холдингу МХП та при переході до високошвидкісних режимів роботи (понад 14 – 16 км/год) ці системи виявляють ряд критичних конструктивних та експлуатаційних недоліків, які обмежують продуктивність усього машинно – тракторного агрегату.

1. Механічний привід висівних апаратів (ланцюгово – валові передачі). Цей тип привода є класичним і базується на передачі крутного моменту від опорно – привідних коліс сівалки або від центрального приводного вала через систему механічних передач. Кінематична схема такого привода є надзвичайно складною і громіздкою. Вона включає центральну коробку передач (ступінчастий редуктор), довгі повздовжні та поперечні приводні вали, кутові конічні редуктори, приводні зірочки секцій та протяжні ланцюгові контури.

Головним недоліком механіки є висока інерційність та накопичення сумарного люфту в кожному з'єднанні. При експлуатації сівалки на полях із нерівним мікрорельєфом виникають постійні вертикальні та горизонтальні автоколивання рами. Ці коливання спричиняють динамічні ривки ланцюга (ефект

«биття» ланцюга), що призводить до нерівномірного, імпульсного обертання висівного диска. Як наслідок, виникає серйозне порушення інтервалів між насінинами в рядку, з'являються пропуски та двійники (сингуляція падає нижче 92 – 93%). Окрім цього, механічний привід не дозволяє реалізувати диференційований висів за картами завдань та потребує ручного налаштування норми висіву шляхом перестановки зірочок у коробці передач. Механічний привід також не дозволяє здійснювати порядкове відключення секцій при виконанні технологічних проходів на клинових ділянках поля та розворотних смугах, викликаючи перевитрату дорогого насінневого матеріалу через перекриття.

2. Гідравлічний привід висівних систем. Знижує металоємність конструкції, оскільки дозволяє відмовитися від громіздких механічних коробок передач. Регулювання норми висіву здійснюється безступінчасто за допомогою зміни потоку оливи через гідромотор від гідросистеми трактора. Проте гідравлічні привода мають високу інертність реакції. Час від моменту подачі сигналу з бортового комп'ютера до зміни частоти обертання гідромотора становить від 1,5 до 3,0 секунд. При робочій швидкості руху агрегату 12 км/год (3,33 м/с) за цей час сівалка встигає пройти відстань від 5 до 10 метрів, формуючи зони недосіву або надмірного згущення на межах зон диференційованого внесення. Крім того, гідравлічний привід працює синхронно на весь вал сівалки або на її окремі секції, що унеможлиблює порядковий контроль кожної висівної секції на клинових ділянках поля (виникають значні перекриття) та повністю неспроможний компенсувати норму висіву при криволінійному русі агрегату.

3. Електричний індивідуальний привід (електропривід vDrive від Precision Planting). Є найбільш прогресивним та інноваційним інженерним рішенням, яке інтегрується безпосередньо у корпус кожного вакуумного висівного апарату vSet 2. Конструкція повністю виключає потребу в приводних валах, ланцюгах, зірочках, підшипниках та муфтах відключення рядків, що значно підвищує надійність посівного комплексу та знижує витрати на технічне обслуговування. Кожна посівна секція стає абсолютно автономним технологічним модулем.

Крутний момент від електромотора постійного струму передається безпосередньо на зубчастий вінець висівного диска.

Головною технічною та агрономічною перевагою інтеграції індивідуальних електричних приводів *vDrive* є динамічна підтримка та стабілізація проєктної норми висіву на кожному окремому рядку при здійсненні поворотів, розворотів або об'їзді перешкод широкозахватним посівним комплексом.

Розглянемо кінематику криволінійного маневрування 16 – рядної сівалки *John Deere DB37* з шириною захвату 11,2 м при радіусі повороту  $R = 50$  м та базовій швидкості руху гусеничного трактора *Challenger – MT 865*  $V_{\text{тр}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  (2,22 м/с). У процесі повороту внутрішнє крило сівалки рухається по меншому радіусу ( $R_{\text{вн}}$ ), а зовнішнє крило описує значно більшу дугу ( $R_{\text{зн}}$ ).

Розрахуємо радіус руху крайньої внутрішньої (першої) секції сівалки:

$$R_{\text{вн}} = R - \frac{B}{2} \quad (3.1)$$

$R_{\text{вн}}$  - радіус траєкторії руху крайньої внутрішньої (першої) робочої секції сівалки на повороті, м.

$R$  - середній радіус повороту, по якому рухається сам гусеничний трактор, ( $R = 50$ м)

$B$  - повна робоча ширина захвату сівалки John Deere, м.

$$R_{\text{вн}} = R - \frac{B}{2} = 50 - \frac{11,2}{2} = 44,4\text{м},$$

Розрахуємо радіус руху крайньої зовнішньої (шістнадцятої) секції сівалки:

$$R_{\text{зн}} = R + \frac{B}{2} = 50 + \frac{11,2}{2} = 55,6\text{м}.$$

$R_{\text{зн}}$  - радіус траєкторії руху крайньої зовнішньої (шістнадцятої) робочої секції сівалки на повороті, м.

Відповідно, фактична лінійна швидкість руху крайньої внутрішньої висівної секції ( $V_{BH}$ ) сповільнюється і становить:

$$V_{BH} = V_{Tr} \times \frac{V_{BH}}{R} \quad (3.2)$$

$V_{BH}$  - фактична швидкість руху крайнього внутрішнього рядка сівалки, яка уповільнюється на повороті, км/год.

$V_{Tr}$  - базова лінійна швидкість руху гусеничного трактора Challenger, км/год.

$V_{BH}$  - радіус траєкторії руху внутрішньої секції, м.

$R$  - середній радіус повороту трактора, м.

$$V_{BH} = V_{Tr} \times \frac{V_{BH}}{R} = 8 \times \frac{44,4}{50} = 7,104 \text{ км/год,}$$

Фактична лінійна швидкість руху крайньої зовнішньої висівної секції ( $V_{ZH}$ ) суттєво зростає і становить:

$$V_{ZH} = V_{Tr} \times \frac{V_{ZH}}{R} = 8 \times \frac{55,6}{50} = 8,896 \text{ км/год.}$$

$V_{ZH}$  - радіус траєкторії руху зовнішньої секції, м.

