МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“___” _____ 2025 р.
Зав. кафедри ___к.т.н., доцент___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ _____А.В. Войтік___
(підпис) (ініціали, прізвище)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту
___бакалавр__
(освітній рівень)

тема проекту: **«Удосконалення технологічного процесу вирощування озимої пшениці з обгрунтуванням конструкційних параметрів обприскувача John Deere 4940»**

Виконав: студент 3 курсу, групи 31к-з-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Підгородецький Олександр Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник: доц., Петриченко Є. В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії
Освітня програма бакалавр
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ А.В. Войтік
“___” _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

студенту **Підгородецькому Олександру Олександровичу**
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема проекту: **«Удосконалення технологічного процесу вирощування озимої пшениці з обгрунтуванням конструкційних параметрів обприскувача John Deere 4940»**
керівник проекту доц., Петриченко Є. В.
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від
“14” листопада 2025 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом проекту 15.05.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: способи зниження коливань машинно-тракторних агрегатів; літературні джерела; шляхи підвищення тягово-зчіпних показників колісних тракторів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:
- оцінити значення озимої пшениці як основної культури в аграрному секторі України;
- проаналізувати проблеми ущільнення ґрунту внаслідок роботи сільськогосподарської техніки;
- виконати розрахунків для штанг обприскувача з розширеною робочою шириною захвату;
- розробити пропозиції щодо заходів із забезпечення безпеки праці та охорони навколишнього середовища;
- провести техніко-економічної оцінки розробленої технології та використовуваного обладнання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломного проекту: машино-тракторний парк; конструктивне рішення удосконаленого обприскувача John Deere 4940; показники економічної ефективності;

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Петриченко Є. В., доцент		

7. Дата видачі завдання 23 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	30.09.2024 р.	
2.	Розділ 1.	14.10.2024 р.	
3.	Розділ 2.	28.11.2024 р.	
4.	Розділ 3.	11.12.2024 р.	
5.	Розділ 4.	25.02.2025 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	23.03.2025 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	15.05.2025 р.	

Студент _____ **Підгородецький О.О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Петриченко Є.В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП 5
1 ТЕХНІЧНЕ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРО- ЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УКРАЇНІ 6
1.1. Роль пшениці озимої як основної культури в сільському гос- подарстві України ... 6
1.2. Технології вирощування пшениці озимої в сільському госпо- дарстві України 13
1.3. Технічне забезпечення вирощування пшениці озимої 17
1.4. Проблеми ущільнення ґрунтів технікою 24
1.5. Обсяг і структура виробництва 28
1.6. Структура МТП 29
1.7. Використання МТП підприємства в технології No-Till при ви- рощуванні пшениці озимої 30
1.8. Обґрунтування теми дипломного проекту 33
2 ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 35
2.1. Вихідні дані до розрахунку штанг обприскувача зі збільшеною шириною захвату 35
2.2. Розрахунок конструкції консольного типу 40
2.3. Графічний розрахунок у програмі «Ліра САПР 2016» 43
3 **ОХОРОНА ПРАЦІ** 46
3.1. Загальні положення з охорони праці 46
3.2. Організаційні та технічні заходи по створенню безпечних умов праці працівників 46
3.3. Вимоги безпеки праці при внесенні ЗЗР агрегатом John Deere 4930 47
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ 49
4.1. Суть економічного ефекту 49
4.2. Розрахунок економічної ефективності 49
ВИСНОВОК 53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 54

ВСТУП

Пшениця озима – одна з найбільш розповсюджених у світі сільськогосподарських культур. На її частку припадає 31% світового врожаю зерна. На- селення планети зростає і, за прогнозами, досягне дев'яти мільярдів людей до 2050 року, що призведе до глобальної потреби в їжі. Про це, зокрема наго- лошує канадський фермер Роберт Саїк, який написав книгу "Food 5.0. How we feed the future" у 2019 р. Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва потребує розробки ресурсозберігаючих технологій.

Основним завданням технологій вирощуванні пшениці є отримання високих запрограмованих урожаїв високої якості за умови збереження та (або) підвищення родючості ґрунту. В Україні досягнуто відносно високого рівня виробництва зерна озимої пшениці, однак залишаються невирішеними агротехнічні та екологічні проблеми, які перешкоджають подальшому зростанню продуктивності. Зокрема, Придніпровський регіон знаходиться в зоні ризи- кованого землеробства. Основним ризиком є недостатня кількість опадів.

У нашій країні клімат ґрунту, погодні умови, а також удосконалення агротехніки є важливим лімітуючим фактором, що визначає рівень урожай- ності та якісні показники зерна озимої пшениці. Раціональним шляхом підвищення продуктивності озимої пшениці в сучасних умовах господарювання є впровадження у виробництво сучасних високопродуктивних сортів, а також удосконалення елементів технології вирощування озимої пшениці з науково обґрунтованою системою внесення добрив. Розробка методів управління родючістю ґрунтів на основі використання мінеральних добрив і вдосконалення елементів технології обробітку ґрунту є важливою з наукової точки зору і має велике практичне значення.

1 ТЕХНІЧНЕ ТА ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРО- ЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УКРАЇНІ

1.1. Роль пшениці озимої як основної культури в сільському господарстві України

Повномасштабна агресія російської федерації, що розпочалась на початку 2022 року, спричинила серйозні потрясіння в усіх сферах життя в Україні. Особливо значних втрат зазнав аграрний сектор. Зокрема, у 2022 році було зафіксовано рекордно низький валовий урожай озимої пшениці — лише 19,4 мільйона тонн, що на 40% менше у порівнянні з 2021 роком. Окупація частини територій, забруднення сільськогосподарських земель вибухонебезпечними предметами та бойові дії на значних площах призвели до зменшення площ посіву пшениці з 7,1 млн га до 4,7 млн га, тобто на 34% менше, ніж у попередньому році.

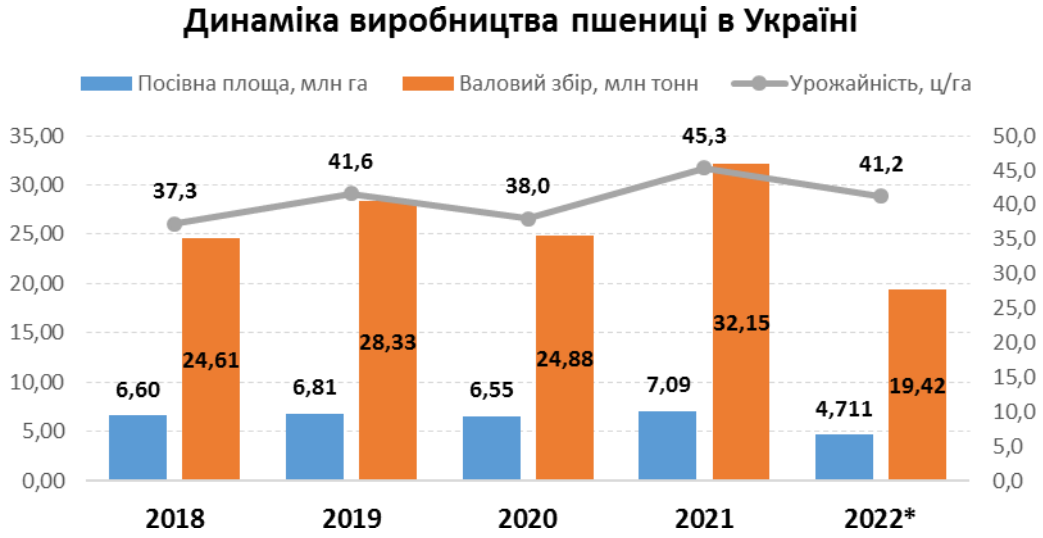


Рис. 1.1. Динаміка виробництва пшениці в Україні

Порушення логістичних ланцюгів постачання, зростання цін на добрива, паливо, комплектуючі та запасні частини змусили українських аграріїв перейти в режим очікування та активного пошуку нових шляхів для ведення господарської діяльності. Попри складні обставини, середня врожайність пшениці у 2022 році становила 41,2 ц/га, що лише на 9% менше, ніж у 2021 році, і на 8% більше порівняно з показником 2020 року.

Слід враховувати, що офіційна статистика щодо збору врожаю не включає дані зі східних регіонів, які перебувають під окупацією або де тривають бойові дії. Разом з тим, Запорізька область, яка традиційно є однією з провідних за обсягами виробництва пшениці, зібрала близько 2 мільйонів тонн зерна в останні сезони. Варто зазначити, що на

підконтрольних уряду територіях вдалося забезпечити збирання врожаю та внести його до загального балансу зерна країни.

Аналізуючи обсяги виробництва пшениці по регіонах, найбільше скорочення спостерігається в областях, наближених до зони активних бойових дій (рис. 1.2). Зокрема, у 2022 році Харківська область зазнала падіння врожайності на 61% у порівнянні з попереднім роком. У Дніпропетровській області зниження становило 34%, в Одеській — 46%, а в Миколаївській — 37%.

Варто також відзначити, що саме Запорізька та Херсонська області у 2021 році забезпечували разом до 46% загального обсягу вирощеного зерна в країні. Однак через бойові дії та часткову окупацію ці регіони суттєво втратили свої виробничі можливості.

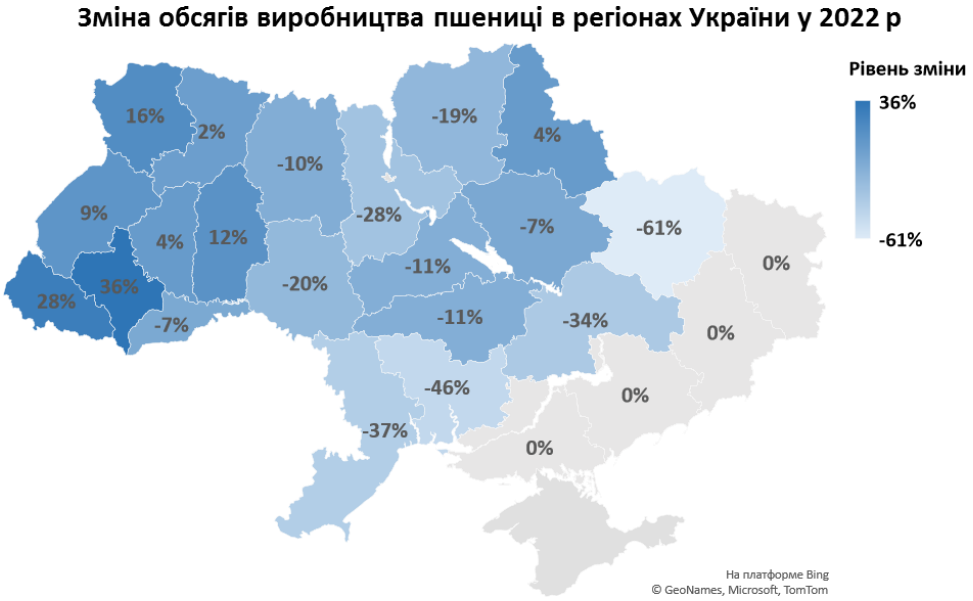


Рис. 1.2. Зміна обсягів виробництва пшениці по регіонах України у 2022 році.

Різке зростання обсягів виробництва у західних регіонах України частково компенсувало втрати валового збору пшениці в прифронтових та небезпечних зонах. Так, у Хмельницькій області спостерігалося зростання валового збору на 12%, у Волинській – на 16%, у Закарпатській – на 28%, а в Івано-Франківській – на 36% у порівнянні з попереднім роком. Проте сукупний урожай цих областей становив лише 373,5 тис. тонн, що залишається недостатнім для повноцінної компенсації втрат навіть однієї з провідних аграрних областей України.

Внаслідок окупації територій і блокування портової інфраструктури, вивезення пшениці за кордон було повністю припинено на чотири місяці. У цей період аграрні підприємства перебували в стані невизначеності, шукаючи

альтернативні логістичні маршрути. Лише після підписання «Зернової ініціативи» і розблокування трьох портів у зоні «Великої Одеси» ситуація почала поступово покращуватись. Проте у перший місяць дії угоди обсяги експорту були досить незначними — трохи більше 140 тис. тонн. Хоча щомісячні поставки поступово зростали, повернення до рівня попередніх років не відбулося. Найвищий показник експорту був зафіксований у жовтні — майже 2 млн тонн. У листопаді ж, через посилення загрози припинення дії угоди, обсяги скоротилися до 1,8 млн тонн. Подальші ракетні удари, пошкодження енергетичних об'єктів та зупинка ключової інфраструктури, включаючи порти, у грудні призвели до ще більшого зниження обсягів експорту.



Рис. 1.3. Динаміка експорту пшениці з України, тис. тонн

Морський експорт зернових через ключові порти не виправдав очікувань через обмеження на обсяги відвантажень. У результаті значне зростання спостерігалося в експорті зерна річковим та наземним транспортом у напрямку країн Європейського Союзу. Частка автотранспорту в загальному обсязі експорту коливалася в межах 9%, тоді як залізничне сполучення забезпечувало близько 10%. Наприкінці року відсоток перевезень автомобілями знизився до 8%, однак частка залізничного транспорту збільшилася до 13%. При цьому частка морських перевезень залишалася нижчою за 80%.

Розширення логістичних маршрутів і використання альтернативних видів транспорту безпосередньо вплинули на зміну географії збуту української пшениці. Якщо в період із липня по листопад 2021/22 маркетингового року країни Європейського Союзу не входили до десятки найбільших імпортерів українського

зерна, то вже в аналогічний період сезону 2022/23 п’ять держав ЄС потрапили до ТОП-10 покупців. Це свідчить про позитивні зміни в адаптації українського аграрного експорту до нових умов.



Рис. 1.4. Зміна географії експорту української пшениці, тис. тонн

Протягом перших п’яти місяців поточного маркетингового сезону Туреччина виступила головним імпортером української пшениці. Варто зазначити, що ця країна вже входила до трійки лідерів за обсягами закупівель у попередньому сезоні, а в 2022/23 МР збільшила імпорт на 12% у порівнянні з липнем-листопадом 2021/22 МР.

Другою за обсягами закупівель стала Румунія, яка, незважаючи на те, що традиційно є експортером пшениці, імпортувала з України близько 1,2 млн тонн зерна. Це свідчить про використання румунських портів, зокрема порту Констанца, як перевалочних хабів для подальшого експорту українського зерна.

Іспанія зайняла третє місце серед країн Європейського Союзу за обсягами імпорту. Згідно з даними Єврокомісії, за попередні два сезони вона імпортувала відповідно 478 тис. тонн і 382 тис. тонн пшениці. Однак лише за п’ять місяців 2022/23 МР поставки з України досягли 808 тис. тонн. Таким чином, лише дві держави за короткий період імпортували обсяги, які раніше відповідали річному показнику всього ЄС.

Також значні поставки були здійснені до Польщі (439 тис. тонн), Італії (346 тис. тонн) та Угорщини (211 тис. тонн). Це свідчить про те, що Україна набула

статусу одного з ключових постачальників пшениці до Європи, хоча значна частина імпорту йшла на реекспорт. Незважаючи на те, що країни ЄС залишаються конкурентами України на глобальному зерновому ринку, у складні часи для нашої держави партнерські відносини допомагають долати виклики та виходити за межі типової конкуренції.

Упродовж п’яти місяців сезону експорт української пшениці склав майже 6,8 млн тонн. Це на 54% менше, ніж у попередньому сезоні, і становить лише 49% від прогнозованого потенціалу експорту (14 млн тонн), визначеного експертами ІА «АПК-Інформ» за оптимістичним сценарієм з урахуванням функціонування портів «Великої Одеси».

