

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
агроінжинірингу

Михайло ШУЛЯК

“06” вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
на кваліфікаційну роботу
Ростиславу БЕЗДІДЬКУ
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема роботи: Оптимізація технологічних процесів вирощування зернових культур шляхом впровадження систем паралельного водіння
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Сергій ХАРЧЕНКО, д.т.н., доцент
3. Строк подання здобувачем роботи: «14» __11__ 2025 року.
4. Вихідні дані до роботи: 1. Науково-технічна література. 2. Літературні джерела інформації та Інтернет ресурси. 3. Монографії, тощо за темою наукового дослідження. 4. Методичні рекомендації до виконання роботи.
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1 Загальний стан питання. 2. Характеристика сучасних цифрових платформ. 3. Моделювання технологічних операцій вирощування зернових упродовженям системи паралельного водіння. 4 Охорона праці. 5. Економічна оцінка проекту. Загальні висновки. Список літературних джерел.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

Керівник роботи:

_____ (підпис)

Сергій ХАРЧЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання _____

_____ (підпис)

Ростислав БЕЗДІДЬКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «06» вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Розділ 1 Загальний стан питання»	до 30.08.2025р.	
6.	Підготовка розділу «Розділ 2 Характеристика сучасних цифрових платформ»	до 19.09.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Розділ 3 Моделювання технологічних операцій вирощування зернових упродовженням системи паралельного водіння»	до 03.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Розділ 4 Охорона праці»	до 08.10.2025 р.	
9.	Підготовка розділу «Розділ 5 Економічна оцінка проєкту»	до 20.10.2025 р.	
10.	Написання висновків та пропозицій	до 25.10.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
13.	Подання до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи:

_____ (підпис)

Сергій ХАРЧЕНКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

_____ (підпис)

Ростислав БЕЗДІДЬКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Бездідько Р.В. Оптимізація технологічних процесів вирощування зернових культур шляхом впровадження систем паралельного водіння. Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з спеціальності 208 Агроінженерія за освітньою програмою «Системи точного землеробства». – Сумський національний аграрний університет, Суми.- 2025.

У роботі здійснено комплексний аналіз проблем традиційних технологій вирощування зернових культур, охарактеризовано основні недоліки агрооперацій без використання точних технологій. Проаналізовано рівень цифровізації аграрного виробництва в Україні та вивчено сучасні цифрові платформи, що забезпечують функції паралельного водіння, їх технічні можливості та функціональні переваги.

У кваліфікаційній (магістерській) роботі було проведено дослідження щодо переваг застосування систем точного землеробства. Основною метою роботи було визначення ефективності впровадження систем паралельного водіння порівняно з традиційними методами у рослинництві.

У процесі дослідження змодельовані технологічні операції з вирощування зернових культур із використанням систем навігації. Проведено економічне порівняння передпосівних робіт за традиційним методом та з використанням паралельного водіння. Результати розрахунків показали, що впровадження навігаційного обладнання забезпечує істотну економію ресурсів - пального, добрив, гербіцидів - за рахунок усунення перекриттів під час проходів техніки.

Отримані результати підтверджують доцільність впровадження систем паралельного водіння у процесі вирощування зернових культур для досягнення високих показників ефективності та економічної вигоди.

Ключові слова: системи точного землеробства, цифрові технології, системи паралельного водіння, GPS-навігація, ефективність впровадження

ABSTRACT

Bezdidko R.V. Optimization of Technological Processes for Grain Crop Cultivation through the Implementation of Parallel Driving Systems. Master's Qualification Work in Specialty 208 Agroengineering, Educational Program "Precision Farming Systems". – Sumy National Agrarian University, Sumy. – 2025.

The paper presents a comprehensive analysis of the problems associated with traditional technologies of cereal cultivation and highlights the main drawbacks of agricultural operations without the use of precision technologies. The level of digitalization of agricultural production in Ukraine was analyzed, and modern digital platforms providing parallel guidance functions, their technical capabilities, and functional advantages were examined.

In the qualification (master's) thesis, research was conducted on the benefits of applying precision agriculture systems. The main objective of the study was to determine the efficiency of implementing parallel guidance systems compared to traditional methods in crop production.

During the research, technological operations of cereal cultivation using navigation systems were simulated. An economic comparison of pre-sowing operations performed by the traditional method and with parallel guidance was carried out. The results showed that the introduction of navigation equipment ensures significant savings in resources—fuel, fertilizers, and herbicides—by eliminating overlaps during machinery passes.

The obtained results confirm the feasibility of implementing parallel guidance systems in cereal cultivation processes to achieve high efficiency and economic benefits.

Keywords: precision agriculture systems, digital technologies, parallel guidance systems, GPS navigation, implementation efficiency

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1 Загальний стан питання	9
1.1. Проблеми сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур.....	9
1.2 Показники машиновикористання	14
1.3 Методи підвищення показників використання машинно- тракторного парку	18
Розділ 2 Характеристика сучасних цифрових платформ	23
2.1 Загальне розуміння цифрових платформ в агросекторі.....	23
2.2 Вплив цифровізації на виробничі процеси в сучасному агровиробництві	24
2.3 Ключові функціональні можливості сучасних цифрових платформ	25
2.4 Основні існуючі цифрові платформи різних виробників.....	26
Розділ 3 Моделювання технологічних операцій вирощування зернових упровадження системи паралельного водіння.....	35
3.1 Засоби точного землеробства для моделювання аграрних процесів	35
3.2 Впровадження системи паралельного водіння.....	37
Розділ 4 Охорона праці.....	47
4.1 Загальні вимоги до охорони праці	47
4.2 Охорона праці при виконанні технологічних операцій.....	48
Розділ 5 Економічна оцінка проєкту	51
Загальні висновки.....	55
Список використаних джерел.....	57
Додатки	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний аграрний сектор України стоїть перед нагальною потребою кардинального підвищення ефективності та конкурентоспроможності, особливо у контексті вирощування зернових культур, що є однією з ключових галузей національної економіки. Ця необхідність посилюється як глобальними викликами (зростання населення планети, зміна клімату, коливання цін на світових ринках), так і внутрішніми чинниками, зокрема, поточними військовими діями. Останні створюють додаткові ризики та обмеження, впливаючи на доступність ресурсів, логістику, безпеку персоналу та рентабельність виробництва, особливо в прикордонних та фронтових регіонах, таких як Сумська область. У таких умовах традиційні підходи до агровиробництва часто виявляються недостатньо ефективними, що зумовлює пошук та впровадження інноваційних технологій. Одним із найбільш перспективних напрямів є розвиток та імплементація систем точного землеробства, зокрема систем паралельного водіння. Ці технології дозволяють оптимізувати використання ресурсів, мінімізувати виробничі витрати, підвищити продуктивність праці та забезпечити високу точність виконання польових операцій, що є критично важливим для сталого функціонування агропідприємств.

Незважаючи на визнану ефективність систем точного землеробства, існують певні невирішені питання, які потребують подальшого дослідження та практичного обґрунтування. Зокрема, недостатньо глибоко проаналізовано комплексний економічний ефект від впровадження систем паралельного водіння в умовах конкретних українських агропідприємств, з урахуванням специфіки їхнього машинно-тракторного парку, норм витрат та цін на ресурси. Також бракує системних досліджень щодо адаптації та оцінки переваг цих систем в умовах підвищених операційних ризиків, пов'язаних із бойовими діями, коли фактори безпеки та мінімізації часу перебування персоналу на полі набувають особливої актуальності. Визначення оптимальних конфігурацій обладнання для

різних масштабів господарств та детальний розрахунок термінів окупності інвестицій залишаються предметом подальшої емпіричної перевірки та систематизації.

Метою даної магістерської роботи є обґрунтування та розробка рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів вирощування зернових культур шляхом впровадження систем паралельного водіння, а також кількісна оцінка їх економічної ефективності в умовах сучасного агровиробництва України.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси вирощування зернових культур в умовах сучасних агропідприємств.

Предметом дослідження є сукупність організаційно-економічних, технічних та технологічних аспектів впровадження систем паралельного водіння для оптимізації польових операцій та підвищення ефективності виробництва зернових культур.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні завдання**:

1. Проаналізувати теоретичні основи та сучасні підходи до підвищення ефективності вирощування зернових культур із використанням систем точного землеробства.

2. Охарактеризувати сучасні цифрові платформи та системи паралельного водіння різних виробників, їхні технічні можливості та функціональні особливості.

3. Провести порівняльний аналіз основних параметрів технологічних процесів при використанні традиційних методів та систем паралельного водіння, зосередившись на точності виконання операцій та ефективності використання ресурсів.

4. Змодельовати технологічні операції вирощування зернових культур із застосуванням системи паралельного водіння та оцінити її вплив на продуктивність та ресурсні витрати.

5. Розглянути питання охорони праці при виконанні агротехнологічних

операцій та вплив систем паралельного водіння на безпеку праці.

6. Здійснити економічну оцінку ефективності впровадження систем паралельного водіння, включаючи розрахунок економії пального, добрив, гербіцидів та визначення терміну окупності інвестицій.

7. Розробити практичні рекомендації щодо впровадження та оптимального використання систем паралельного водіння в сільськогосподарських підприємствах України.

У ході дослідження використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів:

- метод системного аналізу – для всебічного вивчення взаємозв'язків між елементами технологічних процесів та цифрових платформ.

- метод порівняльного аналізу – для зіставлення ефективності традиційних та інноваційних підходів до виконання агротехнологічних операцій.

- методи математичного моделювання та імітації – для створення моделей технологічних процесів та розрахунку кількісних показників, зокрема площі перекриттів, витрат ресурсів та продуктивності.

- статистичні методи – для обробки та інтерпретації експериментальних даних, отриманих від сільськогосподарських підприємств.

- економіко-математичні методи – для розрахунку економічної ефективності, термінів окупності інвестицій та прогнозування фінансових результатів.

- методи польових спостережень та експертних оцінок – для збору первинних даних та підтвердження теоретичних висновків.

Використані цифрові технології: дані GPS/RTK-систем – для аналізу точності позиціонування та ефективності паралельного водіння; програмне забезпечення для точного землеробства – для моделювання, обробки та візуалізації агрономічних даних.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ

1.1 Проблеми сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур

У сучасних умовах аграрне виробництво стикається з низкою серйозних проблем, що гальмують підвищення продуктивності, економічної ефективності та екологічної безпеки. Розвиток технологій не завжди супроводжується їх масовим упровадженням у сільське господарство, особливо у дрібних і середніх господарствах. У цьому підрозділі розглянемо основні проблеми, які супроводжують сучасні технології вирощування зернових культур, із конкретними прикладами з практики.

Сучасне сільське господарство України перебуває під впливом складних викликів, що посилюються умовами воєнного стану. З початку повномасштабної збройної агресії російської федерації, зокрема в прикордонних районах Сумської області, проблеми аграрного сектору набули нових масштабів. Крім звичних технологічних, економічних та екологічних труднощів, агровиробники стикаються з ризиками безпеки, обмеженням доступу до полів, мінунням територій, нестачею робочої сили та логістичними труднощами. Ці фактори ускладнюють використання традиційних технологій і вимагають впровадження сучасних, точних та безпечних рішень.

1.1.1 Низька точність виконання агротехнічних операцій

Однією з ключових проблем є порушення точності при виконанні польових робіт. Зокрема, під час сівби або внесення добрив багато господарств покладаються на візуальне орієнтування механізаторів. У результаті виникають перекриття або пропуски, що негативно впливають на рівномірність посівів.

Під час воєнного стану господарства змушені скорочувати час перебування техніки на полях, особливо у прикордонних районах, які періодично обстрілюються. Це призводить до поспішного виконання агротехнічних

операцій, що, у свою чергу, знижує їх точність. Відсутність систем точного керування, таких як паралельне водіння, ще більше поглиблює цю проблему.

Приведемо приклад: у Сумській громаді Сумської області через небезпеку обстрілів сівбу зернових провели в стислі терміни без GPS-навігації. Як наслідок, зафіксовано понад 10% перекриттів і до 5% пропусків рядків. , що спричинило нерівномірні сходи та перевитрати насіння і пального. Це призвело до перевитрати посівного матеріалу та зниження врожайності на окремих ділянках через загушення посівів. Навпаки, у місцях із пропусками спостерігалось зниження кількості сходів, що дало втрати врожаю до 0,5 т/га.

