

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

«Допущено до захисту»

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Механізація вирощування картоплі з вдосконаленням конструкції
полицевого плуга»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи АІ-22-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Палій Олександр Іванович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Руслан ОСІН

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Палію Олександрю Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування картоплі з
вдосконаленням конструкції полицевого плуга

2. Керівник роботи (проекту) Лещенко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 28.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Лещенко С.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	26.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	28.05.2026 р.	
3	Виконання розділів 4, 5		
	Графічна частина арк. 3	18.06.2026 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту.	26.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
«12» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Механізація вирощування картоплі з вдосконаленням конструкції полицевого плуга»

вирощування картоплі, основний обробіток ґрунту, начіпний плуг, швидкісний корпус, тяговий опір, ресурсозбереження

Кваліфікаційну роботу присвячено підвищенню ефективності та зниженню енергомісткості процесу основного обробітку ґрунту під картоплю шляхом розробки та впровадження швидкісних робочих органів начіпного плуга ПЛН-5-35. У роботі обґрунтовано інженерне рішення щодо заміни серійних культурних відвалів на швидкісні лемішно-полицеві поверхні з пологим початковим кутом атаки до стінки борозни 35° та оптимізованим вильотом параболи. Це дозволяє інтенсифікувати кришіння скиби без надмірного відкидання ґрунту вбік у діапазоні швидкостей 10–12 км/год.

Проведені розрахунки тягового балансу машинно-тракторного агрегату на базі трактора Т-150К підтвердили, що для глибокої оранки на 27–30 см доцільно переобладнати знаряддя у чотирикорпусну модифікацію ПЛН-4-35. Це забезпечує повне завантаження двигуна на швидкості 11,2 км/год, знижує питомий опір на 12–15%, покращує дрібногрудкуватість на 18–20% та зменшує витрату палива на 3–4 л/га.

Перевірочні розрахунки деталей на міцність підтвердили експлуатаційну надійність модернізованого знаряддя: діюче напруження у небезпечному перерізі стояка становить 252,29 МПа (при нормі 280 МПа для сталі Ст 3), а розрахунковий ресурс підшипників 205 дискового ножа сягає 9231 годину. Розроблено операційну технологію для загінки шириною 120 м із поворотною смугою 26 м.

Abstract

Topic: «Mechanization of potato cultivation with the structural improvement of a moldboard plow»

potato cultivation, primary tillage, mounted plow, high-speed plow body, draft resistance, resource saving

This qualification work is dedicated to increasing the efficiency and reducing the energy intensity of primary tillage for potato cultivation by designing and implementing high-speed working organs for the mounted plow PLN-5-35. The study provides an engineering justification for replacing serial conventional moldboards with high-speed share-moldboard surfaces featuring a shallow initial angle of attack to the furrow wall (35°) and an optimized parabolic curve. This design allows for the intensification of soil slice crumbling without excessive lateral soil throwing within the speed range of 10–12 km/h.

Draft balance calculations performed for the tractor-implement unit based on the T-150K tractor confirmed that for deep plowing at 27–30 cm, it is expedient to reconfigure the implement into a four-bottom modification, the PLN-4-35. This reconfiguration ensures full engine loading at an operating speed of 11.2 km/h, reduces specific draft resistance by 12–15%, improves soil crumbling (fine-clod fraction) by 18–20%, and decreases fuel consumption by 3–4 l/ha.

