

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри
_____ Дідур В.В.
“ ____ ” _____ 2026 р.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт)
перший (бакалаврський)

(освітній рівень)

на тему **«Проектування складу МТП при вирощуванні кукурудзи на зерно з розробкою операційної технології основного обробітку гурнту»**

Виконав: студент 4 курсу, групи 42-ім
Спеціальність _____ Н7
«Агроінженерія»
_____ Олег СІЧКАР
(прізвище та ініціали)

Керівник Юрій КОВАЛЬЧУК
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	5
1.1. Біологічні особливості культури	5
1.2. Розміщення в сівозміні та обробіток ґрунту	7
1.3. Система удобрення та догляд за посівами	10
1.4. Сівба	13
1.5. Збирання врожаю	16
1.6. Визначення складу с.г. машин	19
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	29
2.1. Розрахунок і побудова схеми плуга	29
2.2. Розрахунок пальця причіпного пристрою на зріз	33
2.3. Розрахунок зварного з'єднання	35
2.4. Розрахунок і вибір гідроциліндра для підняття плуга у транспортне положення	37
2.5. Розрахунок на міцність вісі колеса візка	38
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	43
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	47
ВИСНОВКИ.....	49
Список використаних джерел	50

ВСТУП

Кукурудза на силос — це більше ніж сировина для годівлі. У сучасному аграрному комплексі вона виступає мостом між рослинництвом і тваринництвом, економічною стабільністю господарств і екологічною стійкістю ландшафтів. Зростаючий попит на жорсткі і збалансовані корми, прагнення до підвищення продуктивності тваринництва та необхідність зберегти родючість ґрунтів роблять силосну кукурудзу стратегічною культурою для аграрної України.

Для рослинництва вирощування кукурудзи на силос — це можливість оптимізувати сівозміну, підвищити валову продукцію біомаси та краще використовувати технічні ресурси й технології. Для тваринництва силос із якісної кукурудзи гарантує повноцінне, енергоємне і перегодоване харчування, що безпосередньо впливає на молочну та м'ясну продуктивність і економічні показники ферми. З екологічної точки зору культури кукурудзи на силос сприяють акумуляції органічної маси, покращенню структури ґрунту, зменшенню ерозійних процесів та ефективнішому використанню залишкових поживних речовин.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Біологічні особливості культури

Кукурудза — культура з високим біопродуктивним потенціалом, що робить її ідеальним джерелом зеленої маси для силосування. Біологічні особливості рослини визначають її агротехнічну гнучкість, кормову цінність і здатність впливати на екосистему поля.

Ростові фази й динаміка накопичення маси Кукурудза проходить чітко виражені фази розвитку: від сходів до викидання волоті та формування зерна. Для силосування ключовими є вегетативні стадії — кущіння, інтенсивний ріст вегетативної маси та період молочно-воскової стиглості зерна. Саме в цей час загальна частка зеленої маси та вологість стебла і листя оптимальні для отримання корму з високою енергетичною цінністю та доброю силосованістю.

Анатомія рослини й якість корму Висока частка водовмісних тканин, значний вміст крохмалю у зерні на стадії молочної стиглості, а також добре співвідношення листостеблової маси формують корм з високою енергетичною цінністю. Однак великий вміст грубих кліткових структур у стеблі може знижувати перетравність; тому важливими є сорти з кращою перетравністю (low lignin, high digestibility) і оптимальна ступінь подрібнення при заготівлі.

Фізіологічна пластичність і адаптивність Кукурудза демонструє високу пластичність щодо освітлення, температури й родючості ґрунтів. Вона здатна формувати значну зелену біомасу за помірних ресурсів, але чутлива до посухи у фазі цвітіння і найінтенсивнішого наливання зерна. Це підкреслює значення селекції на посухостійкість та застосування водозберігаючих технологій при вирощуванні на силос у посушливих регіонах.

Фенологія та строки збирання Оптимальний строк заготівлі силосу — період молочно-воскової стиглості, коли вміст сухої речовини в рослині сягає 30–

35% (залежно від цільових показників ферми). Затримка збирання призводить до зниження соковитості й підвищення частки грубих кормових фракцій; раннє збирання — до недостатньої ферментації та зниження енергетичної цінності.

Вплив сорту на технологію і якість силосу Селекційні ознаки — висота рослини, відношення листостеблової маси до зерна, вміст крохмалю, стійкість до вилягання і хвороб — визначають портрет ідеального силосного сорту. Для виробництва силосу важливі сорти з високим показником перетравності і швидким накопиченням вуглеводів у зерні, а також з гарною стійкістю до вилягання, щоб зменшити втрати під час збирання.

Система кореневої системи і вплив на ґрунт Глибока й розгалужена коренева система сприяє використанню вологи і поживних речовин з глибших шарів ґрунту, зменшуючи ризик виносу елементів живлення. Після збирання рештки кукурудзи (стебла, листя й качани) служать джерелом органічної речовини, що покращує структуру ґрунту та живлення мікроорганізмів, за умови правильного їх використання (подрібнення, рівномірне розподілення, облік фітосанітарних ризиків).

Ризики фітосанітарного характеру Кукурудза піддається широкому спектру хвороб і шкідників (бактеріальні й грибні інфекції, кукурудзяний метелик, прихованохоботник тощо), що може суттєво вплинути на кількість і якість силосної маси. Інтегрований захист рослин і ротація культур — ключові заходи для мінімізації цих ризиків.

Екологічні аспекти продуктивності кукурудзи Висока продуктивність біомаси при ефективному живленні зменшує потребу у великому обсязі додаткових кормів, а також може служити як покривна культура для запобігання ерозії і втрат поживних речовин. Водночас інтенсивні системи вирощування потребують раціонального використання добрив і ЗЗР, щоб уникнути негативного впливу на довколишні екосистеми.

Практичні імплікації для господарств Розуміння біології кукурудзи дозволяє оптимізувати строки сівби та збирання, підбирати сорти під конкретні

умови та цілі (максимум біомаси, висока енергетична цінність), коригувати норми внесення добрив і системи зрошення. Інвестування в сучасні сорти з підвищеною перетравністю та агротехнології, що зменшують стреси рослин, прямо впливає на якість силосу й загальну рентабельність виробництва.

1.2. Розміщення в сівозміні та обробіток ґрунту

Кукурудза на силос посідає важливу функціональну нішу в сівозміні: вона забезпечує великі обсяги біомаси, сприяє акумуляції органічної речовини і дає змогу оптимізувати живлення тваринництва. Водночас її інтенсивне вирощування вимагає продуманого чергування культур і адекватних ґрунтообробних прийомів, щоб уникнути виснаження ґрунту, розповсюдження хвороб і зниження врожайності в довгостроковій перспективі.

Роль у сівозміні

- Функціональна позиція: кукурудза на силос є «біомасоутворювачем» і добре поєднується з кормовими та зерновими культурами у ротації, особливо в системах, де присутні бобові та озимі.
- Переваги: підвищення обсягу органічної маси після подрібнення решток, зниження ерозійного ризику при покривній культурі, покращення структури ґрунту за тривалого залишення органіки.
- Обмеження: можливість накопичення специфічних шкідників і патогенів (наприклад, комплексу ґрунтових шкідників кукурудзи), високе виноснення N, потреба у великій кількості поживних речовин.

Оптимальні попередники і наступні культури

- Попередники: кращими є бобові (вігор, горох, люпин) чи зернові з низьким тиском фітопатогенів; картопля та соняшник — менш бажані через ризик хвороб і перехресних шкідників. Попередник із хорошим кореневим розвитком і залишками органіки підвищує продуктивність кукурудзи.

- Наступні культури: після силосу доцільно сіяти бобові або зернові культури, які використовують залишковий N і сприяють відновленню структури ґрунту; допускається покривний посів ячмінь/тритикале або спеціальні сидерати.

Частота вирощування і тривалість ротації

- Рекомендовано обмежувати частку кукурудзи в сівозміні до 25–33% (не частіше ніж 1 раз на 3–4 роки на одній площі) для зниження акумуляції хвороб і шкідників та для запобігання виснаженню елементів живлення.

Технології обробітку ґрунту: вибір і обґрунтування

- Традиційний (плинний) обробіток: оранка + передпосівна підготовка дає чисте посівне ложе, знищує бур'яни і переміщує заражені рештки, але підвищує ризик ерозії і втрату органічної речовини. Рекомендується в регіонах з високим ерозійним потенціалом поєднувати з контурними полями і мульчуванням.
- Зменшений обробіток (reduced till): культивація, стрічковий обробіток або shallow tillage зберігають більше органіки, знижують працєвитість і ерозію, але вимагають більшої уваги до контролю бур'янів і шкідників.
- No-Till/Strip-Till: економічно вигідні в майбутньому через збереження структури і вологи, особливо в посушливих регіонах; потребують спеціалізованої техніки та системи управління рештками, а також ротації культур і локального внесення добрив для уникнення дефіциту елементів харчування біля рядка.

Управління рештками після збирання силосу

- Подрібнення і рівномірне розподілення решток сприяють прискореному розкладанню і поповненню органічної речовини; проте великі обсяги стебел підвищують ризик фітопатогенів.
- Можливий варіант: часткове вивезення решток у господарства з дефіцитом підстилки або для інших потреб; або використання сидератів у наступному циклі для прискорення переробки органіки.

Фертильність ґрунту і внесення добрив у контексті ґрунтообробки

- Інтенсивне виношення N кукурудзою зумовлює необхідність фокусного внесення мінеральних і органічних добрив. Розумна стратегія: базове внесення P і K під передпосівну культивацію, часткове внесення N під сівбу та основні підживлення у фазах інтенсивного росту.
- У системах No-Till рекомендоване стрічкове внесення добрив для доступності елементів на початкових стадіях.

Управління ущільненням і агроскопічні заходи

- Ущільнення ґрунту — ключова проблема при збиранні маси силосу та інтенсивній механізації. Заходи: використання коліс із низьким тиском, трекових систем, зменшення проходів важкої техніки, планування логістики і використання спеціальних маршрутів для трансферу техніки.
- Регулярний моніторинг щільності ґрунту і при необхідності проведення стратегічних розпушувань (глибинна рихлення) у міжсезоння.