Щодо перспектив, то база для врожаю пшениці 2023 року вже сформована — близько 97% посівів становлять озимі сорти. Проте посівні площі під майбутній урожай скоротились на 57%, склавши лише 3,8 млн га — це історичний мінімум для останніх років. Цей показник також на 20% менший, ніж площі зібраної пшениці у 2022 році без урахування чотирьох тимчасово окупованих регіонів. На зменшення посівів вплинули як погодні умови (волога осінь і рясні опади в окремих областях), так і триваючі бойові дії.

Враховуючи високу собівартість виробництва, ризики для безпеки та невизначеність у логістиці, прогнозується подальше зменшення обсягів вирощування пшениці у майбутньому сезоні.

Згідно зі звітами аграріїв, найбільше скорочення площ під озимою пшеницею зафіксовано в Харківській області — на 70% у порівнянні з минулим роком. У Сумській області зменшення врожаю становило 39%, у Черкаській — 28%, у Миколаївській — 25%. Натомість приріст зафіксовано в Закарпатській області (+33%), Житомирській (+17%), Івано-Франківській та Хмельницькій — по +1%.

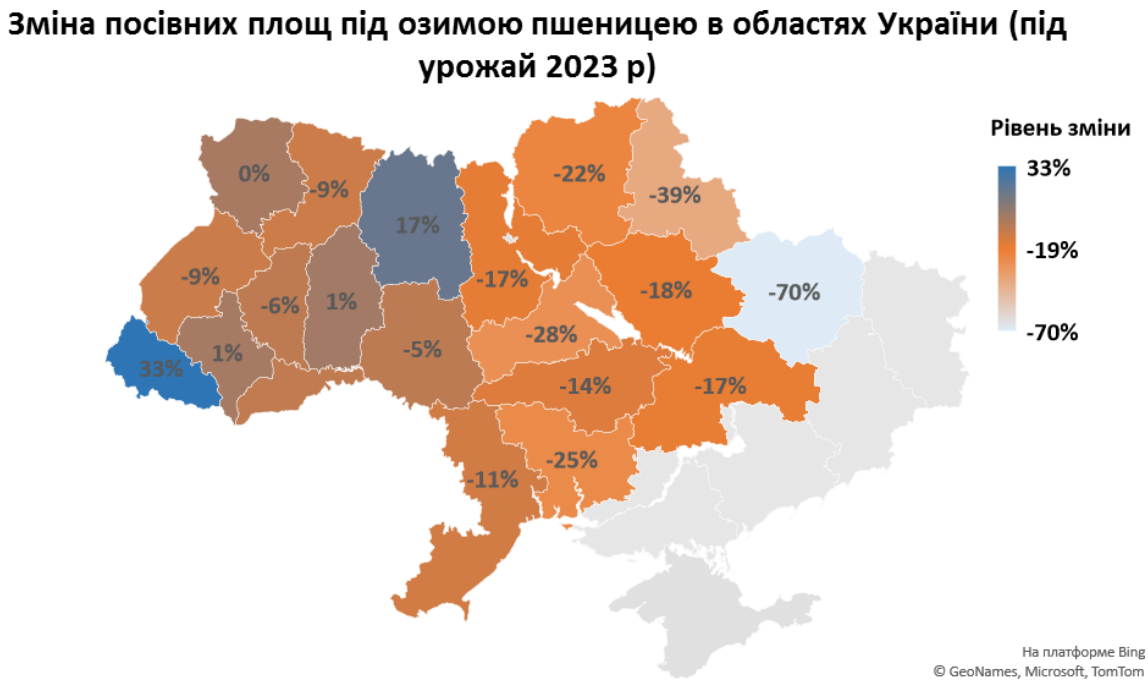


Рис. 1.5. Зміна посівних площ озимої пшениці по регіонах України (під урожай 2023 р.)

Компенсувати втрати озимої пшениці за рахунок посіву ярої практично неможливо, оскільки в Україні переважно вирощуються озимі сорти, тоді як ярі займають лише близько 3% загальної площі під пшеницею. Додатковим обмеженням є нижча врожайність ярої пшениці, що зменшує її привабливість для аграріїв.

Незважаючи на скорочення валового збору пшениці, наявність значних перехідних залишків з попереднього маркетингового сезону та їх можливий експорт дозволяють очікувати формування напруженої, але керованої рівноваги на внутрішньому ринку. У контексті забезпечення продовольчої безпеки країни існує ймовірність достатньої кількості продовольчого зерна, однак точні оцінки з’являться лише на пізніх стадіях вегетації, коли стане доступна інформація про якісні характеристики врожаю.

Разом із тим, воєнні ризики залишаються критичним чинником, здатним кардинально змінити ситуацію. Вони можуть паралізувати весь ланцюг створення доданої вартості — від ускладненого доступу до сировини та ресурсів до порушення можливостей з переробки та реалізації продукції. Однак позитивним сигналом стала вища, ніж очікувалося, продуктивність агросектору в 2022 році, що дає підстави розраховувати на добрий врожай і в подальшому.

Після початку повномасштабної агресії Росії український експорт

сільськогосподарської продукції фактично зупинився, що призвело до нагромадження мільйонів тонн зерна всередині країни. Багато держав, особливо з Африки та Близького Сходу, залишилися без важливих постачань. У відповідь було відкрито сухопутні транзитні маршрути до Європейського Союзу через прикордонні держави-сусіди — Польщу, Угорщину, Румунію та Болгарію. Ці коридори дозволили експортувати зерно через порти Балтії до кінцевих споживачів.

Втім, різке зростання обсягів перевезень створило серйозне навантаження на логістичну інфраструктуру країн ЄС, які до цього не були готові. Раніше основним каналом постачання залишався морський транспорт, який був дешевшим та ефективнішим. Зміна логістичної парадигми негативно вплинула на локальні ринки.

Першою очевидною проблемою стало перевантаження складських та портових потужностей, однак вирішальним фактором загострення ситуації став економічний вплив українського зерна на аграрні ринки Європи. Хоча транзит мав бути спрямований на забезпечення інших континентів, частина української продукції залишалася на території ЄС, де її почали скуповувати місцеві трейдери. Це спричинило падіння цін і незадоволення європейських аграріїв, зокрема польських, що призвело до масових протестів.

Хоча обсяг поставок до ЄС був відносно невеликим, уразливість європейського сільськогосподарського ринку, зокрема в Польщі, зробила його вразливим до навіть незначного зростання конкуренції. Наприклад, за умов виробництва в Польщі 30 млн тонн зерна, додаткові 2,5–3 млн тонн з України серйозно дестабілізували ринок. Польські фермери, які залучали кредити й очікували на прибуток після збору врожаю, не змогли реалізувати продукцію через наявність дешевшої альтернативи.

Політики Європейського Союзу були змушені реагувати на суспільне невдоволення, захищаючи національних виробників. З метою уникнення обвалу ринку було запроваджено нові правила контролю транзиту. Серед них — встановлення електронних пломб, відстеження вантажів за допомогою системи SENT, а також фізичний супровід вантажів до портів або кордонів інших країн ЄС.

Такі заходи дали змогу відновити транзит з 20–21 квітня, але вже за нових умов. Слідом за Польщею аналогічні ініціативи з обмеження експорту з України висловили Словаччина, Угорщина, Болгарія та Румунія, остерігаючись перетікання

зернових потоків на свою територію. Попри побоювання, повної заборони експорту не сталося, а обмеження мали радше тимчасовий захисний характер.

Єврокомісія, реагуючи на тиск від країн-членів, розглядала запровадження тимчасових обмежень на імпорт українського зерна до країн-сусідів. Водночас можливість реекспорту через ці території зберігалася. Таким чином, збереження транзитного статусу прикордонних країн є стратегічно важливим для України. Адже безпосередній вихід на ринки країн Африки й Близького Сходу залишається ключовою метою українського аграрного експорту, а не його реалізація на внутрішньоєвропейському ринку.

1.2. Технології вирощування пшениці озимої в сільському господарстві України

Для досягнення високого і стабільного врожаю пшениці необхідно вирощувати високоврожайні сорти озимої пшениці, які добре адаптовані до специфічних ґрунтово-кліматичних умов Придніпров'я, таких як посуха, заморозки та хвороби. Важливим є також високий генетичний потенціал сортів. Крім того, ефективне застосування сучасних агротехнологій, таких як Mini-Till, Strip-Till та No-Till, має велике значення для досягнення високих результатів.

Цього року посіви озимої пшениці в південних, центральних та північно-східних областях зазнали серйозного температурного стресу через пізні заморозки у березні та квітні, а також тривалі посухи. Іноземні сорти постраждали набагато більше, ніж місцеві, і деякі з них навіть вимерли. Це ставить питання щодо доцільності поширення іноземних сортів у регіонах, де їхні властивості не відповідають місцевим умовам.

У світовій практиці вирощування озимої пшениці можна виділити кілька напрямків, крім інтенсивного, витратного підходу, що застосовується у країнах Західної Європи. Зокрема, є технології енергозбереження, розроблені та вдосконалені українськими вченими, які дозволяють отримувати врожай з меншими витратами ресурсів. Також важливо згадати американський підхід, який поєднує інноваційні методи з врахуванням екологічних факторів.

Напрямок розвитку сільського господарства в Україні орієнтується на максимальний економічний ефект від виробництва пшениці. Інтенсивний підхід до агровиробництва зерна пшениці набув значного поштовху, особливо після того, як

соціально-економічні зміни в Україні змусили аграріїв коригувати структуру посівних площ. Це рішення було пов'язане не тільки з внутрішніми потребами країни, а й з новими економічними умовами на місцевих та міських територіях.

Згідно зі змінами в структурі посівних площ, в останні п'ять років площі під озимою пшеницею зменшилися до середнього рівня 5,6 млн га. Водночас площі під соняшником зросли до 6,2 млн га, що значно перевищує науково обґрунтовані норми (3 млн га). Площі під кукурудзою також збільшилися в 2,3 рази – з 2,5 млн га до 5,7 млн га. Інші культури, такі як озимий ріпак і соя, стали менш поширеними через зміну економічних умов. Також значно збільшилися площі під озимим ячменем (до 1,1 млн га), орієнтуючись на експорт. Водночас площі під кормовими культурами зменшилися до критично низького рівня – близько 0,5 млн га.

Завдяки таким змінам порушена стабільна система сівозміни, яка раніше була основою аграрного виробництва в Україні. Традиційна сівозміна замінена ситуативною ротацією 2–3 культур, що знижує ефективність використання земель. Для компенсації відсутності сівозміни сільгоспвиробники змушені застосовувати дорогі та енергоємні технології вирощування багаторічних рослин.

Озиму пшеницю в Україні вирощують за традиційною технологією, що включає дискування, оранку, вирівнювання грунту, культивацію та посів. Крім того, фермери дотримуються основних принципів ефективності: вирощують пшеницю після кращих попередників, застосовують інтенсивні сорти та вносять добрива для забезпечення високих врожаїв.

Для досягнення запланованої врожайності озимої пшениці необхідно враховувати кілька важливих факторів. Основними є внесення азотних добрив навесні на основі результатів ґрунтово-рослинної діагностики, застосування інтегрованої системи захисту від бур'янів, хвороб і шкідників, а також використання регуляторів росту, якщо це необхідно. Крім того, важливо зберігати постійні технологічні сліди при посіві та забезпечити високу професійну дисципліну механізаторів під час виконання всіх технологічних операцій. Організація біологічного контролю за ростом і розвитком рослин на ключових етапах органогенезу також відіграє важливу роль [27].

Інтенсивна технологія вирощування пшениці спрямована на максимально ефективне використання потенціалу її продуктивності через оптимальну

мобілізацію природних і техногенних ресурсів [15, с. 20]. Сучасні сорти озимої пшениці, що мають високий врожайний потенціал, потребують родючих ґрунтів, оптимального рівня вологості та мінімального засмічення бур'янами. Це збільшує важливість правильного вибору попередників для цієї культури.

У посушливих і напівпосушливих південних регіонах України сівбу озимої пшениці рекомендується здійснювати після попередників, які мінімізують висушування кореневого шару ґрунту, а також забезпечують умови для водопостачання сходів. В умовах північних районів важливо вибирати попередників, які забезпечують оптимальні строки сівби, збалансованість поживних речовин у ґрунті та мінімальне засмічення бур'янами [2].

Згідно з дослідженнями, кращими попередниками для озимої пшениці в степових районах України є чорна та біла пшениця, горох і люцерна при зрошенні, а в Лісостепу – зайняті пари, горох, багаторічні трави під укіс. У Поліссі найкращими попередниками є зайняті та сидеральні пари, горох, молода картопля та льон. Вибір кращих попередників може збільшити врожайність пшениці на 7-10 т/га порівняно з вирощуванням після стерньових попередників.

Для запровадження інтенсивної технології на всіх територіях України важливо правильно підбирати попередників, оскільки це безпосередньо впливає на ефективність вирощування пшениці та забезпечення високих врожаїв.

Попередниками для вирощування озимої пшениці можуть бути різноманітні культури, такі як силосна кукурудза, ріпак, гречка, а також деякі стерньові попередники, зокрема озима пшениця, оброблена чорним добривом, або багаторічні трави [1, с. 25]. За умови застосування менш сприятливих попередників, можливий високий урожай пшениці, проте це призводить до додаткових витрат на внесення добрив, гербіцидів та засобів для захисту рослин від шкідників і хвороб, що в результаті підвищує вартість продукції.

Інтенсивні сорти пшениці, які використовуються в Степу, включають такі, як Безоста 1, Одеська напівкарликова та інші низькорослі та середньостовбурні сорти, що забезпечують приріст урожайності до 15-20 т/га при сівбі після кращих попередників. Ці сорти демонструють особливо високу реакцію на попередників. В Лісостепу до таких сортів належать Донська напівкарликова, Вікторія Одеська, Киянка, а на Поліссі популярні сорти Ганна та Миронівська 33.

Високорослі сорти пшениці, які схильні до вилягання, слід висівати після стерньових попередників, таких як кукурудза [25].

Основною метою обробітку ґрунту в посушливих районах є збереження вологи під час сівби пшениці, що є особливо важливим у таких умовах. В зонах із достатнім зволоженням обробіток ґрунту спрямований на боротьбу з бур'янами та якісне виробництво післяжнивних решток і добрив, особливо після сівби пшениці після кукурудзи або багаторічних трав. Створення достатнього ущільнення орного шару із щільністю 1,1–1,3 г/см³ і дрібнозернистого посівного шару, де понад 80% грудок мають діаметр від 1 до 3 см, є ключовим для забезпечення належних умов для розвитку культури.

Залежно від попередника і вологості ґрунту під час обробітку можна використовувати орний або безорний метод. Якщо в орному шарі вміст продуктивної вологи менше 20 мм, що характерно для посушливих умов, то найбільш ефективним є нульовий (безплужний) або поверхневий обробіток за допомогою дискових лущильників або плоскорізів. За достатнього рівня вологості ґрунту та раннього збирання попередника, а також на забур'янених ділянках, кращі результати дає обробіток пару плугами.

При обробітку ґрунту під пшеницю після збирання попередника, лущення стерні починається одразу, причому агротехнічний період лущення зазвичай складає 2-3 дні. Якщо зволікати з цим процесом на один день, втрати можуть досягти 20-30 кг/га врожаю. В залежності від типу засмічення поля бур'янами (однорічними чи багаторічними), проводять одне або два лущення. Для полів, засмічених однорічними бур'янами, звичайно використовують дискові лущильники (ЛДГ-10, ЛДГ-15), регулюючи глибину обробітку в межах 6-8 см. Якщо одного проходу недостатньо для належного виконання агротехнічних вимог, лущильник застосовують ще раз, під кутом або упоперек до першого проходу. Для досягнення кращої якості обробітку використовують котки (ЗККШ-6) або борони (БЗСС-1,0, БЗТС-1,0, ЗБР-24).