За умови використання класичного механічного або гідравлічного вала, всі диски обертаються з однаковою кутовою швидкістю, орієнтуючись на середню швидкість трактора (8 км/год). Це неминуче призводить до серйозного агротехнічного браку: на внутрішньому радіусі виникає надмірне загушення посіву (насіння падає занадто близько одне до одного), а на зовнішньому крилі – сильне зрідження стеблостою.

Електрична система *vDrive* повністю ліквідує цей недолік. Модуль активації керування *CCM*, розташований у кабіні трактора, отримує дані від високочастотного GPS – приймача та датчиків прискорення (з частотою опитування 100 Hz). Комп'ютер миттєво розраховує точну лінійну швидкість кожної з 16 секцій окремо і подає індивідуальні команди на контролери електромоторів. Внутрішні мотори сповільнюють обертання

висівних дисків (на 11,2%), а зовнішні – прискорюють його (на 11,2%) пропорційно радіусу кривизни. Завдяки цьому забезпечується бездоганна розкладка насіння кукурудзи та усувається людський фактор, що безпосередньо впливає на підвищення ефективності вирощування культури у ВП Новоставці. Загальний вигляд індивідуального низьковольтного безщіткового електродвигуна постійного струму, який монтується безпосередньо в маточину висівного модуля, наведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Індивідуальний низьковольтний електропривід крокового типу vDrive у герметичному корпусі

### **3.2. Обґрунтування конструкції висівної секції з інтегрованими модулями Precision Planting**

Конструктивно – технологічна оптимізація висівної секції посівного комплексу *John Deere DB37*, що розглядається у цьому проекті, базується на впровадженні комплексної системи автоматизованих вузлів від компанії *Precision Planting*. Модернізована посівна секція є складним інженерним комплексом, де кожен робочий орган оптимізований для виконання конкретного етапу формування насінневого ложа, точного дозування та якісної заробки борозни в умовах мінливої вологості та щільності ґрунту дослідного поля.

Технологічний процес роботи висівної секції просапної сівалки є багатокомпонентною системою, де порушення або нестабільність інженерних параметрів бодай на одному з етапів призводить до різкого зниження загальної

якості сівби. Для системного проектування конструкторських параметрів модернізації, базовий робочий процес закладання насіння розподілено на п'ять взаємопов'язаних функціональних рівнів (рис. 3.2).

- Подача насіння;
- Привод висіваючого апарату;
- Робота висіваючого апарату;
- Насіннепровід;
- Контакт насіння з ґрунтом.



Рисунок 3.2 – Функціонально – технологічна схема та критичні етапи робочого процесу посівної секції просапного комплексу

Кожен із зазначених етапів – від початкової подачі насіннєвого матеріалу та типу привода до фінального ущільнення ложа борозни – вимагає застосування прецизійних виконавчих механізмів.

Послідовність інженерно – технологічних етапів взаємодії елементів модернізованої посівної секції із ґрунтовим середовищем у процесі формування насіннєвого ложа, укладання та заробки траншеї відображено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Технологічна схема та послідовність виконання операцій модернізованою висівною секцією посівного комплексу

Висівна секція сівалки кріпиться до головного квадратного бруса рами за допомогою жорсткого W – подібного кронштейна та паралелограмних важелів, які дозволяють секції копіювати рельєф. У структурі модернізованої висівної секції обґрунтовано конструкцію та взаємодію таких основних елементів:

1. Вакуумний висівний апарат vSet 2: Даний апарат приходить на зміну застарілим механічним пальцевим системам. Корпус апарату виконаний з ударостійкого, стійкого до ультрафіолету полімерного композиту і має герметичну конструкцію. Всередині корпусу створюється стабільне вакуумне розрідження від центральної гідротурбіни сівалки. Головним робочим органом є плоский полімерний диференційований диск кукурудзяного типу (на 27 або 30 отворів), який обертається під дією електромотора vDrive. Насіння кукурудзи під дією вакууму присмоктується до отворів диска. Для запобігання фіксації двох насінин на одному отворі, у конструкції апарату передбачено підпружинений п'ятидольний плаваючий виштовхувач у парі з сингулятором (скидач двійників), який м'яко збиває зайві насінини назад у насіневу камеру, забезпечуючи рівень сингуляції понад 99%. Внутрішня архітектура розібраного полімерного корпусу дозатора, розташування плоского диска та п'ятидольного сингулятора показані на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Конструкція внутрішніх робочих органів вакуумного висівного дозатора vSet 2.

2. Високошвидкісний елеватор доставки насіння SpeedTube: Традиційні самопливні пластикові трубки (BullsEye) мають серйозне обмеження: при швидкості посіву понад 8 – 10 км/год насіння під час падіння починає хаотично відбиватися від стінок трубки, що повністю нівелює точність розкладки. У проєкті обґрунтовано інтеграцію системи SpeedTube, яка є примусовим стрічковим транспортером насіння. Конструкція складається з вузького герметичного кожуха, всередині якого на двох приводних валиках обертається нескінченний еластичний ремінь із формованими гумовими лопатками (Feeder Wheels). Насіння кукурудзи, скинуте диском апарату vSet 2, потрапляє безпосередньо у ложе між лопатками стрічки. Ремінь примусово веде насінину вниз і випускає її у найнижчій точці сошника безпосередньо у вологе дно борозни. Оскільки швидкість руху стрічки синхронізована бортовим комп'ютером із поступальною швидкістю руху трактора, насіння вилітає назад із нульовою відносною швидкістю до землі, що повністю виключає його кочення чи зміщення вздовж борозни. Загальний вигляд швидкісного конвеєрного модуля із розподілом внутрішнього треку на три кінематичні фази транспортування зернівки кукурудзи наведено на рисунку 3.5.