1.1.2 Залежність якості робіт від людського фактору

Якість виконання робіт значною мірою залежить від досвіду, уважності та фізичного стану механізатора. В умовах інтенсивного польового сезону оператори змушені працювати по 10–12 годин на добу, що призводить до втоми, втрати концентрації та допущення технічних помилок.

Психоемоційне навантаження на механізаторів у прифронтових районах значно зростає. Умови підвищеної небезпеки, звуки вибухів і постійні тривоги негативно впливають на концентрацію уваги та якість роботи. Навіть досвідчені працівники можуть припускатися критичних помилок.

Приклад такої залежності: Під час весняного обробітку ґрунту механізатор під час культивування в умовах повітряної тривоги допустив зміщення агрегату, через що смуги між проходами не перекривалися. Це призвело до нерівномірного обробітку ґрунту, що негативно вплинуло на подальший розвиток культур. Із-за стресової ситуації та втоми, здійснив похибку при повороті агрегату, через що на полі площею 50 га утворилися незаорені смуги загальною площею понад 1,2 га. Це спричинило нерівномірний розвиток культур і потребувало додаткових витрат на повторне проходження.

1.1.3 Надмірне екологічне навантаження

Традиційні методи землеробства часто ігнорують екологічні аспекти. Надмірне використання агрохімікатів, механічний обробіток ґрунту без урахування кліматичних умов і властивостей ґрунту призводять до деградації ґрунтів, ерозії та забруднення вод.

У зв'язку з мінуванням частини сільськогосподарських земель, аграрії змушені відмовлятися від глибокого механічного обробітку та точного внесення добрив. Це створює екологічні ризики - наприклад, накопичення хімічних речовин у ґрунті або поверхневий змив добрив.

На полі, частково обмеженому через підозру на мінування, господарство змушене застосовувати загальну норму добрив без зонального розподілу. Це призводить до перенасичення азотом на ділянках із низькою потребою, викликавши надмірний ріст вегетативної маси й подальше вилягання пшениці.

1.1.4 Недостатня цифровізація та автоматизація

Сучасні аграрні технології активно розвиваються, проте в Україні рівень упровадження точного землеробства досі залишається невисоким, особливо у фермерських господарствах. Бракує систем контролю, моніторингу, обліку операцій, аналітики та звітності. Воєнні дії порушили логістичні ланцюги постачання техніки та обладнання. Відтак у Сумській області значна кількість господарств не має можливості модернізувати свої машинно-тракторні парки. Через перебої з електроенергією, зв'язком та інтернетом неможливо повноцінно використовувати цифрові сервіси агромоніторингу, планування або дистанційного керування.

Наприклад, господарство не змогло завантажити оновлення програмного забезпечення для системи точного внесення добрив через відсутність мобільного інтернету. У результаті було здійснено обробку за застарілою картою, що не відповідала фактичному стану ґрунту після зими. Або такий приклад: фермерське господарство, що не має систем GPS-моніторингу, не змогло вчасно виявити збої в роботі розкидача мінеральних добрив. Це призвело до нерівномірного

внесення, унаслідок чого одна частина поля отримала подвійну дозу, а інша - лише половину норми, що спричинило істотну нерівномірність урожайності.

1.1.5 Неефективне використання ресурсів

Багато господарств працюють за старими схемами, не проводячи аналіз ефективності витрат ресурсів. Це стосується і використання насіння, і добрив, і пального. Відсутність точного обліку витрат знижує можливість оптимізації виробничих процесів. Через постійні ризики обстрілів господарства Сумської області скорочують кількість проходів по полю, часто об'єднуючи кілька технологічних операцій в одну. Це економить час, але часто знижує якість, призводить до неправильного дозування, перевитрати пального та добрив.

Приклад втрати ресурсів через неефективне : у господарстві на території Білопільської громади через ризик атаки БпЛА було вирішено одночасно провести сівбу та внесення добрив. Невідповідність глибини висіву та розподілу добрив спричинила зниження енергії проростання, що зменшило густоту посівів до критичного рівня на 18% площі поля.

У господарстві без автоматизованої системи контролю витрат пального спостерігалася перевитрата дизеля на 20%. Причина - недотримання оптимального режиму руху та маршруту. За сезон це склало понад 200 літрів зайвих витрат лише на одному полі.

1.1.6 Економічна нестабільність і виробничі ризики

Сільське господарство стає дедалі ризикованим видом діяльності через високі ціни на матеріально-технічні ресурси, нестабільність кліматичних умов та ринкових цін на продукцію. В умовах бойових дій аграрії змушені враховувати не тільки ринкові коливання, а й загрози втрати техніки, пошкодження складів, заблоковані маршрути експорту. Часто відсутність технічної модернізації обумовлена не браком бажання, а фізичною небезпекою її зберігання та

використання. У таких умовах підприємства мають потребу в підвищенні ефективності кожного процесу.

Унаслідок посухи влітку 2022 року в центральній Україні, наприклад, господарства, які не використовувало технології точного обробітку та автоматизованого поливу, втратило понад 30% врожаю кукурудзи. Натомість господарства з цифровим моніторингом вологи змогло вчасно внести корективи в систему зрошення й зменшило втрати до 10%.

Також, наприклад, господарство закупило сівалку з GPS-контролем, проте через обстріли ймовірно її зберігання тільки в укритті. Це обмежує її використання лише на частині площ, тоді як інші поля були засіяні традиційним способом із великими втратами ресурсу та якості.

Отже, наведені приклади свідчать про те, що проблеми сучасних технологій вирощування зернових культур є системними та багатоаспектними. Вони охоплюють технічні, організаційні, економічні та екологічні складові. Без застосування новітніх інструментів точного землеробства — зокрема систем паралельного водіння, GPS-навігації, автоматизованого моніторингу та управління - неможливо забезпечити високу продуктивність, стабільну якість продукції та ефективне використання ресурсів.

Ситуація в Сумській області засвідчує, що проблеми сучасних технологій вирощування зернових культур ускладнюються факторами війни: зниженням точності, обмеженням доступу до ресурсів, посиленням ризиків та втрат. У цих умовах особливої актуальності набувають автоматизовані системи керування, зокрема системи паралельного водіння, що дозволяють:

- зменшити кількість проходів по полю;
- підвищити точність обробітку навіть в умовах обмеженої видимості;
- мінімізувати людський фактор;
- скоротити час виконання операцій, що критично важливо в умовах обмеженого доступу до полів.

В умовах воєнного стану впровадження таких рішень не лише підвищує ефективність виробництва, а й сприяє збереженню життя працівників і техніки.

Саме тому впровадження інновацій у вигляді цифрових технологій є не просто бажаним, а життєво необхідним кроком для майбутнього сталого агровиробництва.

1.2 Показники машиновикористання

Раціональне використання машинно-тракторного парку є ключовим чинником ефективного функціонування сільськогосподарських підприємств. Особливо в умовах воєнного стану, економічної нестабільності та обмежених ресурсів, господарства змушені максимально ефективно використовувати наявну техніку. Для цього необхідно мати об'єктивну оцінку ступеня її використання, що забезпечується системою показників машиновикористання [18].

До основних показників машиновикористання належать[21]:

- Коефіцієнт змінного використання (Кзм) - показує частку часу, коли техніка була залучена до роботи протягом зміни. Розраховується як відношення фактичного часу роботи машини до номінального часу зміни.
- Коефіцієнт річного використання (Крв) - характеризує тривалість використання техніки протягом року в межах календарного фонду часу.
- Коефіцієнт використання технічної готовності (Ктг) - відображає частку часу, коли техніка була в технічно справному стані й готова до роботи.
- Продуктивність машин (Пм) - обсяг виконаних робіт за одиницю часу. Розраховується для окремих агрегатів залежно від типу робіт (сівба, оранка, культивування тощо).
- Питомі витрати пального - показують, скільки пального спожито на одиницю виконаної роботи, наприклад літри на гектар або на тонну продукції.

Оцінка цих показників здійснюється на основі облікових даних підприємства, журналів змін, маршрутних листів, а також за допомогою сучасних систем GPS-моніторингу та бортових комп'ютерів. В умовах цифровізації все більшого поширення набуває телеметрія, яка дозволяє в реальному часі

відстежувати місце перебування техніки, кількість проходів, швидкість руху, час простоїв та витрати пального. Такі дані є важливою основою для прийняття управлінських рішень щодо оптимізації технічного забезпечення [18].

Низькі значення коефіцієнтів використання техніки зазвичай вказують на наявність організаційних, технічних або кадрових проблем. Наприклад, простої через відсутність планування, затримки з підвозом пального або некваліфіковану роботу механізаторів призводять до втрати дорогоцінного часу в польовий період. Особливо актуальним це є у Сумській області, де польові роботи часто обмежуються безпековими умовами - зокрема, обстрілами, мінуванням або необхідністю евакуації працівників. За таких умов вкрай важливо мати точну оцінку ефективності кожної машини.

Серед основних шляхів підвищення ефективності машиновикористання можна виділити:

1. Впровадження систем паралельного водіння та автопілотування. Це дозволяє зменшити кількість перекриттів і пропусків, скоротити час виконання робіт, а також підвищити точність операцій.

2. Планування навантаження на техніку. Завдяки агротехнічному календарю, точному погодному прогнозу та GPS-аналізу можна грамотно розподілити обсяг робіт і уникнути пікових навантажень та простоїв.

3. Профілактичне технічне обслуговування. Регулярна діагностика та обслуговування машин дозволяють знизити аварійність і підвищити коефіцієнт технічної готовності.

4. Навчання персоналу. Підвищення кваліфікації механізаторів, навчання роботі з цифровими системами управління та діагностики дає змогу уникати помилок і знижує залежність результатів роботи від людського фактора.

5. Використання цифрових платформ обліку. Автоматизовані системи управління аграрним виробництвом (наприклад, AgroOnline, Soft.Farm, Cropio) дозволяють отримувати аналітику по кожному агрегату, планувати маршрути та оптимізувати витрати.

Підвищення ефективності машиновикористання -це не лише зростання продуктивності окремих агрегатів, але і стратегічна умова підвищення конкурентоспроможності господарства [19]. Особливо в кризових умовах, коли доступ до ресурсів, техніки та часу обмежений, саме технологічна дисципліна й цифрове управління дозволяють зберегти стабільність агровиробництва.

В наведеній табл.1.1 показано як практично оцінюється ефективність сільськогосподарської техніки.

Таблиця 1.1 - Приклади розрахунку показників машиновикористання на прикладі тракторного агрегату (трактор + сівалка)

№	Показник	Формула розрахунку	Прикладні дані	Результат
1	Коефіцієнт змінного використання (Кзм)	$K_{зм} = T_{ф} / T_{з}$	$T_{ф} = 6,5$ год; $T_{з} = 8$ год	$6,5 / 8 = 0,81$
2	Коефіцієнт річного використання (Крв)	$K_{рв} = T_{р} / T_{кал}$	$T_{р} = 900$ год; $T_{кал} = 8760$ год	$900 / 8760 = 0,103$
3	Коефіцієнт технічної готовності (Ктг)	$K_{тг} = T_{г} / (T_{г} + T_{рм})$	$T_{г} = 900$ год; $T_{рм} = 100$ год	$900 / (900+100) = 0,9$
4	Продуктивність машини (Пм)	$P_{м} = S / T_{ф}$	$S = 52$ га; $T_{ф} = 6,5$ год	$52 / 6,5 = 8,0$ га/год
5	Питомі витрати пального (Пп)	$P_{п} = Q / S$	$Q = 130$ л; $S = 52$ га	$130 / 52 = 2,5$ л/га

Позначення: $T_{ф}$ - фактичний час роботи за зміну; $T_{з}$ - тривалість зміни; $T_{р}$ - фактичний річний фонд часу роботи; $T_{кал}$ - календарний рік (8760 год); $T_{г}$ - час у технічно справному стані; $T_{рм}$ - час ремонту; S - площа, оброблена за зміну; Q - кількість витраченого пального.

Продемонструємо отриманий результат залежності продуктивності сівалки від швидкості руху агрегату на рис. 1.1.