Після проростання бур'янів, поле оруть плугами з передплужниками (ПЛН-5-35, ПЛП-6-35), застосовуючи котки для досягнення глибини 20-22 см у Лісостепу. На Поліссі та в Степу з обмеженим вологим шаром ґрунту оранка здійснюється на глибину 16-18 см, оскільки глибше обробіток може призвести до пересихання

орного шару [17].

Оранку під озиму пшеницю завершують не пізніше ніж за 3-4 тижні до оптимальних термінів сівби. При запізненні з оранкою, ґрунт може не ущільнитися належним чином, що збільшує ризик пошкодження кореневої системи пшениці через її осідання. Це особливо важливо при сівбі після кукурудзи на силос [35].

Метою передпосівного обробітку ґрунту є створення оптимального структурно-агрегатного складу насіннєвого шару, який має ущільнене ложе для насіння та дрібнозернистий шар ґрунту. Для цього найкраще використовувати культиватори (КПС-8 «Восход», КПЄ-3,8, КН-3,8) з стрілчастими лапами. Культивацію комбінують з боронуванням зубовими боронами (БЗТС-1,0, БЗСС-1,0), а за недостатньої вологості ґрунту додають коткування котками (3ККШ-6). Для кращого вирівнювання поверхні ґрунту обробіток проводять похило на глибину 4-6 см. На більш важких ґрунтах замість культиваторів використовуються інші методи обробітку.

Для обробітку ґрунту на легших ґрунтах застосовують комбіновані знаряддя, такі як Ecolo-Tiger-350, а на більш легких ділянках обмежуються лише боронуванням. Сидеральні пари перед сівбою обробляються дисками на глибину 5-7 см [32].

1.3. Технічне забезпечення вирощування пшениці озимої

Протягом останніх 15 років компанія «Агро КМР» активно впроваджує технологію No-Till — інноваційний підхід до обробітку ґрунту, що виключає використання оранки. Замість цього застосовуються спеціалізовані машини, які дозволяють зберігати поверхню ґрунту в стабільному стані, покриваючи її подрібненими залишками пожнивних культур. Це створює умови для активної діяльності корисних мікроорганізмів, що сприяють мінералізації органічних решток та збільшенню органічної маси в верхніх шарах ґрунту. Внаслідок цього покращується структура ґрунту і підвищується його природна родючість.

Додатковою перевагою є те, що мульча, яка утворюється на поверхні ґрунту, значно знижує втрати вологи та ефективно захищає ґрунт від ерозії. В арсеналі компанії знаходяться сучасні ґрунтообробні агрегати, зокрема каток зубчасто-кольчастий DAL-BO Powerrol, який використовується для післяпосівного каткування полів, а також агрегат Vaderstad Carrier 820, що відповідає за підготовку

насіннєвого ложа та покращення рельєфу поля.

Також в компанії використовують культиватори HORSCH CULTRO 18 TC для подрібнення стерні та мульчування посівів зернових культур, а також HORSCH FQ-12.30, призначений для поверхневого обробітку ґрунту на задану глибину. Всі ці агрегати агрегатуються з тракторами CASE IH типу Magnum, CVX та AFS Connect, що дозволяють забезпечити мінімальний тиск на ґрунт, рівномірно розподіляючи навантаження для зменшення ущільнення верхнього шару ґрунту.

Таке оснащення та застосування сучасних технологій впливають на посів, де насіння висівається за допомогою точних сівалок, таких як HORSCH Maestro 24.50 SV, HORSCH EVO 36.50 SW, TERRANO 12.50 FM та Avatar 18.60 SD. Ці сівалки використовуються для висіву насіння разом із добривами в непідготовлену землю, забезпечуючи високу ефективність та точність посадки.

Технологія No-Till має декілька значних недоліків, зокрема скорочення термінів виконання основних агротехнічних операцій, таких як сівба, внесення гербіцидів, мінеральних добрив і збирання врожаю. Високі вимоги до рівності поля також можуть бути обмеженням, оскільки нерівномірне розподілення ґрунту може вплинути на ефективність операцій. Крім того, використання No-Till може сприяти накопиченню в ґрунті патогенних мікроорганізмів та шкідників, що потребує більш інтенсивного застосування засобів захисту рослин. Це також може уповільнити процес накопичення біологічного азоту в ґрунті, що веде до зниження схожості насіння та сповільнення початкових темпів росту культур.

Попри це, технологія No-Till має суттєві переваги. Через 3 і більше років застосування вона позитивно впливає на водно-фізичні, біологічні та хімічні властивості ґрунту в кореневмісному шарі. Також спостерігається зниження витрат на оплату праці, амортизацію техніки, паливно-мастильні матеріали та добрива. Важливою перевагою є збереження та відновлення родючості ґрунту, що сприяє збільшенню кількості гумусу, а також запобігання ерозії ґрунтів. Технологія допомагає затримувати та накопичувати вологу, що є особливо корисним для посушливих регіонів.

Основним елементом цієї технології є боротьба з бур'янами, хворобами та шкідниками через хімічний захист. Це вимагає інтенсивного використання пестицидів, гербіцидів та здійснення поверхневого живлення рослин, з

використанням сучасної техніки, такої як JOHN DEERE 3930, R4045 та HORSCH Leeb 6.280 VL. При переході на No-Till також посилюється засмічення полів кореневищними та коренепаростковими бур'янами, а видовий склад бур'янів змінюється на користь багаторічних злаків.

Одним із значних недоліків технології No-Till є необхідність проведення не менше двох обробок посівів фунгіцидними та інсектицидними засобами, що може значно збільшити витрати на засоби захисту рослин. Крім того, проблемою є ефективне управління бур'янами, особливо багаторічними злаками та дводольними рослинами, що потребує додаткових зусиль.

Важливим етапом в агротехнічному циклі є збиральна кампанія, яка визначає загальну ефективність попередніх етапів вирощування. Для цієї мети компанія має шість зернозбиральних комбайнів CASE IH 9240, оснащених жатками MACDON FLAXDRAPER HEADER FD 75 та жниварками для збору зерна CASE IH 41G і 3152 DRAPPER FIX 12.20 m, що загалом складає 8 одиниць техніки. Ці комбайни дозволяють досягти високої врожайності навіть у складних умовах, гарантуючи мінімальний рівень пошкодження зерна, завдяки своїй конструкції та спеціальним колесам, що знижують вплив на ущільнення ґрунту.

Комбайни оснащені потужними двигунами, що дозволяють значно заощаджувати паливо під час роботи. Крім того, у їхньому складі є перевантажувальні бункери HARVEST COMMANDER та Unverferth 1128, які ефективно виконують функцію переносу зерна з комбайна в вантажівку для подальшого транспортування на елеватор чи склад. Завдяки гусеничному ходу, техніка рівномірно розподіляє тиск на ґрунт, що допомагає уникати надмірного ущільнення поверхні.

Оскільки управління такою кількістю техніки вимагає чіткого контролю та високого рівня автоматизації, компанія "Агро КМР" успішно впровадила систему супутникового моніторингу посівів Cropwise. Ця система дозволяє здійснювати контроль за станом посівів на кожному етапі, забезпечуючи точність та ефективність виконання агротехнічних операцій.

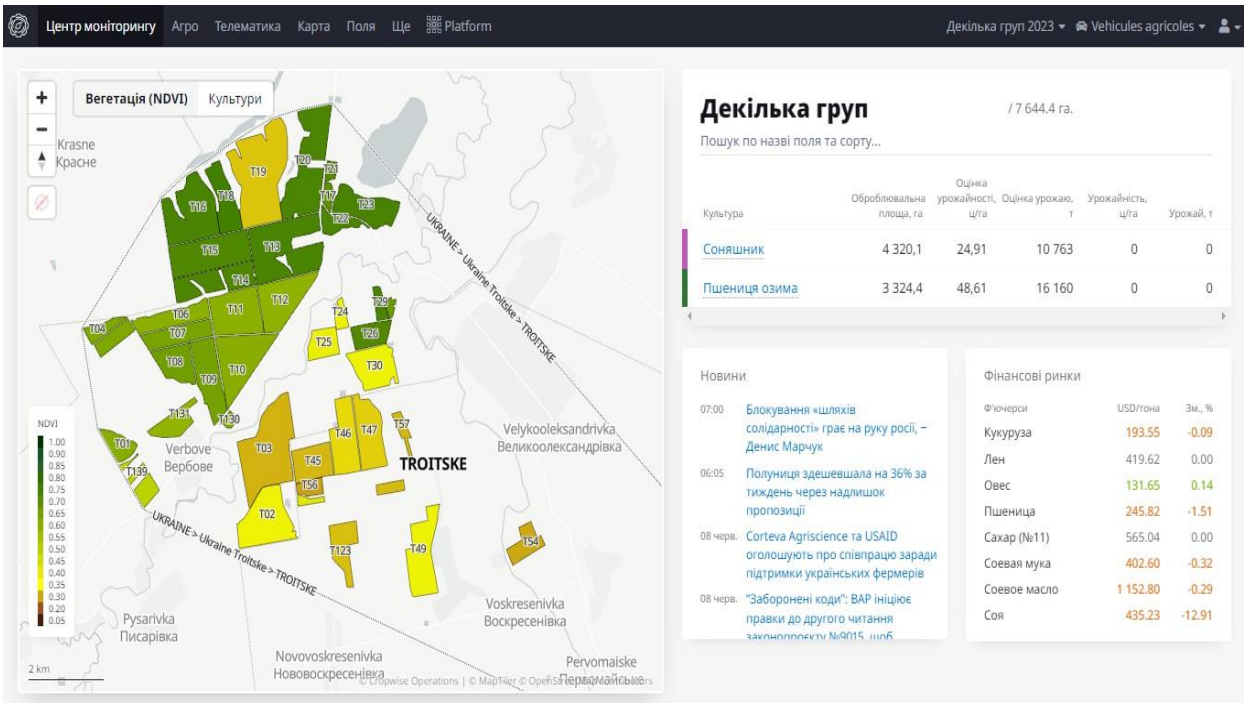


Рис.1.6. Відображення посівів у програмі Cropio.

Цей функціонал дозволяє здійснювати моніторинг стану посівів в реальному часі, що сприяє точному прогнозуванню та ефективному плануванню агротехнічних операцій. Завдяки цьому інструменту можна формувати прогнози щодо майбутнього врожаю, що значно покращує управління сільськогосподарським процесом.

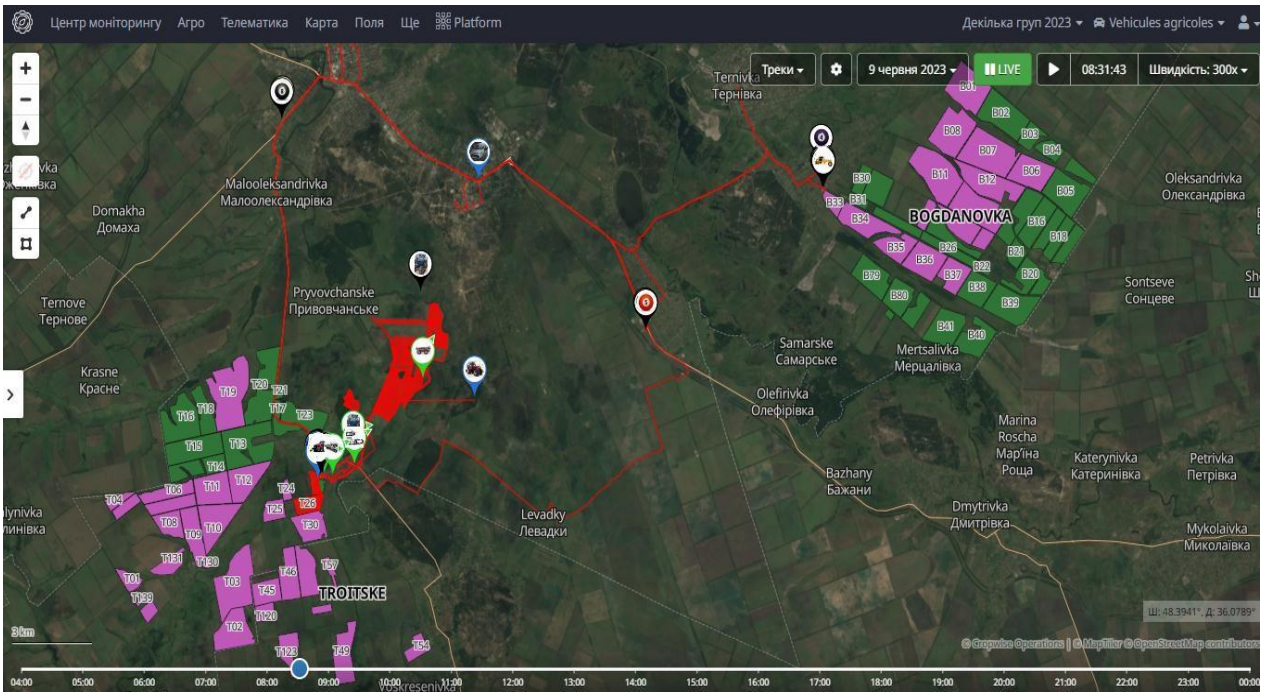


Рис. 1.7. Генплан ТОВ «Агро КМР».

Система супутникового моніторингу техніки в реальному часі дозволяє точно відслідковувати роботу тракторів і машин, аналізувати ефективність виконаних операцій та оцінювати якість їхнього виконання. Це дає змогу визначити оптимальні умови для кожної технологічної процедури на полях.

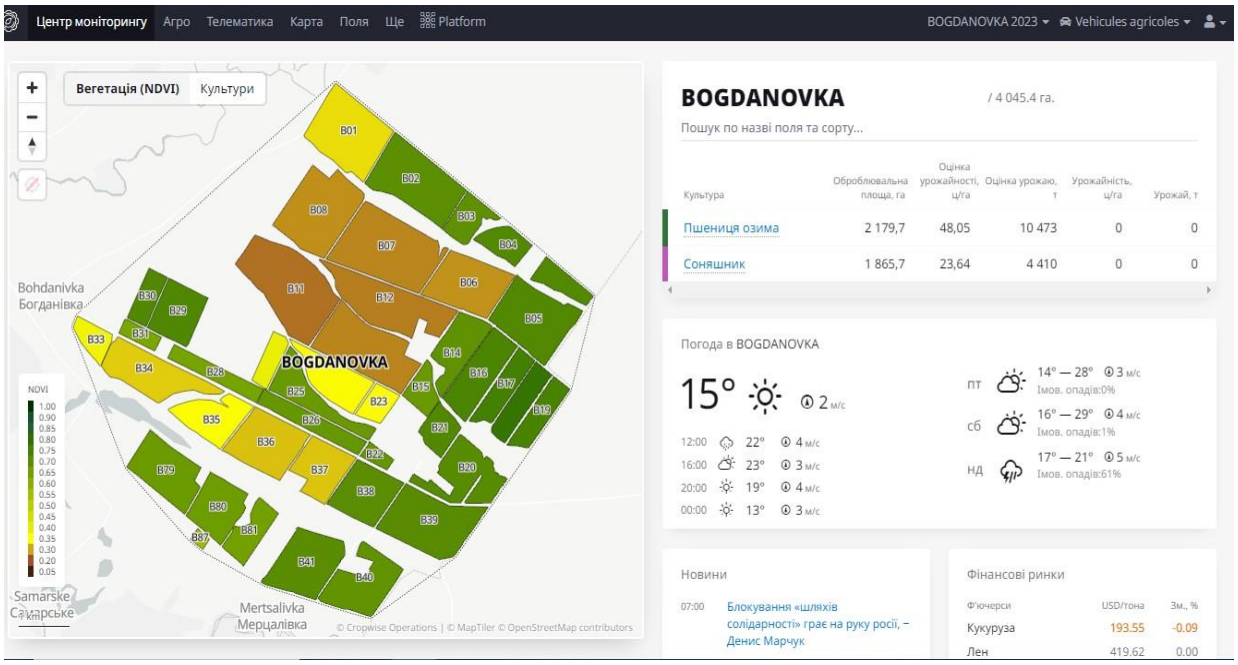


Рис. 1.9. Відділення ТОВ «Агро КМР» в с. Богданівка

Час сівби пшениці є важливим фактором, який залежить від її ролі в сівозміні, кліматичних особливостей регіону, а також доступності необхідної техніки для посіву. Вченими розроблені рекомендації для кожного регіону, які визначають оптимальні терміни сівби, базуючись на прогнозах настання вегетативного спокою, а також з урахуванням поточних погодних умов.