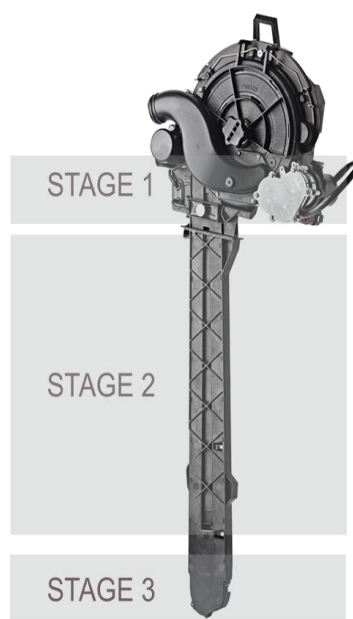


Рисунок 3.5 – Складальна схема високошвидкісного стрічкового конвеєра примусової доставки насіння SpeedTube

Паралельно з конвеєрними елеваторами, для забезпечення стовідсоткової точності електронного обліку за умов прецизійного висіву, інженерна модернізація передбачає можливість комплектації секцій спеціалізованими вигнутими трубками з інтегрованими датчиками тривимірного радіочастотного сканування потоку (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Електронна висівна трубка waveVision з інтегрованими датчиками тривимірного сканування потоку насіння

3. Двоступінчаста інтелектуальна система закриття борозни FurrowForce: Закриття борозни є критичною операцією, оскільки наявність повітряних кишень навколо насінини або надмірне ущільнення ґрунту призводять до нерівномірних сходів кукурудзи. Традиційні V – подібні чавунні чи гумові колеса здійснюють тиск лише зверху, що часто призводить до защемлення верхнього шару при збереженні пустот знизу. Модернізована система FurrowForce має принципово іншу двоступінчасту архітектуру:
  - Перший ступінь: пара зубчастих похилих дисків агресивно руйнує стінки борозни, згрібаючи вологу землю з боків і засипаючи насінину знизу вгору, повністю усуваючи ризик повітряних пустот.

- Другий ступінь: пара прогумованих V – подібних коліс ущільнює сформоване ложе із чітко заданою інженерною силою для відновлення капілярного підняття вологи.

Конструкція модуля FurrowForce містить вбудований тензодатчик ваги (Load Cell), який зчитує фактичний опір ґрунту з частотою 200 Гц, та керуючий пневматичний сильфон. Система працює в автоматичному режимі: якщо датчик фіксує щільні ділянки чорнозему на полі, тиск у сильфоні миттєво зростає, гарантуючи стабільне закриття борозни незалежно від мінливості умов середовища. Конструкція двоетапного механічного модуля, що складається з руйнівних дискових та ущільнюючих прогумованих коліс, представлена на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Автоматизований двоетапний модуль закриття насіннєвої траншеї FurrowForce.

4. Центральний інформаційно – керуючий термінал Precision Planting 20/20 SeedSense. Даний бортовий комп’ютер є головним обчислювальним ядром та дисплеєм усієї модернізованої системи точного висіву. Монітор встановлюється в кабіні трактора Challenger – MT 865 і підключається до системи через модуль активації керування ССМ та високошвидкісну цифрову шину CAN Bus (рисунок 3.8)



Рисунок 3.8 – Бортовий інформаційно – керуючий термінал системи точного висіву Precision Planting 20/20 SeedSense

Основна інженерна функція монітора 20/20 – безперервний високочастотний збір (з частотою опитування до 200 Гц), обробка та візуалізація даних, що надходять від рядових модулів SRM висівних секцій. На відміну від стандартних моніторів, 20/20 SeedSense не просто фіксує факт наявності чи відсутності висіву, а розраховує та відображає для оператора МТА такі критичні показники:

1. Поточний рівень сингуляції (у відсотках) з точним розділенням наявних двійників та пропусків насіння кукурудзи в розрізі кожного з 16 рядків сівалки.
2. Якість контакту насіння із ґрунтом та залишкове притискне зусилля на опорні колеса сошників (на основі сигналів тензодатчиків DeltaForce).
3. Лінійну розкладку насіння (коефіцієнт варіації відстані між зернівками) та телеметрію швидкості руху стрічок SpeedTube.

Окрім інформаційної функції, термінал 20/20 виконує роль головного контролера автоматичного управління: зіставляючи поточні GPS – координати посівного комплексу із завантаженою цифровою картою завдань GeoPard, він щомиті генерує індивідуальні керуючі ШІМ – сигнали для крокових

електромоторів vDrive, забезпечуючи диференційовану норму висіву на неоднорідних за рельєфом зонах поля.

### 3.3. Технологічний та інженерний розрахунок параметрів швидкісного висіву системою SpeedTube

Метою даного розрахунку є визначення основних кінематичних та конструктивних параметрів роботи високошвидкісного стрічкового елеватора *SpeedTube* для забезпечення проєктної норми висіву кукурудзи на зерно в умовах дослідного поля.

Вихідні дані для розрахунку:

- Проєктна норма висіву кукурудзи:  $N_B = 0,95$  пос.од/га = 95 000 насінин/га;
- Ширина міжряддя сівалки *John Deere DB37*:  $b_{мж} = 70$ см = 0,7м;
- Робоча швидкість руху машинно – тракторного агрегату:  $V_p = 12$ км/год = 3,333м/с;
- Кількість отворів на висівному диску апарату *vSet 2*:  $z_d = 27$ ;
- Діаметр верхнього приводного шківа стрічки *SpeedTube*:  $D_{шк} = 0,05$ м.

1. Розрахунок проєктної відстані між насінинами в рядку ( $L_{н,м}$ ):

Площа, що припадає на одну рослину при суцільному розрахунку на 1 гектар (10 000 м<sup>2</sup>), становить:

$$S_{\Pi} = \frac{10\ 000}{N_B} \quad (3.3)$$

$S_{\Pi}$  - теоретична площа поля, яка припадає на одну насінину кукурудзи при суцільному розрахунку, м<sup>2</sup>.

$N_B$  - проєктна норма висіву насіння на один гектар, насінин/га ( $N_B = 95\ 000$  насінин/га;).

$$S_{\Pi} = \frac{10\ 000}{N_B} = \frac{10\ 000}{95\ 000} = 0,10526\ \text{м}^2.$$

Враховуючи стабільну ширину міжряддя  $B_{\text{мж}} = 0,7$  м, теоретична відстань між сусідніми насінинами в одному рядку дорівнює:

$$L_{\text{н}} = \frac{S_{\text{п}}}{B_{\text{мж}}} \quad (3.4)$$

$L_{\text{н}}$  - проектна відстань (крок розкладки) між сусідніми зернинами кукурудзи всередині одного рядка, м.