Інтеграція з системами зрошення і полосового землеробства

- У зонах зрошення кукурудза на силос може давати вищу продуктивність за умов оптимального поєднання з технологіями strip-till та контролю вологи. Полосовий обробіток дозволяє зберегти вологу і концентрувати добрива у робочій зоні.

Практичні рекомендації

- Плануйте кукурудзу в ротації так, щоб уникати повторного висіву на ту саму ділянку частіше ніж раз на 3 роки.
- Обирайте технологію обробітку ґрунту відповідно до клімату, ерозійного ризику й наявної техніки; у разі переходу на No-Till — починайте з пілотних ділянок та забезпечте локальне внесення добрив.
- Після збирання силосу подрібнюйте рештки і рівномірно розподіляйте; за високого ризику хвороб врахуйте видалення частини біомаси або застосування сидератів.

- Впроваджуйте заходи проти ущільнення: плануйте маршрути, використовуйте низькопрофільні колеса/треки, тримайте навантаження техніки в межах, рекомендованих для типу ґрунту.

1.3. Система удобрення та догляд за посівами

Удобрення та системний догляд — ключові чинники, що визначають кількість і якість силосної маси. Правильна програма живлення у поєднанні з агрозаходами догляду забезпечує високий вміст сухої речовини, крохмалю та перетравність корму, знижуючи витрати на додаткові компоненти годівлі.

1. Агрохімічна діагностика та планування живлення

- Передпосівний обов'язковий аналіз ґрунту (рН, доступні форми Р, К, органічна речовина, вміст сірки, мікроелементів). На цій основі формують баланс добрив та корекцію дефіцитів.
- Планування базується на цільовому врожаї біомаси (т/га сухої речовини) і виносі елементів живлення; для інтенсивного силосу враховують підвищені норми N.

2. Основні елементи та норми внесення (орієнтовно, залежно від ґрунту й цілей)

- Фосфор (Р) і Калій (К): базове внесення перед сівбою або під основний обробіток — забезпечити доступний рівень згідно аналізу (часто 60–120 кг P_2O_5 та 60–120 кг K_2O /га для інтенсивних систем). Р і К критичні для розвитку кореневої системи й накопичення маси.
- Азот (N): розподілений режим — частина (20–30%) під передпосівну культивуацію або при сівбі, основна частина в 1–2 підживлення (фази 6–8 листків і перед цвітінням). Загальні норми для силосу 120–240 кг діючої речовини N/га залежно від потенціалу врожаю й внесених органічних добрив.

- Сірка (S): часто недооцінюється; вноситься при дефіциті 20–40 кг S/га (особливо на легких ґрунтах і при високих нормах N).
 - Мікроелементи: бор, цинк, марганець — при виявленому дефіциті; бор важливий для формування качанів і наливу зерна, цинк — для росту кореня.
3. Органічні добрива та сидерати
- Органічні внесення (гній, компост) підвищують структуру ґрунту й довготривало постачають N; рекомендуються в міжсезоння або під передпосівну культивуацію.
 - Сидерати після збирання силосу чи в проміжках сівозміни (жито-вика, фацелія, люцерна) прискорюють відновлення поживності і зменшують ерозію.
4. Методи внесення та локалізація добрив
- Стрічкове (band) або рядкове внесення N і фосфору при No-Till/strip-till забезпечує доступність елементів у початковій фазі росту.
 - При класичному обробітку — рівномірне внесення під передпосівний обробіток з поділом N на старти й підживлення.
 - Використання добрив з повільним вивільненням або нітрат-стабілізаторів (нітріфікаційні інгібітори) доцільне на ризикових ґрунтах для зниження втрат і екологічного навантаження.
5. Підживлення: терміни і цілі
- Стартове підживлення (під сівбу або раннє підживлення) — стимул росту кореневої системи; 20–40 кг N/га.
 - Основне підживлення у фазі 6–8 листків (V6–V8) — найбільш ефективне для накопичення вегетативної маси.
 - Додаткове підживлення перед цвітінням може підвищити вміст сухої речовини і крохмалю в качанах, якщо очікується високий потенціал наливу.
6. Зрошення і водний режим

- Вологість — критичний фактор; підвищення продуктивності біомаси досягається за рівномірного водопостачання у періоди інтенсивного росту та наливу.
 - Поливи планують так, щоб уникнути стресів у фазі інтенсивного росту листя і формування качана; оптимальні методи — крапельне або регульоване дощування з урахуванням діагностики вологості ґрунту.
7. Догляд: боротьба з бур'янами, шкідниками та хворобами
- Система захисту базується на моніторингу і інтегрованому підході: сівозміна, прогнозування, порогові значення шкодочинності.
 - Гербіциди: передпосівні та ранньопіслясходові програми, адаптовані до конкретних бур'янів; у No-Till особлива увага до зимуючих бур'янів.
 - Інсектициди та біопрепарати: застосовують за наявності економічних порогів шкодочинності (кукурудзяний метелик, прихованохоботник). Використання біологічних агентів і агротехнічних заходів зменшує хімічне навантаження.
 - Фунгіциди: при високому ризику хвороб листя чи стебла — своєчасні обробки для збереження фотосинтетичної поверхні й якості маси.
8. Норма висіву, густина і просторове планування
- Для силосу оптимальна густина рослин в полі — вища ніж для зерна: орієнтовно 60–80 тис. рослин/га (залежить від сорту та клімату). Вища густина сприяє формуванню більшої листостеблової маси і більш компактної структури стебел.
 - Враховуйте ширину міжряддя для механізації збирання і розміщення добрив.
9. Фоліарні підживлення і стимулятори
- Мікродобрива та фоліарні підживлення (зелені добрива, комплекси мікроелементів) у стресові періоди можуть покращити фотосинтез і перетворення поживних речовин.

- Стимулятори кореневого росту і стресостійкості — як додатковий інструмент, особливо в посушливих умовах або при нестачі вологи.

10. Моніторинг та оцінка ефективності програм живлення

- Впроваджуйте регулярний моніторинг (візуальний, лабораторні аналізи листя та ґрунту, вміст N у тканинах) для корекції доз і термінів внесення.
- Оцінюйте показники: врожайність біомаси, вміст сухої речовини, крохмалю, перетравність та економіку витрат на добрива (грн/т сухої речовини).

11. Екологічні вимоги та економічна доцільність

- Мінімізуйте втрати N (випаровування, вимивання) шляхом розподілу внесення, використання інгібіторів і адаптації до погодних умов.
- Балансуйте інвестиції в добрива з очікуваним приростом продуктивності: економічно виправдані норми — ті, що дають позитивний маржинальний прибуток на кожну вкладену гривню.

12. Підготовка до збирання та заходи для збереження якості силосу

- Контролюйте вміст сухої речовини (орієнтир 30–35% для силосу), рівномірність стадій досягання по полю; підготовка техніки, планування логістики; своєчасне подрібнення і щільне ущільнення в траншеях/силосних ямах.
- Додавання інокулянтів (лактобактерій) при необхідності покращує ферментацію і зберігання корму.

1.4. Сівба

Сівба кукурудзи на силос має свої специфічні акценти, що відрізняють її від вирощування на зерно: орієнтація на максимум вегетативної біомаси, більш щільні посіви, інші строки та підходи до техніки й підживлення. Нижче — ключові аспекти та практичні рекомендації.

1. Строки сівби

- Оптимальні строки залежать від регіону й гідротермічних умов; в Україні — від кінця квітня до початку червня.
- Ранні строки дають довший вегетаційний період і більшу біомасу за умови достатнього прогріву ґрунту ($\geq 8-10$ °C на глибині загортання насіння) і вологості. Затримка сівби скорочує накопичення зеленої маси та може знизити крохмалистість качанів.

2. Підготовка посівного ложа

- Для силосу важлива рівномірність і щільність контакту насінини з ґрунтом: дрібногрудкувате, вирівняне ложе без кірки.
- У системах No-Till/Strip-Till — якісне зрізання смуги під рядок і локальне внесення добрив; у традиційній технології — передпосівна культивация з вирівнюванням.

3. Насіння та протруювання

- Використовувати спеціальні силосні або універсальні гібриди з високою біомасою, хорошою стійкістю до вилягання та високою перетравністю.
- Обов'язкове протруєння від ґрунтових шкідників і хвороб; при необхідності — застосування фунгіцидних/інсектицидних препаратів із урахуванням безпеки оператора та навколишнього середовища.

4. Норма висіву і густина стояння рослин

- Для силосу прийнятні вищі густоти: орієнтовно 60–80 тис. рослин/га (в залежності від гібриду та умов); у вологих регіонах і при інтенсивних системах — ближче до верхньої межі.
- Розраховуйте норму насіння з урахуванням схожості та очікуваних втрат (деформація, хвороби).

5. Глибина та ширина міжрядь

- Глибина загортання: 3–5 см на легких ґрунтах, 4–6 см на важких або у посушливих умовах для доступу до вологи; глибина має бути рівномірною по площі.

- Ширина міжрядь: 70 см — стандарт для масового силосу і механізованого збирання; у вузькорядних системах (45–50 см) можна підвищити густоту і продуктивність, але потрібна відповідна техніка.
6. Стартер-добрива та локальне внесення
- Рекомендовано застосовувати стартове NPK-добриво поряд із рядком (строкове або стрічкове) для швидкого старту рослин; особливо важливо при холодному ґрунті або на важких ґрунтах з низькою мінеральною доступністю.
 - У No-Till — локалізація фосфору та калію у смузі під рядок підвищує ефективність.
7. Машини, налаштування і режим сівби
- Сівалки повинні забезпечувати точну норму висіву, рівномірність по рядках і стабільну глибину. Пневматичні та точні механічні сівалки — перевага для однорідності.
 - Обов’язкова калібровка перед стартом і в процесі сівби (тести проріджування, контроль на полі). Швидкість руху має бути рекомендована виробником сівалки; перевищення призводить до нерівномірного висіву.
8. Логістика й оперативний контроль якості
- Своєчасна підготовка техніки, запас пального, запасні частини і матеріали для протруєння/добрив.
 - Після сівби перевірка тестових ділянок на наявність і рівномірність загортання, реальна густота сходів через 7–14 днів — для корекції в наступних масивах.
9. Управління рештками та фітосанітарія при сівбі
- За великої кількості післяжнивних решток потрібні рядочистачі та точне налаштування сошників, щоб уникнути поганого контакту насінини з ґрунтом.
 - План сівозміни і попередня обробка решток знижують ризик накопичення хвороб і шкідників.