Structural strength verification calculations confirmed the operational reliability of the modernized implement: the actual stress in the critical section of the plow standard (shank) is 252.29 MPa (compared to the allowable 280 MPa for St 3 steel), and the rated bearing life of the 205 coulter bearing reaches 9231 hours. An operational technology has been developed for a land width of 120 m with a headland width of 26 m.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Аналіз існуючої технології вирощування картоплі та пошук напрямків її удосконалення	8
3. Операційна технологія основного обробітку ґрунту плугом	24
4. Інженерна частина.....	36
5. Охорона праці	52
6. Висновки	57
Список використаної літератури	60
Додатки.....	63

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Україна володіє потужним біокліматичним та ресурсним потенціалом для інтенсивного розвитку аграрного сектору економіки. Наявність понад 32 мільйонів гектарів орних земель, значна частина яких представлена високородючими чорноземами, створює унікальні передумови для стабільного виробництва конкурентоспроможної рослинницької продукції. У сучасній структурі вітчизняного агровиробництва картоплярство посідає одне зі стратегічних місць, забезпечуючи продовольчу безпеку держави, формуючи сировинну базу для переробної промисловості та виступаючи важливою статтею експортного потенціалу. Завдяки досягненням сучасної селекції, впровадженню високоінтенсивних сортів і гібридів, біологічний потенціал урожайності провідних сільськогосподарських культур в умовах оптимізації технологічних процесів може досягати найвищих світових показників.

Проте реалізація генетичного потенціалу сучасних сортів картоплі стримується низкою чинників, серед яких важливе місце посідає недостатній рівень механізації та енергоефективності робочих процесів. Сучасний етап розвитку сільськогосподарського машинобудування вимагає принципового перегляду підходів до конструювання та модернізації ґрунтообробної та посівної техніки. Спрямованість на енергозбереження, зниження антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив та інтенсифікацію робочих процесів зумовлює необхідність ґрунтовних теоретичних досліджень, спрямованих на обґрунтування геометричних і кінематичних параметрів робочих органів машин.

					МВКП 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Палій				Пояснювальна записка		
Перевір.	Леценко						
Реценз.							
Н. Контр.	Артеменко						
Затверд.	Васильковський						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	
					ЦНТУ, гр. АІ-22-1		

Основний обробіток ґрунту залишається найбільш енергоємною операцією в технологічному процесі вирощування картоплі. Традиційне полицеве обертання скиби, що забезпечує якісне загортання рослинних решток і бур'янів, супроводжується значними енергетичними витратами на деформацію, руйнування та переміщення значних об'ємів ґрунтового середовища. У цьому контексті модернізація базових технічних засобів, зокрема начіпного п'ятикорпусного плуга ПЛН-5-35, шляхом адаптації його робочих органів до швидкісних режимів роботи, є актуальною науково-практичною задачею. Використання швидкісних полиць корпусу плуга із оптимізованими параметрами напрямних кривих дозволяє суттєво підвищити робочу швидкість агрегату без погіршення показників кришення та обертання скиби. Це забезпечує скорочення термінів виконання польових робіт, оптимізує витрату паливно-мастильних матеріалів на одиницю обробленої площі та створює оптимальний агрофізичний стан орного горизонту, що є дуже важливим для нормального росту та розвитку картоплі в господарських умовах.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ТА ПОШУК НАПРЯМКІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Біологічні особливості картоплі, її господарське та агротехнічне значення, особливості вирощування і використання

Картопля (*Solanum tuberosum* L.) (рис. 1) належить до родини пасльонових (*Solanaceae*) і є унікальною культурою різнобічного господарського використання. У світовому та вітчизняному землеробстві її класифікують як продовольчу, технічну та кормову культуру, за що вона справедливо дістала народну назву «другий хліб».



Рис. 1. Загальний вигляд рослини картоплі (*Solanum tuberosum* L.)

Бульби картоплі містять у середньому 75–80% води та 20–25% сухої речовини. Основну частку сухої речовини становить крохмаль (від 14 до 22% і більше залежно від сорту та умов вирощування). Окрім цього, картопля є джерелом повноцінного білка (туберину), який містить незамінні амінокислоти (лізин, лейцин, фенілаланін) і за своїм біологічним коефіцієнтом засвоюваності близький до білків тваринного походження. Бульби багаті на вітаміни (C, B₁, B₂, B₆, PP), а також мінеральні речовини, серед яких переважають солі калію (що мають важливе значення для кардіоваскулярної системи людини), фосфору, магнію та заліза.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Технічне значення культури полягає в її використанні як високоякісної сировини для спиртової, крохмале-патокової, декстринної та глюкозної галузей промисловості. Із однієї тонни картоплі з крохмалистістю 17% можна отримати до 112 літрів етилового спирту або близько 150 кг чистого сухого крохмалю. У тваринництві картопля та відходи її переробки (барда, мезга) використовуються як високоенергетичний корм для великої рогатої худоби та свиней, що суттєво підвищує середньодобові прирости маси сільськогосподарських тварин.