$S_{\text{п}}$  - розрахована площа живлення однієї рослини,  $\text{м}^2$ .

$$L_{\text{н}} = \frac{S_{\text{п}}}{B_{\text{мж}}} = \frac{0,10526}{0,7} = 0,15037 \text{ м} \approx 0,15(15\text{см}).$$

2. Розрахунок частоти подачі насіння однією висівною секцією ( $n_{\text{н}}$ , насінин/сек):

Кількість насінин, яку повинна стабільно дозувати та укласти в борозенку одна секція за одну секунду руху при швидкості  $V_{\text{р}} = 3,333$  м/с, становить:

$$n_{\text{н}} = \frac{V_{\text{р}}}{L_{\text{н}}} \quad (3.5)$$

$n_{\text{н}}$  - кількість насінин кукурудзи, яку повинна стабільно відстрілювати та вкладати в борозну одна секція за одну секунду, насінин/с.

$V_{\text{р}}$  - поступальна робоча швидкість руху машинно-тракторного агрегату, переведена в метри за секунду ( $12\text{км/год} = 3,333$  м/с).

$L_{\text{н}}$  - розрахована відстань між насінинами в рядку, м.

$$n_{\text{н}} = \frac{V_{\text{р}}}{L_{\text{н}}} = \frac{3,333}{0,15037} = 22,165 \text{ насінин/сек.}$$

3. Розрахунок необхідної кутової швидкості обертання висівного диска апарату vSet 2 ( $\omega_{\text{д}}$  рад/с):

Оскільки диск має  $z_{\text{д}} = 27$  отворів, його частота обертання ( $n_{\text{д}}$ , об/хв) повинна дорівнювати:

$$n_{\text{д}} = \frac{n_{\text{н}} \times 60}{z_{\text{д}}} \quad (3.6)$$

$n_{\text{д}}$  - необхідна частота обертання плоского полімерного диска всередині висівного дозатора, об/хв.

$z_d$  - кількість отворів на дозуючому кукурудзяному диску, шт ( $z_d = 27$ ).

60 - коефіцієнт переведення одиниць часу із секунд у хвилини.

$$n_d = \frac{n_n \times 60}{z_d} = \frac{22,165 \times 60}{27} = 49,25 \text{ об/хв.}$$

Переведемо частоту обертання диска в кутову швидкість:

$$\omega_d = \frac{\pi \times n_d}{30} \quad (3.7)$$

$\omega_d$  - кутова швидкість обертання кукурудзяного дозуючого диска, рад/с.

$\pi$  - математична константа, відношення довжини кола до діаметра ( $\approx 3,1416$ ).

$$\omega_d = \frac{\pi \times n_d}{30} = \frac{3,1416 \times 49,25}{30} = 5,157 \text{ рад/с.}$$

4. Обґрунтування та розрахунок швидкості руху стрічки SpeedTube ( $V_{ст}$ , м/с):

Головною інженерною вимогою до функціонування системи SpeedTube є забезпечення рівності поступальної швидкості руху сівалки  $V_p$  та лінійної швидкості вильоту насінини з елеватора. Це реалізує принцип нульової відносної швидкості насінини відносно поверхні ґрунту:

$$V_{відн} = V_p = V_{ст} = 0 \Rightarrow V_{ст} = V_p \quad (3.8)$$

$V_{відн}$  - відносна швидкість насінини в момент її скидання на дно траншеї щодо поверхні поля, м/с.

$V_p$  - швидкість поступального руху всього посівного комплексу вперед, м/с.

$V_{ст}$  - лінійна швидкість обертання еластичної стрічки з лопатками всередині модуля SpeedTube назад, м/с.

$$V_{\text{відн}} = V_p = V_{\text{ст}} = 0 \Rightarrow V_{\text{ст}} = V_p = 3,333 \text{ м/с.}$$

Для забезпечення лінійної швидкості стрічки  $V_{\text{ст}} = 3,333 \text{ м/с}$ , кутова швидкість обертання верхнього приводного шківа елеватора ( $\omega_{\text{шк}}$ , рад/с) повинна становити:

$$\omega_{\text{шк}} = \frac{2 \times V_{\text{ст}}}{D_{\text{шк}}} \quad (3.9)$$

$\omega_{\text{шк}}$  - кутова швидкість обертання верхнього шківа, який приводить у рух конвеєр доставки, рад/с.

$V_{\text{ст}}$  - лінійна швидкість руху еластичної стрічки конвеєра, м/с.

$D_{\text{шк}}$  - конструктивний діаметр верхнього приводного шківа стрічки, м ( $D_{\text{шк}} = 0,5 \text{ м}$ )

$$\omega_{\text{шк}} = \frac{2 \times V_{\text{ст}}}{D_{\text{шк}}} = \frac{2 \times 3,333}{0,05} = 133,32 \text{ рад/с.}$$

Частота обертання шківа елеватора ( $n_{\text{шк}}$ , об/хв) дорівнює:

$$n_{\text{шк}} = \frac{\omega_{\text{шк}} \times 30}{\pi} \quad (3.10)$$

$n_{\text{шк}}$  - частота обертання приводного шківа SpeedTube, об/хв.

$$n_{\text{шк}} = \frac{\omega_{\text{шк}} \times 30}{\pi} = \frac{133,32 \times 30}{3,1416} = 1273,1 \text{ об/хв.}$$

### **3.4. Розрахунок параметрів притискного зусилля інтелектуальної системи закриття борозни FurrowForce**

Розрахунок спрямований на визначення силових параметрів пневмоподушки та механізму підвіски модуля закриття борозни *FurrowForce* для

забезпечення стабільного закриття насінневого ложа без надмірного переущільнення ґрунту.