10. Екологічні та безпекові аспекти сівби

- Мінімізувати проходи техніки для зниження ущільнення; використовувати колеса низького тиску або треки, планувати маршрути.
- Дотримуватись правил безпечного зберігання й застосування ЗЗР та добрив; інструктаж працівників.

Практичні рекомендації (коротко)

- Плануйте сівбу з урахуванням ґрунтової температури та вологості; не сійте в холодний сухий ґрунт.
- Калібруйте сівалку щоденно; ведіть журнал робіт.
- Обирайте густоту за гібридом і ресурсами вологи; вищі густоти — для інтенсивних систем з хорошим живленням і зрошенням.
- Забезпечте стартове локальне живлення і якісне протруєння насіння.
- Починайте впровадження нових схем (вузькоряддя, No-Till) з пілотних ділянок.

1.5. Збирання врожаю

Збирання кукурудзи на силос — операція, що вирішує баланс між якістю корму, витратами і мінімізацією втрат. Правильне планування, технічно бездоганне виконання та чітка логістика визначають успіх заготівлі.

1. Оптимальні строки збирання

- Орієнтир: молочно-воскова стадія зерна при вмісті сухої речовини 30–35% (для траншейного силосування допускається 28–35% залежно від технології).
- Ранній знім — нижчий вміст сухої речовини, слабша ферментація; пізній знім — підвищена частка грубих фракцій, втрата соковитості й погіршення перетравності.

- Враховуйте погодні умови: стійкі дощі ускладнюють під'їзд техніки й підвищують втрати, заморозки знижують якість.
2. Критерії готовності та оперативний контроль
- Візуальні ознаки: пожовтіння листя, початок підсихання листостеблової маси, наповненість зерна.
 - Лабораторні швидкі тести: вимір вмісту сухої речовини в пробах рослини та зерна, визначення співвідношення листя/стібло/качан.
 - Використовуйте тестові ділянки для оцінки продуктивності та якості перед масштабним збиранням.
3. Техніка та її налаштування
- Комбайни-силосозбирачі: налаштування подрібнювача (довжина подрібнення), режими подавання, швидкість ходу. Рекомендована довжина подрібнення 4–8 мм для згодовування нетелям; для масового зберігання іноді 6–10 мм залежно від мети та стану маси.
 - Різальні апарати і прилади підбирають під висоту зрізу та ступінь подрібнення; регулярна перевірка ножів і робочих органів знижує втрати та поліпшує якість подрібнення.
 - Технічний стан техніки: перед стартом — повна діагностика, запасні частини, гострі ножі, належні системи безпеки.
4. Висота зрізу і управління залишками
- Висота зрізу 10–20 см залежно від мети (нижчий зріз збільшує обсяг біомаси, але підвищує ризик забруднення і перевантажень техніки).
 - Розподілення решток: часткове залишення на полі для відновлення органіки або вивезення для підстилки/біомаси; уникати скупчень, що посилюють фітосанітарні ризики.
5. Подрібнення, ущільнення і швидкість закладання
- Однорідне подрібнення і оперативне ущільнення — ключ до доброї ферментації. Час від зрізу до укладки має бути мінімальним; тривале лежання підвищує втрати сухої речовини і ризик псування.

- Ущільнення: шар за шаром, досягнення високої щільності (приблизно 700–900 кг свіжої маси/м³ залежно від технології) із застосуванням важкої техніки для вилучення повітря.
 - Захист країв траншеї/силосної ями: регулярне підсипання і укриття для уникнення доступу повітря й води.
6. Використання інокулянтів і добавок
- Біологічні інокулянти (лактобактерії) часто покращують якість ферментації, знижують втрати і підвищують стабільність силосу.
 - Хімічні консерванти застосовують при несприятливих умовах збору (висока вологість, пізній строк) для контролю небажаної мікрофлори.
7. Логістика і організація робіт
- Планування маршрутів техніки, визначення точок завантаження та зберігання, синхронізація комбайнів і підвозу — знижують прості й втрати.
 - Забезпечення запасних підвозних одиниць, пального і персоналу для неперервної роботи у вік оптимальних строків.
8. Втрати при збиранні та методи їх зниження
- Основні втрати: нерезаний матеріал, втрата сухої речовини при лежанні, забруднення ґрунтом і перетравлення.
 - Зниження втрат: оптимальна швидкість роботи, гострі робочі органи, швидке ущільнення, контроль за висотою зрізу, уникання роботи в надто вологих умовах.
9. Екологічні та безпекові вимоги
- Мінімізувати ущільнення ґрунту шляхом маршрутизації і використання коліс низького тиску; обмежувати доступ важкої техніки в зоні підвищеної вологості.
 - Дотримуватись правил безпеки при роботі з машинами, зберіганні пального й обробці добавок; навчати персонал процедурі екстреної зупинки й надання першої допомоги.

10.Зберігання і контроль якості після закладки

- Укриття траншей/ярусів поліетиленом і захисними шарами, контроль за щільністю і температурою маси у перші тижні ферментації.
- Регулярна перевірка на наявність гарячих точок, битової води на поверхні, ознак плісняви; при виявленні — локалізація та корекція (переклад місць, додаткове ущільнення, застосування інокулянтів).

1.6. Визначення складу с-г машин.

Склад сільськогосподарських машин визначають на підставі плану механізованих робіт (табл. 1.1) і для виробництва кукурудзи на силос на площі 130 га приведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Необхідна кількість сільськогосподарських машин

Назва с.г. машини	Марка	Необхідна кількість
Борона дискова	БДВ-6,5	1
Плуг оборотний	ППО-5-40	2
Машина для внесення мінеральних добрив	МВУ-900	1
Плуг-луцильник	ППЛ-10-25	3
Культиватори для міжрядного обробітку	КРН-5,6	1
Культиватор для суцільного обробітку	АПОГ-6	1
Сівалка	УПС-12	1
Агрегат для підвезення води	МЖ-10	1
Обприскувач	ОП-2000	1
Причипний комбайн для збирання кукурудзи	КПКУ-75	1
Навантажувач	ПФ-0,75	1
Причіпи	2ПТС-4	1
	1ПТС-2	1
Борони зубові	БЗТС-1,0	21
	БЗСС-1,0	11
	ЗБП-0,6А	35
Котки	ЗККШ-6	3

Глибока зяблева оранка під кукурудзу виконується з метою обробітку ґрунту на глибину 25-30 см з рихленням і повним обертанням скиби,

загортання в ґрунт органічних і мінеральних добрив та пожнивних решток, створення умов для накопичення вологи, покращення водно-повітряного режиму ґрунту і якості його обробітку весною.

Умови роботи

Склад агрегату – ХТЗ-17021+ППО-5-40. Рельєф поля – схил $i = 2\%$. Довжина поля – 800 м. Агрофон – стерня колосових зернових культур. Питомий тяговий опір плуга – 49 кН/м^2 .

Агротехнічні вимоги

Показник	Норматив	Допуск
Тривалість робіт на одному полі	10 днів	± 5 днів
Обертання скиби	Повне	-
Загортання добрив, пожнивних решток, % від маси	Не менше 95	- 2
Кришіння ґрунту, %	Грудок розміром 100 см^2 , не більше 15 %	+3
Висота гребенів, см	На більше 7	+2
Огріхи	Не допускаються	

Розрахунок режимів роботи агрегату

Визначимо швидкісні режими роботи агрегату з врахуванням агротехнічних вимог. Для плуга ППО-5-40 інтервал робочих швидкостей знаходиться в межах $7 \dots 9 \text{ км / год}$. В цьому діапазоні трактор ХТЗ-17021 має дві передачі: першу і другу. Згідно даних [11] робочі швидкості (з врахуванням буксування) трактора є наступними:

перша передача $V_{p_1} = 8,18$ км / год;

друга передача $V_{p_2} = 9,6$ км / год.

Сила тяги трактора при русі по стерні на зазначених передачах становить [11].: $P_{T_1} = 43,2$ кН, $P_{T_2} = 35,8$ кН.

Визначимо максимально можливу ширину захвату агрегату на вибраних передачах за формулою [10]:

$$B_{nl} = \frac{P_T - Gi}{ka + gi}, \quad (1.1)$$

де G – вага трактора, кН, $G = 86$ кН;

i – схил поля, в частках одиниці, $i = 0,02$;

k – питомий тяговий опір плуга з врахуванням швидкості руху, кН / м²

g – питома вага плуга, кН / м;

a – глибина оранки, м, $a = 0,30$ м.

Питомий тяговий опір плуга з врахуванням швидкості руху можна визначити за формулою:

$$k = k_0[1 + \Delta(V_p^2 - V_0^2)], \quad (1.2)$$

де k – питомий опір сівалки на швидкості руху 5 км / год, кН / м;

Δ – темп приросту питомого опору, в частка одиниці;

V_0 – 5 км / год.

Темп приросту питомого опору $\Delta = 0.06$.

Найбільш розповсюдженими ґрунтами в господарстві є важко суглинкові чорноземи з питомим опором $k_0 = 49$ кН / м².

Отже, питомий опір плуга на вибраних передачах буде становити:

$$\text{на першій} \quad k_2 = 49[1 + 0.006(8.18^2 - 5^2)] = 61,3 \text{ кН / м}^2,$$

на другій $k_3 = 49[1 + 0.006(9.6^2 - 5^2)] = 68,7 \text{ кН / м}^2$.

Питома вага плуга $g = Gn / B$ (тут Gn – вага плуга, $Gn = 31 \text{ кН}$; B – ширина захвату плуга, м, $B = 2 \text{ м}$), тоді $g = 31 / 2 \approx 15,5 \text{ кН / м}$.

Таким чином, максимально можлива ширина захвату агрегату буде становити:
на першій передачі

$$Bn_{l_2} = \frac{43,2 - 86 \cdot 0.02}{61,3 \cdot 0.3 + 15,5 \cdot 0.02} \approx 2.2 \text{ м},$$

на другій передачі

$$Bn_{l_3} = \frac{35,8 - 86 \cdot 0.02}{68,7 \cdot 0.3 + 15,5 \cdot 0.02} = 0,94 \text{ м}.$$

Кількість корпусів плуга, які зможе агрегувати трактор на вибраних передачах можна визначити за формулою:

$$n = \frac{B_{\text{пл}}}{b_{\text{к}}}, \quad (1.3)$$

де $b_{\text{к}}$ – ширина захвату корпуса, м, $b_{\text{к}} = 0.4 \text{ м}$.