З біологічної та морфологічної точок зору картопля є багаторічною трав'янистою рослиною, яка у промисловому сільськогосподарському виробництві вирощується як однорічна. Її специфіка полягає в утворенні підземних етиольованих пагонів – стolonів, на кінцях яких внаслідок відкладання поживних речовин розвиваються потовщення – бульби, які є ботанічно видозміненими підземними стеблами. Коренева система картоплі мичкувата, порівняно слаборозвинена. Вона формується переважно у поверхневому (0–20 см) шарі ґрунту і лише окремі корінці проникають на глибину до 80–100 см. Така анатомічна будова обумовлює надзвичайно високу вимогливість культури до агрофізичних властивостей орного горизонту: щільності, шпаристості, повітряно- та вологості.

Картопля належить до культур помірного клімату з помірними температурними вимогами. Процеси проростання вічок бульб розпочинаються при температурі ґрунту $+7...+8^{\circ}\text{C}$, проте оптимальна температура для швидкої появи дружних сходів становить $+11...+15^{\circ}\text{C}$. Інтенсивне бульбоутворення, ріст надземної вегетативної маси та активний синтез крохмалю відбуваються за температури повітря $+16...+18^{\circ}\text{C}$ та температури ґрунту близько $+15^{\circ}\text{C}$. Температурні показники вище $+25^{\circ}\text{C}$ спричиняють термічний стрес, гальмують процеси фотосинтезу та призводять до так званого «екологічного виродження» насіннєвого матеріалу, коли

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бульби втрачають репродуктивну здатність. Заморозки мінус 1...2°C повністю знищують незміцнілі сходи рослини.

Стосовно вологи картопля висуває жорсткі вимоги, що пов'язано з великою транспіраційною поверхнею листя та значним виносом води. Транспіраційний коефіцієнт коливається в межах 400–600. Особливо критичним є період бутонізації, цвітіння та активного формування столонів і бульб. Брак води в цей час призводить до різкого зниження товарності врожаю та дрібнішання бульб. Водночас картопля вкрай негативно реагує на надмірне зволоження та переущільнення ґрунтового профілю. За умов тривалого затоплення або запливання ґрунту виникає явище «задишання» бульб через гострий дефіцит кисню (O_2), що викликає масове ураження мокримми бактеріальними гнилями. Тому створення глибокого, стабільно пухкого орного шару з високою макропористістю є першочерговою біологічною вимогою цієї культури.

2.2. Місце картоплі в сівозміні

Науково обґрунтоване розміщення картоплі в сівозміні є фундаментальною основою фітосанітарного благополуччя агроценозу та головною передумовою одержання стабільних високих врожаїв. Картопля має відносно високу самосумісність порівняно з іншими культурами, проте тривале беззмінне вирощування (монокультура) на одному полі призводить до небезпечних наслідків: стрімкого накопичення в ґрунті специфічних патогенів (парша звичайна і срібляста, фузаріозне та вертицильозне в'янення, ризоктоніоз, фітофтороз), масового поширення небезпечних шкідників (дротянки, несправжні дротянки, стеблова та картопляна нематоди, колорадський жук) та прогресуючого деградаційного ущільнення структури ґрунту.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У науково обґрунтованих сівозмінах найкращими попередниками для картоплі в більшості ґрунтово-кліматичних зон України (Полісся, Лісостеп) визначено:

1. Озимі зернові культури (пшениця озима, жито), що висіваються по загартованих чистих, зайнятих або сидеральних парах. Озимина звільняє поля наприкінці літа, що залишає значний часовий проміжок для якісного поживного обробітку ґрунту та накопичення осінньої вологи. Вони залишають після себе чисті від багаторічних бур'янів поля та значну масу соломисті решток, які після мінералізації суттєво покращують баланс органічної речовини.