Вихідні дані для розрахунку:

- Оптимальне питоме притискне зусилля для якісного руйнування стінок борозни та ущільнення суглинкових чорноземів ВП Новоставці:
- $P_{\text{опт}} = 320 \text{ Н}$ ;
- Власна вага конструктивних елементів хвостової частини секції та модуля *FurrowForce*, що діє на ґрунт під дією сили тяжіння:  $G_{\text{мод}} = 120 \text{ Н}$ ;
- Плече дії сили власної ваги відносно шарніра кріплення:  $a = 0,45 \text{ м}$ ;
- Плече дії пневмоподушки відносно шарніра кріплення:  $b = 0,22 \text{ м}$ ;
- Ефективна площа діафрагми пневмоподушки:  $S_{\text{сил}} = 0,0045 \text{ м}^2$

1. Визначення необхідного додаткового притискного зусилля від пневмосистеми ( $P_{\text{сил\_прив}}$ , Н):

Сумарне зусилля  $P_{\text{опт}}$  складається з власної ваги модуля  $G_{\text{мод}}$  та примусового зусилля, що генерується пневмоподушкою ( $P_{\text{сил}}$ ), приведенного до точки контакту коліс із ґрунтом:

$$P_{\text{опт}} = G_{\text{мод}} + P_{\text{сил\_прив}}, \quad (3.11)$$

$P_{\text{опт}}$  - оптимальне питоме притискне зусилля, необхідне для якісного закриття насінневого ложа на важких суглинках, Н ( $P_{\text{опт}} = 320 \text{ Н}$ ).

$G_{\text{мод}}$  - власна вага конструктивних елементів хвостової підвіски та модуля *FurrowForce*, що діє на ґрунт під дією сили тяжіння, Н ( $G_{\text{мод}} = 120 \text{ Н}$ ).

$P_{\text{сил\_прив}}$  - примусове додаткове зусилля дотискання, яке пневмосистема повинна передати на колеса, Н.

$$P_{\text{сил\_прив}} = P_{\text{опт}} - G_{\text{мод}} = 320 - 120 = 200 \text{ Н}.$$

2. Розрахунок фактичного зусилля на штоку пневматичного сільфона ( $P_{\text{сил}}$ , Н):

Використовуючи рівняння моментів сил відносно шарніра кріплення хвостової підвіски:

$$P_{\text{сил\_прив}} \times a = P_{\text{сил}} \times b \quad (3.12)$$

$a$  - конструктивне плече дії сили власної ваги та приведеного притиску відносно центрального шарніра підвіски, м ( $a = 0,45\text{м}$ ).

$P_{\text{сил}}$  - фактичне (реальне) зусилля, яке розвивається безпосередньо на штоку пневматичного сільфона, Н.

$b$  - плече дії керуючої пневмоподушки відносно шарніра кріплення, м ( $b = 0,22\text{м}$ ).

$$P_{\text{сил}} = P_{\text{сил\_прив}} \times \frac{a}{b} = 200 \times \frac{0,45}{0,22} = 409,09\text{Н}.$$

3. Розрахунок необхідного робочого тиску повітря в пневмоподушці ( $p_{\text{сил}}$ , Па):

Робочий тиск повітря, який повинен підтримувати електропневматичний клапан модуля PDM для генерації зусилля  $P_{\text{сил}} = 409,09\text{ Н}$ , дорівнює:

$$p_{\text{сил}} = \frac{P_{\text{сил}}}{S_{\text{сил}}} \quad (3.13)$$

$p_{\text{сил}}$  - робочий тиск повітря, який повинен підтримувати електропневматичний клапан модуля PDM, Па.

$P_{\text{сил}}$  - фактичне зусилля на штоку пневматичного сільфона, Н.

$S_{\text{сил}}$  - ефективна площа діафрагми робочої пневмоподушки,

$$p_{\text{сил}} = \frac{P_{\text{сил}}}{S_{\text{сил}}} = \frac{409,09}{0,0045} = 90908,8\text{ Па} \approx 0,091\text{ МПа (0,91 бар)}.$$

### 3.5. Електричний розрахунок та баланс потужності електронних компонентів архітектури SRM сівалки

Перехід 16 – рядної сівалки *John Deere DB37* на повне індивідуальне електронне керування рядами (архітектура *SRM – Single Row Module*) суттєво підвищує електричне навантаження на бортову мережу трактора *Challenger – MT 865*. Метою даного розрахунку є перевірка балансу електричної потужності та обґрунтування надійності системи живлення.

Технічні характеристики споживання компонентів (при напрузі  $U = 12\text{В}$ ):

- Номінальний струм споживання одного мотора *vDrive*:  $L_{vd} = 1,2\text{ А}$  (піковий – 3,5 А);
- Номінальний струм споживання одного привода *SpeedTube*:  $L_{st} = 0,8\text{ А}$  (піковий – 2,0 А);
- Струм споживання одного електронного модуля *SRM*:  $L_{srm} = 0,2\text{ А}$ ;
- Сумарний струм споживання обладнання в кабіні:  $L_{каб} = 3,0\text{ А}$ .

1. Розрахунок сумарного номінального струму споживання сівалки ( $L_{заг\_ном}, \text{А}$ ):

$$L_{заг\_ном} = 16 \times (L_{vd} + L_{st} + L_{srm}) + L_{каб} \quad (3.14)$$

$$L_{заг\_ном} = 16 \times (1,2 + 0,8 + 0,2) + 3,0 = 38,2\text{ А}.$$

2. Розрахунок сумарної номінальної електричної потужності системи

( $W_{ном}, \text{Вт}$ ):

$$W_{ном} = L_{заг\_ном} \times U \quad (3.15)$$

$U$  - номінальна напруга бортової електричної мережі гусеничного трактора, В ( $U = 12\text{В}$ ).

$$W_{ном} = L_{заг\_ном} \times U = 38,2 \times 12 = 458,4\text{ Вт}.$$

2. Розрахунок сумарного струму споживання при пікових короточасних навантаженнях ( $L_{пик}, \text{А}$ ):

$$L_{\text{пiк}} = 16 \times (L_{vd_{\text{пiк}}} + L_{st_{\text{пiк}}} + L_{srm}) + L_{\text{каб}} \quad (3.16)$$

$L_{\text{пiк}}$  - максимальний короткочасний струм споживання сівалки в моменти запуску або подолання критичного опору ґрунту, А.