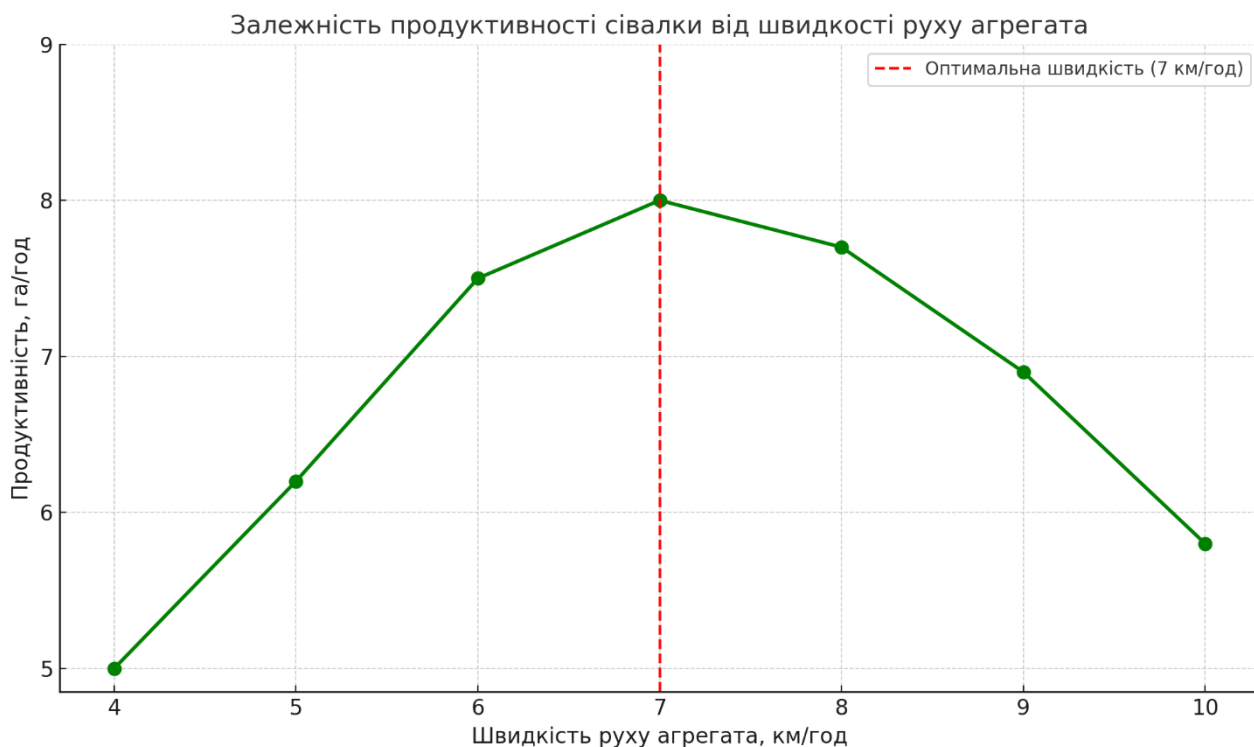


Рисунок 1.1 - Залежність продуктивності сівалки від швидкості руху агрегату

Згідно графіка, найбільша продуктивність досягається при швидкості близько 7 км/год. Подальше збільшення швидкості знижує якість сівби і фактичну продуктивність через втрати точності та контрольованості.

Отже, показники машиновикористання є важливими критеріями оцінки ефективності експлуатації сільськогосподарської техніки. Вони дозволяють не лише виявити резерви підвищення продуктивності, а й обґрунтувати доцільність упровадження новітніх технологій, таких як системи паралельного водіння, автоматизоване управління агрегатами та цифровий облік. Аналіз коефіцієнтів змінного, річного використання, технічної готовності, а також показників продуктивності і витрат пального дає змогу приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо завантаження техніки, графіків обробітку полів та планування ремонтів.

На прикладі графічного аналізу продуктивності сівалки встановлено, що оптимальна швидкість руху агрегату забезпечує найвищу ефективність

виконання робіт. Зниження або перевищення цієї швидкості веде до втрат продуктивності або якості, що свідчить про необхідність дотримання технологічної дисципліни та точного контролю параметрів виконання операцій.

У сучасних умовах - особливо в зонах ризику, таких як Сумська область - впровадження цифрових інструментів моніторингу техніки, аналізу показників роботи та точного управління машинно-тракторним парком стає не просто чинником ефективності, а критично важливою умовою стабільності агровиробництва.

1.3 Методи підвищення показників використання машинно-тракторного парку

Ефективне використання машинно-тракторного парку (МТП) - один із найважливіших факторів підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва. В умовах дефіциту ресурсів, високих цін на паливо, нестачі кваліфікованого персоналу та особливо в умовах воєнного стану, як це спостерігається у Сумській області, раціональне використання кожної одиниці техніки набуває критичного значення. Підвищення показників використання МТП дозволяє зменшити собівартість продукції, скоротити витрати пального та добрив, зменшити зношення техніки та забезпечити своєчасне виконання агротехнічних операцій [20]

Для досягнення цієї мети застосовуються різноманітні методи, які умовно поділяються на організаційні, технічні, технологічні та цифрові.

Організаційні методи

До організаційних методів належать дії, спрямовані на вдосконалення системи управління технікою, планування робіт і використання робочої сили. Основні напрями включають:

- Раціональне планування графіків польових робіт з урахуванням погодних умов, особливостей ґрунту та наявних ресурсів. Чіткий агрокалендар дозволяє уникати накладення робіт і зменшити простої техніки.

- Оптимальне комплектування агрегатів. Наприклад, правильний підбір сівалки до потужності трактора забезпечує економічну швидкість роботи та зниження витрат пального.

- Централізоване диспетчерське управління технікою, особливо важливе для великих господарств і агрохолдингів, де кілька бригад працюють одночасно в різних районах.

- Навчання та мотивація персоналу. Підвищення кваліфікації механізаторів, упровадження преміювання за якість і обсяг робіт сприяють кращому ставленню до техніки й підвищенню продуктивності праці.

Технічні методи

Технічні методи спрямовані на підтримку техніки у справному стані та її модернізацію:

- Своєчасне технічне обслуговування та ремонт відповідно до нормативів забезпечує високий коефіцієнт технічної готовності.

- Проведення технічного аудиту МТП для виявлення машин, які неефективно використовуються або морально застаріли й потребують заміни.

- Використання енергоощадної техніки. Наприклад, трактори з двигунами останніх поколінь мають меншу витрату пального, кращу маневреність та зниження викидів CO₂.

- Переоснащення наявної техніки додатковим обладнанням, зокрема навігаційними системами, контролерами внесення добрив, датчиками швидкості та витрати пального.

Технологічні методи

Підвищити ефективність МТП також дозволяє удосконалення самих технологій землеробства:

- Комплексування технологічних операцій. Наприклад, одночасна сівба та внесення мінеральних добрив знижує кількість проходів по полю й економить ресурси.

- Використання ресурсозберігаючих технологій, таких як мінімальний і нульовий обробіток ґрунту, дозволяє скоротити навантаження на техніку та зменшити кількість агрегатів.

- Раціональне зонування полів. Якщо господарство правильно розподіляє культуру за типами ґрунтів і доступністю логістики, це зменшує час переміщення техніки та забезпечує ефективніше її використання.

Цифрові та інноваційні методи

Останніми роками цифровізація стала одним з найефективніших інструментів для підвищення показників використання МТП:

- Впровадження систем паралельного водіння значно зменшує кількість перекриттів і пропусків, що дозволяє знизити витрати пального та підвищити точність операцій. Такі системи особливо цінні в умовах обмеженої видимості, при нічних або туманних роботах.

- Використання телеметрії та GPS-моніторингу дає змогу в реальному часі відстежувати роботу техніки, виявляти простой, перевитрати ресурсів, контролювати швидкість і маршрут руху.

- Агрономічне картографування та робота за картами-завданнями дозволяє використовувати техніку з максимальною точністю, виконуючи зональне внесення насіння та добрив, що зменшує навантаження на агрегати й забезпечує оптимізацію обсягів робіт.

- Автоматизоване планування маршрутів і черговості обробітку полів допомагає скоротити час на переїзди та уникнути дублювання робіт.

Адаптація до умов воєнного стану

Особливої актуальності набувають методи, що дозволяють ефективно використовувати техніку в умовах підвищеної небезпеки, як це має місце в Сумській області:

- Упровадження швидких і точних технологічних рішень, що дозволяють зменшити час перебування техніки на полі.

- Дистанційне керування та моніторинг, щоб уникнути зайвої присутності людей у зонах ризику.

- Планування робіт у "вікна тиші", коли ситуація на фронті дозволяє безпечно вийти на поле, із максимальною ефективністю використання техніки.

На рис. 1.2 зображена діаграма оцінки впливу різних методів на ефективність використання машино-тракторного парку

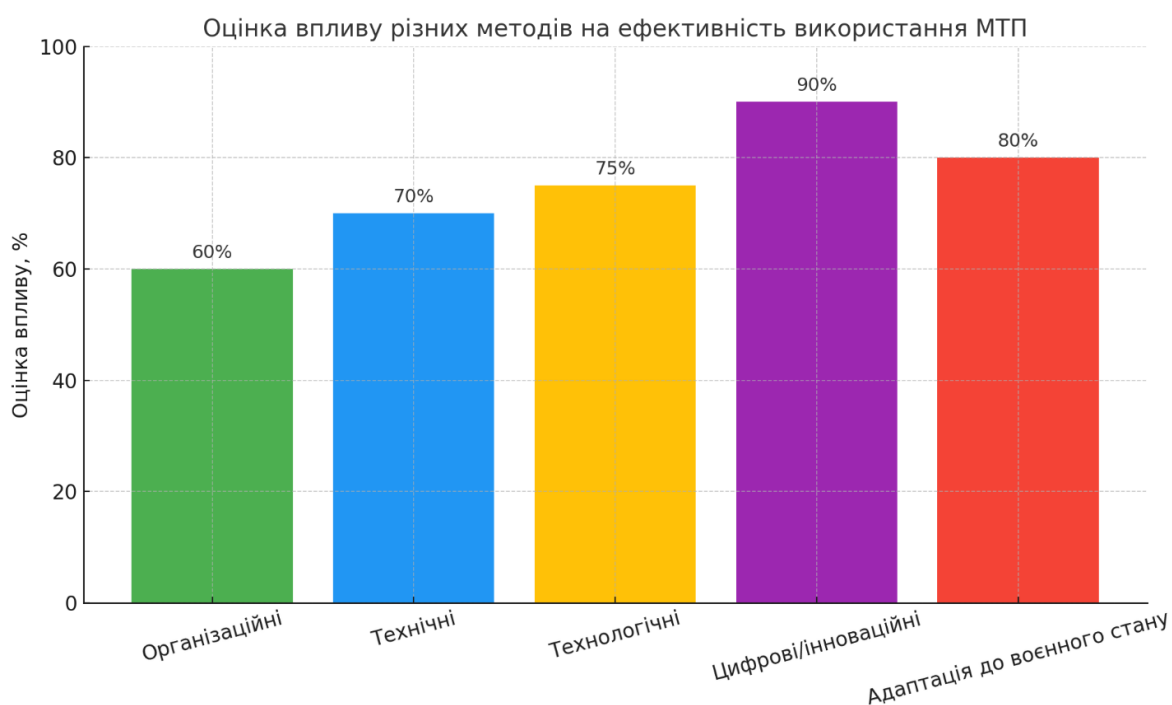


Рисунок 1.2 – Оцінка впливу різних методів на ефективність використання машино-тракторного парку

Отже, підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку є комплексним завданням, що вимагає впровадження цілого спектра організаційних, технічних, технологічних і цифрових заходів. У сучасних умовах агровиробництва, особливо в регіонах із воєнною загрозою, ключовим є поєднання точного планування, якісної технічної підготовки та широкого використання цифрових рішень. Одним з ефективних інструментів є впровадження систем паралельного водіння, які дозволяють значно підвищити точність польових операцій, знизити витрати ресурсів та мінімізувати вплив людського фактору. Усі ці заходи у сукупності забезпечують підвищення

конкурентоспроможності господарств та збереження сталого виробництва в умовах обмежених ресурсів і зовнішніх загроз .

Висновок до розділу

Аналіз сучасного стану технологій вирощування зернових культур у контексті Сумської області, що зазнає впливу бойових дій, засвідчує наявність низки системних проблем, які суттєво ускладнюють ефективність аграрного виробництва. Зокрема, низька точність виконання агротехнічних операцій, висока залежність від людського фактору, надмірне екологічне навантаження, а також недостатній рівень цифровізації та автоматизації створюють значні перешкоди для стабільного функціонування сільськогосподарських підприємств. Показники машиновикористання свідчать про потенціал для підвищення продуктивності машинно-тракторного парку, що ускладнюється виробничими ризиками, пов'язаними з економічною нестабільністю та умовами ведення бойових дій. Впровадження сучасних технологій, зокрема систем паралельного водіння, сприятиме підвищенню точності агротехнічних операцій, оптимізації ресурсозатрат та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище. Таким чином, цифровізація та автоматизація технологічних процесів є ключовими чинниками забезпечення стійкості та розвитку аграрного сектору в складних умовах регіону.