2. Зернобобові культури (горох, люпин, соя, кормові боби). Завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями вони фіксують атмосферний азот, збагачуючи ним ґрунтовий профіль (до 60–80 кг/га біологічного азоту у легкодоступній формі), та покращують структурно-агрегатний стан ґрунту.

3. Однорічні та багаторічні бобово-злакові трав'яні суміші на один укіс. Вони забезпечують інтенсивне розпушування ґрунту кореневою системою та накопичення кореневих решток.

4. Сидеральні культури (гірчиця біла, редька олійна, люпин алкалоїдний, фацелія), які вирощуються як проміжні культури після збирання ранніх зернових. Заробка в ґрунт зеленої маси хрестоцвітих сидератів виконує роль потужного біологічного фітосанітара: під час розкладання виділяються ізотіоціанати, які пригнічують розвиток ґрунтових нематод, дротяників та спор парші. Крім того, сидерати еквівалентні внесенню 20–30 т/га гною за обсягом надходження органіки.

Категорично недопустимо розміщувати картоплю на полях після рослин з родини пасльонових (томати, перець, баклажани), оскільки вони мають ідентичних шкідників та збудників інфекційних захворювань, що провокує спалахи хвороб. Повертати картоплю на попереднє поле в сівозміні за чинними вимогами рекомендується не раніше ніж через 3–4 роки.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2.3. Система удобрення картоплі

Картопля вирізняється від інших культур надзвичайно високим рівнем виносу макро- та мікроелементів живлення із ґрунту. Для формування 10 тонн (100 ц) кондиційних бульб із відповідною масою бадилля рослини споживають із ґрунту в середньому: 40–60 кг азоту (N), 15–20 кг фосфору (P_2O_5) та 60–90 кг калію (K_2O). Тому високоінтенсивна система удобрення має бути інтегрованою, збалансованою і базуватися на сумісному застосуванні органічних і мінеральних добрив.

Органічні добрива. Основним джерелом довготривалого живлення є напівперепрілий підстилковий гній ВРХ або компости. Органічні добрива не лише постачають повний спектр елементів (включаючи мікроелементи: бор, марганець, цинк), а й суттєво покращують фізико-хімічні властивості ґрунту, знижують щільність та підвищують вологостійкість. Гній доцільно вносити восени під зяблеву оранку плугом ПЛН-5-35. Оптимальна норма внесення в зонах Полісся становить 40–50 т/га, в Лісостепу – 30–40 т/га. На важких за механічним складом ґрунтах високу ефективність демонструє сумісне застосування гною або сидератів із подрібненою соломою попередника, що оптимізує співвідношення вуглецю до азоту ($C : N$), запобігає вимиванню нітратів та активізує діяльність гумусоутворюючих мікроорганізмів.

Мінеральні добрива. Фактичні норми внесення мінеральних добрив розраховують для кожного поля індивідуально балансово-розрахунковим методом, виходячи з запланованого рівня врожайності картоплі (наприклад, 30–40 т/га) та фактичного вмісту рухомих сполук у ґрунті за даними агрохімічного аналізу. Середні рекомендовані дози діючої речовини під інтенсивні сорти картоплі становлять $N_{90-150}P_{60-90}K_{120-180}$.

Азот (N) – є головним чинником росту вегетативної маси, формування асиміляційного апарату листя та інтенсифікації фотосинтезу. Проте його надлишок або пізнє внесення викликає надмірне розростання бадилля на шкоду бульбоутворенню, затягує вегетаційний період, суттєво знижує вміст

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

крохмалю, призводить до накопичення нітратів та погіршує лежання бульб під час зимового зберігання.