$L_{vd_{\text{пiк}}}$  - піковий струм споживання одного мотора vDrive, А ( $L_{vd_{\text{пiк}}} = 3,5\text{А}$ ).

$L_{st_{\text{пiк}}}$  - піковий струм споживання привода стрічки SpeedTube під час розгону, А ( $L_{st_{\text{пiк}}} = 2,0\text{А}$ ).

$L_{srm}$  та  $L_{\text{каб}}$  - номінальні струми споживання модулів секцій та обладнання кабіни відповідно, А.

$$L_{\text{пiк}} = 16 \times (3,5 + 2,0 + 0,2) + 3,0 = 94,2 \text{ А.}$$

### 3. Розрахунок пікової електричної потужності ( $W_{\text{пiк}}$ , Вт):

$$W_{\text{пiк}} = L_{\text{пiк}} \times U \quad (3.17)$$

$W_{\text{пiк}}$  - максимальна короткочасна електрична потужність системи при пікових навантаженнях, Вт.

$$W_{\text{пiк}} = L_{\text{пiк}} \times U = 94,2 \times 12 = 1130,4 \text{ Вт} \approx 1,13 \text{ кВт.}$$

Висновок щодо балансу потужності:

Бортова система гусеничного трактора *Challenger – MT 865* обладнана штатним генератором змінного струму номінальною силою вихідного струму 200 А та потужністю 2,4 кВт. Короткочасне пікове споживання сівалки становить 94,2 А (1,13 кВт), що становить лише 47,1% від максимальної потужності генератора трактора. Бортова мережа повністю забезпечує стабільну роботу автоматизованих систем сівалки без ризику просідання напруги, що гарантує високу надійність зв'язку по високошвидкісній шині *CAN Bus* (швидкість 500 k/bit).

## 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз стану охорони праці у виробничому підрозділі Новоставці та вимоги безпеки при експлуатації машинно – тракторних агрегатів

Комплексна організація правових, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних, лікувально – профілактичних та матеріальних заходів у сфері охорони праці у виробничому підрозділі (ВП) Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП» здійснюється у суворій відповідності до Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України та чинних «Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві». Створення безпечних, здорових та нешкідливих умов праці для механізаторів, водіїв та інженерно – технічного персоналу є найважливішим пріоритетом операційної діяльності холдингу МХП. Це зумовлено тим, що експлуатація сучасних високопотужних, енергонасичених і широкозахватних машинно – тракторних агрегатів (МТА) пов'язана з постійною наявністю значної кількості небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

У ВП Новоставці створена та успішно функціонує кабінетна система охорони праці під керівництвом провідного інженера з безпеки. Вона включає проведення обов'язкових, детально протокольованих інструктажів для всіх учасників польових робіт. Система навчання та перевірки знань складається з вступного, первинного на робочому місці, повторного (який для робіт із підвищеною небезпекою проводиться обов'язково не рідше одного разу на три місяці), позапланового та цільового інструктажів. До безпосереднього керування і технічного обслуговування важкого гусеничного трактора *Challenger – MT 865* у зчипці з модернізованою 16 – рядною сівалкою *John Deere DB37* допускаються особи, які досягли повних 18 років, мають відповідне державне посвідчення тракториста – машиніста категорії «А2», пройшли повний попередній медичний огляд (що підтверджує відсутність протипоказань), курс спеціального

теоретичного та практичного навчання та успішно склали іспити з перевірки знань.

Під час виконання весняно – польових робіт (технологічний процес точного супроводжується підвищеними ризиками складний комплекс шкідливих і небезпечних факторів:

- Підвищений рівень шуму та загальної вібрації від роботи 6 – циліндрового дизельного двигуна *Caterpillar C18* потужністю 517 к.с.;
- Запиленість та загазованість повітряного простору робочої зони під час руху по сухому ґрунту та контакту з протруєним насінням;
- Значне статичне напруження, монотонність та нервово – емоційне навантаження, викликане тривалістю робочої зміни (до 18 – 24 годин за умов жорстких агротехнічних строків).

Сучасна кабіна трактора *Challenger – MT 865* повністю відповідає міжнародним стандартам безпеки захисних конструкцій ROPS (від перекидання) та FOPS (від падіння предметів). Вона повністю герметизована, встановлена на спеціальних віброізолюючих гідроопорах та обладнана кліматичною системою з триступеневою фільтрацією повітря через активні вугільні елементи. Це дозволяє надійно захистити оператора від проникнення пилу, вихлопних газів та шкідливих парів рідких комплексних добрив РКД.

Основні інженерно – технічні вимоги безпеки перед початком та під час роботи посівного комплексу:

1. Перед виїздом у заїнку поля механізатор разом із призначеним помічником (або сервісним інженером) зобов'язані провести ретельний технічний огляд МТА. Перевірці підлягає надійність зчіпного пристрою трактора та причіпної дишла сівалки *John Deere DB37*, цілісність гідравлічних шлангів та магістралей високого тиску рідких РКД, відсутність підтікань оливи, а також надійність фіксації електричних джгутів та роз'ємів високошвидкісної цифрової шини *CAN Bus* електронно – керованих систем *Precision Planting*.

2. Категорично забороняється перебування сторонніх осіб на рамі сівалки, сервісних підніжках, маркерах або поблизу рухомих робочих органів під час руху або маневрування агрегату. Заправка центральних бункерів насінням кукурудзи гібридів *DKC3972* та *AQ P8904*, а також баків рідкими комплексними добривами NPK 4:14:3 має здійснюватися виключно механізованим способом за допомогою спеціальних шнекових завантажувачів або помпових станцій перекачування. Всі працівники, які виконують заправку, зобов'язані застосовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): респіратори класу захисту FFP2 або FFP3 (для захисту дихальних шляхів від тальку, графіту та фунгіцидного протруйника насіння), захисні закриті окуляри та цупкі прогумовані рукавиці.
3. Очищення вакуумних апаратів *vSet 2*, регулювання дискових сошників, усунення заклинювання стрічок *SpeedTube* чи технічне обслуговування модулів *FurrowForce* дозволяється проводити тільки після повної зупинки МТА, вимкнення двигуна трактора, повного скидання тиску в гідросистемі, опускання рами сівалки на землю та блокування гусеничного ходу за допомогою стоянкового гальма.
4. Під час виконання розворотів МТА човниковим способом на поворотних смугах поля швидкість руху не повинна перевищувати 5 – 12 км/год. При цьому крила сівалки мають бути переведені електронною системою в транспортне (підняте) положення, щоб запобігти виникненню критичних крутних моментів та поломці паралелограмних важелів робочих секцій.