На першій передачі трактор зможе агрегувати $n_1 = \frac{2.2}{0.4} = 5.5$ корпусів.

Оскільки плуг ППО-5-40 є п'ятикорпусним, то приймаємо першу передачу.

Визначимо тяговий опір плуга:

$$R = ab_k nk + G_n i. \quad (1.4)$$

Тяговий опір плуга на першій передачі буде становити:

$$R_1 = 0.3 \cdot 0.4 \cdot 5 \cdot 61,3 + 31 \cdot 0.02 = 37,4 \text{ кН},$$

Визначимо коефіцієнт використання тягового зусилля трактора при роботі на вибраних передачах за формулою:

$$\eta = \frac{R}{P_T}. \quad (1.5)$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля трактора становить:
на першій передачі

$$\eta_2 = \frac{37,4}{43,2} = 0,87,$$

Допустиме значення коефіцієнта використання тягового зусилля трактора ХТЗ-17021 на оранці $[\eta] = 0.86 \dots 0.90$.

Основною передачею трактора ХТЗ-17021 на оранці плугом ППО-5-40 буде перша передача трактора.

Розрахунок продуктивності агрегату

Норму виробітку агрегату визначимо за формулою:

$$H = 0.1 B \beta V_p T \tau, \quad (1.6)$$

де β – коефіцієнт використання ширини захвату, $\beta = 1.05 \dots 1.1$;

T – тривалість зміни, год, $T = 7$ год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни.

Для визначення коефіцієнта використання часу зміни розглянемо кінематику агрегату і складемо баланс часу зміни.

Для оранки вибираємо петльовий спосіб руху з чергуванням заїнок в склад і врозгін.

Коефіцієнт робочих ходів визначимо за формулою:

$$\varphi = \frac{L_p}{L_p + L_x}, \quad (1.7)$$

де L_p – робоча довжина заїнки, м;

L_x – довжина холостого ходу, м.

$$L_p = L - 2E, \quad (1.8)$$

де L – довжина поля, м;

E – ширина поворотної смуги, м.

Ширина поворотної смуги повинна бути кратною ширині захвату агрегату, тобто $E = nB\beta$ (тут n – кратність проходу агрегату) і більшою за мінімальну ширину поворотної смуги $E_{\min}$, яку можна визначити за формулою:

$$E_{\min} = 3R + e, \quad (1.9)$$

де R – радіус повороту агрегату, м;

e – довжина виїзду, м.

Радіус повороту агрегату:

$$R = 3B\beta. \quad (1.10)$$

Приймаємо, що коефіцієнт використання ширини захвату $\beta = 1.1$, то одержимо:

$$R = 3 \cdot 2 \cdot 1.1 = 6,6 \text{ м.}$$

Довжина виїзду агрегату визначається за формулою:

$$e = 0.5la, \quad (1.11)$$

де la – кінематична довжина агрегату часу, м.

$$la = l_T + \ln l, \quad (1.12)$$

де l_T – кінематична довжина трактора, м, $l_T = 2,86$ м;

$\ln l$ – кінематична довжина плуга, м, $\ln l = 6.3$ м.

Тоді

$$la = 2,86 + 6,3 = 9,16 \text{ м, а}$$

$$e = 0.5 \cdot 9,16 = 4,58 \text{ м.}$$

Підставляючи одержані дані в (4.9), будемо мати:

$$E_{\min} = 3 \cdot 6,6 + 4,58 = 24,38 \text{ м.}$$

Оскільки $E = nB\beta > E_{mi}n$, то при $n = 12$, будемо мати:

$$E = 12 \cdot 2 \cdot 1,1 \approx 26,4 \text{ м.}$$

Робоча довжина загінки згідно (4.8), буде становити:

$$Lp = 800 - 2 \cdot 26,4 = 747,2 \text{ м.}$$

Довжину холостого ходу можна визначити за формулою:

$$Lx = 7R + 2e \quad (1.13)$$

$$Lx = 7 \cdot 6,6 + 2 \cdot 4,58 = 55,36 \text{ м.}$$

Тоді, згідно (4.7), будемо мати:

$$\varphi = \frac{747,2}{747,2 + 55,36} = 0,93.$$

Визначимо оптимальну ширину загінки:

$$C = \sqrt{16R^2 + 2B\beta \cdot Lp} \quad (1.14)$$

$$C = \sqrt{16 \cdot 6,6^2 + 2 \cdot 2 \cdot 1,1 \cdot 747,2} = 63,13 \text{ м.}$$

Зважаючи на те, що плуг ППО-5-40 є оборотним і виконує гладеньку оранку розбивка поля на загінки не обов'язкова.

Коефіцієнт використання часу зміни визначимо так:

$$\tau = \frac{T_p}{T}, \quad (1.15)$$

де T_p – чистий час роботи протягом змін, год;

T – тривалість зміни, год, $T = 7$ год.

Чистий час роботи протягом зміни можна визначити за формулою:

$$T_p = \frac{T - (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)}{1 + \tau_n}, \quad (1.16)$$

де T_1 – тривалість підготовчо-заключних робіт, $T_1 = 4$ хв;

T_2 – норматив часу на щоденне технічне обслуговування агрегату (трактора – 24 хв, плуга – 8 хв, тобто $T_2 = 32$ хв);

T_3 – норматив часу на фізіологічні потреби: відпочинок 20 хв та особисті потреби 10 хв за зміну, тоді $T_3 = 30$ хв.

T_4 – преїзди агрегату протягом зміни, год, $T_4 = 30$ хв.

τ_n – коефіцієнт поворотів.

$$\tau_n = \frac{1 - \varphi}{\varphi} \quad (1.17)$$

$$\tau_n = \frac{1 - 0,93}{0,93} = 0,075$$

Підставляючи ці дані в (4.16), будемо мати :

$$T_p = \frac{420 - (4 + 32 + 30 + 30)}{1 + 0,075} = 301 \text{ хв або } 5 \text{ год.}$$

Таким чином коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = \frac{5}{7} = 0.714,$$

Норма виробітку агрегату буде становити:

$$H = 0.1 \cdot 2 \cdot 1.1 \cdot 8,18 \cdot 7 \cdot 0.714 = 8,2 \text{ га.}$$

Підготовка поля до роботи

Забрати з поля залишки соломи, каміння, різні сторонні предмети, зарівняти промоїни. Поворотні смуги (26,4 м) відділити від поля контрольними лініями-борознами глибиною до 15 см плугом по вішкам (рисунок .1)

Робота агрегату в загінці

Перший прохід агрегату (рисунок 1.1) зробити по прямій лінії (позначеній віхами) першого і інших загонів, котрі орють всклад. Для першого проходу плуг регулюють на половину глибини оранки.

Остаточню регулюють плуг в борозні. При оранці не допускати перекіс плуга і зменшення або збільшення його ширини захвату.

Після закінчення оранки зарівняти борозни і ями на поворотних смугах.

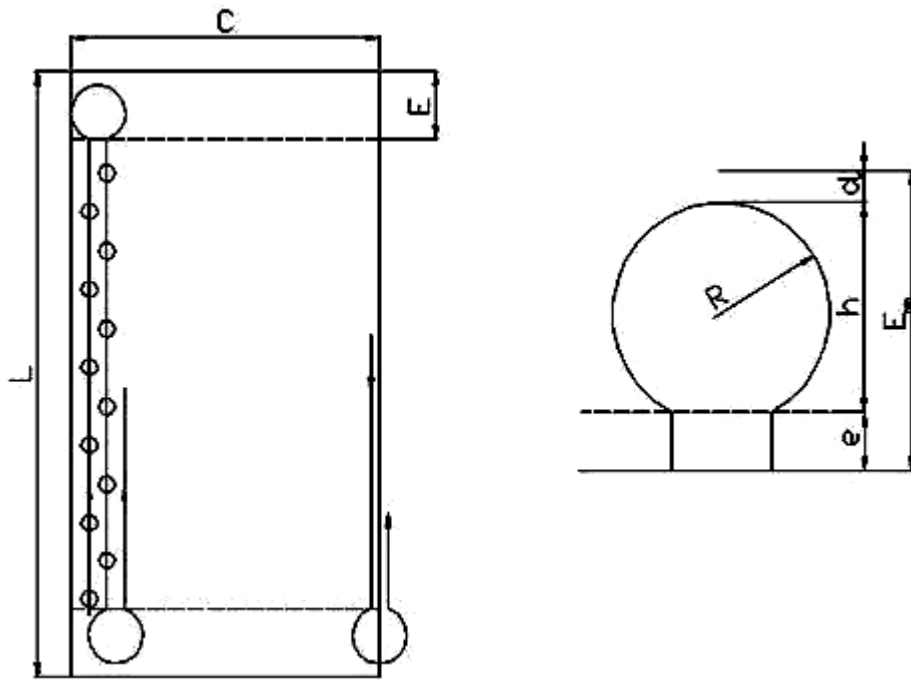


Рисунок 1.1 – Розбивка поля: E – ширина поворотної смуги ($E=26,4$ м); A – довжина поля ($A=800$ м); C – ширина загінки ($C=62$ м)

Висновки

На підставі розрахунків встановлено, що для виконання робіт по виробництву кукурудзи на силос на площі 130 га необхідно мати 14 тракторів і 86 одиниць сільськогосподарської техніки. Потреба в дизельному пальному на цей обсяг робіт складає 8998,2 кг.

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок і побудова схеми плуга

Побудова вертикальної проекції начіпного плуга

Проводиться лінія дна борозни *М-М* (на відстані $(1,5...2,0) \cdot b$ від борозного кінця лемеша переднього корпусу (для компактності креслення)).

Визначається висота рами плуга відносно дна борозни по формулі:

$$H_p = a_{max} + b + h/2 = 0,23 + 0,368 + 0,07/2 = 0,633 \text{ м.} \quad (2.1)$$

де a_{max} – гранична глибина оранки, м;

h – висота профілю грядільної сталі, $h = 0,06...0,07$ м.

Лінія рами плуга наноситься на вертикальну проекцію.