Фосфор (P_2O_5) – стимулює енергетичний обмін у клітинах рослин, прискорює первинний розвиток кореневої системи, обумовлює закладання більшої кількості столонів, прискорює дозрівання врожаю та підвищує механічну міцність шкірки бульб.

Калій (K_2O) – є критично важливим «елементом якості» для картоплі. Він бере безпосередню участь у ферментативних процесах синтезу крохмалю, транспортуванні цукрів із листя до бульб, підвищує розвиток клітин, посухостійкість, стійкість до низьких температур та стійкість м'якоті бульб до потемніння при механічних ударах під час збирання. Картопля є хлорофобною культурою, тому використання хлорвмісних форм (хлористий калій, калійна сіль) є небажаним, оскільки іон хлору гальмує фермент фосфорилазу, знижуючи крохмалистість бульб на 1–2%. Перевагу віддають безхлорним добривам: сульфату калію (K_2SO_4), калімагnezії або нітроаморофосці.

Основну частину фосфорно-калійних добрив та всю органіку вносять восени під глибоку оранку, що забезпечує їх переміщення у нижній, постійно вологий шар орного горизонту, де розвивається основна маса коренів. Азотні добрива (аміачна селітра, карбамід) через їх високу рухливість вносять навесні під передпосівну культивуацію (до 70–80% від норми) або локально в рядки під час садіння (20–30%) у вигляді складних стартових туків.

2.4. Система обробітку ґрунту при вирощуванні картоплі

Система обробітку ґрунту в картоплярстві є найбільш впливовим технологічним важелем керування структурою орного шару. Вона має вирішувати комплекс агротехнічних завдань, а саме – створення глибокого, максимально однорідного, пухкого, дрібногрудкуватого стану ґрунту, повне знищення вегетуючих бур'янів та заробку їх насіння, глибоке загортання добрив, руйнування ущільнених плужних підпошів, збереження, акумуляцію

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

та утримання продуктивної вологи атмосферних опадів. Система обробітку ґрунту під картоплю розділяється на основний (осінній) та передсадивний (ранньовесняний) періоди.

Основний обробіток ґрунту. Технологічний цикл розпочинається в базовому господарстві безпосередньо після збирання зернового попередника. Проводять лушення стерні на глибину 10–12 см дисковими бородами (БДТ-7, ДАН-2.8) або дисковими лущильниками. Мета цієї операції – руйнування капілярів поверхневого шару для запобігання випаровуванню вологи, подрібнення та перемішування пожнивних решток, а також провокування насіння бур'янів до проростання. Через 2–3 тижні, після масової появи сходів бур'янів (фаза «білої ниточки»), здійснюють внесення запланованих норм органічних і мінеральних добрив.

Слідом за цим виконують глибоку зяблеву оранку. Базовою машиною для реалізації цього процесу в агрофірмах України є п'ятикорпусний начіпний плуг ПЛН-5-35, який агрегатується з тракторами класу тяги 30...40 кН (Т-150К, ХТЗ-17221, Слобожанець). Оранку під картоплю проводять на глибину 27–30 см (на ґрунтах із глибоким гумусовмісним горизонтом). Плуг ПЛН-5-35, обов'язково обладнаний передплужниками та дисковим ножом на останньому корпусі, який зрізає верхній задернений або засмічений шар ґрунту товщиною 8–10 см і скидає його на дно попередньої борозни. Основний корпус підрізає нижній пласт, піднімає його по лемішно-полицевій поверхні, піддає деформаціям зсуву, згину та кручення, внаслідок чого відбувається інтенсивне кришення монолітів ґрунту та повне обертання скиби. Це забезпечує надійне загортання добрив та пожнивних решток у нижні шари орного горизонту, де за умов оптимального гідротермічного режиму відбувається їх активна гуміфікація.