РОЗДІЛ 2 ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ ПЛАТФОРМ

2.1 Загальне розуміння цифрових платформ в агросекторі

Сучасне сільське господарство стрімко розвивається завдяки впровадженню цифрових технологій, що відкривають нові можливості для підвищення продуктивності та ефективності виробничих процесів. Цифрові платформи представляють собою комплексні програмно-апаратні рішення, які об'єднують різноманітні джерела даних і забезпечують їхній системний аналіз. Вони служать основою для прийняття обґрунтованих рішень на всіх етапах агровиробництва - від підготовки ґрунту до збору врожаю. Застосування таких платформ сприяє впровадженню точного землеробства, що дозволяє оптимізувати витрати ресурсів, мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити якість продукції.

Сучасне агровиробництво невіддільне від цифрових технологій, які стали ключовим інструментом для підвищення ефективності, продуктивності та сталого розвитку галузі. Цифрові платформи в сільському господарстві - це комплексні програмні та апаратні рішення, що інтегрують різноманітні дані з різних джерел, таких як датчики, дрони, супутники, агротехніка, метеостанції та інші системи. Метою цих платформ є збір, обробка, аналіз і візуалізація інформації для прийняття обґрунтованих управлінських рішень [1]. Вони забезпечують централізований доступ до даних, що дає змогу аграріям ефективніше планувати польові роботи, контролювати стан посівів, оптимізувати внесення ресурсів та прогнозувати врожайність. Завдяки хмарним технологіям, ці платформи часто доступні з будь-якої точки світу, що значно спрощує моніторинг та управління для великих агрохолдингів та фермерських господарств [15]. По суті, цифрові платформи є основою для реалізації концепції точного землеробства, де кожен агрономічний захід виконується з максимальною точністю та мінімальними витратами, забезпечуючи при цьому максимальну віддачу [1].

2.2 Вплив цифровізації на виробничі процеси в сучасному агровиробництві

Цифровізація агровиробництва полягає у впровадженні інноваційних інформаційно-комунікаційних технологій, які автоматизують та оптимізують традиційні операції. Цифровізація охоплює всі етапи виробничого циклу в сучасному агровиробництві, починаючи від планування і закінчуючи збиранням врожаю та його реалізацією. Цей процес передбачає переведення традиційних агрономічних операцій на цифрову основу за допомогою автоматизованих систем і сенсорів. На етапі планування цифрові платформи допомагають аналізувати історичні дані про врожайність, ґрунти та погодні умови, що дає змогу оптимально розподіляти культури, визначати потребу в добривах та засобах захисту рослин [2].

Впровадження систем паралельного водіння є яскравим прикладом такої цифровізації, оскільки вони забезпечують високу точність руху сільськогосподарської техніки, мінімізуючи перекриття та пропуски при посіві, обробці ґрунту та обприскуванні. Це не лише знижує витрати пального та ресурсів, а й підвищує якість виконання робіт [4].

На етапі вирощування цифрові платформи інтегрують дані з датчиків вологості ґрунту, фітосанітарного стану посівів, супутникових знімків та дронів, що дає змогу моніторити розвиток рослин у реальному часі. Це дає можливість оперативно реагувати на зміни, наприклад, вчасно вносити добрива або проводити захисні заходи. Автоматизовані системи зрошення, керовані з цифрових платформ, оптимізують подачу води залежно від потреб рослин та погодних умов [9].

Моніторинг техніки також є важливою частиною цифровізації, адже за допомогою GPS-трекерів та телематичних систем аграрії можуть відстежувати місцезнаходження техніки, контролювати швидкість руху, витрату пального та продуктивність роботи. Це забезпечує ефективне використання парку техніки та своєчасне виявлення можливих проблем. Загалом, цифровізація виробничих

процесів сприяє підвищенню точності виконання робіт, зниженню операційних витрат, мінімізації негативного впливу на довкілля та, зрештою, збільшенню прибутковості агропідприємства [3].

2.3 Ключові функціональні можливості сучасних цифрових платформ

Цифрові платформи для сільського господарства виконують широкий спектр функцій, спрямованих на комплексне управління агробізнесом. Однією з ключових є моніторинг полів та посівів, що включає збір та аналіз супутникових знімків, даних з дронів та наземних датчиків. Це дозволяє оперативно виявляти проблемні ділянки, контролювати вегетацію рослин та прогнозувати урожайність [13]. Картування полів та створення електронних карт є основою для подальших агрономічних операцій, адже на них відображаються дані про ґрунти, рельєф, зони неоднорідності, що є важливим для диференційованого внесення ресурсів.

Важливою функцією є управління парком техніки. Це включає моніторинг місцезнаходження, відстеження робочого часу, контроль витрати пального, планування технічного обслуговування та оптимізацію маршрутів руху. Інтеграція з системами паралельного водіння дозволяє автоматично керувати технікою, забезпечуючи точне виконання технологічних операцій [12]. Системи точного землеробства є невіддільною частиною таких платформ, забезпечуючи диференційоване внесення добрив, засобів захисту рослин та насіння відповідно до потреб окремих ділянок поля. Це не тільки оптимізує витрати ресурсів, а й сприяє підвищенню ефективності їх використання та мінімізує негативний вплив на довкілля [11].

Цифрові платформи також надають можливості для ведення обліку та аналітики. Це включає облік виконаних робіт, витрачених матеріалів, отриманого врожаю, а також аналіз економічної ефективності кожного поля та культури. Прогнозування врожайності на основі накопичених даних та математичних моделей дозволяє аграріям більш точно планувати збут продукції [10]. Управління персоналом також може бути інтегровано в цифрові платформи, що

дозволяє контролювати виконання завдань, робочий час та ефективність кожного співробітника.

Нарешті, багато платформ пропонують інтеграцію з іншими системами, такими як метеостанції для отримання точних прогнозів погоди, або бухгалтерські програми для спрощення фінансового обліку. Деякі платформи також надають можливість дистанційного керування певними процесами, наприклад, поливом або внесенням добрив. Таким чином, сучасні цифрові платформи стають комплексними інструментами для підвищення ефективності та рентабельності агровиробництва, дозволяючи аграріям приймати рішення, ґрунтуючись на глибокому аналізі даних, а не лише на інтуїції та досвіді.

2.4 Основні існуючі цифрові платформи різних виробників

Сучасний ринок цифрових платформ для агросектору представлений широким спектром рішень від провідних світових виробників сільськогосподарської техніки та спеціалізованих технологічних компаній. Ці платформи пропонують інтегровані системи для управління всіма аспектами сільськогосподарського виробництва, від планування до збору врожаю.

На ринку представлено низку провідних цифрових платформ від різних виробників, кожна з яких має свої особливості та переваги.

Однією з відомих компаній, що спеціалізується на точних агротехнологіях, є Ag Leader Technology. Їхні рішення спрямовані на підвищення ефективності та оптимізацію польових операцій. Зокрема, система Ag Leader SteerCommand є передовою системою автоматичного водіння, яка використовує технологію RTK GPS (Real-Time Kinematic Global Positioning System) [22].



Рисунок 2.1 - Агронавігатор Ag Leader



Рисунок 2.2- Ag Leader , дисплеї InCommand [22].

Це забезпечує надзвичайно високу точність позиціонування, дозволяючи техніці рухатися з відхиленням у кілька сантиметрів, що критично важливо для точного посіву, внесення добрив та засобів захисту рослин. Система SteerCommand інтегрується з широким спектром сільськогосподарської техніки, незалежно від виробника, надаючи аграріям гнучкість у виборі обладнання та підвищуючи продуктивність за рахунок зменшення перекриттів, пропусків та зниження втоми оператора.

Провідний виробник сільськогосподарської техніки та обладнання, John Deere, розробив власне комплексне рішення - John Deere Operations Center [23, 25].



Рисунок 2.3 - Операційний центр John Deere Operations Center



Рисунок 2.4 - Управління даними

Ця цифрова платформа є централізованим хабом для збору, аналізу та управління даними з усієї сільськогосподарської техніки та полів господарства. Вона дозволяє аграріям моніторити виконання робіт у реальному часі, отримувати детальні звіти про витрату пального, швидкість роботи, продуктивність агрегатів. Інтеграція з іншими системами John Deere, такими як John Deere GreenStar та система автоматичного керування технікою AutoTrac, забезпечує повний контроль над польовими операціями [23]..



Рисунок 2.5 – Автоматичне керування – система AutoTrac[23].-

AutoTrac дозволяє техніці рухатися за попередньо визначеними маршрутами з високою точністю, мінімізуючи людський фактор та оптимізуючи використання ресурсів. Operations Center також надає інструменти для агрономічного планування, управління записами про поля, обміну даними з партнерами та консультантами, що робить її потужним інструментом для прийняття обґрунтованих рішень.

Корпорація AGCO, світовий виробник сільськогосподарської техніки під такими відомими брендами, як Massey Ferguson, Challenger і Fendt, розробила власну стратегію інтеграції технологій під назвою AGCO Fuse®. Fuse® є відкритою платформою, що дозволяє інтегрувати різні технології точного землеробства від AGCO та інших виробників.



Рисунок 2.6 – AGCO Fuse - система телеметрії та документування [24].

Ця стратегія фокусується на забезпеченні безшовної зв'язаності машин, ферми та офісу, що дає змогу аграріям збирати дані з різних джерел і використовувати їх для оптимізації процесів. Fuse® надає інструменти для управління флотом техніки, обробки та аналізу агрономічних даних, а також забезпечує сумісність обладнання різних брендів, що є значною перевагою для господарств зі змішаним парком техніки [24].

CNH Industrial, багатонаціональний виробник сільськогосподарської техніки під такими брендами, як Case IH і New Holland Agriculture, пропонує свою цифрову платформу AFS Connect® (Case IH) та MyPLM Connect (New Holland Agriculture).



Рисунок 2.7- AFS Connect-оновлений застосунок

Ці платформи надають комплексні рішення для телематики, управління даними та підтримки прийняття рішень. AFS Connect® дозволяє користувачам відстежувати техніку в реальному часі, контролювати продуктивність, витрату пального, а також передавати дані про поля та операції для подальшого аналізу. Платформа забезпечує віддалений доступ до інформації про машину, дозволяючи дилерам та технічним спеціалістам надавати віддалену підтримку та діагностику. Це сприяє підвищенню ефективності роботи техніки, скороченню часу простоїв та оптимізації логістики. Ця система забезпечує централізоване управління машинами, агроінформацією та аналітикою, що сприяє підвищенню продуктивності та зниженню операційних витрат. AFS Connect® підтримує використання систем точного землеробства, включаючи автоматичне водіння та керування застосуванням добрив.

Ще одним ключовим гравцем на ринку є Trimble Inc., яка спеціалізується на розробці технологій позиціонування та рішень для точного землеробства. Їхня платформа Trimble Ag Software пропонує комплексний набір інструментів для управління фермою, включаючи планування, облік, моніторинг полів, картографування, а також аналіз даних про врожайність та ґрунти. Trimble Ag Software інтегрується з різноманітним обладнанням та датчиками, надаючи аграріям можливість приймати обґрунтовані рішення на основі точних даних. Вона також підтримує системи автоматичного водіння та диференційованого внесення, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів та підвищити ефективність польових робіт. Платформа забезпечує широкий спектр функцій, таких як планування полів, управління врожаєм, контроль за технікою і оптимізація витрат. Особливістю Trimble Ag є висока сумісність із різним обладнанням і гнучкість налаштувань відповідно до потреб конкретного господарства [25].



Рисунок 2.8 -Робота із Trimble Ag

Таким чином, сучасні цифрові платформи від провідних виробників є невід'ємною частиною інфраструктури точного землеробства. Вони надають аграріям потужні інструменти для моніторингу, аналізу та управління всіма аспектами виробництва, що сприяє значному підвищенню ефективності, зниженню витрат та сталому розвитку сільського господарства. Впровадження та адаптація таких платформ у регіонах із особливими умовами, зокрема в Сумській області, де ведуться бойові дії, дозволяє мінімізувати вплив ризиків, пов'язаних із виробничою нестабільністю, та забезпечити більш стабільний розвиток аграрного сектору.