Характерні точки лемеша і польової дошки з горизонтальної проекції проектуються на вертикальну проекцію і умовно зображуються корпуси плуга. Стовпа корпусу на схемі може бути показана лінією, що з'єднується з осьовою лінією рами під прямим кутом і що опускається вниз у вигляді кривої польового обріза корпусу.

Визначається положення дискового ножа. Центр дискового ножа встановлюється над носком лемеша корпусу. Діаметр дискового ножа 390 мм. Положення дискового ножа відмічається і на горизонтальній проекції.

Відмічається положення опорного колеса. Опорне колесо повинно розташовуватися можливо ближче до сліду центра ваги плуга, але так, щоб не заважало відвалюванню скиби. Діаметр колеса $D = 500$ мм, ширина обода $B = 180$ мм. Глибину занурення колеса в ґрунт приймати 2...3 см. Положення опорного колеса відмічається як у вертикальній, так і в горизонтальній проекціях.

Будується рамка начіпного механізму плуга.

Побудова робиться в такій послідовності:

а) з горизонтальної проекції на осьову лінію рами проектується поперечна планка $БП$ (точка $П_1$);

– до точки $П_1$ проводиться вертикаль $П_1В$. Висота стійки $П_1В$ вибирається в залежності від системи начіпного механізму: при 2-точечній системі начіпного механізму $П_1В=700$ мм;

б) поперечка $ВC_0$ проводиться під кутом $\alpha=50...60^\circ$ до вертикальної стійки.

Будується положення нижньої тяги начіпного механізму в робочому положенні плуга. Для цього точка причепа T проектується на вертикальну проекцію. Спроекована точка відносно дна борозни повинна знаходитися на відстані H_p . Отримана точка T_1 з'єднується з точкою $П_1$, відрізок $П_1T_1$ і буде представляти нижню тягу начіпного механізму в робочому положенні.

Будується положення верхньої ланки начіпного механізму.

Побудова виконується в такій послідовності:

а) через точку T_1 вгору проводиться допоміжна лінія - вертикаль;

б) від отриманої вертикалі з точки T_1 відкладається кут $\beta=10...30^\circ$;

– на отриманій похилій лінії відкладається відрізок T_1N_1 при 2-точечній системі начіпного механізму $T_1N_1=600$ мм;

в) точка N_1 з'єднується з точкою $В$. Отриманий відрізок N_1B_1 – положення верхньої тяги начіпного механізму в робочому положенні.

Будується положення регульованого розкоса начіпного механізму. Для цього праворуч від точки T_1 на нижній тязі начіпного механізму відкладається відрізок 430...440мм і відмічається точка F_1 , через яку проводиться вертикаль F_1E . У залежності від системи начіпного механізму довжина регульованого розкоса:

– при 2-точечній системі начіпного механізму $F_1E = 620$ мм.

Будується положення важеля підйому начіпного механізму і важеля штока гідроциліндра. Розміри підйомних важелів і їх взаємне розташування відносно один одного в залежності від типу трактора різні. Важіль підйому r_1 представляється відрізком N_1E , а важіль штока гідроциліндра r_2 – відрізком N_1K . Практично можна прийняти $r_1=240...280$ мм, $r_2=120... 160$ мм.

Значення кута α_1 між важелями підйому r_1 і r_2 вибирається згідно характеристики навісних пристроїв. Практично кут α_1 можна прийняти в таких межах: $\alpha_1=30...50^\circ$.

Місце кріплення корпусу гідроциліндра координується. Для кожного типу і марки трактора воно різне. В курсовій роботі вісь кріплення корпусу гідроциліндра рекомендується розмістити в точці L , віддаленій від точки T_1 вгору на 80...120мм і ліворуч від точки T_1 на 100...140мм.

Визначення сил, діючих на плуг

Визначається сила ваги плуга G :

$$G = m_k \cdot n \cdot g = 165 \cdot 5 \cdot 9,8 = 8085 \text{ Н}, \quad (2.2)$$

де m_k – маса плуга, яка припадає на один корпус, кг/шт.;

n – кількість корпусів, шт.;

g – прискорення вільного падіння, м/с.

Визначається загальний опір плуга R_{nl} по раціональній формулі В.П. Горячкіна:

$$R_{nl} = f \cdot G + k_1 \cdot a \cdot b \cdot n + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot n \cdot v^2 \quad (2.3)$$

$$R_{nl} = 0,6 \cdot 8085 + 3900 \cdot 0,23 \cdot 0,368 \cdot 5 + 20 \cdot 0,23 \cdot 0,368 \cdot 5 \cdot 2,2^2 = 6248 \text{ Н},$$

де f – коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту тертя;

G – сила ваги плуга, Н;

k_1 – коефіцієнт, що характеризує здатність пласта фунту чинити опір деформації, Н/м²;

ε – коефіцієнт, що залежить від форми полиці і властивостей ґрунту, Н·с²/м⁴;

a – глибина оранки, м;

b – ширина захвата корпусу, м;

v – швидкість руху плуга, м/с.

Визначається К.К.Д. плуга:

$$\eta = 1 - f \cdot G / R_{nl} = 1 - 0,6 \cdot 8085 / 6248 = 0,27, \quad (2.4)$$

Визначаються складові тягового опору плуга:

$$R_x = R_{nl} \cdot \eta = 6248 \cdot 0,27 = 1687 \text{ Н}; \quad (2.5)$$

$$R_y = 0,33 \cdot R_x = 0,33 \cdot 1687 = 556,7 \text{ Н}; \quad (2.6)$$

$$R_z = 0,20 \cdot R_x = 0,20 \cdot 1687 = 337,4 \text{ Н}. \quad (2.7)$$

Визначається сила тертя польових дощок об стінку і дно борозни:

$$F_{nx} = 0,16 \cdot R_x = 0,16 \cdot 1687 = 270 \text{ Н}. \quad (2.8)$$

Визначаються R_{zx} і R_{xy} :

$$R_{zx} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2} = \sqrt{1687^2 + 337,4^2} = 1720 \text{ Н} \quad (2.9)$$

$$R_{xy} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{1687^2 + 556,7^2} = 1776 \text{ Н}. \quad (2.10)$$

$$N_{II} = \sqrt{R_{xy}^2 - F_{nx}^2} = \sqrt{1776^2 - 270^2} = 1755 \text{ Н}. \quad (2.11)$$

Визначається реакція ґрунту N_k на опорне колесо.

Реакція ґрунту N_k на опорне колесо може бути визначена з рівнянь суми моментів діючих сил відносно полюса T_1 у вертикальній площині:

$$R_{zx} \cdot H_{Rzx} + G \cdot H_G - N_k \cdot H_N - Q \cdot H_Q - F_{nx} \cdot H_F = 0, \quad (2.12)$$

$$N_k = (R_{zx} \cdot H_{Rzx} + G \cdot H_G + Q \cdot H_Q - F_{nx} \cdot H_F) / H_N \quad (2.13)$$

$$N_k = (1720 \cdot 0,166 + 7595 \cdot 1,47 + 50059 \cdot 0,228 - 270 \cdot 0,136) / 1,312 = 17398 \text{ Н}$$

і в горизонтальній площині

$$R_{xy} \cdot H_{Rxy} - N_n \cdot H_{Nn} - F_{nx} \cdot H_{Fnx} - N_{k.zop} \cdot H_{Nk} = 0, \quad (2.14)$$

$$N_{k.zop} = (R_{xy} \cdot H_{Rxy} - N_n \cdot H_{Nn} - F_{nx} \cdot H_{Fnx}) / H_{Nk} \quad (2.15)$$

$$N_{k.zop} = (1776 \cdot 1,82 - 1755 \cdot 2,114 - 270 \cdot 0,136) / 0,41 = 1254,8 \text{ Н}.$$

При плаваючому положенні гідроциліндра, що буває при оранці, $Q=0$.

Враховуючи це, визначається N_k з рівняння (3.16)

$$N_k = (R_{zx} \cdot H_{Rzx} + G \cdot H_G - F_{nx} \cdot H_F) / H_N : \quad (2.16)$$

$$N_k = (1720 \cdot 0,166 + 7595 \cdot 1,47 - 270 \cdot 0,136) / 1,312 = 8699 \text{ Н}.$$

Значення H_R , H_G , H_F , H_Q , H_N вимірюються на плані швидкостей і підставляються у вищенаведену формулу.

Визначається зусилля Q , діюче на шток гідроциліндра. Зусилля Q на початку підйому знаряддя можна знайти з рівняння (2.13) при $N_k=0$

$$Q=(R_{zx} \cdot H_{Rzx}+G \cdot H_G-F_{nx} \cdot H_F) / H_Q ; \quad (2.17)$$

$$Q=(1720 \cdot 0,166+8085 \cdot 1,47-270 \cdot 0,136) / 0,228=53218 \text{ Н.}$$

При виході робочих органів з ґрунту Q буде меншим, так як $R_{zx}=0$. Тоді

$$Q=G \cdot H_G / H_Q \quad (2.18)$$

$$Q=(8085 \cdot 1,47) / 0,228=52126 \text{ Н.}$$

2.2. Розрахунок пальця причіпного пристрою на зріз

Схема для розрахунку пальця представлена на рисунку 3.9.

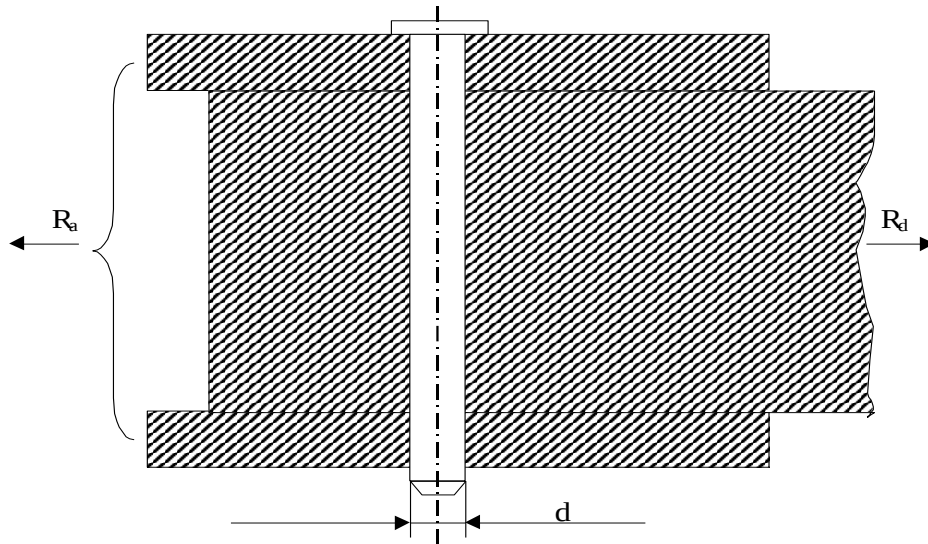


Рисунок 2.2– Схема дії сил на палець

Для визначення діаметра пальця необхідно знати зусилля, яке прикладене до нього під час роботи плуга. Це зусилля буде дорівнювати $R_a = 31,9 \text{ кН}$.