#### **4.2. Пожежна безпека при використанні машинно – тракторних агрегатів у рослинництві**

Пожежна безпека у виробничому підрозділі Новоставці організована у суворій відповідності до «Правил пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України». Проведення весняної посівної кампанії кукурудзи, а також її подальше збирання роторними комбайнами *New Holland CR9.80*

супроводжується підвищеними ризиками виникнення пожеж. Це пов'язано з тривалою роботою двигунів внутрішнього згорання під високим навантаженням, наявністю значних об'ємів паливно – мастильних матеріалів (ПММ), функціонуванням електромереж великої потужності (генератори на 200 А) та швидким накопиченням сухого органічного пилу й рослинних решток на нагрітих елементах вихлопної системи техніки.

Вся сільськогосподарська техніка філії «Рідний край» перед виїздом на польові операції проходить обов'язковий пожежно – технічний огляд з оформленням відповідного допуску. Випускні труби двигунів внутрішнього згорання тракторів та комбайнів в обов'язковому порядку обладнуються сертифікованими іскрогасниками сітчастого або лабіринтного типу. Електропроводка та силові кабелі живлення моторів *vDrive* повинні мати надійну термостійку ізоляцію та бути прокладені всередині гофрованих полімерних кожухів, які жорстко кріпляться до рами, що повністю виключає можливість їх перетирання, защемлення або короткого замикання об рухомі металеві елементи конструкції. Виявлення найменших ознак підтікання дизельного палива, оливи або робочої рідини гідросистеми в зоні моторного відсіку та колектора двигуна є причиною для негайної зупинки експлуатації агрегату до повного усунення несправності.

Комплектація МТА первинними засобами пожежогасіння:

Гусеничний трактор *Challenger – MT 865* та посівний комплекс *John Deere DB37* безпосередньо в полі укомплектовуються первинними засобами пожежогасіння за затвердженими нормами:

- Двома сертифікованими вуглекислотними (ВВ – 5) або порошковими (ВП – 5) вогнегасниками (один кріпиться в кабіні оператора в зоні швидкого доступу, другий – на зовнішній сервісній площадці сівалки);
- Штиковою лопатою та совковою лопатою;
- Кошмою (вогнетривким покривалом зі скловолокна розміром 2х2 метри);
- Закритою ємністю з сухим піском об'ємом не менше 0,05 м<sup>3</sup>.

Безпосередньо на «Полі 1» під час масового виконання посівних чи збиральних робіт організовується постійне чергування добровільної ланки пожежогасіння. Вона комплектується трактором класу тяги 1,4 – 3,0 з оборотним плугом (для можливості швидкої локалізації осередку загоряння шляхом обвалювання та створення мінералізованої смуги) та спеціалізованою автоцистерною з водою, обладнаною високонапірним помповим агрегатом та пожежними рукавами.

У кабіні трактора категорично забороняється зберігання легкозаймистих або горючих рідин (бензин, гас, нафтові розчинники), а також використання відкритого вогню (паяльних ламп, факелів) для прогріву вузлів трансмісії, гідробака чи елементів паливної системи при низьких температурах навколишнього середовища. Очищення радіаторів охолодження та всього моторного відсіку від сухого рослинного пилу кукурудзи та сої має проводитися механізатором кожну зміну (а за умов сильного вітру – двічі за зміну) методом продування стисненим повітрям від штатної компресорної установки трактора.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне інженерно – технологічне обґрунтування та розроблено проєкт модернізації 16 – рядної просапної сівалки точного висіву *John Deere DB37* керованими модулями електронної екосистеми *Precision Planting* для умов виробничого підрозділу Новоставці філії «Рідний край» ПрАТ «Зернопродукт МХП». Результати проведеного дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. На основі аналізу виробничої діяльності ВП Новоставці та цифрових карт телеметричної платформи *Climate FieldView* по дослідному полю (площа 168,85 га) виявлено високу внутрішньопільну неоднорідність рельєфу (наявність схилів крутизною 2 – 4° та низин). Встановлено, що класичний посів із постійною нормою та фіксованим притискним зусиллям секцій призводить до появи агротехнічного браку через переущільнення або недотискання сошників.
2. Критичний аналіз існуючих типів приводів висівних апаратів довів, що традиційні ланцюгово – валові та гідравлічні системи мають високу інерційність і накопичують люфти. При швидкостях понад 8 – 10 км/год це знижує сингуляцію насіння, а на поворотах призводить до пересіву на внутрішньому крилі сівалки та недосіву на зовнішньому. Обґрунтовано, що інтеграція індивідуального електричного привода *vDrive* повністю усуває ці недоліки за рахунок рядової кутової компенсації швидкості обертання дисків.
3. Розроблено прогресивну технологію вирощування кукурудзи на зерно для гібридів *DKC3972* та *AQ P8904* з нормою висіву 0,95 пос.од/га, що передбачає припосівне стрічкове внесення рідких стартових добрив РКД НРК 4:14:3 (59 кг/га) за схемою «5x5». Обґрунтовано оптимальні технологічні вимоги та комплексну систему оцінки якості посіву для машинно – тракторного агрегату у складі гусеничного трактора *Challenger – MT 865* та модернізованої сівалки. Завдяки підвищенню робочої

швидкості до 12 км/год, чиста годинна продуктивність комплексу становить  $W_r = 11,02$  га/год, що дозволяє завершити сівбу на полі за 15,32 машино – годин.