Серед великої кількості цифрових платформ, доступних сьогодні агровиробникам, кожна має власні унікальні функціональні особливості, що сприяють оптимізації виробничих процесів, підвищенню ефективності господарювання та забезпеченню стабільності аграрного сектору. У міру подальшого розвитку цифрових технологій та їх інтеграції в сільське господарство, очікується поява нових рішень, які ще повніше відповідатимуть потребам сучасних фермерів у різних регіонах світу.

Детальний аналіз можливостей сучасних цифрових платформ дозволяє більш обґрунтовано підходити до вибору оптимального інструменту для запровадження системи паралельного водіння у технології вирощування зернових культур. Такі системи значно покращують точність виконання агротехнічних операцій, забезпечуючи рух техніки з мінімальним відхиленням від розрахункової траєкторії.

Ключові функції та можливості систем паралельного водіння [25] :

1. Навігація та керування рухом техніки:

– GPS-навігація: сучасні системи використовують супутникові сигнали для високоточного позиціонування сільськогосподарської техніки. Це дозволяє виконувати польові операції з точністю до кількох сантиметрів, що суттєво знижує ризик перекриття чи пропущених ділянок.

– Автоматичне коригування руху: програмне забезпечення систем здатне автоматично підлаштовувати траєкторію руху машини відповідно до заданого маршруту, зменшуючи витрати пального та покращуючи ефективність використання ресурсів.

2. Планування та організація польових робіт:

– Цифрове картографування полів: системи дозволяють формувати детальні електронні карти полів із зазначенням меж, конфігурації та інших характеристик, що полегшує планування технологічних операцій.

– Попереднє планування завдань: оператори мають можливість наперед створювати завдання для техніки з урахуванням агротехнічних норм, конфігурації поля та погодних умов.

3. Моніторинг виконання та аналітика:

– Збір і обробка польових даних: у процесі роботи система фіксує інформацію про витрачений ресурс, пройдено відстань, продуктивність тощо, що дає змогу здійснювати оперативний контроль за виконанням завдань.

– Аналітичні звіти: на основі зібраної інформації генеруються звіти, які допомагають агрономам і керівникам господарств здійснювати стратегічне планування та вносити корективи до технологічних процесів.

4. Інтеграція з іншими аграрними системами:

– Сумісність із системами управління агровиробництвом (FMIS): програмне забезпечення систем паралельного водіння може бути інтегроване з комплексними системами управління господарством, забезпечуючи централізований доступ до всієї виробничої інформації.

– Підтримка різних типів техніки: більшість сучасних рішень є універсальними та сумісними з широким спектром тракторів і сільськогосподарських агрегатів, що дає змогу адаптувати їх до умов конкретного підприємства.

Висновок до розділу

В результаті аналізу сучасних цифрових платформ, що використовуються в аграрному секторі, встановлено, що цифровізація є ключовим фактором підвищення ефективності та сталості сільськогосподарського виробництва. Впровадження цифрових рішень, зокрема систем автоматичного та паралельного водіння, сприяє зменшенню впливу людського фактора, підвищенню точності виконання агротехнічних операцій, раціональному використанню матеріально-технічних ресурсів і зниженню виробничих витрат.

Впровадження цифрових платформ дозволяє не лише суттєво економити паливно-мастильні матеріали, добрива та засоби захисту рослин, але й підвищувати якість агротехнічних операцій та зменшувати навантаження на операторів. Моніторинг техніки в реальному часі, збір та аналіз агрономічних даних, а також можливості прогнозування врожайності — усе це надає господарствам системний підхід до управління ресурсами та підвищення продуктивності.

Таким чином, цифрові платформи та системи паралельного водіння є фундаментом для реалізації концепції точного землеробства. Їх інтеграція у виробничі процеси вирощування зернових культур дозволяє досягти нового рівня ефективності, стабільності та конкурентоспроможності агропідприємств в умовах сучасних економічних та екологічних викликів. Подальше поглиблення цифровізації та використання можливостей цих платформ стане ключовим фактором для сталого розвитку зернового виробництва.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЗЕРНОВИХ УПРОВАДЖЕННЯМ СИСТЕМИ ПАРАЛЕЛЬНОГО ВОДІННЯ

3.1 Засоби точного землеробства для моделювання аграрних процесів

Дослідження, проведені в рамках даної роботи, свідчать про те, що інтеграція передових агротехнологій, які складають основу систем точного землеробства, здатна значно підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва. Точне землеробство, відоме також у міжнародній літературі як прецизійне або інтелектуальне сільське господарство, ґрунтується на використанні новітніх технологій для управління сільськогосподарськими процесами. Цей підхід передбачає обробку та аналіз даних, отриманих з різних джерел, таких як ґрунтові карти, точні дистанційні знімки (із супутників чи безпілотних літальних апаратів), а також спеціалізовані програмні засоби. Аналіз доступних джерел інформації [28-31] дозволяє виділити декілька ключових засобів точного землеробства, що набули найбільшого поширення:

1. Супутникова навігація (GPS): глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) забезпечують високоточне позиціонування сільськогосподарських машин і агрегатів, таких як трактори, обприскувачі, сівалки. Сигнали GPS дозволяють визначити просторове розташування техніки в реальному часі, що є основою для побудови маршрутів руху та виконання технологічних операцій з мінімальним відхиленням.

2. Станції RTK-корекції: системи RTK (Real-Time Kinematic) використовуються для уточнення координат, отриманих із супутників. За рахунок реального часу обробки сигналів досягається точність до ± 2 см, що є критичним у таких технологіях, як no-till або strip-till. RTK-станції здатні обслуговувати до 300 одиниць техніки одночасно в радіусі до 50 км.

3. Системи паралельного водіння та автопілоти: такі системи дозволяють здійснювати рух сільськогосподарських машин із заданою точністю, уникаючи перекриттів і неохоплених зон. Автоматичне або напівавтоматичне водіння

значно підвищує якість виконання польових операцій - зокрема посіву, обприскування та збирання - та знижує вплив людського фактора.

4. Датчики вегетаційного аналізу (N-Sensor): оптичні сенсори, встановлені на техніці, забезпечують оперативну оцінку потреб рослин у поживних елементах - зокрема, у азоті. Ці пристрої синхронізуються з розкидачами або оприскувачами, регулюючи дозу внесення добрив у режимі реального часу залежно від стану культур.

5. Безпілотні літальні апарати (БПЛА, квадрокоптери): Дрони дозволяють проводити регулярну аерофотозйомку полів, виявляти зони стресу у рослин, проводити інвентаризацію посівів, а також виконувати точкове внесення ЗЗР і добрив. Їхня мобільність і висока деталізація зображень роблять їх важливим елементом моніторингу стану полів.

6. Мобільні агрометеостанції: ці пристрої забезпечують локальне вимірювання метеорологічних параметрів, включаючи температуру повітря, вологість, тиск, швидкість вітру та інші показники. На основі зібраних даних формується короткотерміновий прогноз погоди, який використовується для прийняття агрономічних рішень.

7. Програмне забезпечення для аграрного менеджменту (наприклад, "Аграрний офіс"): цифрові платформи управління господарством забезпечують комплексну підтримку виробничого процесу: планування агротехнологій, аналіз сівозмін, облік вегетаційного циклу культур, фінансове планування, управління персоналом та контроль технічних ресурсів. Інтеграція таких програм з іншими цифровими системами сприяє підвищенню прозорості та обґрунтованості прийняття управлінських рішень.

Узагальнюючи викладене, можна стверджувати, що використання засобів точного землеробства формує основу для цифрової трансформації аграрного виробництва. Кожен із описаних компонентів дозволяє оптимізувати окремі етапи технологічного процесу вирощування зернових культур, забезпечуючи

точність, адаптивність до умов середовища та економічну доцільність аграрної діяльності.

На території України, зокрема в Сумській області, вже зафіксовано низку успішних прикладів поетапного впровадження окремих елементів систем точного землеробства. Враховуючи значну варіативність розмірів сільськогосподарських підприємств - від декількох сотень до десятків тисяч гектарів — а також різноманітність природно-кліматичних та виробничих умов, доцільно здійснювати поступову інтеграцію сучасних науково-технічних розробок в агровиробництво, починаючи з окремих функціональних компонентів. Одним із найбільш доступних і водночас ефективних засобів точного землеробства, які можуть бути впроваджені в господарствах різного масштабу, є навігаційні системи паралельного водіння сільськогосподарських агрегатів. Зростаюча кількість українських аграрних підприємств на практиці переконується у перевагах цих технологій під час виконання польових операцій, зокрема завдяки підвищенню точності руху техніки, зменшенню перекриттів і втрат, а також оптимізації використання ресурсів.

3.2 Впровадження системи паралельного водіння

Для об'єктивної оцінки ефективності інтеграції системи паралельного водіння в агротехнологічні процеси, було проведено моделювання низки підготовчих операцій для посіву соняшника на насіння. Розрахунки ґрунтувалися на експериментальних даних, отриманих від Селянського (фермерського) господарства Роменського району. Ці дані включали інформацію про найбільш поширені марки енергетичних машин та навісного обладнання, а також норми витрат пального, добрив, гербіцидів на одиницю площі та інші релевантні показники.

Моделювання здійснювалось для прямокутного поля площею 1000 гектарів зі сторонами 1000 метрів на 10000 метрів. У ході експерименту порівнювалися результати роботи енергетичної машини МТЗ-1025 з різними агрегатами: у першому випадку – без застосування системи паралельного

водіння, а в другому – з її використанням. При цьому враховувались технічні характеристики відповідного навісного та причіпного обладнання для кожної технологічної операції.

Для всебічної оцінки впливу паралельного водіння були розглянуті наступні технологічні операції:

- передпосівна культивация: виконувалася енергомашиною МТЗ-1025 з культиватором КПС-4,2.
- дискування: здійснювалося енергомашиною МТЗ-1025 з дисковою бороною АГД-2,4.
- розкидання мінеральних добрив: застосовувалася нітроамофоска з нормою 100 кг/га, енергомашини – МТЗ-1025, розкидач мінеральних добрив – МВД-900.
- внесення ґрунтового гербіциду: використовувались гербіциди Альфа Гетьман (2 л/га) та Альфа Прометрин (2 л/га) за допомогою енергомашини МТЗ-1025 та причіпного обприскувача Hardi Commander (24 м).

Вартісні показники пального, добрив, гербіцидів, пестицидів та обладнання для паралельного водіння були актуалізовані станом на початок 2025 року (див. табл. 3.1)

Таблиця 3.1 - Вихідні дані про ціни на витратні матеріали, початок 2025 р

Найменування витратних матеріалів та одиниць виміру	Вартість витратних матеріалів, грн.
Паливо. Дизель/за 1 літр	52
Мінеральне добриво. Нітроамофоска/за 1 т	13000
Ґрунтовий гербіцид. Альфа Гетьман/за 1 л	330
Ґрунтовий гербіцид Альфа Прометрин/за 1 л	250

Для розрахунку ефективності було обрано систему паралельного водіння, що включає монітор Trimble Ez-guide 250 та антену AD15.



а



б

Рисунок 3.1 - Система паралельного водіння

а - монітор – Trimble Ez-guide 250; б - комплектуюча антена – AD15

Орієнтовна вартість такого комплекту обладнання для однієї одиниці техніки становить близько 45 тисяч гривень. Для підвищення точності позиціонування до 2 см передбачається можливість використання власної RTK-станції (рис. 3.2) або річної підписки на сервіс AgroRTK з абонентською платою 18 тисяч гривень з ПДВ, що забезпечує корекційний сигнал на антену AG15.