Розрахункове зусилля визначимо за формулою:

$$R'_a = R_a \cdot k, \quad (2.19)$$

де k - коефіцієнт, який враховує короткочасні перевантаження в процесі роботи,

$$k = 2,5 \dots 2,8 \quad [\quad],$$

$$R'_a = 31,9 \cdot 2,5 = 77,8 \text{ Н}$$

Діаметр пальця визначимо із формули:

$$[\tau_c] = \frac{F}{\pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot i}, \quad (2.20)$$

де $F = R'_a = 77800 \text{ Н}$;

d – діаметр пальця, мм;

i – число площин зрізу, $i = 2$;

$[\tau_c]$ – допустима напруга зрізу, Н/мм^2 .

$$[\tau_c] = \frac{\tau_{-1}}{[S]}, \quad (2.21)$$

де τ_{-1} – гранична напруга для сталі 15,

$$\tau_{-1} = 100 \dots 130 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \quad [\quad];$$

$[S]$ – допустимий коефіцієнт безпеки;

$$[S] = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3, \quad (2.22)$$

де S_1 – коефіцієнт, який враховує ступінь точності розрахунку, $S_1 = 1,2 \dots 1,3$,

приймаємо $S_1 = 1,3$;

S_2 – коефіцієнт, який враховує ступінь однорідності механічних якостей матеріалу, $S_2 = 1,2 \dots 1,3$. Приймаємо $S_2 = 1,3$;

S_3 – коефіцієнт, який враховує ступінь відповідальності деталі, $S_3 = 1,1 \dots 1,2$.

Приймаємо $S_3 = 1,2$.

$$[S] = 1,3 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 2,028$$

Тоді

$$[\tau_c] = \frac{100}{2,028} = 49,31 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 77413,32}{\pi \cdot 2 \cdot 49,31}} = 32,64 \text{ мм}$$

З врахуванням можливих підвищених перевантажень приймаємо $d = 40 \text{ мм}$.

Тоді, дійсна напруга зрізу буде дорівнювати

$$\tau_c = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot i} = \frac{77413,32}{\frac{\pi \cdot 40^2}{4} \cdot 2} \cdot 30,82 \frac{H}{мм^2}$$

$$\tau_c = 30,82 \frac{H}{мм^2} \langle [\tau_c] = 49,31 \frac{H}{мм^2}.$$

2.3. Розрахунок зварного з'єднання

Для визначення сил, які діють на зварний шов скористаємося рисунком 2.3.

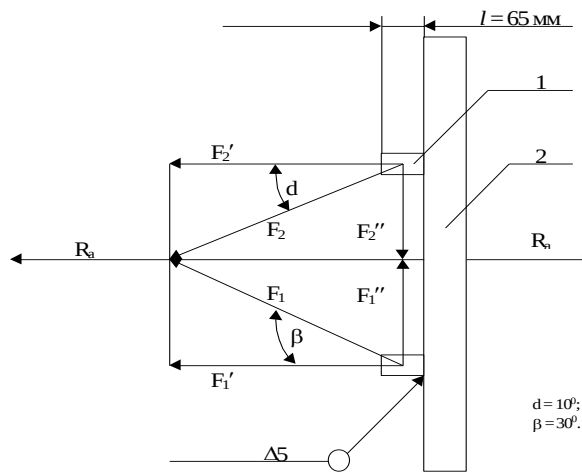


Рисунок 2.3 – Схема дії сил: 1 – вухо; 2 – балка

Найбільше зусилля у зварному з'єднанні виникає у місці з'єднання вуха, для кріплення тягового гака, з поперечною балкою рами. Зварний шов у даних умовах працює на розрив.

Напругу, яка виникає у з'єднанні визначимо за формулою:

$$\sigma_p = \frac{6 \cdot M}{\delta \cdot l^2} + \frac{F}{\delta \cdot l} \leq [\sigma'_p] \quad (2.23)$$

де M – згинаючий момент, Нм;

F – прикладена сила, Н;

δ – товщина більш тонкої деталі, $\delta = 6 мм$;

l – довжина шва, мм.

$$l = 70 + 70 + 45 + 45 = 230 \text{ мм};$$

$$[\sigma'_p] = \frac{\sigma_m}{S},$$

де $[\sigma'_p]$ – допустима напруга на розтяг;

σ_m – межа текучості, для сталі 15, $\sigma_m = 240 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$;

S – запас міцності, для металевих конструкцій $S = 1,4 \dots 1,6$. Приймаємо $S = 1,5$.

$$\text{Тоді} \quad [\sigma'_m] = \frac{240}{1,5} = 160 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

На проушини діють сили розриву F'_1 і F'_2 , а також згинаючі сили F''_1 і F''_2 (див. рисунок 2.3).

Визначаємо силу розриву F'_1 .

$$F'_1 = F_1 \cdot \cos 30^\circ, \quad (2.24)$$

$$\text{де } F_1 = F_2 = F = \frac{R_a}{2},$$

$$F_1 = \frac{31,9}{2} \approx 16 \text{ кН};$$

$$F'_1 = 16000 \cdot 0,866 = 11955,92 \text{ Н}$$

Визначаємо згинаючу силу F''_1

$$F''_1 = F_1 \cdot \cos 60^\circ,$$

$$F''_1 = 16000 \cdot 0,5 = 8000 \text{ Н}$$

Визначаємо момент від дії сили F''_1

$$M_1 = F''_1 \cdot l \quad (2.25)$$

де l – плече сили F''_1 , $l = 0,065 \text{ м}$,

$$M_1 = 6902,98 \cdot 0,065 = 448,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Одержані дані підставляємо у формулу (3.5)

$$\sigma_{1p} = \frac{6 \cdot 448,7}{6 \cdot 230^2} + \frac{11955,92}{6 \cdot 230} = 8,67 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Визначаємо силу розриву F'_2 для другої проушини

$$F'_2 = F_2 \cdot \cos 10^\circ = 13805,95 \cdot 0,984 = 13585,05 \text{ Н}$$

Визначаємо згинаючу силу F_2''

$$F_2'' = F_2 \cdot \cos 80^\circ$$

$$F_2'' = 13805,95 \cdot 0,174 = 2402,24 \text{ Н}$$

Визначаємо момент від дії сили F_2''

$$M_2 = 2402,24 \cdot 0,065 = 156,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді

$$\sigma_{2p} = \frac{6 \cdot 156,15}{6 \cdot 230^2} + \frac{13585,05}{6 \cdot 230} = 9,85 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

$$\sigma_{2p} = 9,85 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \langle [\sigma_p'] \rangle = 160 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

2.4. Розрахунок і вибір гідроциліндра для підняття плуга у транспортне положення

Для визначення зусилля підняття плуга використовуємо рисунок 2.4.

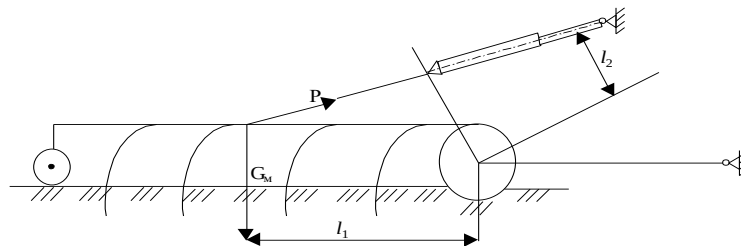


Рисунок 2.4 – Схема дії сил на механізм піднімання плуга

Визначаємо зусилля P при піднятті машини із землі за формулою:

$$P = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{\sigma_m}{\eta} + \sigma_3, \quad (2.26)$$

де l_1 – плече сили P , $l_1 = 2475 \text{ мм}$; (див. графічну частину проекту);

l_2 – плече сили σ_m , $l_2 = 500 \text{ мм}$ (див. графічну частину проекту);

η – коефіцієнт, який враховує втрати у шарнірах, $\eta = 0,8 \dots 0,9$,

приймаємо $\eta = 0,8$;

σ_3 – опір пластів землі відриву,

$$\sigma_3 = (0,3 \dots 0,5) \cdot \sigma_m$$

$$\sigma_3 = 0,4 \cdot 12850 = 5140H$$

Тоді

$$P = \frac{2475 \cdot 12850}{500 \cdot 0,8} + 5140 = 84649H$$

За знайденою силою P визначаємо діаметр гідроциліндра.

Для підняття плуга, зусилля яке розвивається гідроциліндром повинно перевищувати P , тому задаємо $P=85000H$.

Робочий тиск приймаємо рівним $P=80 \text{ кг/см}^2=8\text{МПа}$, маючи на увазі можливі перевантаження до 50%.

Визначаємо діаметр циліндра за формулою:

$$D = 10 \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot p \cdot \eta}}, \quad (2.27)$$

де η – ККД гідро циліндра, $\eta = 0,9$.

Тоді

$$D = 10 \sqrt{\frac{4 \cdot 85000}{3,14 \cdot 80 \cdot 0,9}} = 122,6\text{мм}$$

Приймаємо гідроциліндр Ц-125×630.