У південних регіонах сівба починається раніше, щоб забезпечити рослинам достатньо вологи від зимового снігу та весняних дощів, що сприяє їхньому здоровому розвитку та запобігає дефіциту води під час формування зерна. На півночі сівбу можна проводити пізніше через нижчі середньодобові температури. Оптимальним для посіву є температурний режим 14-17°C.

Занадто ранній посів може призвести до підвищеного ризику розвитку кореневих хвороб і ураження рослин шкідниками, які активні в цей період. Окрім того, у такому випадку рослини можуть мати знижену зимостійкість через недостатнє зміцнення до настання морозів.

При використанні інтенсивних сортів пшениці, а також застосуванні фунгіцидно-інсектицидного захисту та обробці насіння якісними препаратами можна зменшити ймовірність виникнення ризиків, пов'язаних з захворюваннями та шкідниками. Запізнення з термінами сівби може призвести до того, що рослини не встигнуть накопичити достатньо поживних речовин, що негативно вплине на їх здатність пережити зимівлю.

Згідно з українськими державними стандартами, для посіву пшениці необхідно використовувати насіння першої-третьої репродукції, з мінімальною схожістю 92 % для м’якої пшениці та 87 % для твердої, а також з чистотою від бур'янів та домішок не менше 98 %. Вологість насіння повинна бути не більше 15-15,5 %.

Перед посівом насіння проходить сортування за розміром і однорідністю, очищення від бур’янів та інших культурних домішок, а також обробку від патогенних мікроорганізмів та ґрунтових шкідників. Для цього використовують спеціальні зерноочисні машини та агрегати, такі як ЗВС-20А, МВО-20, ОВС-25, а також зерносушильні комплекси КЗС-25Б, КЗС-25 чи КЗС-50.

Насіння, яке має стандартну вологість (14-15,5 %), протруюється за 2-3 тижні або за 2-4 дні до сівби за допомогою машин ПС-30, ПС-10А, КПС-10 або КПС-40.

Сам процес сівби здійснюється перехресними або вузькими рядами, з міжряддям 14-15 см, або 7-8 см, в залежності від умов. У південних районах використовуються зернові стерньові сівалки з шириною міжрядь 23 см. Якщо ґрунт достатньо зволожений, загортання насіння відбувається на глибину 5-6 см. У випадку, коли верхній шар ґрунту підсихає, а в глибших шарах зберігається волога, глибина загортання збільшується на 1-2 см, і поле коткується. Для сівби вибираються лише великі і здорові зерна.

Насіння пшениці, що має високий рівень якості, використовується для сівби на важких суглинках та при пізньому терміні посіву, коли відстань між рядами складає 4-5 см. Добрива є важливим фактором, що значно підвищує врожайність та якість зерна пшениці. Це пов'язано з тим, що в ґрунті більшість поживних речовин перебувають у малорозчинній формі, а коренева система рослин має обмежену фізіологічну активність. Тому використання добрив під пшеницю на різних типах ґрунтів забезпечує ефективний ріст рослин.

Зазвичай під пшеницю вносять мінеральні добрива, тоді як під попередні культури — органічні. Гній або компост рекомендується вносити безпосередньо під пшеницю тільки на бідних ґрунтах з вмістом гумусу не більше 2,2 %, а також після стерньових попередників. Середня норма внесення рідкого гною на чорноземах складає 20-25 т/га, а на дерново-підзолистих і сірих опідзолених ґрунтах — 30-35 т/га.

Для ґрунтів з підвищеною кислотністю (pH 5,5 і менше) використовують добрива з лужною реакцією, такі як нітрат натрію або кальцію, шлаки, фосфоритне борошно та інші. Для кислих ґрунтів застосовуються фізіологічно кислі добрива, наприклад, сульфат амонію та суперфосфат.

Враховуючи обмежену кількість добрив у господарствах, для досягнення високих урожаїв пшениці важливо враховувати рекомендації щодо норм мінеральних добрив, що були розроблені науково-дослідними установами. Середні норми внесення азоту, фосфору та калію для озимої пшениці в інтенсивних технологіях складають 90-120 кг/га. Однак ці норми можуть варіюватися в залежності від родючості ґрунту, стану попередників та інших факторів.

Розрахунок і внесення мінеральних добрив здійснюється за допомогою розкидачів, таких як Amazone, що використовуються в ТОВ «Агро...», що дозволяє точно дозувати необхідні елементи живлення для пшениці.

При внесенні рекомендованих норм добрив важливо враховувати особливості ґрунту на кожному полі. Під час вегетації пшениці застосовують азотні добрива в рамках інтенсивних технологій, орієнтуючись на результати поживної діагностики, яка включає ґрунтові, листові та тканинні аналізи. Візуальні спостереження за розвитком рослин, а також параметр NDVI, також допомагають оцінити потреби культури в живленні.

Ґрунтова діагностика передбачає визначення рівня доступного азоту (нітратного та аміачного), фосфору та калію в ґрунті. Для цього вибирають проби ґрунту в декількох точках поля (від 5 до 10 точок), після чого з них формують середню пробу для аналізу в лабораторії. Проби відбирають ранньою весною після відтавання ґрунту, а глибина відбору залежить від типу ґрунту: для дерново-підзолистих — 0-100 см, для чорноземів — 0-60 см. За результатами аналізу визначають потребу рослин у мінеральному азоті. Для вирощування 60 кг/га пшениці на ранніх етапах навесні необхідно 160 кг/га азоту. Якщо цей рівень перевищує 160 кг/га, додаткові азотні добрива вносяться лише в місцях із слабким ростом пшениці.

Протягом зими стан рослин також контролюється. Для точного визначення стану озимих культур широко використовується метод вирощування монолітів. Це передбачає відбір зразків ґрунту з типовими ділянками поля, їх транспортування в

ящики і подальше вирощування рослин. Для більш швидкої оцінки стану посівів використовують метод вирощування рослин у воді. Проби відбирають із двох сусідніх рядків, промивають коріння в воді кімнатної температури, обрізають корені, залишаючи 3-4 см від кореневого вузла, а потім розкладають рослини на тарілках з водою.

Для запобігання утворенню ґрунтової кірки та зменшення випаровування вологи, на посівах здійснюють боронування. В залежності від розвитку посівів застосовують середні або важкі борони, а також кільчасті котки на полях із різним ступенем розвитку рослин.

Особливу увагу потрібно приділяти своєчасному виявленню зріджених ділянок озимих культур після зимового періоду, які потребують підгортання або досіву ярими культурами. Для цього використовуються спеціалізовані діагностичні інструменти, що дозволяють точно визначити густоту життєздатних рослин, рівень проріджения посівів та стадію їх розвитку.

У степових районах, де густота посівів може бути меншою за 300 невкорінених рослин на м², варто утриматися від пересівання, якщо на ділянці залишаються 200–250 здорових рослин на м².

Для збору врожаю комбайни повинні бути налаштовані таким чином, щоб мінімізувати втрати зерна, які не повинні перевищувати 1%, а також пошкодження зерен. Швидкість роботи агрегатів варіюється: для зернозбиральних комбайнів — 6–7 км/год, а для молотильних валків — 4,5–5 км/год.

1.4. Проблеми ущільнення ґрунтів технікою

Ущільнення ґрунту відбувається в результаті стискання його частинок, що зменшує кількість пор між ними. Це призводить до зниження обсягу ґрунту і підвищення його щільності [36, с. 25].

При високій щільності ґрунту спостерігається зниження швидкості проникнення води та дренажу. Це відбувається тому, що більші пори більш ефективно транспортують воду, ніж дрібніші. У свою чергу, ущільнені ґрунти мають значно знижене газообмінне здатність, що також негативно позначається на їх родючості та здатності підтримувати здоровий розвиток рослин.

Ущільнення ґрунту призводить до зменшення його пористості, що, в свою чергу, погіршує аерацію і водопроникність. Хоча ущільнення підвищує міцність

ґрунту та його здатність чинити опір механічним навантаженням, воно змушує кореневу систему рослин докладати більше зусиль для проростання через ущільнені шари. Це збільшує навантаження на рослини і може спричиняти їх уповільнений ріст.

Зміни, які відбуваються при ущільненні ґрунту, можна виміряти через насипну щільність. Зі збільшенням ущільнення поровий простір ґрунту зменшується, що веде до збільшення його маси. Ґрунти з вищим вмістом глини або мулу, які природно мають більше пористого простору, звичайно мають нижчу насипну щільність порівняно з піщаними ґрунтами.

На сьогодні проблема ущільнення ґрунту стає все більш актуальною через інтенсивне використання важкої техніки та неефективні агротехнічні методи, які погіршують структуру ґрунту та знижують його родючість. В Україні, незалежно від типу ґрунту – чорнозем або глина – поширені випадки переущільнення, що виявляється у багатьох господарствах.

Це явище є серйозною проблемою для сільського господарства, оскільки ущільнений ґрунт значно знижує врожайність і прибутковість. Відомо, що близько 90% орного шару ґрунту піддається ущільненню під час першого проходу техніки. Згодом, навіть при контролюваному русі, певна частина ґрунту продовжує ущільнюватися, а між коліями земля залишається менш ущільненою.

Перехід до більш контролюваного руху техніки є складним процесом, що потребує багато років адаптації, і кожне нове придбання техніки має враховувати ці довгострокові стратегії.

Один із ключових підходів до боротьби з ущільненням ґрунту — підтримка оптимального тиску в шинах та зменшення навантаження на вісь техніки. Високе навантаження на вісь, особливо в умовах вологого ґрунту, значно збільшує глибину ущільнення ґрунту. Якщо навантаження перевищує 10 тонн на вісь, це може призвести до значного ущільнення орного шару ґрунту.

Великі сільськогосподарські машини можуть надавати навантаження на вісь від 18 до 40 тонн, що створює ущільнення на глибину від 60 до 90 см, незалежно від того, оснащені вони шинами чи гусеницями. Тому важливо підтримувати навантаження на вісь не більше ніж 10 тонн, щоб ущільнення обмежувалося верхніми шарами ґрунту на глибину 15-25 см.

Крім того, на рівень ущільнення ґрунту значно впливає загальний контактний тиск між шинами та ґрунтом. Раніше, коли вага тракторів збільшувалася, шини теж ставали більшими, що допомагало знижувати тиск на ґрунт. Водночас, правильний тиск у шинах є одним з найбільш ефективних способів зменшити ущільнення ґрунту.

Дослідження показали, що гусеничні трактори можуть створювати тиск від 0,4 до 0,6 кг/см², залежно від ваги трактора та ширини колії, і цей тиск може змінюватися під час руху. Радіальні шини, у свою чергу, створюють тиск, який на 0,5-1,0 кг перевищує тиск, за якого вони накачані. Наприклад, якщо радіальну шину накачати до 2,7 кг/см², фактичний тиск може досягати 3,2-3,7 кг/см².

Старі шини, що мають тиск повітря в діапазоні від 2,7 до 3,7 кг/см², можуть швидко зношуватися і не забезпечувати належної ефективності. Тому їх надувають до значно вищих тисків (від 9 до 11 кг/см²), що збільшує ущільнення ґрунту та погіршує його структуру.

Для того, щоб зменшити ущільнення ґрунту в зоні плуга, необхідно підтримувати оптимальний радіальний тиск у шинах на рівні приблизно 1,77 кг/см². Це дозволяє ефективно знизити ступінь ущільнення та зберегти структуру ґрунту.

Коли трактор оснащений здвоєними колесами, цей метод допомагає розподілити навантаження на кожну шину, тим самим зменшуючи тиск на ґрунт. Застосування таких коліс не тільки зменшує необхідний тиск у шинах, але й знижує глибину та інтенсивність ущільнення, що позитивно впливає на родючість ґрунту.

Щодо вантажних причепів, таких як зерновози з великою вантажопідйомністю, їх виробники повинні враховувати можливість зниження навантаження на ґрунт. Один зі способів досягти цього — збільшення кількості осей на транспортному засобі, що допомагає рівномірно розподіляти вагу та мінімізувати ущільнення.

Для наочності давайте розглянемо конкретний приклад з аналізом ущільнення ґрунту на полі площею 200 гектарів, розміри якого складають 1000 × 2000 м. На схемі буде зображено рух обприскувача John Deere 3930 з робочою шириною захвату 36,5 м. Якщо агрегат рухається вздовж коротшої сторони поля, тоді можна визначити кількість проходів за допомогою наступних розрахунків:

$$N = \frac{2000}{36{,}5} = 54{,}8 \text{ приймаємо } 55.$$

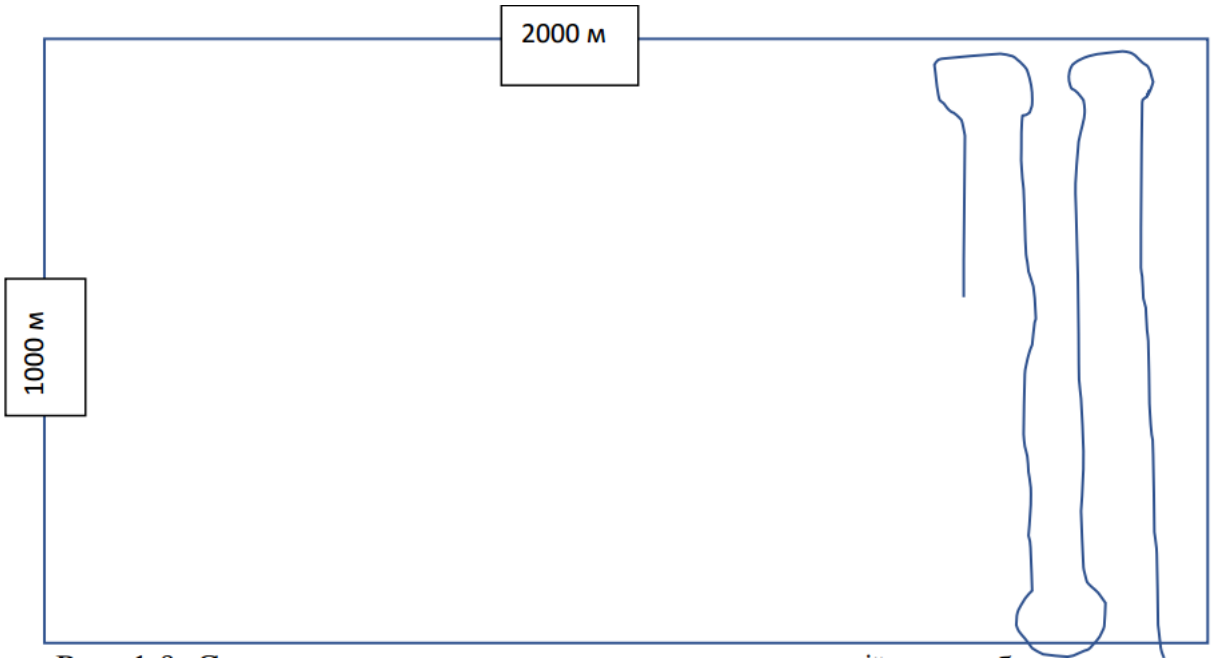


Рис. 1.9. Спрощена схема поля та початок траєкторії руху обприскувача.