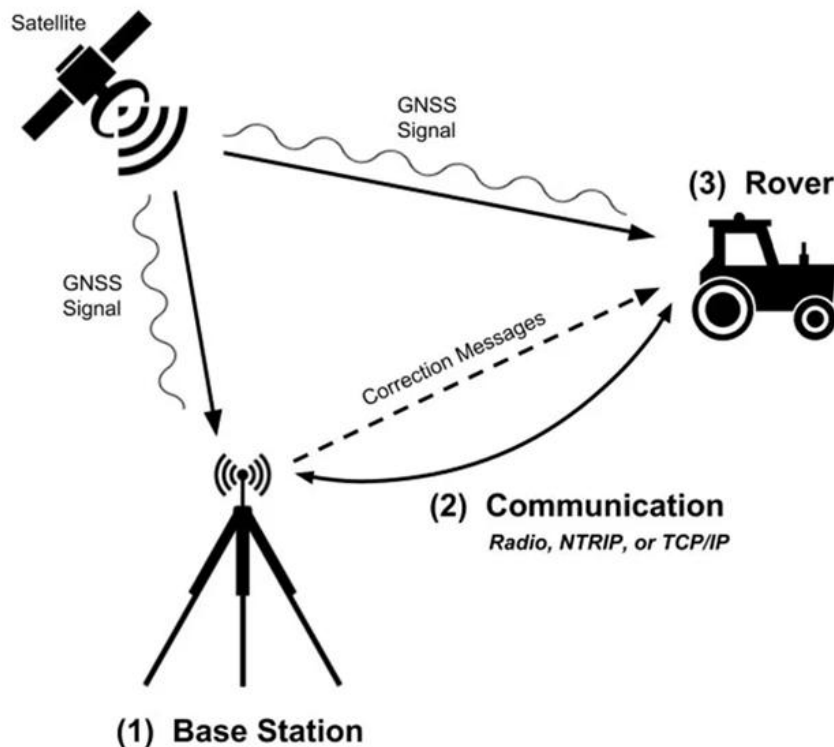


Рисунок 3.2 - RTK-станція

Далі детально проаналізовано розглянуті операції технологічного процесу у варіантах із впровадженням системи паралельного водіння та без її використання:

1. Дискування (МТЗ-1025 + АГД-2,4):

- Без паралельного водіння: при робочій ширині захвату агрегату АГД-2,4 у 2,2 м, для обробки поля площею 1000 га потрібно виконати 4546 проходів (рис. 3.3а, див.. Розрахункова витрата пального становить 1,74 л/га, що загалом складає 8000 літрів на все поле (табл. 3.2).

- З паралельним водінням: завдяки оптимізації руху, ефективна ширина захвату агрегату збільшується до 2,35 м. Це дозволяє скоротити кількість проходів до 4256 на тому ж полі (рис. 3.3б). Відповідно, витрати пального зменшуються до 7500 літрів, що демонструє економію у 500 літрів пального та 290 проходів (табл. 3.2).

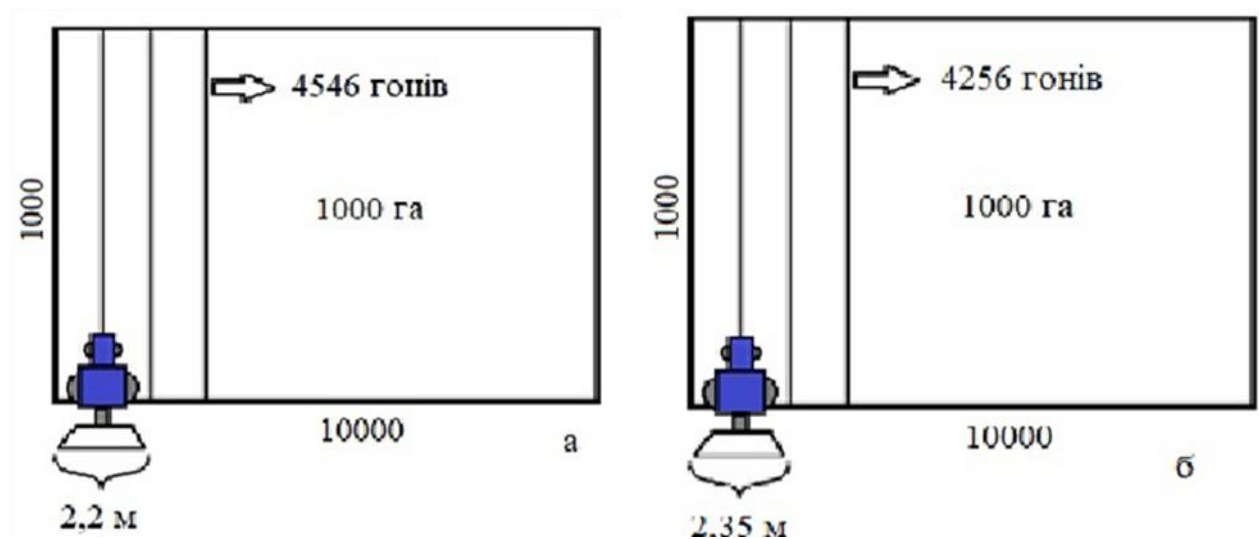


Рисунок 3.3 Схематичне зображення різної кількості гонів та різних захватів під час здійснення дискування (МТЗ-1025+ АГД-2,4) традиційним способом (а) та із застосуванням паралельного водіння (б)

Таблиця 3.2 Результати розрахунку витрат пального на полі 1 000 га під час дискування з використанням МТЗ-1025+ АГД-2,4

Параметр и	Кількісні параметри без застосування паралельного водіння	Кількісні параметри із застосуванням паралельного водіння	Різниця параметрів (+/-)
Гони, к-ть	4546	4256	-290
Пальне, л	8000	7500л	-500

2. Розкидання мінеральних добрив (МТЗ-1025 + МВД-900):

- Без паралельного водіння: при робочій ширині захвату агрегату 17,8 м та швидкості руху 8 км/год, для обробки 1000 га потрібно здійснити 562 проходи. За умови традиційної технології, перекриття між проходами становить 20 см. Це призводить до утворення зони подвійного внесення добрив площею 200 м² (0,02 га) на кожному проході. Сумарна площа перекриттів на 562 проходах досягає 11,24 га. Враховуючи норму внесення 100 кг/га нітроамофоски, на цій площі відбувається надлишкове внесення добрив.

- З паралельним водінням: застосування системи паралельного водіння дозволяє збільшити ефективну ширину захвату агрегату до 17,95 м, а кількість проходів зменшується до 558. Площа перекриття на кожному проході значно скорочується до 50 м² (0,005 га). Загальна площа перекриттів при цьому становить 2,79 га. Різниця у загальній площі перекриття між двома методами складає 8,45 га, що дозволяє заощадити 845 кг мінеральних добрив на полі площею 1000 га (див. рис.26) Витрати пального при цьому становлять 1489,86 л. Порівняльні дані витрат добрив та пального наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 Результати розрахунку витрат пального на площі 1 000 га під час внесення мінеральних добрив із використанням МТЗ-1025+ МВД-900.

Показники	Кількісні параметри без застосування паралельного водіння	Кількісні параметри із застосуванням паралельного водіння	Абсолютне відхилення параметрів (+/-)
Гони, к-ть	562	558	-4
Пальне, л	1500,54	1489,86	-10,68
Добриво на перекриття, кг	1124	279	-845

3. Передпосівна культивуація (МТЗ-1025 + КПС-4,2):

- Культиватор КПС-4,2 має робочу ширину 4,2 м.
- Без паралельного водіння: з урахуванням перекриття у 20 см, ефективна ширина захвату складає 4 м. Витрата пального на один прохід довжиною 1000 м становить 3,2 л (з розрахунку 8 л/га). Для обробки 1000 га необхідно здійснити 2500 проходів (рис. 3.4а, див. також табл.3.4).

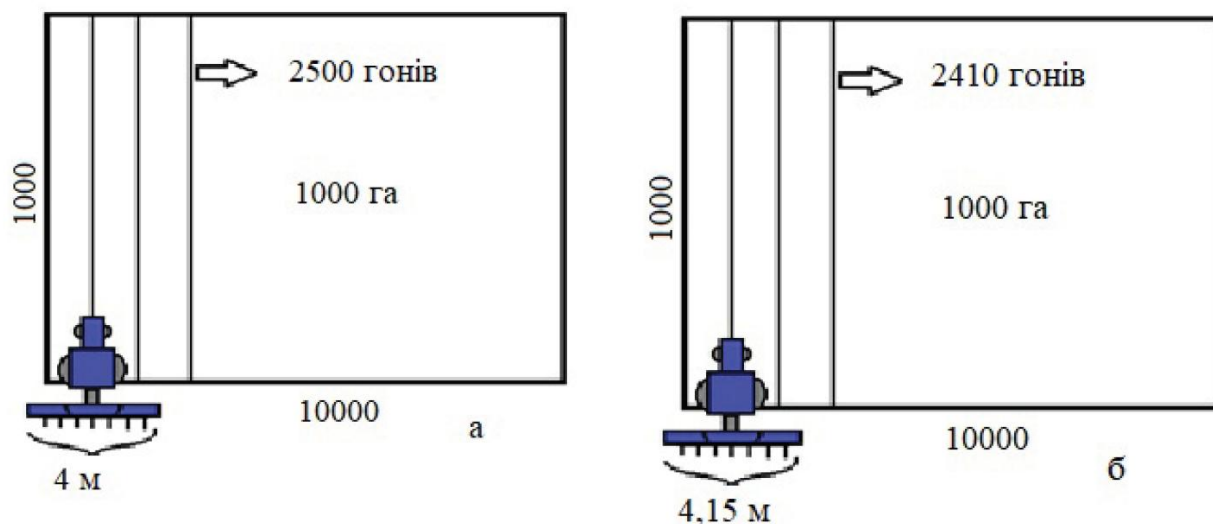


Рисунок 3.4 - Схематичне зображення різної кількості гонів та захватів під час здійснення передпосівної культивуації (МТЗ-1025+ КПС-4,2)

- З паралельним водінням: при використанні системи паралельного водіння ефективна ширина захвату збільшується до 4,15 м. Кількість проходів на

1000 га скорочується до 2410 (рис. 3.4б). Розраховані витрати пального під час передпосівної культивуації показані в табл. 3.4, демонструючи економію 288 літрів пального та зменшення на 90 проходів.

Таблиця 3.4 - Результати розрахунку витрат пального на полі 1 000 га під час передпосівної культивуації з використанням МТЗ-1025+ КПС-4,2

Параметри	Кількісні параметри без застосування паралельного водіння	Кількісні параметри із застосуванням паралельного водіння	Різниця параметрів (+/-)
Гони, к-ть	2500	2410	-90
Пальне, л	8000	7712	-288

4. Внесення ґрунтового гербіциду (МТЗ-1025 + Hardi Commander (24 м)):

- Трактор рухається зі швидкістю 6 км/год. Обприскувач 4-секційний, кожна секція має 12 форсунок з розмахом 6 м. Витрата робочого розчину з однієї форсунки – 1,23 л/хв. Загальна витрата розчину всіма секціями становить 59,04 л/хв. Один прохід довжиною 1000 м (що займає 10 хв) призводить до витрати 590,4 л робочого розчину. Для моделювання прийнято середню норму внесення гербіцидного розчину 250 л/га, при цьому концентрація кожного виду гербіциду становить 8 г на 1 л води.

- Без паралельного водіння: при ширині перекриття 20 см, операція вимагає 421 прохід (рис. 3.5а, див. також Таблицю 3.5, image_be7870.png). Кожен прохід створює зону подвійного внесення гербіцидного розчину площею 0,02 га. Загальна площа перекриттів на 421 проході складає 8,42 га, що призводить до надлишкового внесення 2105 л розчину гербіциду.

- З паралельним водінням: при оптимізованому перекритті 5 см, ефективна робоча ширина агрегату становить 23,95 м. Загальна кількість проходів зменшується до 418 (рис. 3.5б). Площа перекриття на один прохід скорочується до 0,005 га. Сумарна площа перекриттів по всьому полю становить 2,09 га, що зменшує надлишкове внесення розчину до 522,5 літрів. Різниця в

надмірному внесенні розчину гербіцидів складає 1582,5 літрів, що еквівалентно економії приблизно 12,66 кг діючої речовини кожного виду гербіцидів (Табл. 3.5)..