2.5. Розрахунок на міцність вісі колеса візка

Для визначення сил, які діють на вісь колеса візка використовуємо рисунок 2.5. Для визначення зусилля, яке діє на вісь візка складаємо суму моментів відносно точки А.

$$\sum M_A = \sigma_m \cdot \cos 6^\circ \cdot l_1 - R' \cdot \sin 62^\circ \cdot (l_2 + l_3) = 0$$

$$R'_1 = \frac{12850 \cdot 0,9945 \cdot 2,474}{1,25 \cdot 0,88} = 28773,48H$$

Визначаємо дійсну силу, яка діє на вісь

$$R_1'' = R_1' \cdot \cos 54^\circ = 28773,48 \cdot 0,588 = 16918,81H.$$

Враховуючи ще вагу візка, яка теж діє на вісь, знаходимо сумарну силу:

$$F = R_1'' + \frac{\sigma_T}{2}, \quad (2.28)$$

де σ_T – вага візка, $\sigma_T = 2000H$

$$F = 16918,81 + \frac{2000}{2} = 17918,81H$$

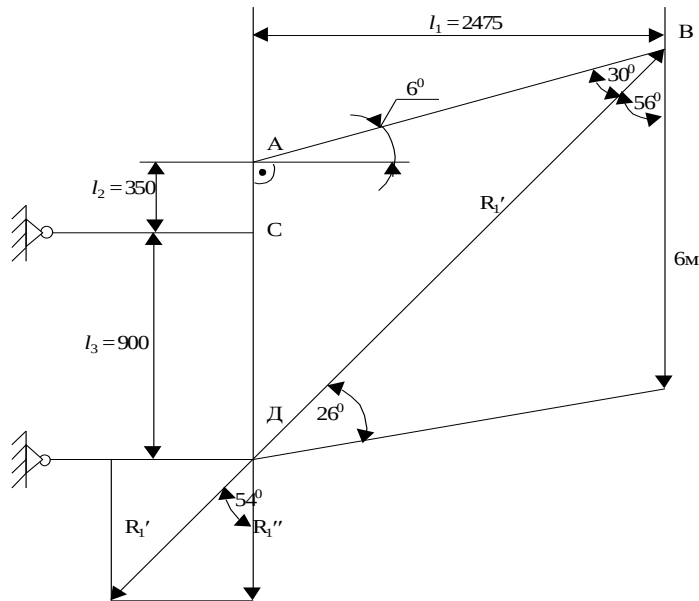


Рисунок 2.5 – Схема для визначення сил

Визначаючи напруги в осях теліжки враховуємо її нахил у транспортному положенні (6°). Для знаходження величини зміщення сили використовуємо рисунок 2.6.

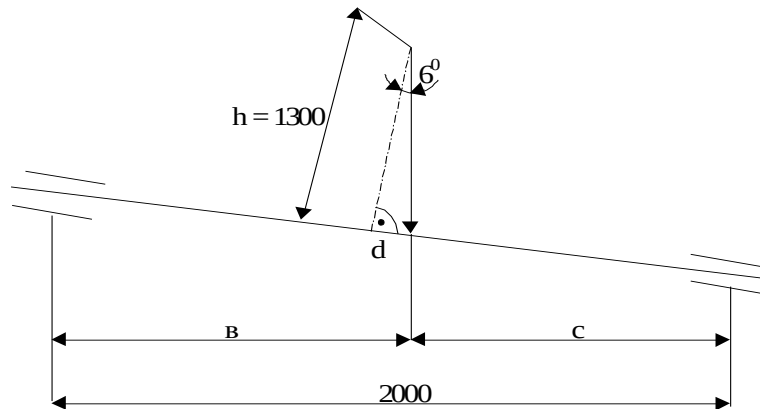


Рисунок 2.6 – Схема для визначення зміщення сили

$$a = \frac{h}{\tan 84^\circ} = \frac{1300}{9,514} = 136,6 \text{ мм}$$

Визначаємо реакції в опорах використовуючи рисунок 2.7.

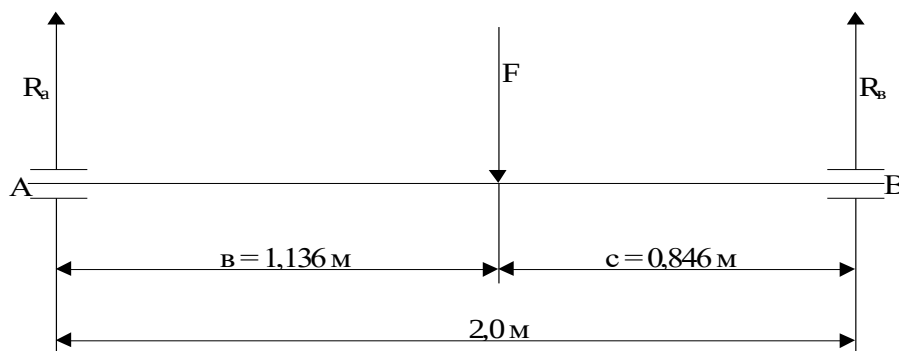


Рисунок 2.7 – Схема дії сил

$$\sum M_A = 0$$

$$F \cdot b - R_B \cdot (b + c) = 0.$$

$$R_B = \frac{F \cdot b}{b + c} = \frac{17918,81 \cdot 1,136}{2} = 10177,88 \text{ Н.}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$-F \cdot c + R_A \cdot (b + c) = 0$$

$$R_A = \frac{F \cdot c}{b + c} = \frac{17918,81 \cdot 0,864}{2} = 7740,93 \text{ Н}$$

Із розрахунків бачимо, що опора В навантажена більше. Виходячи із цього розраховуємо напругу згину для осі цього колеса.

$$M_4 = R_B \cdot l = 10177,88 \cdot 110 = 1119566,8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Будуємо епюру згинаючого моменту рисунок 2.8.

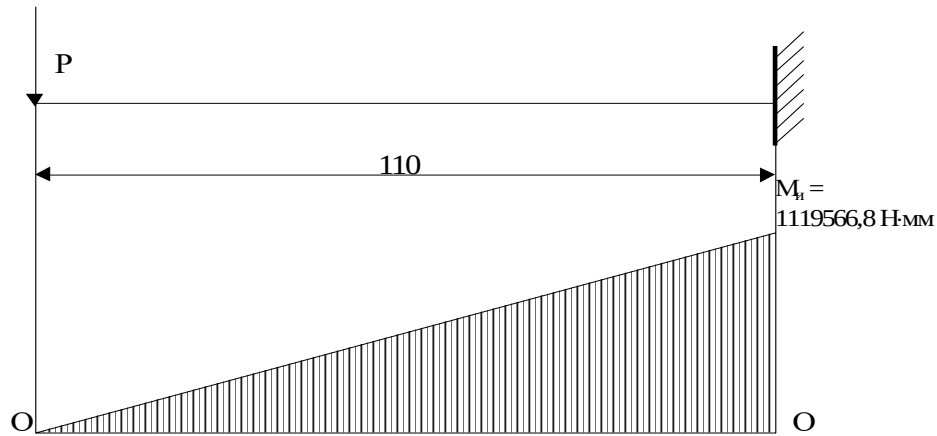


Рисунок 2.8 – Епюра згинаючого моменту

Знаходимо розрахункові напруги за формулою:

$$\sigma_F = \frac{M_U}{W} \leq [\sigma_F] \quad (2.29)$$

де W – момент опору, мм^3 ,

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad (2.30)$$

де d – діаметр осі, мм.

$$W = \frac{3,14 \cdot 50^3}{32} = 12265,62 \text{ мм}^3;$$

$[\sigma_F]$ – допустима напруга згину.

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F \lim}}{[n]_F} \cdot Y_S \cdot Y_R \cdot K_{XF}, \quad (2.31)$$

де $\sigma_{F \lim}$ – межа міцності при еквівалентному числі циклів

$$\sigma_{F \lim} = \sigma_{F \lim b}^\circ \cdot K_{Fg} \cdot K_{Fd} \cdot K_{FI} \cdot K_{FL},$$

$$\text{де } \sigma_{F \lim b}^\circ = 330 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

K_{Fg} – коефіцієнт, який враховує шорсткість поверхні, $K_{Fg} = 1$;

K_{Fd} – коефіцієнт, який враховує вплив деформаційного зміцнення, $K_{Fd} = 1$;

K_{Fc} – коефіцієнт, який враховує вплив двостороннє прикладення навантаження при односторонньому навантаженні, $K_{Fc} = 1$;

K_{FL} – коефіцієнт довговічності, $K_{FL} = 1$;

Y_S – коефіцієнт, який враховує градієнт напруги, $Y_S = 1,1$;

Y_R – коефіцієнт, який враховує шорсткість, $Y_R = 1$;

K_{XF} – коефіцієнт, який враховує розміри осі, $K_{XF} = 1$;

$[n]_F$ – коефіцієнт запасу міцності.

$$[n]_F = [n]'_F \cdot [n]''_F, \quad (2.32)$$

де $[n]'_F$ – коефіцієнт, який враховує стабільність якостей матеріалу, $[n]'_F = 1,75$

$[n]''_F$ – коефіцієнт, який враховує спосіб одержання заготовки, $[n]''_F = 1,15$.

Тоді
$$[n]_F = 1,75 \cdot 1,15 = 2,01,$$

$$\sigma_{F \lim} = 330 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 330 \text{ H/mm}^2,$$

$$[\sigma_F] = \frac{330}{2,01} \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 = 180,59 \text{ H/mm}^2,$$

$$\sigma_F = \frac{1119566,8}{12265,62} = 91,28 \text{ H/mm}^2$$

$$\sigma_F = 91,28 \text{ H/mm}^2 \langle [\sigma_F] = 180,59 \text{ H/mm}^2$$

РОЗДІЛ 3. ОРГАНІЗАЦІЯ УМОВ ПРАЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КУКУРУДЗИ НА СИЛОС ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ЗА УДОСКОНАЛЕННЯ ПЛУГА ППО-5-40

Ефективне виробництво кукурудзи на силос неможливе без системного підходу до організації робочих умов і забезпечення безпеки праці. Надійність техніки, грамотна організація праці та чіткі заходи охорони праці знижують ризики травматизму, підвищують продуктивність і зберігають здоров'я працівників. Особливу увагу слід приділити модернізації агрегатів, зокрема плуга ППО-5-40, щоб забезпечити не лише технологічну ефективність, а й безпечні експлуатаційні умови.

1. Загальні принципи організації робочих місць і процесів

- Раціональна організація праці: чіткі посадові інструкції, розподіл обов'язків, послідовність операцій при сівбі, догляді та збиранні.
- Планування робіт за погодою і технологічними вікнами, щоб уникати перевантажень та роботи в екстремальних умовах.
- Раціональні маршрути руху техніки для мінімізації перехресть, простоїв і ризиків зіткнень.