Отже, якщо обприскувач проходить уздовж поля завдовжки 2000 м 55 разів, і кожен прохід становить 1000 м, то загальна довжина слідів від коліс становитиме 55 км.

Відомо з технічних даних, що ширина одного колеса – 0,3 м, а двох коліс – відповідно 0,6 м. Тому загальна площа ущільненого ґрунту на полі буде дорівнювати:

$$S_{баз} = 0{,}6 \cdot 55\,000 = 33000 \text{ м}^2 \text{ або } 3{,}3 \text{ га.}$$

Тепер виконаємо аналогічний розрахунок для проєктованої ширини захвату агрегата:

$$L_{баз} = 36{,}5 + 8 = 44{,}5 \text{ м}$$

Визначимо кількість проходів при новій ширині захвату: 2000 / 44,5 = 44,9, тобто для розрахунків приймаємо 45 проходів.

Отже, у порівнянні з базовим варіантом, кількість проходів скоротилася приблизно у 1,2 раза.

Сумарна довжина ущільненого шляху в цьому випадку становитиме: 45 000 м, або 45 км.

З урахуванням ширини колії (0,6 м для двох коліс), площа ущільненого шару складе: $S_{проект}$ =45 000 м × 0,6 м = 27 000 м²

Розрахунки демонструють, що конструкційні вдосконалення обприскувача можуть значно зменшити площі, що зазнають ущільнення. Пропонується модернізація конструкції, яка передбачає збільшення робочої ширини захвату

самохідного обприскувача. Це досягається шляхом використання штанг зі склопластику, довжина яких становить по 4 метри з кожного боку агрегату. Завдяки такому вдосконаленню ширина захвату обприскувача збільшиться з 36,5 до 44,5 м, що дозволить зменшити кількість проходів по полю та знизити рівень ущільнення ґрунту.

1.5. Обсяг і структура виробництва

Гомподарство активно займається виробництвом та реалізацією сільськогосподарської продукції, впроваджуючи інноваційні агротехнології, що відповідають вимогам сучасного ринку та сприяють збереженню навколишнього середовища. Основні напрямки діяльності компанії включають вирощування зернових і технічних культур, зокрема озимої пшениці, ярого ячменю, гороху, сої, озимого ріпаку та кукурудзи на зерно. Використовуючи новітню техніку та технології, компанія досягає високих результатів у виробництві сільськогосподарської продукції, яка є популярною серед споживачів Європейського Союзу, Північної Африки та Азії.

Таблиця 1.1 Площа посіву та урожайність основних с.-г. культур в господарстві

Культури	Площа посіву, га				Врожайність, т/га			
	2020	2021	2022	Середня	2020	2021	2022	Середня
Оз. пшениця	7000	8000	9700	8233	6,0	6,2	6,7	6,3
Ярий ячмінь	1000	2300	2800	2033	3,7	4,3	3,6	3,8
Горох	600	-	-	600	2,1	-	-	2,1
Соя	2300	1000	-	1150	3,0	3,3	-	3,1
Ріпак озимий	3100	5000	6500	4866	2,5	2,9	2,4	2,6
Соняшник	3000	3200	4000	3400	2,9	2,6	3,0	2,8

Урожайність і якість сільськогосподарських культур безпосередньо залежать від типу ґрунту та його родючості. Тому збереження родючості ґрунтів є одним із головних завдань фахівців у сільському господарстві, з урахуванням їхнього економічного та екологічного значення. Дослідження проводилися на ґрунтах темно-сірих, мулистих, крупнопилуватих, а також на світлосуглинкових ґрунтах, розташованих на лесових суглинках [26]. Глибина залягання ґрунтових вод становить 3,0–3,5 м. Фізико-хімічні властивості ґрунту оцінюються за такими показниками, як вміст гумусу, кислотність, кількість внесених основ і ступінь насиченості основами. Характеристика дослідного ґрунту наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Фізико-хімічні показники темно-сірого опідзоленого ґрунту

Глибина шару,см	Гумус,%	pH сольовий	Гідролітична кислотність, мг-екв/100г грунту	Сума поглинутих основ мг-екв/100 г грунту	Ступінь насиченняосновами, %
0-20	3,44	5,8	2,85	18,4	77
20-40	2,30	5,6	2,45	15,5	80

Як показують результати досліджень, в орному та підорному шарах ґрунту спостерігається недостатній вміст гумусу. Це підкреслює необхідність розробки та впровадження ефективних ґрунтозахисних технологій для відновлення та збереження родючості ґрунтів.

1.6. Структура МТП

ТОВ «Агро КМР» експлуатує сучасну техніку від провідних виробників, таких як Case, John Deere та HORSCH. До складу технічного парку входить 11 тракторів, оснащених навігаційними системами та технологією RTK, 6 зернозбиральних комбайнів CASE 9240, 3 бункера-накопичувача Kinze та 5 сівалок HORSCH. Крім того, господарство має 3 обприскувачі John Deere 4940/4930 та 8 жаток для ефективної роботи на полях.

ТОВ «Агро КМР» використовує техніку CASE IH різних конфігурацій. Компанія має 17-річний досвід роботи з технологією strip-till, що забезпечує ефективну обробку ґрунту. До 2021 року загальний обсяг зберігання зерна на підприємстві становив 45 тис. тонн. У 2021 році було збудовано новий сучасний

елеватор у селі Богуслав Павлоградського району Дніпропетровської області з одноразовою потужністю зберігання 18 тис. тонн. «Богуславський елеватор» оснащений металевими силосами, що дозволяють зберігати велику кількість зерна.

Таблиця 1.3 – Структура МТП ТОВ «Агро КМР»

Найменування	Марка/модель	Кількість
Трактори	Case MX 340	2
	Case MX 310	2
Комбайни	CASE 9240	6
Обприскувачі	John Deere 4940	3
Бункер-перевантажувач	Kinze-1350	3
Сівалки	HORSH-Maestro-36.5	3
	HORSH-Pronto	2

У селі Богданівка Павлоградського району Дніпропетровської області знаходиться тік, який має можливість зберігати до 20 тис. тонн зерна в підлоговому сховищі.

1.7. Використання МТП підприємства в технології No-Till при вирощуванні пшениці озимої

No-till — це метод обробітку ґрунту, при якому не проводиться попередня підготовка поля перед посівом. Сучасний етап розвитку цієї технології досягнув своїх максимальних можливостей, і в майбутньому основний акцент буде зроблено на вдосконаленні техніки та технологічних процесів з урахуванням різних ґрунтово-кліматичних і соціально-економічних факторів. У ТОВ «Агро КМР» особлива увага приділяється аналізу стану ґрунту, його вологості та інших органо-мінеральних характеристик, що є важливими для забезпечення стабільного і високого врожаю.

Інженерна служба підприємства активно контролює рівень ущільнення ґрунту за допомогою цифрових пенетрометрів SkokAgro з відповідним програмним забезпеченням. Управління агротехнологічними процесами здійснюється через цифрову платформу Cropwise, яка містить кілька основних вкладок, таких як SAS та RFID, що сприяють підвищенню ефективності роботи на підприємстві.

Програмне забезпечення SAS для фермерів забезпечує покращений контроль за процесом посівної кампанії. Завдяки цьому інструменту фермери можуть більш

точно планувати терміни посіву, враховуючи стан ґрунту, кліматичні умови та історичні дані про врожайність. Програма також допомагає оптимізувати використання ресурсів, таких як насіння, добрива та пестициди, що значно підвищує ефективність посівних робіт.

Система GPS-моніторингу техніки дозволяє цілодобово відслідковувати рух техніки на полях, що забезпечує ефективне планування логістики. Водночас, використання RFID-міток дозволяє точно визначати час початку і завершення робіт персоналом, що важливо для контролю за виконанням технологічних процесів та ефективності роботи механізаторів.

Інтеграція програмного забезпечення SAS з іншими системами, такими як FarmingOS, дозволяє автоматизувати процеси планування і оцінки витрат на посів. FarmingOS надає можливості для детального аналізу економічних даних, виявлення проблемних ділянок і оптимізації фінансових показників компанії.

Що стосується технології No-till для вирощування озимої пшениці, її застосування дозволяє значно зменшити негативний вплив на ґрунт, оптимізуючи гідротермічний режим у різні періоди. Це особливо важливо в умовах передпосівного перегрівання ґрунту, а також між посівом і схожістю, де оптимальне збереження вологи й температури поверхні ґрунту може вплинути на кінцевий результат вирощування.

Температурний режим ґрунту на глибині насіннєвих шкірок та в умовах низьких зимових температур є важливим лімітуючим фактором для рослин. Зниження температури ґрунту на цій глибині може значно впливати на розвиток насіння та проростання, тому особливо важливо здійснювати моніторинг цього показника.

Для вимірювання температури ґрунту використовували спиртові термометри, які дозволяли проводити вимірювання кожні 6 годин протягом доби. Це дозволяє отримати точну картину змін температурного режиму протягом доби.

Що стосується вологозабезпечення ґрунту, продуктивні запаси вологи визначаються термостатно-ваговим методом. Для цього ґрунт відбирається спеціальним ґрунтобуром Бі 50 по шарах через кожні 10 см на глибину до 150 см. Вміст вологи у ґрунті обчислюється за спеціальною формулою (2.1), що дозволяє оцінити її загальну кількість.

Для визначення глибини промерзання ґрунту та його температури використовувався промерзаломір «Данілін МД-50».

Результати досліджень вказують на те, що використання технології No-till сприяє утворенню шару мульчі з органічних решток, що, в свою чергу, позитивно впливає на температурний режим поверхневого шару ґрунту. Завдяки цьому технологія покращує загальний температурний баланс ґрунту, що допомагає підтримувати оптимальні умови для росту рослин (див. табл. 1.4).

Таблиця 1.4. Гідротермічний режим ґрунту в передпосівний період пшениці озимої залежно від технології її проведення вирощування

Показники	**Технологія вирощування пшениці озимої**	
	Традиційна	No-till
Температура поверхні ґрунту, ^{0}C:		
Мінімальна	18,3	24,7
Максимальна	53,4	46,5
Середньодобова	30,6	30,4
Температура ґрунту на глибині 5 см, ^{0}C:		
Мінімальна	22,5	25,3
Максимальна	37,8	33,1
Середньодобова	25,4	26,1
Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0 – 20 см, мм	9,3	15,4
Середньодобова температура ґрунту на глибині загортання насіння в жовтні, ^{0}C	9,1	10,9
Період між сівбою і повними сходами, днів	18–21	12–14

Дослідження показали, що при практично однакових середньодобових температурах на поверхні ґрунту та на глибині 5 см різниця між максимальними денними та мінімальними нічними температурами була значно меншою при використанні технології No-till. Так, на поверхні ґрунту різниця становила 21,80 °C за No-till, в той час як за традиційної технології ця величина досягала 35,10 °C, тобто була на 13,30 °C більшою. На глибині 5 см коливання температури за No-till становили лише 7,8 °C, тоді як за традиційною технологією — 15,30 °C. Це вказує на те, що застосування технології No-till, завдяки органічному мульчувальному

шару, значно пом'якшує різкі температурні коливання в верхньому шарі ґрунту, наближаючи температурні показники до оптимальних умов для життєдіяльності ґрунтової мікробіоти.

ТОВ «АГРО КМР» спеціалізується на виробництві та продажу сільськогосподарської продукції, активно інтегруючи інноваційні агротехнології, які відповідають вимогам сучасного ринку та не завдають шкоди навколишньому середовищу. Основними напрямками діяльності є вирощування рослин та експорт зернових і технічних культур. Підприємство ефективно використовує передову сільськогосподарську техніку та сучасні технології землеустрою, що дозволяє досягати високих врожаїв та впроваджувати новітні агротехнічні рішення. В компанії активно застосовуються технології GPS і аналіз ґрунту для оптимізації процесів виробництва.

«Агро КМР» ефективно використовує сучасні агротехнології, зокрема телематику та GPS, для оптимізації використання земельних ресурсів і покращення матеріально-технічної бази, що в свою чергу сприяє підвищенню продуктивності праці та рентабельності. В структурі вирощування переважають озима пшениця, ярий ячмінь, горох, соя, озимий ріпак та кукурудза на зерно.

Застосування технології No-till для вирощування озимої пшениці допомагає зменшити надмірне нагрівання поверхні ґрунту в години активного сонячного випромінювання, знижує різкість добових коливань температури та зменшує втрати вологи в ґрунті в передпосівний період. Окрім того, ця технологія дозволяє зберегти тепло ґрунту, що є важливим для покращення умов для сходів. No-till також сприяє скороченню часу появи сходів на 30%, що є значним досягненням у порівнянні з традиційним обробітком. Крім того, вона зменшує негативний вплив низьких температур на глибину кореневого вузла в зимовий період, роблячи крижані кірки більш пухкими та менш небезпечними для врожаю.

1.8. Обґрунтування теми дипломного проекту

Для технології No-till надзвичайно важливо зберігати ґрунт у пористому стані, мінімізуючи ущільнення. Це вимагає використання техніки з максимальною шириною захвату. Однак існує техніко-технологічний конфлікт: чим більша ширина захвату агрегату, тим більша необхідна потужність і вага трактора або

енергозабезпечення. Важкі агрегати можуть спричиняти локальне ущільнення ґрунту під час руху тракторів. Для вирішення цієї проблеми можна частково застосувати нові, легші матеріали. Одним із прикладів такого рішення є модернізація самохідного обприскувача JD 4930, у якого пропонується збільшити ширину захвату без підвищення потужності, додавши пластикові штанги по 4 метри з кожного боку агрегату.

Мета цієї роботи полягає в удосконаленні самохідного обприскувача для вирощування озимої пшениці в господарсті з акцентом на обґрунтування заходів, що сприяють збереженню ґрунту.

Завдання, що ставляться в роботі, включають:

1. Оцінка значення озимої пшениці як основної культури в аграрному секторі України.
2. Аналіз проблеми ущільнення ґрунту внаслідок роботи сільськогосподарської техніки.
3. Виконання розрахунків для штанг обприскувача з розширеною робочою шириною захвату.
4. Пропозиції щодо заходів із забезпечення безпеки праці та охорони навколишнього середовища.
5. Проведення техніко-економічної оцінки розробленої технології та використовуваного обладнання.