Передпосівний обробіток. Навесні, при настанні фізичної стиглості ґрунту (коли ґрунт добре кришиться, але не залипає), виконують ранньовесняне боронування (закриття вологи) важкими або середніми

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

зубовими боронами (БЗСС-1,0) в два сліди під кутом до напрямку оранки. На важких за механічним складом ґрунтах, схильних до запливання, проводять глибоке чизелювання або культивуацію на глибину 14–16 см чизельними культиваторами (КЧП-5,4) для покращення аерації. Важливим елементом сучасних європейських технологій на суглинкових ґрунтах є передпосівне нарізання гребенів із міжряддям 70 або 75 см за допомогою гребенеутворювачів (Grimme GF). Це дозволяє верхньому шару ґрунту швидше прогрітися, акумулювати сонячне тепло і забезпечує можливість проведення дуже раннього садіння картоплі.

2.5. Підготовка посівного матеріалу до посадки і садіння картоплі

Якість насінневого матеріалу картоплі та комплекс заходів із його передсадильній підготовки безпосередньо визначають біологічну енергію проростання, дружність сходів, оптимальну густоту стояння рослин та кінцеву продуктивність посіву.

Калібрування та сортування. Насіннєву картоплю виймають із зимових сховищ і пропускають через сортувальні пункти (КСП-15Б). Бульби сортують за розміром та масою на три фракції: дрібна (25–40 г), середня (40–70 г) та велика (понад 70 г). Оптимальною для промислового садіння вважається середня насіннева фракція (діаметр 40–60 мм). Використання виключно вирівняного за лінійними розмірами насінневого матеріалу є обов'язковою умовою для забезпечення стабільної роботи ложечко-дискових садильних апаратів сучасних саджалок, що виключає утворення «пропусків» або «двійників».

Лікувальний період та світлова яровизація (пророщування). За 25–30 днів до початку посадкової кампанії бульби піддають світловому пророщуванню. Їх розкладають тонким шаром (у 2–3 бульби) у світлих приміщеннях або у спеціальних поліетиленових прозорих мішках із перфорацією. Температурний режим підтримують на рівні +12...+15°C вдень

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

та +6...+8°C вночі. Під дією світла у бульбах синтезується хлорофіл (вони зеленіють, утворюючи захисний глікоалкалоїд соланін) і формуються міцні, кремезні, зелені паростки завдовжки 1–1.5 см із зачатками кореневої системи. Світлова яровизація прискорює появу сходів у полі на 8–11 днів, що дозволяє рослині ефективно використати весняний запас вологи та уникнути раннього ураження фітофторозом.

Хімічне та біологічне протруєння. Безпосередньо перед садінням або в процесі висаджування (шляхом обладнання саджалок комплектами розпилювачів) бульби обробляють підготовленими сумішами. До їх складу входять сучасні інсекто-фунгіцидні протруювачі (наприклад, на основі імідаклоприду та флудіоксонілу). Це гарантує надійний захист молодих проростків від ґрунтових шкідників (дротяники, личинки травневого хруща, ведмедка), колорадського жука протягом перших 40–50 днів вегетації, а також блокує розвиток інфекцій (ризиктоніоз, парша звичайна). До суміші для обробки доцільно додавати мікроелементи (бор, молібден) та стимулятори росту.

Садіння. Операцію розпочинають, коли температурні показники ґрунту на глибині закладання бульб (10–12 см) досягають стабільних +6...+8°C. Садіння здійснюють автоматизованими чотирирядними саджалками (Л-202, СК-4, Grimme GL) гребневим методом. Ширина міжрядь у сучасних технологіях становить 70 або 75 см (у європейській практиці активно переходять на 90 см для полегшення механізації). Глибина загортання бульб дисковими загортачами саджалки змінюється залежно від типу ґрунту: на легких піщаних – 10–12 см, на важких суглинках – 6–8 см від верхівки сформованого гребеня. Густота розміщення рослин картоплі становить від 45 до 55–60 тисяч кущів на один гектар площі.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.6. Догляд за картоплею

Комплекс агротехнічних заходів по догляду за посівами спрямований на тривале підтримання пухкого, аерованого стану ґрунту в міжряддях, повне знищення бур'янової рослинності та оптимізацію геометричних параметрів гребеня протягом усього періоду вегетації картоплі.