2. Оснащення робочих місць і ергономіка

- Сучасні кабіни тракторів і комбайнів з системою опалення/кондиціонування, шумоізоляцією, ергономічними сидіннями і органами керування знижують втому й підвищують безпеку.
- Організація місць для технічного обслуговування: підйомники, підставки, освітлення, огорожені робочі майданчики для роботи з вузлами техніки.
- Забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): захисні окуляри, рукавички, каски, спецвзуття з протиковзким устілками, захисний одяг при роботі з хімічними препаратами.

3. Навчання та інструктажі

- Обов'язкові первинні та періодичні інструктажі з охорони праці для операторів машин і механіків; тренування з надзвичайних ситуацій.
 - Практичне навчання з експлуатації та обслуговування плуга ППО-5-40 після його вдосконалення (налаштування, мастило, контроль кріплень).
 - Сертифікація та перевірка кваліфікації персоналу, особливо для роботи на важкій техніці й під час збирання силосу.
4. Організація технічного обслуговування й профілактики поломок
- Регламентовані ТО-план: щоденні огляди перед виходом у поле, сезонні ремонти і заміна критичних деталей.
 - Ведення журналів технічного стану і наробітку агрегатів; планове оновлення зношених вузлів.
 - Наявність інструменту і запасних частин на бригадному рівні для швидкого усунення несправностей.
5. Заходи з охорони праці при роботі з пестицидами та добривами
- Виділені приміщення для зберігання ЗЗР і добрив з обмеженим доступом, вентиляцією і захистом від вологи; чітка маркування.
 - Процедури безпечного приготування робочих розчинів, заправки оприскувачів, утилізації залишків і тари.
 - Медичний контроль та інструктаж щодо дій при випадковому контакті чи отруєнні.
6. Організація робіт під час збирання і заготівлі силосу
- Планування зміни персоналу і графіків так, щоб уникати перевтоми; організація перерв і місць відпочинку.
 - Забезпечення раціональної логістики підвозу палива й матеріалів, встановлення зон безпечного маневру техніки.
 - Контроль за температурою й станом маси у траншеях; заходи при виявленні гарячих точок (обмеження доступу, локалізація).
7. Система ризик-менеджменту й аварійного реагування

- Ідентифікація ризиків на кожному етапі виробництва (машинні травми, падіння, опіки, електричні ураження) і розробка заходів їх мінімізації.
- План дій при аваріях: телефони екстрених служб, аптечки, навчені працівники для надання першої допомоги, засоби пожежогасіння на майданчиках зберігання ПММ.
- Регулярні тренування з евакуації та відпрацювання сценаріїв НС.

8. Екологічна безпека та охорона навколишнього середовища

- Запобігання проливам пального та мастил, облаштування місць заправки з лотками й поглиначами; утилізація відпрацьованих матеріалів згідно нормативів.
- Контроль за внесенням добрив і ЗЗР для уникнення забруднення водних ресурсів; використання буферних зон при зрошенні.

9. Удосконалення плуга ППО-5-40 з точки зору ОП

При модернізації плуга ППО-5-40 слід врахувати не лише технологічні покращення, а й заходи, що підвищують безпеку експлуатації і знижують ризики травматизму:

- Конструктивні заходи
 - Захисні кожухи і огорожі над робочими органами та приводними вузлами для недопущення контакту з рухомими частинами.
 - Покращені кріплення ножів і стійок з індикаторами зносу для своєчасної заміни.
 - Ергономічні точки доступу для обслуговування: люки, ступені та поручні для безпечного підйому на агрегат.
 - Зменшення ваги рухомих елементів при збереженні міцності — менша навантаженість на навісне обладнання та зниження ризику раптових відмов.
- Технічні заходи
 - Гідравлічні стопори та запобіжні клапани для безпечного складання/розкладання корпусів.
 - Введення швидкознімних кріплень для сервісних робіт, що зменшують час

обслуговування на полі.

- Антикоровізне покриття й обробка деталей для зменшення частоти замін і аварій.
- Інформаційні та експлуатаційні заходи
 - Наявність зрозумілих піктограм і технічних наклейок із правилами безпеки на видимих місцях.
 - Інструкція з ТО та безпечної експлуатації, адаптована під бригадний рівень, із переліком небезпек і заходів реагування.
 - Навчальні модулі для операторів та механіків при впровадженні модернізованого плуга.

10. Оцінка ефективності заходів з ОП

- Впровадити систему моніторингу показників ОП: кількість інцидентів, частота ТО, тривалість простоїв через поломки, рівень задоволеності персоналу.
- Регулярні аудити з охорони праці і корекція заходів відповідно до виявлених недоліків.

Короткі практичні рекомендації

- Розробіть та впровадьте комплексну програму охорони праці для всіх операцій при вирощуванні силосної кукурудзи.
- Модернізуючи плуг ППО-5-40, пріоритетно впроваджуйте захисні огороження, ергономічні елементи обслуговування та гідравлічні запобіжники.
- Проводьте регулярні інструктажі, ТО та аудити; забезпечте доступність ЗІЗ і аварійних засобів.
- Відстежуйте показники безпеки й економічний ефект модернізації для обґрунтування масштабного впровадження.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

Основними економічними показниками оранки, як і іншого механізованого технологічного процесу є затрати праці, прямі експлуатаційні витрати, питомий і річний економічний ефект, строк окупності затрат на модернізацію або виготовлення машини. Для визначення цих показників необхідно знати продуктивність і витрати палива на оранку базовим та новим агрегатом, їх балансову вартість і ряд інших вихідних даних.

Норма виробітку агрегату з модернізованим плугом становить 7,7 га. Оскільки тривалість зміни рівна 7 год., то продуктивність агрегату буде становити 1,1 га/год. Питомі витрати палива при оранці зазначеним агрегатом становить $Q = 26$ л/га.

Згідно встановлених в господарстві норм виробітку і витрачання палива норма виробітку агрегату ХТЗ-17021+ППО-5-40 становить 7,0 га, тобто продуктивність базового агрегату становить 1,0 га/год. при витратах палива $Q = 28$ л/га.

Ціна трактора становить 199600 грн. Нормативне річне завантаження трактора – 1600 год. Норма відрахувань на: реновацію – 10 %, капітальний ремонт – 7, поточний ремонт і ТО – 6 %.

Ціна плуга ППО-5-40 становить 17500 грн. нормативне річне завантаження 480 год. Норма відрахувань на: реновацію – 12,5 %, поточний ремонт і ТО – 20 %. Маса плуга 1100 кг.

Вихідні дані для проведення економічних розрахунків доцільності модернізації плуга ППО-5-40 зведемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до розрахунку економічної ефективності

Показники	Базовий агрегат	Модернізований агрегат
Продуктивність, га/год	1,0	1,1
Питомі витрати палива, кг/га	25,9	30,0
Вартість плуга, грн	175000	238000

Результати розрахунку економічної ефективності модернізації плуга ППО-5-40 зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Економічні показники проекту

Назва показників	Агрегат		Відхилення, +,-
	Базовий	Модернізований	
1. Балансова вартість, грн.	175000	238000	63000
2. Продуктивність, га/год.	1,0	1,1	0,1
3. Затрати праці, люд.год./га	1,0	0,9	- 0,01
4. Прямі експлуатаційні витрати, грн/га:	4340,16	4040,93	-290,23
в тому числі:			
відрахування на реновацію	180,4	180,0	-0,4
оплата праці	20,54	20,31	-0,23
витрати на ПММ	3920,0	3640,0	-280,0
відрахування на ремонти і ТО	210,22	200,62	-10,6
5. Річний економічний ефект, грн.		47450,0	
6. Строк окупності витрат на модернізацію плуга, років		1,3	

Таким чином, запропоновані в дипломному проекті конструктивні зміни плуга ППО-5-40 дозволять одержати річний економічний ефект в сумі 47450 грн., затрати на модернізацію окупляться протягом двох років експлуатації.

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті визначено оптимальний склад МТП для виробництва кукурудзи на силос з розробкою операційної технології збирання.

На основі складеного комплексу машин розроблено технологічну карту на виробництво кукурудзи на силос, в якій приведено основні характеристики виробничого процесу.

Використавши дані річних звітів господарства, і передовий досвід господарств зони лісостепу при вирощуванні і збиранні кукурудзи на силос, спроектовано інтенсивну технологію вирощування та збирання кукурудзи на силос. Підібрано склад комплексу машин для проектного процесу. Проектований механізований процес дозволить отримати урожайність 40 ц/га, що більше в порівнянні з минулими роками.

В цілому дана технологія, відповідно до результатів розрахунків, є оптимальною для зони Лісостепу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю. Ільченко, П.І.Карасьов, А.С.Ломонт та ін.; За ред. В.Ю.Ільченка. – К.: Урожай, 1993. –228 с.
2. Довідник сільського інженера / В.Д.Гречкосій, О.М.Погорілець, І.І. Ревенко та ін.; За ред. В.Д.Гечкосія. – 2-е вид., перероб. і доп. –К.: Урожай,1991. – 400 с.
3. Комплексна механізація виробництва зерна / В. Д.Гречкосій, Д.М.Алімов, В.І.Кифоренко, П.М.Чайка; За ред. В.Д.Гречкосія. – К.: Урожай, 1991. –216 с.
4. Типові норми на механізовані сільськогосподарські роботи.- 3-е вид., доп. І перероб. /Упоряд. Л.С.Пристапчук, О.Ф.Лук'янчук, В.М.Карпенко. – К.: Урожай, 1982. – 504 с.
5. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарської техніки./Л.Ф.Вознюк, В.В.Іщенко, Я.М.Михайлович. – К.: Урожай, 1994. –216 с.
6. Ільченко В.Ю. та ін. Довідник з експлуатації мототракторного парку. – К.: Урожай, 1987. – 363 с.
7. Лауш П.В. Техническое обслуживание и ремонт машин. – К.: Вища школа, 1989. – 350 с.
8. Сельскохозяйственные машины / Б.Г.Турбин, А.Б.Лурье. С.М.Григорьев и др.: Под общ. ред. Б.Г.Турбина. – Л.: Машиностроение, 1967. – 584 с., ил.