2 ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Вихідні дані до розрахунку штанг обприскувача зі збільшеною шириною захвату

Оскільки господарство застосовує технології нульового та смугового обробітку ґрунту, одним із ключових заходів для зменшення ущільнення ґрунтів та підвищення ефективності ґрунтозахисних технологій є збільшення ширини захвату агрегатів. Збільшити робочу ширину захвату посівних агрегатів або жаток зернозбиральних комбайнів є складним або практично неможливим завданням. Наприклад, для сівби використовуються сівалки типу Horsch ATD 11.35 / 18.35, а збирання врожаю здійснюється комбайнами з жатками Mac Don FD 70/75, на конструкцію яких вплинути вкрай складно. Проте, ми маємо можливість збільшити ширину захвату самохідного обприскувача John Deere 4940 (рис. 2.1), що дозволить значно підвищити ефективність обробки полів.



Рис. 2.1. Обприскувач John Deere 4930 з комп'ютерною системою керування технологічним процесом

Це можна реалізувати за допомогою додаткових елементів штанг, виготовлених з пластикових матеріалів, що дозволить ефективно збільшити ширину захвату агрегату. Передбачається, що ширину захвату можна збільшити на 8 метрів, по 4 метри з кожного боку. Для цього необхідно здійснити розрахунок міцності конструкції, враховуючи характеристики матеріалів та способи їх з’єднання, що забезпечать стабільність і надійність розширеного агрегату.

Для досягнення ефективності роботи обприскувача John Deere 4940 необхідно провести болтове з'єднання додаткових елементів штанг і виконати точний технологічний розрахунок, оскільки збільшення ширини захвату призведе до зміни кількості розчину, який одночасно міститься в штанзі.

Комп'ютерна система управління обприскувачем включає бортовий комп'ютер, що координує роботу контролюючих і регулюючих пристроїв, а також змішувач для підготовки робочих рідин.

Технологічні розрахунки для машин хімічного захисту рослин охоплюють кілька важливих параметрів, таких як дальність виливу робочого розчину, продуктивність агрегату і витрату робочої рідини. Вимоги до машин, що використовуються для хімічного захисту сільськогосподарських культур, включають:

– рівномірний розподіл пестицидів по полю, з відхиленням до 20%;

– точність дотримання норм внесення пестицидів з відхиленням не більше ±10%.

Рівномірність покриття рослин розпилювачами з відцентровими соплами залежить від ступеня розпилення рідини, що визначається разом з розпилювальним конусом, витратою рідини, тиском у системі нагнітання, діаметром вихідного отвору сопла, кутом підйому та площею поперечного перерізу спіральних каналів системи Кернса і розпилювачів.

Обчислимо робочу ширину захвату за формулою (2.1).

Таким чином, робоча ширина захвату становитиме:

$$B = 73 \cdot 0{,}5 = 36{,}5 \text{ м.}$$

У модернізованій конструкції ця ширина збільшується до:

$$B_{уд} = 36{,}5 + 8 = 44{,}5$$

У такому випадку необхідна кількість розпилювачів визначається як:

$$N_{Ф} = 44{,}5 / 0{,}5 = 89 \text{ штук.}$$

Розпилювачі, які працюють при тиску в системі в межах 0,3...1,0 МПа, належать до стандартного асортименту. Вони класифікуються на:

- Економічні форсунки, з діаметром вихідного отвору d = 1,0 або 1,2 мм
- Нормальні форсунки, з отворами 1,5; 2,0; 2,5 мм
- Садові (спринклерні) форсунки, що функціонують при тиску до 2,0 МПа

Максимальна витрата робочої рідини через один наконечник позначається як q_n, л/хв [26, 35], та визначається за формулою (2.2).

З урахуванням заданого тиску 1,0 МПа, який характерний для обприскувача John Deere 4940, а також діаметра розпилювального отвору 4 мм, обчислення проводиться при внесенні рідких комплексних добрив:

$$qH = 0{,}06 \cdot 0{,}43 \cdot \pi \cdot \frac{4^2}{4} \cdot \sqrt{200} \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}1 = 0{,}23 \text{ л/хв}$$

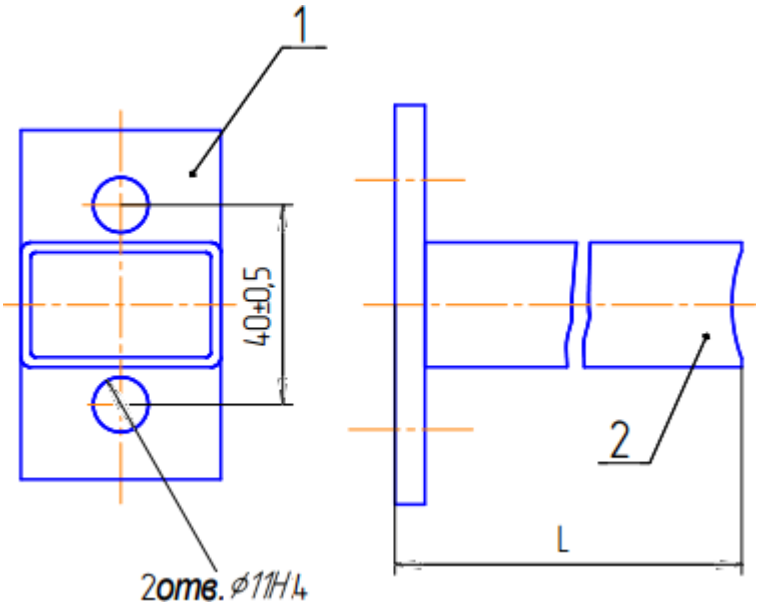
Загальна максимальна подача робочого розчину обприскувальним агрегатом

$$Q_{max} = q_H \cdot z = 0{,}23 \cdot 89 = 20{,}47 \text{ л/хв}$$

У розрахунках враховується подача насоса на рівні 20,5 л/хв

Вихідними даними для розробки нової конструкції є маса додаткових блоків управління, дві додаткові штанги та кронштейни кріплення. В комп'ютерній системі управління обприскувача John Deere 4940 встановлений блок регулювання, який містить систему клапанів і кранів, оснащених керуючими пристроями, і має вагу 400 Н. Це обладнання кріпиться до основної конструкції за допомогою чотирьох болтів М10, по два з кожного боку, з зазором 40 мм між болтами та 485 мм між двома точками кріплення.

Перед початком використання оновленого обприскувача необхідно провести калібрування, оскільки змінились його конструкційні параметри. Наступним кроком є розрахунок міцності конструкції. Для матеріалу обираємо ПА-6-10КС з наступними характеристиками: густина 1,1 г/см³, границя міцності при згині 66 МПа, границя міцності при стисканні 116 МПа та ударна в'язкість 55 кДж/м². На основі цього складемо схему конструкції (рис. 2.1).



1 – пластина; 2 – труба-балка

Рис. 2.2. Консольний елемент для кріплення обладнання.

Для запропонованої конструкції кріплення планується встановлення елементів на раму обприскувача з метою інтеграції імпортних засобів контролю в комп'ютерну систему управління технологічними процесами [32, с. 23]. Для цього ми пропонуємо

використання двох консольних фіксованих елементів, до яких будуть кріпитися пластикові труби (рис. 2.2).

Конструктивна довжина кожної штанги визначена як L = 400 мм. Для уніфікації використання профілів у виробництві, ми обираємо профільну трубу розміром 40 × 25 × 2 мм для опори труби 2 і проводимо перевірку її міцності та жорсткості.

Далі, для визначення навантажень, які сприймає консоль, що розташована на вільному кінці, ми розглядаємо зосереджену силу, що діє на цей елемент (рис. 2.3)

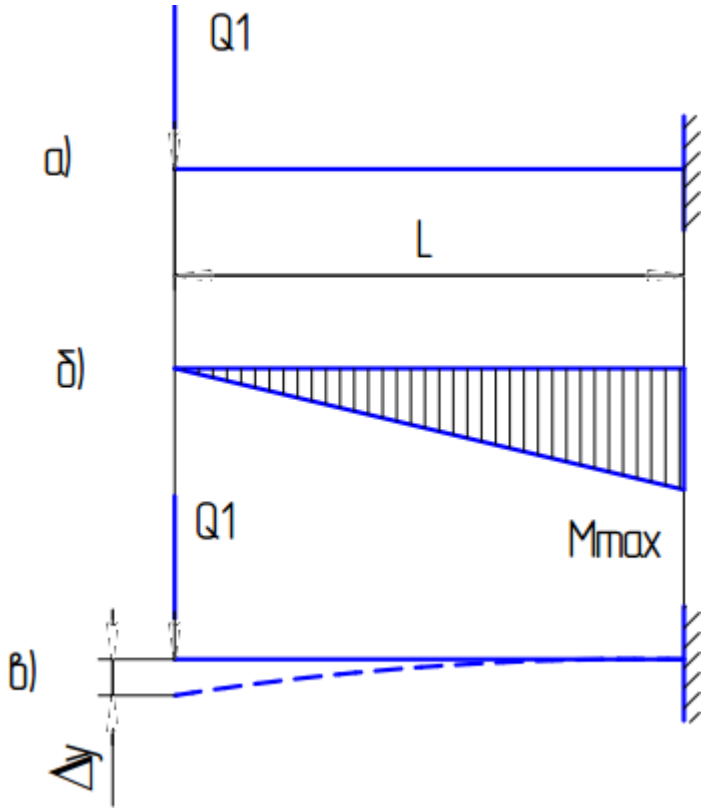


Рис. 2.3. Розрахункова схема балки

Проводимо визначення сили навантаження Q_1, що діє на балкову конструкцію, за формулою (2.3).

Зазначене значення отримується експериментальним шляхом під час проведення випробувань, пов’язаних із процесом розпилення.

$$Q_1 = 2{,}5 \cdot 400/2 = 500\,\text{Н}$$

Розпилювач складається з каркасної структури, виготовленої з пластикового профілю, до якої кріпиться система розпилення, що включає кілька окремих секцій. У транспортному положенні штанга може складатися вздовж бака або підніматися вгору. У робочому положенні вона орієнтована перпендикулярно до напрямку руху. Механізми стабілізації руху на нерівних ділянках місцевості гарантують рівномірний розподіл рідини в шлангах, що прикріплені до штанги, тим самим покращуючи якість

розпилення. На кінці розпилювачів додаються секції з скловолоконних трубок. Штанга перевіреного обприскувача має довжину 18 метрів і оснащена відповідною системою

Стабілізація штанги здійснюється за допомогою пружинного амортизатора, що дозволяє зменшити коливання та покращити ефективність роботи. Для розширення штанги з обох боків використовуються Т-подібні з'єднання, виконані з кутовими швами без підготовки кромок. Міцність таких з'єднань визначається через напруження зсуву в швах, як зазначено у спеціалізованих розрахунках [23, с. 31]. Для цього застосовуємо відповідну формулу (2.4) для обчислення дотичних напружень зсуву, що дозволяє точно оцінити механічні характеристики конструкції в умовах експлуатації [31].

Допустиме напруження в металі зварного шва визначається залежно від допустимого напруження для основного матеріалу. Розрахунок виконується за відповідною формулою (2.5) відповідно до методики, наведеної в джерелі [11].

Відповідно до [31], його значення дорівнює $\beta = 2{,}4$.

$$[T] = 0{,}6 \cdot \frac{250}{1{,}5 \cdot 2{,}4} = 41{,}7 \text{ МПа}$$

Сумарна довжина зварних з'єднань lдля труби 2 обчислюється за її периметром відповідно до конструктивного виконання.

$$\text{X}\, l = 2B + 2H + 2 + 40 + 2 + 25 = 130 \text{ мм}.$$

Далі, скориставшись відповідною формулою (2.6), розрахуємо необхідний розмір зварного шва.

$$k = \frac{500}{0{,}7 \cdot 41{,}7 \cdot 10^6 \cdot 0{,}13} = 0{,}00013 \text{ м}$$

Як показує розрахунок катета, для цього з'єднання, при зварюванні по периметру труби, необхідно вибрати мінімальне технологічно можливе значення. Ускладнювати процес зварювання в даному випадку не має сенсу, оскільки це може призвести до зайвих витрат матеріалу і часу, що не впливають на якість з'єднання

Обчислимо сумарну довжину зварних швів, за формулою (2.7).

$$l = 2 \cdot 25 = 50 \text{ мм}$$

У такому випадку формула набуває наступного вигляду:

$$k = \frac{Q_1}{0{,}7 \cdot [r] \cdot l} = \frac{500}{0{,}7 \cdot 41{,}7 \cdot 10^6 \cdot 0{,}05} = 0{,}0034 \text{ м}$$

Отже, навіть за такого методу зварювання з'єднання зберігає достатній рівень міцності.

У виробничих умовах доцільно застосовувати мінімальне значення розміру зварного шва, яке становить k = 2 мм.

Для даного типу шва дотичні напруження визначаються за такою формулою:

$$\tau_{Q_1} = \frac{500}{0{,}7 \cdot 2 \cdot 50} = 7{,}143 \text{ МПа} \leq [\text{Т}]$$

Запас міцності, який було отримано, враховує не лише чистий зріз, але й напруження, що виникає від згинального моменту, спричиненого вагою обладнання та заповненими рідиною шлангами.

2.2. Розрахунок конструкції консольного типу

За подібною методикою здійснимо розрахунок зварного з'єднання опори труби з поперечиною рами обприскувача [24, с. 32]. Це з'єднання піддається вертикальному навантаженню силою $Q_1 = 500$ Н, а також моменту, що виникає від цієї сили, визначаємо за формулою (2.8).

$$\text{М} = 500 \cdot 0{,}204 = 102 \text{ Нм}$$

При такому рівні навантаження у вираз вноситься граничне значення напруги в зоні зварного з'єднання, формула (2.9).

Розглянемо окремо кожне з цих напружень. Напруження, викликане дією моменту, визначається за формулою (2.10).

Для спрощення обчислень приймаємо, що поперечний переріз зварного шва, який з'єднує несучу трубу з рамою агрегата, має прямокутну форму зі сторонами:

В = 40 мм, Н = 25 мм.

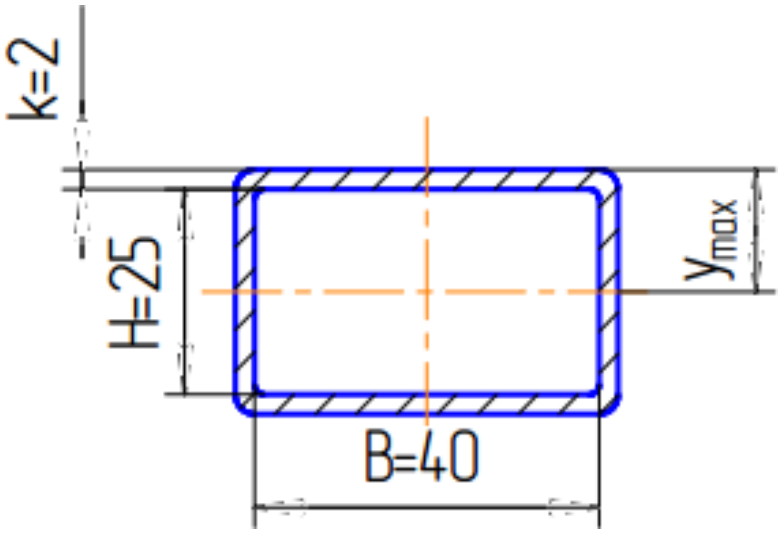


Рис. 2.4. Розрахунковий переріз зварного з'єднання

Для визначення моменту опору шва застосовується така розрахункова формула

(2.11 та 2.12-2.13).