Механічний (агротехнічний) догляд. Картопля відрізняється тривалим досходовим періодом (від садіння до появи перших сходів проходить 18–25 днів). За цей час поле встигає суттєво зарости однорічними бур'янами та покритися щільною ґрунтовою кіркою, яка блокує доступ кисню до проростків. Через 8–10 днів після садіння проводять першу досхову міжрядну культивування з одночасним боронуванням сітчастими або зубовими боронами. Робочі органи культиватора розпушують дно і зони міжрядь, а борони зчісують гребінь, знищуючи до 95% сходів бур'янів у чутливій фазі «білої ниточки». Через 7–8 днів операцію повторюють.

Після появи чітко виражених рядків (висота рослин 5–8 см) переходять до післясходових обробітків. Їх виконують просапними культиваторами (КРН-4,2, КОН-2,8), які обладнують лапами-бритвами для підрізання бур'янів, розпушувальними лапами та підгортачами. Протягом вегетації картоплі проводять 2–3 підгортання рослин. Останнє підгортання виконують перед замиканням бадилля в міжряддях при висоті стебел 15–20 см. При цьому формуються потужні об'ємні трапецієподібні гребені висотою 18–22 см і шириною по верхівці до 15 см. Це суттєво збільшує життєву зону для столоноутворення, покращує повітряний режим та захищає майбутні гнізда бульб від вимивання на поверхню, сонячних опіків і накопичення токсичного соланіну.

Хімічний та інтегрований захист. За умов високої забур'яненості полів певними видами (пирій повзучий, лобода біла, щириця) механічний догляд комбінують із застосуванням селективних гербіцидів. Досходово застосовують системні препарати на основі метрибузину.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Протягом літньої вегетації найважливішим завданням є захист листової маси рослин від фітофторозу (*Phytophthora infestans*) та альтернаріозу. Проводять серію профілактичних та лікувальних обприскувань (3–5 обробок за сезон) фунгіцидами системної та контактної дії з інтервалом 7–12 днів залежно від метеорологічних умов та фітосанітарних прогнозів. Одночасно ведуть боротьбу з генераціями колорадського жука, використовуючи інсектициди з групи неонікотиноїдів або піретроїдів.

2.7. Збирання врожаю картоплі

Збирання врожаю є завершальним, найбільш затратним і технологічно складним етапом у всьому виробничому циклі картоплярства, на який припадає до 60–70% загальних витрат праці. Роботи розпочинають при настанні повної фізіологічної стиглості бульб. Головними агрономічними ознаками стиглості є природне відмирання та всихання бадилля, легке відокремлення бульб від столонів та формування міцної, щільної перидерми (шкірки), яка надійно чинить опір механічному здиранню при терті.

Видалення (десикація або скошування) бадилля. За 10–14 днів до планованого початку копання картоплі необхідно повністю видалити надземну вегетативну масу рослин. Цей прийом прискорює відтік залишків пластичних речовин із стебел у бульби, стимулює інтенсивне «пробковіння» шкірки, підвищуючи стійкість бульб до механічних травм під час контакту з робочими органами машин, та різко знижує ризик інфікування врожаю спорами фітофтори з листя. Видалення проводять двома методами:

- механічний – скошування та подрібнення бадилля роторними косарками-подрібнювачами (КРБ-2,8, УМВ-2,8) з видуванням маси в міжряддя;
- хімічний (десикація) – обприскування посівів контактними десикантами, що викликає швидке підсушування стебел. На практиці найкращі результати дає комбінований метод, що включає механічне

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

зрізання верхівок із наступним хімічним висушуванням залишків стебел.