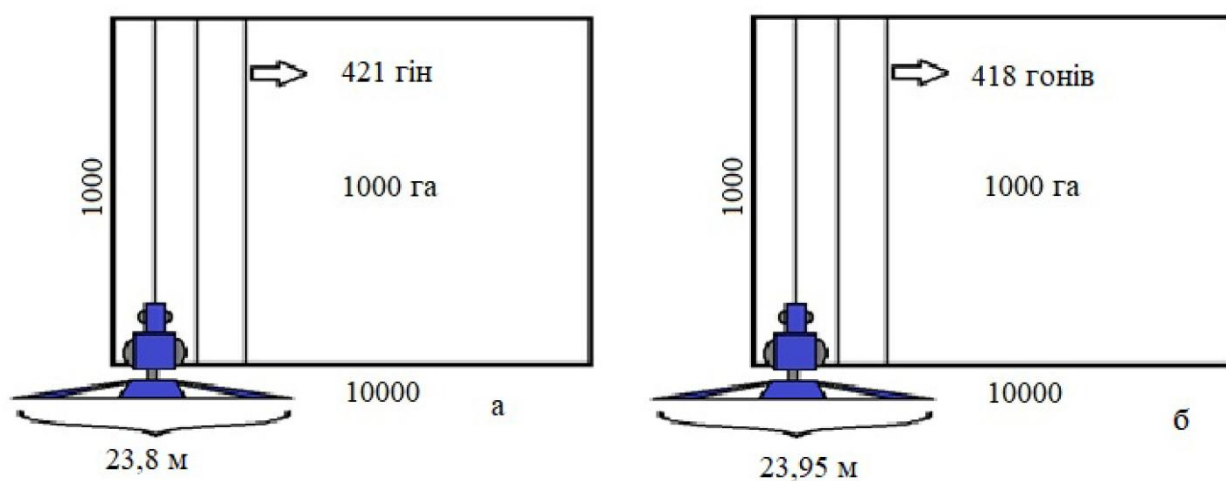


Рисунок 3.4 - Схематичне зображення різної кількості гонів та різних захватів під час внесення ґрунтового гербіциду (МТЗ-1025+ Hardi Commander (24 м))

Витрати пального для операції внесення гербіцидів були прирівняні до операції розподілу добрив і становили 1,5 л/га або 2,67 л на один гін. Економія пального за рахунок зменшення трьох проходів склала до 8 літрів (Табл.3.5).

Таблиця 3.5 - Результати розрахунку витрат пального на полі 1 000 га під час внесення ґрунтового гербіциду з використанням МТЗ-1025+ Hardi Commander (24 м)

Параметри	Кількісні параметри без застосування паралельного водіння	Кількісні параметри із застосуванням паралельного водіння	Різниця параметрів (+/-)
Гони, к-ть	421	418	-3
Пальне, л	1500,54	1492	-8,01
Робочий розчин на перекритті, л	2105	522,5	-1582,5
У т. ч. кожного виду гербіциду, кг	16,84	4,18	-12,66

Таким чином, проведений порівняльний аналіз виконання передпосівних технологічних операцій із застосуванням традиційного методу та системи паралельного водіння переконливо демонструє суттєву економію ключових ресурсів, таких як паливо, гербіциди та мінеральні добрива. Цей позитивний економічний ефект досягається переважно за рахунок значного зменшення площі перекриттів, що є прямим результатом підвищеної точності руху сільськогосподарської техніки.

В умовах Сумської області, де аграрне виробництво стикається з додатковими викликами, такими як загроза безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та ракетна небезпека, переваги цих технологій посилюються. Можливість мінімізації часу перебування техніки та персоналу на відкритих ділянках поля завдяки високій точності та швидкості виконання операцій стає важливим фактором безпеки. Моніторинг техніки в реальному часі, збір та аналіз агрономічних даних, а також можливості прогнозування врожайності - усе це надає господарствам системний підхід до управління ресурсами та підвищення продуктивності в умовах підвищених операційних ризиків. Зменшення потреби в багаторазових проходах та оптимізація маршрутів також сприяє швидшому завершенню польових робіт, зменшуючи експозицію до потенційних загроз.

Висновок до розділу

Аналіз переваг впровадження систем паралельного водіння свідчить про їх значний позитивний вплив на сільськогосподарське виробництво. Основними результатами їхнього застосування є:

- Підвищення ефективності використання ресурсів та продуктивності праці: системи паралельного водіння забезпечують оптимальну траєкторію руху сільськогосподарської техніки. Це мінімізує кількість проходів по полю, усуває перекриття та пропуски, що, у свою чергу, скорочує час, необхідний для обробки земельних ділянок, та оптимізує використання машинно-тракторного парку.
- Екологічна стійкість виробництва: точне землеробство, невід'ємною частиною якого є паралельне водіння, дозволяє раціонально розподіляти та

значно зменшувати надмірне використання агрохімікатів (гербіцидів, добрив). Це сприяє зниженню негативного антропогенного навантаження на ґрунти та водні ресурси, покращуючи екологічний стан навколишнього середовища.

- Розширення часових рамок проведення польових робіт: завдяки використанню GPS-моніторингу та навігаційних систем, сільськогосподарські операції можуть виконуватися незалежно від природного освітлення – як у світлу, так і в темну пору доби. Це суттєво підвищує гнучкість виробничого процесу, дозволяє оперативно реагувати на сприятливі погодні умови та інтенсифікувати роботу в періоди максимального навантаження, тим самим підвищуючи загальну ефективність аграрного підприємства.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпечних умов праці та дотримання норм охорони праці є критично важливими аспектами при виконанні будь-яких агротехнологічних операцій, що гарантує ефективність та соціальну відповідальність сільськогосподарської діяльності. У даному розділі детально розглядаються необхідні заходи безпеки під час виконання таких польових робіт, як передпосівна культивуація, дискування, розкидання мінеральних добрив та внесення ґрунтових гербіцидів, із залученням відповідної енергомашини та навісних/причіпних агрегатів.

4.1 Загальні вимоги до охорони праці

Перед початком будь-яких агротехнологічних робіт необхідно неухильно дотримуватися наступних загальних вимог з охорони праці:

- Обов'язкове проведення всебічного інструктажу з техніки безпеки для всіх без винятку працівників, які залучені до виконання конкретних видів робіт.

- Забезпечення та контроль за обов'язковим застосуванням персоналом відповідних ЗІЗ, зокрема захисних рукавичок, окулярів, респіраторів та спеціалізованого захисного одягу.

- Ретельна перевірка справності всіх сільськогосподарських машин та агрегатів, включаючи механічні вузли, гідравлічні системи та електричні компоненти, перед кожним початком робіт.

- Обов'язкова наявність аптечки першої допомоги з необхідними медикаментами та перев'язувальними матеріалами, а також вогнегасників безпосередньо на місці проведення робіт.

- Організація належного режиму праці та відпочинку для персоналу з метою запобігання фізичній втомі та емоційному перевантаженню, що може призвести до зниження уваги та підвищення ризику нещасних випадків.

4.2 Охорона праці при виконанні технологічних операцій

Передпосівна культивуація

При виконанні передпосівної культивуації із застосуванням трактора МТЗ-1025 та культиватора КПС-4,2, необхідно вжити наступні заходи безпеки:

- Категорично забороняється проведення робіт за несприятливих погодних умов, таких як сильний дощ або поривчастий вітер, що можуть негативно вплинути на видимість, стійкість техніки та якість виконання операцій.

- Перед початком культивуації слід ретельно перевірити справність усіх вузлів культиватора, зокрема надійність кріплення робочих органів (лап, доліт тощо).

- Під час роботи культиватора необхідно суворо уникати перебування осіб у зоні дії його робочих органів.

- Забезпечити безпеку працівників, які можуть перебувати поблизу зони роботи техніки, шляхом встановлення відповідних огорож або попереджувальних знаків.

Дискутування

Під час проведення дискутування із залученням енергомашини МТЗ-1025 та дискової борони АГД-2,4, слід дотримуватися таких заходів безпеки:

- Перед початком робіт обов'язковий детальний огляд дискової борони, включаючи перевірку справності та заточення ріжучих елементів (дисків).

- Водій трактора має бути повною мірою проінструктований щодо безпечних прийомів керування машиною, особливо на полях з нерівною поверхнею чи складним рельєфом.

- При проведенні обслуговування або ремонту дискової борони необхідно використовувати спеціальні підставки або фіксатори для запобігання неконтрольованому опусканню чи падінню робочих органів.

- Під час роботи слід постійно контролювати надійність зчеплення дискової борони з трактором та не допускати перевищення встановленої робочої швидкості, щоб уникнути втрати контролю над агрегатом.

Розкидання мінеральних добрив

При виконанні технологічної операції з розкидання мінеральних добрив за допомогою МТЗ-1025 та розкидача МВД-900, необхідно дотримуватися наступних вимог охорони праці:

- При роботі з мінеральними добривами обов'язковим є використання повного комплексу захисного одягу, рукавичок та респіраторів для запобігання прямому контакту добрив зі шкірою та дихальними шляхами (вдихання пилу).

- Перед початком роботи слід ретельно перевірити технічний стан розкидача, особливу увагу приділяючи справності дозуючих та розподільних механізмів.

- Забороняється проведення робіт на схилах з великим ухилом, щоб уникнути ризику перевертання техніки, що завантажена добривами.

- Після завершення робіт необхідно ретельно очистити розкидач від залишків добрив та промити його водою для запобігання корозії металевих частин.

Внесення ґрунтового гербіциду

При виконанні даної технологічної операції із залученням трактора МТЗ-1025 та причіпного обприскувача Hardi Commander (24 м), заходи безпеки мають бути наступними:

- При роботі з гербіцидами необхідно використовувати спеціалізовані ЗІЗ: посилений захисний одяг, респіратори з відповідними фільтрами, захисні окуляри та гумові рукавички, що забезпечують хімічний захист.

- Перед початком робіт обов'язкова детальна перевірка технічного стану обприскувача, включаючи справність насосів, форсунок, а також герметичність усієї системи розподілу розчину.

- Усі працівники, які залучені до роботи з гербіцидами, повинні бути детально проінструктовані про заходи надання першої допомоги у разі отруєння чи контакту з хімічними речовинами.

- Категорично забороняється проведення обприскування при сильному вітрі, оскільки це може призвести до зносу робочого розчину на сусідні поля, водні об'єкти або житлові зони, створюючи екологічні та здоров'язберігаючі ризики.

- По завершенню роботи необхідно ретельно промити обприскувач зі спорядженням водою з обов'язковим дотриманням заходів безпеки щодо збору та утилізації залишків розчину, щоб запобігти забрудненню довкілля.

Висновок до розділу

Забезпечення вимог охорони праці під час виконання агротехнічних операцій є ключовим фактором безпечного та результативного функціонування аграрного виробництва. Інтеграція інноваційних технологій, зокрема систем паралельного водіння, сприяє не лише підвищенню ефективності та точності виконання польових робіт, а й покращенню умов праці шляхом зниження рівня виробничих ризиків. Реалізація комплексного підходу до питань охорони праці дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення нещасних випадків і аварійних ситуацій, водночас підвищуючи економічну ефективність та стабільність аграрного підприємства в цілому.

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ

Порівняльний аналіз технологічних операцій, виконаних традиційним способом та із застосуванням систем паралельного водіння перед посівом, є ключовим етапом для визначення економічної ефективності впровадження принципів точного землеробства. Цей аналіз зосереджується на кількісній оцінці економії ключових виробничих ресурсів, таких як паливо, гербіциди та мінеральні добрива, а також на оцінці скорочення витрат робочого часу персоналу. Отримані результати дозволяють зробити обґрунтовані висновки щодо економічних переваг та рентабельності інвестицій у сучасні агротехнології.

Раціональне використання матеріальних ресурсів

Використання систем паралельного водіння у всіх видах технологічних операцій сприяє суттєвій економії матеріально-технічних ресурсів. Основні напрямки скорочення витрат розглянуто нижче:

1. Споживання пального:

– У традиційних схемах виконання операцій спостерігається підвищена витрата пального через дублювання проходів техніки та надлишкові перекриття.

– Застосування систем паралельного водіння оптимізує маршрути руху, мінімізуючи непотрібні повтори, що забезпечує помітне зниження витрат пального. Завдяки зменшенню перекриттів та оптимізації маршруту техніки, використання системи паралельного водіння забезпечує економію понад 13%, що знижує загальні витрати на енергоресурси

2. Внесення гербіцидів:

– При використанні традиційного способу спостерігається перевитрата гербіцидів через нерівномірність обробки та неточне перекриття зон внесення.

– Завдяки точному позиціонуванню техніки, автоматизоване водіння дозволяє рівномірно та точно вносити засоби захисту рослин, що знижує обсяг використання препаратів та екологічне навантаження. Точне позиціонування

техніки дозволяє уникати надлишкового внесення препаратів, що зменшує витрати на ЗЗР до 8–12% при одночасному зниженні екологічного навантаження.

3. Використання мінеральних добрив:

– При традиційному підході нерівномірне охоплення площі призводить до надмірного використання добрив або недостатнього внесення у певних зонах.