Після підстановки відповідних значень обчислюємо момент інерції перерізу, а також визначаємо момент опору.

$$J_{зв} = \frac{(40 + 2 \cdot 0{,}7 \cdot 2)(25 + 2 \cdot 0{,}7 \cdot 2)^3}{12} - \frac{40 \cdot 25}{12} = 5539 \text{ мм}^4$$

$$W_{зв} = \frac{5539}{14{,}5} = 382 \text{ мм}^3$$

Напруження, що виникає під дією згинального моменту, становить:

$$\mathrm{I_М} = \frac{102 \cdot 10^3}{2732} = 37{,}3 \text{ МПа}$$

Отримане значення напруги не перевищує допустимих меж, отже, з'єднання за таких умов вважається достатньо міцним.

Наступним кроком є визначення напруження, що виникає внаслідок дії прикладеної сили Q_1, за формулою (2.14).

$$T_{Q_1}^{`} = \frac{500}{0{,}7 \cdot 0{,}3 \cdot 130} = 1{,}8 \text{ МПа}$$

Максимальне значення напруження в області з'єднання визначається наступним чином:

$$T_{max} = \sqrt{37{,}3^2 + 1{,}8^2} = 37{,}34 \text{ МПа}$$

Виходить, що:

$$T_{max} = 37{,}34 \text{Мпа} < [\mathrm{T}] = 41{,}7 \text{МПа}$$

Умову міцності дотримано, тому доцільно використовувати зварний шов із катетом $k = 3$ мм.

Наступним етапом буде виконання креслення відповідного кронштейна з подальньою перевіркою його міцності та жорсткості.

Крім того, буде виконано розрахунок розташування зварного шва по одній із ніжок, що забезпечить надійне з'єднання з рамою обприскувача (див. рис. 2.1).

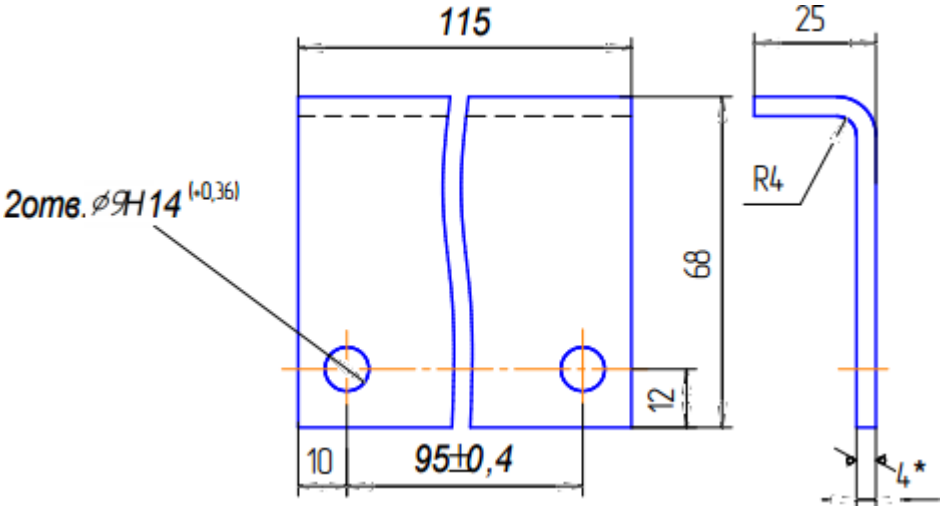


Рис. 2.5. Креслення кронштейна

Фільтр-розпилювач закріплюється на кронштейні за допомогою гвинтів типу М8, що встановлюються в отвори діаметром 9 мм.

Вага фільтра разом із робочою рідиною становить 105 Н, але з урахуванням впливу динамічного навантаження розрахункова сила визначається за формулою (2.15).

$$q = 2{,}5 \cdot 105 = 262{,}5 \text{ Н}$$

Для проведення подальших розрахунків складено розрахункову схему, представлену на рисунку 2.2.

Аналіз напруженого стану свідчить, що більша частина площі конструкції піддається дії розтягувальних зусиль, у той час як менша частина – згинаючим моментам.

Оскільки отримані значення напруг при згині не є критичними, розрахунок цих ділянок не проводиться. У подальших розрахунках розглядається лише локальна область елемента – частина, яка є найбільш навантаженою.

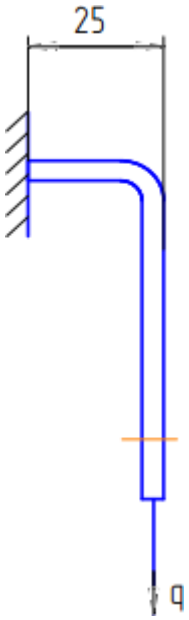


Рис. 2.6. Схема розрахунку кронштейнів

Максимальне навантаження у вигляді згинального моменту спостерігатиметься в зоні фіксації, за формулою (2.16).

$$M'_{max} = 262{,}5 \cdot 0{,}025 = 6{,}6 \text{ Н·м.}$$

Отже, розрахунки показали, що максимальний крутний момент на кінці пластикової штанги становитиме 6,6 Н·м, що відповідає допустимим значенням для матеріалу, наприклад, склопластику ПА-6-210С, який має цей параметр на рівні 82 Н·м. Всі технологічні характеристики також відповідають нормам.

2.3. Графічний розрахунок у програмі «Ліра САПР 2016»

Здійснимо перевірку розрахунку на міцність за допомогою прикладного програмного пакету Ліра. Для цього складаємо розрахункову схему та вводимо початкові параметри:

- Довжина додаткової пластикової штанги: L = 4000 мм.
- Діаметр труби штанги: d = 25,4 мм.
- Вага пластикової штанги: 20,1 Н.
- Вага розчину в штанзі: 24,0 Н.

Підприємство експлуатує три обприскувачі марки «John Deere», і існує проблема з кількістю проходів техніки по полю, що призводить до збільшення ущільнення ґрунту. Одним із можливих рішень цієї проблеми є збільшення.

Одним із можливих рішень є збільшення ширини захвату шляхом додаткового закріплення до основних штанг пластикових елементів, виготовлених з вуглепластику. Для цього потрібно виконати розрахунки в програмному пакеті «Ліра», щоб оцінити міцність та стійкість конструкції при навантаженнях, враховуючи нові компоненти та зміни в загальних параметрах.

1. Зобразимо умовну розрахункову схему дослідної конс- трукції:

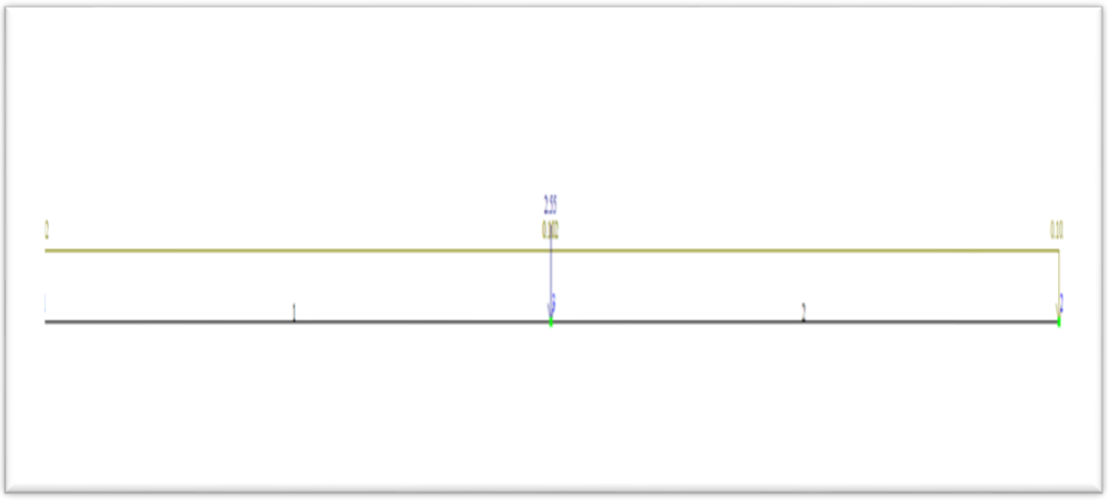


Рис.2.7. Схема 1 розрахунку дослідної штанги на обприскувач

Вихідні дані, які нам відомо для розрахунку конструкції, а саме довжина L – 4000 см. ; D = 3.54 см – зовнішній діаметр труби; d = 2.54 см – внутрішній діаметр.

2. Для завершення розрахунку штанги необхідно визначити масу M труби, скориставшись формулами (2.17) та (2.18) для обчислення об’єму:

Після підстановки числових значень у формули (2.17) та (2.18), отримаємо наступні результати:

$$V_1 = 3{,}14 \cdot 3{,}542 \,/4 = 9{,}8$$

$$V_2 = 3{,}14 \cdot 2{,}542 \,/4 = 5$$

Для розрахунку маси M труби використовуємо густину $\rho = 1{,}8$ г/см³ для склопластика та записуємо формулу (2.19).

Підставивши числові значення в цю формулу, отримаємо відповідний результат:

$$\mathrm{M}_{\text{труби}} = (9{,}8 - 5) \cdot 400 \cdot 1{,}8 = 3456 \text{ г.}$$

Для побудови епюрів та визначення навантаження в робочому стані необхідно також розрахувати масу рідини. Візьмемо воду як основу, позначивши її масу $\mathrm{M}_{\text{вод}}$, за формулою (2.20).

$$V_{\text{води}} = (3{,}14 \cdot 2{,}542 \,/\, 4) \cdot 400 = 2025 \text{ г.}$$

Об'єм води визначаємо за формулою (2.21), причому оскільки густина води прийнята за одиничну величину, об’єм води буде чисельно рівним:

$$\mathrm{M}_{\text{труби}} = 3{,}45 \text{ кг}$$

На трубу буде діяти загальна маса та сила тяжіння, яку можна обчислити за формулою (2.22).

$$F = (2{,}02 + 3{,}45) \cdot 9{,}8 = 53{,}6 \text{ Н}$$

3. У програмному середовищі "Ліра" вводимо всі розраховані параметри,

після чого задаємо необхідні умови та виконуємо побудову моделі прогину пластикової штанги.

Розрахункове відхилення становить 0,3 м, що відповідає допустимим нормам деформації.

Зусилля, прикладене на кінці штанги, дорівнює 95 Н.

На рисунку 2.8 представлено графічну інтерпретацію переміщень та розподілу зусиль і напружень для випадків дії статичних і динамічних навантажень у напрямках M_y та Q_z.

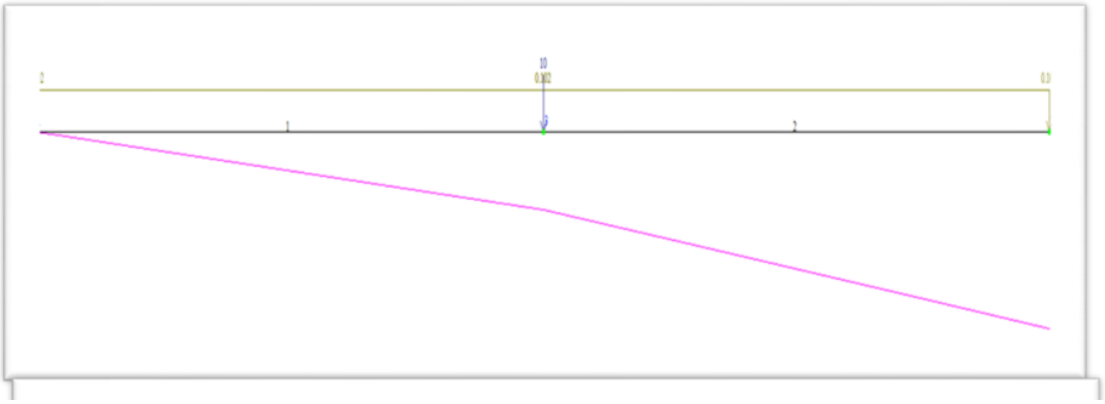


Рис. 2.8. Умовне зображення переміщення додаткової пластикової штанги під дією динамічних навантажень.

Розраховано, що максимальний крутний момент на краю пластикової штанги складе 6,6 Н · м, що є допустимим, наприклад, для склопластика ПА- 6-210С, у якого цей показник складає 82 Н · м. Технологічні параметри також знаходяться в допустимих межах.

Розрахунки в програмі Ліра показали, що прогин краю пластикової штанги складе 0,102 м. І це є допустимою величиною при експлуатації само- хідного обприскувача.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Загальні положення з охорони праці

На підприємствах можуть виникати численні чинники, що становлять загрозу для життя, здоров’я та нормального самопочуття працівників. Це вимагає суворого дотримання норм і положень, передбачених системою охорони праці. Кожен виробничий процес містить елементи потенційної небезпеки, тому його виконання повинно забезпечуватися відповідними умовами безпеки праці, які регламентуються Конституцією України, вимогами щодо поводження з гербіцидами в аграрному секторі, а також іншими нормативно-правовими документами.

Охорона праці – це комплекс законодавчих, соціально-економічних, технічних, гігієнічних, організаційних і медико-профілактичних заходів, метою яких є збереження здоров’я та працездатності працівника під час виконання трудових обов’язків. Згідно з Законом України "Про охорону праці", роботодавець несе відповідальність за створення належних і безпечних умов на робочому місці.

Розгляд питань охорони праці доцільно здійснювати в контексті конкретного виробництва, оскільки всі профілактичні заходи безпосередньо пов’язані з організаційною структурою та економічними процесами на підприємстві [43, 44].

3.2. Організаційні та технічні заходи по створенню безпечних умов праці працівників

Технічні та організаційні заходи з охорони праці передбачають використання засобів і рішень, що сприяють створенню безпечних та нешкідливих умов роботи. Це, зокрема, впровадження сучасного обладнання, систем безпеки, а також належна експлуатація виробничих засобів. До організаційних заходів належать систематичний технічний контроль стану машин і механізмів, своєчасне технічне обслуговування, плановий ремонт, а також дотримання вимог чинних нормативів з охорони праці й нагляд за експлуатацією потенційно небезпечного обладнання.

На підприємстві ТОВ «Агро КМР» питання охорони праці перебувають на належному рівні. Організовано навчання персоналу та перевірку знань з безпеки праці. Працює кабінет охорони праці, де зберігаються всі необхідні інструкції, журнали інструктажів (вступного, первинного, повторного тощо). На підприємстві встановлено систему відеоспостереження, що дозволяє здійснювати постійний контроль за дотриманням вимог безпеки під час виконання виробничих процесів.

Також дотримано вимог щодо облаштування проїздів і проходів, працівники забезпечені засобами індивідуального й колективного захисту, а на території розміщено необхідні знаки безпеки, що відповідають чинним нормам.

3.3. Вимоги безпеки праці при внесенні ЗЗР агрегатом John Deere 4930

3.3.1. Вимоги безпеки праці перед початком роботи агрегату.

Оператор, який відповідає за підготовку та безпосереднє використання самохідного обприскувача John Deere 4930, повинен провести перевірку справності всіх основних вузлів, а також перевірити на наявність протікань і тріщин на штангах та форсунках. Перед початком роботи оператор має бути забезпечений спеціальним одягом, таким як костюм хімічного захисту, гумові рукавички, респіратор і захисні окуляри, що є обов'язковими при заправці агрегату та роботі з хімічними засобами захисту рослин.

3.3.2. Вимоги безпеки праці під час проведення робіт.