4. Проведено комплекс інженерно – конструкторських розрахунків компонентів *Precision Planting*:
  - Визначено частоту подачі насіння стрічковим транспортером *SpeedTube*, яка на швидкості 12 км/год становить 22,17 нас/сек, та обґрунтовано принцип нульової відносної швидкості вильоту насіння ( $V_{\text{відн}} = 0$ ), що ліквідує її кочення в борозні.
  - Розраховано параметри притискного зусилля двоступеневого модуля *FurrowForce*: для суглинкових чорноземів ВП Новоставці необхідний робочий тиск у пневматичному сильфоні становить 0,091 МПа (0,91 бар) при піковому приведеному зусиллі 320 Н.
  - Складено баланс електричної потужності архітектури SRM сівалки. Піковий струм споживання 16 – ти секцій становить 94,2 А (1,13 кВт), що повністю покривається номінальною потужністю штатного генератора трактора *Challenger* (200 А, 2,4 кВт) і гарантує стабільну роботу шини *CAN Bus*.
5. Розроблено заходи з охорони праці та пожежної безпеки механізаторів при роботі на важких гусеничних тракторах і обслуговуванні електроніки сівалки. Екологічний аналіз проєкту довів, що завдяки порядковому відключенню електромоторів *vDrive* на клинах полів повністю ліквіднуються зони перекриття, що знижує локальне хімічне навантаження на ґрунт і заощаджує до 5 – 7% насіннєвого матеріалу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Автоматизовані гідравлічні системи копіювання рельєфу DeltaForce та модулі закриття FurrowForce. Технічний опис та керівництво користувача. Tremont : Precision Planting LLC, 2024. 92 с.
2. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Кравчук В. І. Теорія сільськогосподарських машин : монографія. Київ : Аграрна наука, 2017. 424 с.
3. Адамчук В. В., Мойсеєнко В. В. Елементи точного землеробства при диференційованому посіві просапних культур. *Техніка і технології АПК*. 2022. № 3. С. 18 – 24.
4. Бабич А. О. Кукурудза — стратегічна культура інтенсивного рослинництва України. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 5. С. 12 – 21.
5. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.
6. Вакуумні висівні апарати vSet 2 та індивідуальні електричні приводи vDrive. Інструкція з монтажу, калібрування та експлуатації. Tremont : Precision Planting LLC, 2023. 88 с.
7. Високошвидкісні конвеєрні системи примусової доставки насіння SpeedTube. Керівництво з інтеграції та обслуговування. Tremont : Precision Planting LLC, 2022. 64 с.
8. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Агроосвіта, 2015. 512 с.
9. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва. Тернопіль, 2005. 228 с.
10. Гудзь В. П. Землеробство з основами ґрунтознавства та агрохімії : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 412 с.

11. Гусеничні трактори Challenger MT800C серії (модель MT865). Керівництво з експлуатації та технічного обслуговування. Джексон : AGCO Corporation, 2020. 345 с.
12. Двороторні зернозбиральні комбайни New Holland серії CR (модель CR9.80). Технічна документація та сервісне керівництво. Zedelgem : CNH Industrial NV, 2022. 412 с.
13. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т.А. Довбуш, Н.І. Хомик, А.В. Бабій, Г.Б. Цьонь, А.Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП ПаляницяВ.А.,2022. 220 с.
14. Інноваційні системи точного висіву Precision Planting : технічний каталог обладнання / Tremont : Precision Planting LLC, 2024. 120 р.
15. Інформаційно – керуючі бортові термінали Precision Planting 20/20 SeedSense та модулі SRM. Керівництво оператора. Tremont : Precision Planting LLC, 2023. 110 с.
16. Каталог гібридів кукурудзи селекції DEKALB (модель DKC3972 F1). Офіційне видання компанії Bayer Crop Science Україна. Київ, 2024. 42 с.
17. Кравчук В. І., Грицишин М. І. Новітні технології та технічні рішення в точному землеробстві. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2020. 244 с.
18. Марченко О. С. Модернізація робочих органів просапних сівалок для швидкісного висіву. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2023. № 14 (113). С. 84 – 91.
19. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / Олексюк В.П., Сташків М.Я. Тернопіль: ТНТУ ім. І Пулюя, 2022. 47 с.
20. Офіційний сайт компанії ПрАТ «Зернопродукт МХП». Електронний ресурс. URL: <https://mhp.com.ua/>

21. Пастухов В. І. Проєкування технологічних процесів у рослинництві : навчальний посібник. Харків : ХНАУ, 2017. 256 с.
22. Погорілий В. В., Шмат С. О. Вплив систем примусового супроводження насіння на рівномірність розкладки при швидкісному посіві кукурудзи. Агроінженерія та енергетика. 2022. Т. 13, № 2. С. 77 – 85.
23. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві : НПАОП 01.0 – 1.02 – 18. [Чинний від 2018 – 04 – 12]. Київ : Державна служба України з питань праці, 2018. 64 с.
24. Самохідні висококліренсні обприскувачі John Deere 412R з системою ExactApply. Керівництво оператора. Moline : Deere & Company, 2023. 256 с.
25. Самохідні обприскувачі John Deere M4040. Інструкція з експлуатації та технологічного налаштування. Moline : Deere & Company, 2020. 215 с.
26. Системи рядового дозування рідких добрив vApplyHD та Conceal. Інструкція користувача. Tremont : Precision Planting LLC, 2023. 74 с.
27. Технічний опис та інструкція з експлуатації посівних комплексів John Deere серії DB. Moline : Deere & Company, 2022. 185 р.
28. Трактори колісні John Deere серії 8R (модель 8R 410). Інструкція оператора. Moline : Deere & Company, 2021. 290 с.
29. Хмарний сервіс картографічного моделювання та аналізу GeoPard Agriculture : керівництво користувача. URL: <https://geopard.tech/>.
30. Хомик Н.І. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, М.Я. Сташків, А.В. Бабій, Т.А. Довбуш. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.
31. Цифрова інформаційно – аналітична платформа Climate FieldView Україна : офіційний веб – ресурс. URL: <https://climatefieldview.com.ua/>.
32. Ясенєцький В. А., Погорілий В. В. Системи автоматизації та контролю висіву просапних культур : навчальний посібник. Житомир : Полісся, 2022. 216 с.