– Системи паралельного водіння забезпечують більш точне дозування та рівномірний розподіл добрив по полю, що сприяє підвищенню ефективності їх застосування та зменшенню витрат. Рівномірне покриття площі поля дозволяє уникати перевитрат добрив та підвищує їх ефективність. Скорочення використання на **11%**, що підвищує рентабельність виробництва

Зменшення трудовитрат

Хоча в даному аналізі не враховано витрати на оплату праці, важливим чинником є скорочення кількості проходів сільськогосподарської техніки по полю, що призводить до зменшення загального обсягу виконуваних робіт. Це не лише підвищує продуктивність праці, а й знижує експлуатаційні витрати на технічні засоби, скорочує зношування машин та зменшує потребу в обслуговуванні. Зниження затрат на 8–10% внаслідок оптимізації маршруту техніки.

Порівняльні показники

Узагальнені результати зміни витрат за двома підходами - традиційним і з використанням систем паралельного водіння - відображено у таблиці 5.1. Порівняння здійснено як у фізичних обсягах, так і у вартісному виразі за основними видами ресурсів. Отримані дані підтверджують економічну ефективність застосування елементів точного землеробства на етапі передпосівної підготовки.

Таблиця 5.1 - Економічний ефект від упровадження систем паралельного водіння на площі 1 000 га під час виконання передпосівної підготовки ґрунту

Найменування матеріальних ресурсів	Вартість витратних матеріалів грн/одиницю	Показники за традиційних методів		Показники під час використання систем паралельного водіння	
		Кількість, одиниць	Вартість, грн	Кількість, одиниць	Вартість, грн
Пальне, л	52	19001,08	988056,16	18193,9	946082,8
Мінеральне добриво на перекриття, Нітроамофоска, кг	37	1124	41588	279	10323
Ґрунтовий гербіцид на перекриття, Альфа Гетьман, л	330	16,84	5557,2	4,18	1379,4
Ґрунтовий гербіцид Альфа Прометрин, л	250	16,84	4210	4,18	1045
Всього, грн		-	1039411,36	-	958830,2

У грошовому еквіваленті це забезпечує значну економію ресурсів на 1 га оброблюваної площі, що підтверджує доцільність поетапного впровадження технологій точного землеробства, навіть для малих і середніх господарств.



Рисунок 5.1 - Економічний ефект від упровадження систем паралельного водіння

Висновок до розділу

Інтеграція систем автопілотування у поєднанні з іншими передовими інформаційними технологіями є ключовим фактором для досягнення виняткової точності виконання агротехнологічних операцій, забезпечуючи зменшення ширини перекриття до мінімальних 2-3 сантиметрів. Цей рівень прецизійності дозволяє максимізувати економію виробничих ресурсів та суттєво підвищити рентабельність сільськогосподарського виробництва.

Моделювання технологічних операцій, проведене на прикладі поля площею 1000 гектарів, переконливо демонструє значний економічний потенціал впровадження паралельного водіння. Зокрема, виявлено, що скорочення витрат завдяки мінімізації площі перекриттів при кожному проході техніки може сягати приблизно 81 тисячі гривень. Навіть на підставі оцінки виключно передпосівних операцій, можна стверджувати, що інвестиції у технічне оснащення господарства системами паралельного водіння забезпечать повну окупність понесених витрат протягом одного виробничого року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах виконання кваліфікаційної (магістерської) роботи було комплексно вирішено низку завдань, спрямованих на обґрунтування доцільності та ефективності впровадження систем паралельного водіння в технології вирощування зернових культур:

1. Проведено всебічний аналіз теоретичних основ підвищення ефективності зернового виробництва з використанням систем автоматичного навігаційного керування. Визначено актуальність проблеми та обґрунтовано необхідність переходу до точного землеробства.

2. Досліджено сучасні агротехнологічні підходи до вирощування зернових культур, виокремлено ключові чинники, що впливають на ефективність польових робіт та урожайність.

3. Здійснено детальне вивчення цифрових платформ, що підтримують функції паралельного водіння, як важливого компонента точного землеробства. Ці інструменти дозволяють значно підвищити точність агрооперацій, мінімізувати втрати ресурсів та оптимізувати витрати аграрних підприємств.

4. Проаналізовано технічні параметри технологічних процесів при застосуванні інноваційних рішень, зокрема систем точного висіву, дозованого внесення добрив і гербіцидів. З'ясовано, що впровадження навігаційних технологій дає змогу скоротити обсяги витратних матеріалів без шкоди для якості робіт.

5. Проведене порівняння традиційного методу виконання передпосівних операцій із методом за допомогою систем паралельного водіння довело їхню значну перевагу. Зокрема, відмічено зменшення обсягів використання пального, добрив і засобів захисту рослин завдяки усуненню перекриттів, що забезпечує суттєву економію ресурсів.

6. Моделювання технологічного процесу вирощування зернових культур із застосуванням систем навігації дозволило оцінити не лише технічні, а й

соціальні аспекти - зменшення фізичного навантаження на операторів техніки, підвищення рівня безпеки праці та загальної організації робочого процесу.

7. Проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження систем паралельного водіння. Завдяки високій точності (до 2-3 см похибки), можливе значне скорочення перекриттів під час виконання агрооперацій, що призводить до зниження собівартості продукції та підвищення прибутковості аграрного виробництва.

8. За результатами розрахунків, виконаних на прикладі поля площею 1000 гектарів, впровадження систем паралельного водіння дозволяє отримати щорічну економію витрат на рівні близько 81 тисячі гривень лише під час передпосівних операцій. Це свідчить про високу рентабельність інвестицій та потенційне повернення вкладених коштів упродовж одного господарського сезону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галич І. В., Байдужий В. В., Волошин А. С. Точне землеробство як ключ до підвищення якості агропродукції: переваги та перешкоди. Молодь і індустрія 4.0 в ХХІ столітті: матеріали ХХ Міжнар. форуму молоді, 4-5 квіт. 2024 р. Харків: ДБТУ, 2024. С. 167-168.
2. Бурляй А. П., Охрименко Б. О. Точне землеробство як напрям модернізації аграрного виробництва. *Modern Economics*. № 29. 2021. С. 29-34
3. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Захарін Ф.М., Адамчук Н.І., Пономаренко С.О. Основи застосування технологій рослинництва: монографія. К: НУБіП України, 2020.
4. Системи точного землеробства. Електронний конспект лекцій. Укладач: проф. Мілько Д.О. https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/mvz_2/page1.html
5. Сергеева, К. Сучасні технології в сільському господарстві [Електронний ресурс] / К. Сергеева // EOS.com : сайт. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://eos.com/uk/blog/suchasni-tekhnologiii-v-silskomu-hospodarstvi/> (дата звернення: 09.09.2025), вільний. – Назва з екрана.
6. Шацька З. Я. Особливості впровадження інформаційних технологій в аграрному секторі України. *Агросвіт* № 13—14, 2022. С.60-64. DOI: 10.32702/2306-6792.2022.13—14.60
7. Базака, Р., Щепаняк, А., & Костина, О. (2024). Інформаційні технології та інновації як фактор сталого розвитку сільського господарства України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*, (20), 221-227. <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2024.20.26>
8. Точне землеробство – зниження собівартості та підвищення врожайності/ Мельник О. /№ 11 АгроЕліта .- 2020 <https://agroelita.info/tochne-zemlerobstvo-znyzhennya-sobivartosti-ta-pidvyshhennya-vrozhajnosti/>
9. Saddik, A., Latif, R., El Ouardi, A., Elhoseny, M., & Khelifi, A. (2022). Computer development based embedded systems in precision agriculture: tools and application. *Acta Agriculturae Scandinavica - Section B Soil and Plant Science*, 72(1), 589-611. <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.2024874> ((Вбудовані системи на основі комп'ютерної розробки в точному землеробстві: інструменти та застосування).
10. Chen, L., & Wu, J. (2023). *Big Data Analytics for Crop Yield Prediction and Management*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 331, 109287 DOI: 10.1051/e3sconf/202448003023
11. Ganesan, S., & Kumar, R. (2020). *Variable Rate Technology for Nutrient Management in Precision Agriculture*. *Precision Agriculture*, 21(5), 901-915 <https://www.ijabe.org/>

12. Dubey, A., & Srivastava, S. (2019). *Automated Guidance Systems in Agricultural Machinery: A Review*. Biosystems Engineering, 185, 1-13
DOI: [10.17221/53/2017-RAE](https://doi.org/10.17221/53/2017-RAE)
13. Nguyen, T., & Kim, S. (2022). *Remote Sensing for Crop Monitoring and Yield Prediction in Precision Agriculture*. Agronomy Journal, 114(3), 1601-1615.
14. Tymoteusz Millerrz, Grzegorz Mikiciuk. The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now-A Systematic Review of Smart . Sensing Technologies *Sensors* 2025, 25(12), 3583; <https://doi.org/10.3390/s25123583>
15. Brown, K., & Miller, L. (2021). *Cloud-Based Agricultural Platforms: Enhancing Farm Management and Decision Making*. Agricultural Systems, 187, 102987. DOI: [10.1109/ICRITO61523.2024.10522252](https://doi.org/10.1109/ICRITO61523.2024.10522252)
16. Elbasi, E.; Mostafa, N.; AlArnaout, Z.; Zreikat, A.I.; Cina, E.; Varghese, G.; Shdefat, A.; Topcu, A.E.; Abdelbaki, W.; Mathew, S.; et al. Artificial Intelligence Technology in the Agricultural Sector: A Systematic Literature Review. *IEEE Access* 2023, 11, 171–202. [Google Scholar] [CrossRef]
17. Yuyang Yuan, Yong Sun. Practices, Challenges, and Future of Digital Transformation in Smallholder Agriculture: Insights from a Literature Review. *Agriculture* 2024, 14(12), 2193; <https://doi.org/10.3390/agriculture14122193>
18. Mykhaylichenko Y. Digital Farming : tutorial / Y. Mykhaylichenko, O. Derkach, I. Volovyk ; Dnipro State Agrarian and Economic University. – Dnipro : Zhurfond, 2023. – 103 p. – Режим доступу : <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/9822>.
19. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. В. І Мельника. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.
20. Лесюк В.С. Управління ефективністю використання машинно-тракторного парку аграрних підприємств. August 2020 Agrosvit. DOI: [10.32702/2306-6792.2020.15.74](https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.15.74)
21. Болтянська Н. І., Болтянський О.В. Аналіз шляхів підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку. *Машини і засоби сільськогосподарського виробництва, Праці ТДАТУ*. Вип.14, Т.3,с.204-209
22. Точне землеробство Ag Leader. <https://www.eridon-tech.com.ua/precision-farming/>
23. Інтегрована система автоматичного водіння John Deere AutoTrac. <https://traktorist.ua/articles/223-autotracs-implementation-guidance>
24. Система телеметрії AgCommand від AGCO <https://traktorist.ua/articles/42-sistema-telemetriyi-agcommand-vid-agco>

25. Меланія Несмачна. Огляд систем паралельного водіння сільгосптехніки. Біржа сільгосптехніки Traktorist.ua 2021. <https://traktorist.ua/articles/oglyad-sistem-paralelnogo-vodinnya-silgosptehniki>

26. Програмне забезпечення Trimble Ag. <https://www.vantage-ssa.com/trimble/portfolio/trimble-ag-software/>

27. Копішинська О.П., Маренич М.М. Ефективність упровадження систем точного землеробства в аграрних підприємствах/ Науковий вісник ХДУ. Серія Економічні науки. Аипусе 34, 2019.- С. 157-163. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2019-34-34

28. Neftissov, Alexandr; Biloshchytskyi, Andrii; Andrashko, Yurii; Kuchanskyi, Oleksandr; Vatskel, Volodymyr; Toxanov, Sapar; Gladka, Myroslava. EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PRECISION FARMING TECHNOLOGIES IN THE ACTIVITIES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES.. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, Vol 127, Issue 13, p6. DOI:10.15587/1729-4061.2024.298478

29. Olena Kopishynska, Yurii Utkin, Oleksandr Galych Main Aspects of the Creation of Managing Information System at the Implementation of Precision Farming. 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT). DOI: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125072

30. Mukhamedova, K.R.; Cherepkova, N.P.; Korotkov, A.V.; Dugasheva, Z.B.; Tvaronavi čiene, M. Digitalisation of Agricultural Production for Precision Farming: A Case Study. Sustainability 2022, 14, 14802. <https://doi.org/10.3390/su142214802>

31. Clapp, J.; Ruder, S.-L. Precision technologies for agriculture: Digital farming, gene-edited crops, and the politics of sustainability. Glob. Env. Polit. 2020, 20, 49–69 https://doi.org/10.1162/glep_a_00566

ДОДАТКИ