З розвитком високопродуктивної техніки для вирощування ранніх зернових, яка оснащена автоматичними системами управління та засобами дистанційної діагностики, з'являються нові потенційно небезпечні фактори для здоров'я та життя працівників. Під час експлуатації таких машин і агрегатів важливо дотримуватись всіх вимог безпеки, зазначених у „Правилах техніки безпеки при роботі на тракторах, сільськогосподарських та спеціалізованих машинах”. Однією з основних небезпек під час внесення засобів захисту рослин є перебування в робочій зоні широкозахватної техніки через її великі розміри (від 14 до 36 м) та високі робочі швидкості (від 7 до 32 км/год). Тому інструкціями з охорони праці під час польових робіт чітко визначено правила, яких необхідно дотримуватись. Оператор агрегату має переконатися в безпеці руху, впевнитись, що в робочій зоні відсутні перешкоди чи інші люди, а також ретельно стежити за всіма показниками та правильно виконувати операції. Під час дозаправки агрегату необхідно слідкувати за діями інших працівників для уникнення небезпеки.

3.3.3. Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях.

У разі виникнення аварійних або нештатних ситуацій, а також пожежі, необхідно негайно зупинити роботу, повідомити керівника робіт і брати участь у ліквідації осередку загоряння. Забороняється наближатися на небезпечну відстань

до агрегату, що загорівся, іншими транспортними засобами, за винятком спеціальних машин. У разі травмування працівника потрібно надати йому першу допомогу та викликати медичного працівника. Якщо це неможливо, слід терміново доставити потерпілого до медичного закладу.

3.3.4. Вимоги безпеки праці після виконання робіт із внесення ЗЗР:

1. Розмістити агрегат John Deere 4930M на краю поля.
2. Очистити техніку від залишків технологічних матеріалів і промити комунікації чистою водою.
3. На території машинного двору машини ретельно очищуються від бруду за допомогою мильного водного розчину.
4. Розмістити машину під навісом.
5. Перевірити відсутність пошкоджень вузлів та агрегатів, а також підтікання рідин.
6. При підготовці агрегату до зберігання зняти деталі, зазначені в технологічній карті, і передати їх на зберігання на склад.

Аналіз небезпечних факторів при виконанні технологічної операції обприскування озимої пшениці за допомогою техніки показав потенційні ризики, що можуть виникнути під час роботи агрегату, а також у разі порушення працівниками вимог безпеки праці. З цієї причини розроблено додаткові заходи для поліпшення умов безпеки на обприскувачах John Deere з великою шириною захвату, що дозволить знизити ймовірність небезпечних ситуацій.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1. Суть економічного ефекту

Покращення ефективності експлуатації модернізованого обприскувача John Deere 4930 досягається за рахунок збільшеної ширини захвату на 8 метрів. Це сприяє зростанню продуктивності машини та зниженню кількості проходів агрегату по полю. У результаті не лише підвищуються технічні показники, але й досягається позитивний вплив на стан ґрунту завдяки зменшенню ущільнення.

Вихідні параметри для проведення економічного аналізу подано у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – вихідні данні проєкту.

Параметр	Показник	Варіант	
		John Deere 4930	John Deere 4930M
Робоча швидкість	км/год	32	32
Робоча ширина захвату	м	36,5	44,5
Витрата пального	л/га	0,8	0,7
Вартість агрегату	млн. грн	8812560	
Обсяг робіт	га	23000	27600
Кількість номрозмін	Од.	52	43

4.2. Розрахунок економічної ефективності

Порівняльний аналіз проводиться для двох конфігурацій роботи обприскувачів, які відрізняються шириною захвату (табл. 4.1). У дослідженні використовується агрегат John Deere 4930.

Показники продуктивності визначаються на основі фактичної площі, обробленої протягом однієї зміни. Витрата пального може бути встановлена емпіричним шляхом, з подальшим підтвердженням розрахункових результатів за відповідною формулою (4.1).

Питомі експлуатаційні витрати орного агрегату визначаються за допомогою наступного рівняння (4.2).

Щоб обчислити сукупну вартість реновації, техобслуговування та ремонту обприскувачів, застосовують відповідне рівняння (4.3), яке враховує інтенсивність експлуатації та строк служби техніки.

Розглянемо формулу для розрахунку витрат на реновацію, ремонт і технічне обслуговування сільськогосподарського агрегату. У цьому випадку мова йде про самохідний обприскувач John Deere 4930.

В даному випадку, оскільки враховуються актуальні ціни, $K_i = 1$.

На основі цих даних розраховуємо сумарні витрати для стандартної моделі агрегату. Для самохідного обприскувача John Deere 4930 ці витрати становитимуть відповідне значення, що враховує вартість технічного обслуговування, ремонтів і зношування.

$$С_т = \left[\frac{3051000 \cdot 10 \cdot 2,2}{100 \cdot 7000} + 1\frac{1591 \cdot 2,2}{1000}\right] \cdot 1 = 120,55 \text{ грн/га}$$

Розрахунок вартості паливо-мастильних матеріалів (ПММ) виконується за наступною формулою (4.4).

Розрахунок оплати праці персоналу, що обслуговує агрегат, виконується за формулою (4.5).

Витрати на оплату праці механізаторів, які обслуговують серійний орний агрегат, визначаються з урахуванням кількох чинників. Формула розрахунку враховує наступні параметри:

1,49, 1,02 – сукупність коефіцієнтів, які використовуються при обчисленні заробітної плати;

$К_{нк}$ – коефіцієнт, що відображає класність працівників. Для трактористів-машиністів першого класу приймається значення 1,2;

$m_{мех}$, $m_{доп}$ – кількість працівників (трактористів і допоміжного персоналу), задіяних в обслуговуванні агрегату. У розрахунках приймаємо 1 особу;

$f_{мех}$, $f_{доп}$ – для трактористів-машиністів та допоміжного персоналу встановлюється змінна тарифна ставка виробітку. Вартість однієї робочої зміни становить 500 грн, що відповідає нормативам, наведеним у таблиці 7.2 [28].

З урахуванням того, що розрахунки виконуються на поточний період, коефіцієнт інфляційного коригування заробітної плати приймається рівним $К_з$ = 1.

$$С_{зп} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 500) \cdot 1,02 \cdot 1}{52} = 16,84 \text{ грн/га}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат при використанні серійного обприскувача John Deere 4930 здійснюється за відповідною формулою (4.6).

$$С_{СГМ} = \left[\frac{277000 \cdot 12,5}{100 \cdot 43 \cdot 52} + \frac{215+31+19}{52}\right] \cdot 1 = 20,58 \text{ грн/га}$$

Визначаємо сумарні витрати на експлуатацію техніки за таким розрахунком:

$$С^с_{пит} = 120,55 + 68,2 + 16,84 + 20,58 = 226,17 \text{ грн/га}$$

Розмір капіталовкладень при використанні серійного агрегату розраховується

за такою формулою (4.7).

$$К_р = \frac{3051000}{100 \cdot 7000} + \frac{277000 \cdot 1}{43 \cdot 52} = 128{,}24 \text{ грн/га}$$

Сумарні приведені витрати на експлуатацію, розрахуємо за формулою (4.8).

$Е = 0{,}15$ – нормативний показник ефективності капіталовкладень.

$$П_в^р = 226{,}17 + 0{,}15 \cdot 128{,}24 = 245{,}41 \text{ грн/га}$$

Аналогічну методику розрахунків застосуємо для модернізованої версії агрегату John Deere 4930M.

Витрати на експлуатацію даного обладнання під час виконання відповідних робіт для трактора становитимуть:

$$С_m = \left[\frac{3051000 \cdot 10 \cdot 2}{100 \cdot 7000} + \frac{1591 \cdot 2}{1000}\right] \cdot 1 = 90{,}35 \text{ грн/га}$$

Вартість паливно-мастильних матеріалів обчислюється згідно з відповідною формулою (4.9).

$$С_{пмм} = 31 \cdot 2 = 62 \text{ грн/га}$$

Розмір оплати праці механізатора, що обслуговує агрегат із диференційованим обробітком ґрунту, визначається окремо.

$$С_{зпс} = \frac{1{,}49 \cdot (1{,}2 \cdot 1 \cdot 500) \cdot 1{,}02 \cdot 1}{56{,}7} = 14{,}95 \text{ грн/га}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат модернізованого агрегату проводиться на основі формульної залежності (4.6).

$$С_{СГМ} = \left[\frac{277000 \cdot 12{,}5}{100 \cdot 43 \cdot 56{,}7} + \frac{215+31+19}{56{,}7}\right] \cdot 1 = 18{,}16 \text{ грн/га}$$

У такому випадку загальна сума експлуатаційних витрат для модернізованого комплексу становитиме:

$$С_{пит}^е = 90{,}35 + 62{,}0 + 14{,}95 + 18{,}16 = 185{,}46 \text{ грн/га}$$

Розмір капіталовкладень встановлюється згідно з формулою (4.7).

$$К_р = \frac{3051000 \cdot 10 \cdot 2{,}0}{100 \cdot 7000} + \frac{277000 \cdot 1}{43 \cdot 56{,}7} = 200{,}78 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на один гектар при роботі модернізованого самохідного обприскувача John Deere 4930M обчислюються за відповідною методикою (4.8).

$$П_в^р = 185{,}46 + 0{,}15 \cdot 200{,}78 = 215{,}57 \text{ грн/га}$$

Отримані результати узагальнено у таблиці 5.1.

Таблиця 4.2 – Техніко-економічні показники агрегату John Deere 4930

По агрегату John Deere 4930				
Параметр	Розмірність	Серійний	Проектний	Модерн/серійн, %
Витрати на реновацію, ремонт та технічне обслуговування	грн/га	120,55	90,35	-25,05
Витрати пального	грн/га	68,2	62	-9,09
Експлуатаційні витрати агрегату	грн/га	226,17	185,46	-17,99
Величину капітальних вкладень	грн/га	128,24	200,78	56,56
Приведені витрати на один *га*	грн/га	245,41	215,57	-12,15

На підставі розрахунків встановлено, що впровадження розроблених конструктивних удосконалень у модель John Deere 4930 сприяє зростанню продуктивності агрегату на 22%. Збільшення ширини захвату з 36 до 44 метрів дозволяє знизити експлуатаційні витрати на 18%, а приведені витрати – на 12,5%. Крім того, модернізація забезпечує позитивний вплив на ґрунт, зменшуючи кількість проходів по полю, що сприяє збереженню його структури.

ВИСНОВОК

Господарство виробляє та реалізує сільськогосподарську продукцію. Активно впроваджує інноваційні агротехнологічні рішення, які відповідають потребам сучасного ринку та не забруднюють навколишнє середовище. Основними напрямками діяльності є рослинництво та експорт і реалізація зернових і технічних культур. Вони успішно використовують сучасну сільськогосподарську техніку та ефективні технології землеустрою для отримання високих врожаїв та впровадження новітніх агротехнічних розробок.

Розраховано, що максимальний крутний момент на краю пластикової штанги складе 6,6 Н · м, що є допустимим, наприклад, для склопластика ПА- 6-210С, у якого цей показник складає 82 Н · м. Технологічні параметри також знаходяться в допустимих межах.

Розрахунки в програмі Ліра показали, що прогин краю пластикової штанги складе 0,102 м. І це є допустимою величиною при експлуатації самохідного обприскувача.

Аналіз небезпечних факторів при виконанні технологічної операції обприскування пшениці озимої із застосуванням техніки, виявив небезпеки, що виникають як у процесі роботи агрегату так і при порушенні правил безпеки праці самими працівниками. На основі цього розроблені додаткові заходи з поліпшення умов та безпеки праці на обприскувачах John Deere 4930, які працюють із збільшеною шириною захвату, що повинно знизити виникнення небезпечних ситуацій.

Розраховано, що впровадження розроблених конструкційних удосконалень агрегату John Deere 4930 забезпечить підвищення продуктивності агрегату на 22 %. Збільшення робочої ширини захвату з 36 до 44 м забезпечить зниження експлуатаційних витрат на 18%, а приведених витрат – на 12,5%. Також буде забезпечений ґрунтозахисний ефект за рахунок зменшення кіль- кості проходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки для підготовки документації на дипломне проектування для студентів денної і заочної форми навчання Інституту механізації і електрифікації сільського господарства напряму підготовки 6.100102,, Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва", освітньо-кваліфікаційних рівнів: „бакалавр", „спеціаліст", „магістр" / А.В. Рудь, І.М. Бендера, В.І. Дуганець, Ю.І. Панцир, І.О. Мошенко, О.В. Думанський; за ред. А.В. Рудя – Кам'янець-Подільський, ПДАТУ, 2014. – 127 с.

2. Дипломне проектування з ремонту машин агропромислового комплексу / І.М. Бендера, А.М. Оленюк, П.П. Федірко та ін. / За редакцією І.М. Бендери, А.М. Оленюка. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2012. – 480 с.

3. Агулов І.І. Довідник по ТО автомобілів / Агулов І.І., Вознюк Л.В., Левчій О.В. – Київ.: Урожай, 1989.–256 с.

4. Алілуєв В.А. Технічна експлуатація МТП / Алілуєв В.А., Ананьїн А.Д., Міхлин В.М. – К.:Колос, 2001. – 67 с.

5. Анурьєв В.І. Довідник конструктора–машинобудівника. В 3-х т. Т. 2. –5-е вид., перероб. и доп. / Анурьєв В.І. –Харків.: Машинобудування, 2000.–559 с.

6. Бараштов І.В. Организація технічного обслуговування автомобилів в агропромислових підприємствах / Бараштов І.В. – К.: Колос, 1998.–194 с.

7. Гернер В.С. Визначення нормативів ефективності дії гальм для умов експлуатації / Гернер В.С., Кулинич І.К., Левінсон Б.В. – В. зб. «Автомобільний». Київ, «Техніка», 2001 г. – 124с.

8. Філімонов О.А. Діагностика тягових властивостей вантажних автомобілів / Філімонов О.А. – «Автомобільний транспорт», 2001 г., № 2.

9. Гуревич О.М. Довідник сільського автомеханіка.– 2-е вид., перероб. и доп. / Гуревич О.М. – К.: Урожай, 1999.–224 с.

10. Гуревич Д.Ф. Ремонтні майстерні сільськогосподарських підприємств / Гуревич Д.Ф. – К.: Урожай, 2008.–274 с.

11. Сідашенко О.І. Практикум з ремонту машин / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, А.Я. Поліський та ін. – К.: Урожай, 1995. – 224 с.

12. Докуніхін В.З. Проектування раціональної організаційної структури та

структури управління підприємствами технічного сервісу АПК. Навчальний посібник до курсового і дипломного проектування / В.З. Докуніхін, В.С. Бурдейний, М.М. Загузов. – ДАУ, Житомир, 2003 – 183 с.

13. Сідашенко О.І. Конструкція організації технічного сервісу АПК Харківського регіону/ О.І. Сідашенко. – Харків: ХДТУСГ, 2000. – 232 с.

14. Водяника І.І. Довідник по усуненню несправностей тракторів. Запитання і відповіді / За ред. І.І. Водяника. – К.: Урожай, 1990. – 272 с.

15. Канарчук В.Е. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів / В.Е. Канарчук та ін. – К.: Вища шк., 1994. – 342 с.

16. Сідашенко О.І. Ремонт машин / За ред. О.І. Сідашенка, А.Я. Поліського. – К.: Урожай, 1994. – 400 с.

17. Лудченко А.А. Основы технического обслуживания автомобилей / А.А. Лудченко. – К.: Вища школа, 1987. – 399 с.

18. Гряник Г.М. Охорона праці / Гряник Г.М.,Лехман С.Д. – Київ. Урожай, 1994.–237 с.

19. Закон України “Про охорону праці”. Київ. 14.10.1992 р.

20. Лехман С.Д. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві / Лехман С.Д. – К.: Урожай, 1993. – 272 с.