Технологічні схеми викопування. Збиральну кампанію проводять у стислі строки до настання стійких осінніх дощів та при температурах повітря і ґрунту не нижче +10°C. При нижчих температурах біологічні тканини картоплі втрачають еластичність, що призводить до швидкого зростання внутрішніх потемнінь м'якоті та тріщин від ударів. Залежно від типу, механічного складу ґрунту та технічної оснащеності господарства застосовують дві основні технологічні схеми.

1. Пряме комбайнування (потоківий метод) – здійснюється високопродуктивними одно-, дво- або чотирирядними картоплезбиральними комбайнами (Grimme SE, AVR, Борекс). Комбайн лемішним підкопуючим робочим органом підрізає частину гребеня разом із бульбами та ґрунтом, подає його на перший прутковий транспортер, де за рахунок вібрацій відбувається відсіювання дрібного ґрунту (сепарація). Далі маса проходить через бадиллявидаляючий апарат, проходячи гірку, стрічку ручного доочищення і потрапляє в бункер. Метод є найбільш ефективним на легких, розсипчастих ґрунтах без каміння.

2. Роздільний метод – спочатку дворядний картоплекопач-валкоутворювач (КТН-2В, КСТ-1,4) підкопує гребені і викладає бульби на поверхню поля у суміжний чистий валок шириною 80–100 см. Через 2–4 години бульби підсихають, їх шкірка міцніє, а залишки ґрунту осипаються. Після цього комбайн із підбираючим адаптером проходить по валку, завантажуючи чисту картоплю в бункер. Наведений роздільний метод ефективний на важких, перезволожених суглинках, оскільки дозволяє значно знизити кількість ґрунтових включень у бункері зібраного врожаю.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2.8. Обґрунтування доцільності використання плуга ПЛН-5-35 при вирощуванні картоплі

Плуг п'ятикорпусний начіпний ПЛН-5-35 є базовим, найбільш масовим і технічно доступним орним знаряддям загального призначення в аграрному секторі України. Його широке застосування в технологіях підготовки полів під картоплю обумовлено жорсткими вимогами цієї просапної культури до глибини і якості розпушування орного горизонту. Плуг здатний стабільно утримувати задану глибину обробітку (до 28–30 см), забезпечуючи повне і глибоке загортання високих норм напівперепрілого гною, великосидеральної біомаси та пожнивних решток злакових попередників. Це є дуже важливим чинником пригнічення бур'янів та знищення зимуючих патогенів у нижніх шарах ґрунту. Завдяки культурній формі відвалів серійних корпусів досягається задовільний рівень кришення середньозв'язних ґрунтів, що мінімізує потребу у додаткових проходах енергоємних весняних дискових або чизельних знарядь.

Проте тривалий досвід експлуатації плуга ПЛН-5-35 у структурі сучасних високоінтенсивних і швидкісних механізованих процесах виявив низку суттєвих конструктивних, кінематичних та технологічних недоліків. Вони суттєво обмежують його енергетичну, експлуатаційну та економічну ефективність. Серед основних недоліків даного полицевого плуга слід відмітити наступні:

- Обмежений швидкісний діапазон роботи робочих органів. Серійні культурні корпуси плуга ПЛН-5-35 проектувалися під робочі швидкості руху застарілих тракторів перших поколінь і розраховані на вузький діапазон швидкостей – від 7,0 до 9,0 км/год. При спробах експлуатації орного агрегату на підвищених швидкостях (понад 9,5–10 км/год), які є характерними для сучасних високоефективних тракторів типу Т-150К або ХТЗ-17221, різко руйнується весь технологічний процес оранки. Зі зростанням швидкості різко збільшується кінетична енергія, що

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

передається відвалом ґрунтовій скибі. Замість плавного обертання та внутрішнього зсуву скиба починає з великою силою відкидатися вбік на значну відстань. Це призводить до утворення глибоких розвальних борозен, високих нерівних звальних гребенів, оголення підшви борозни та суттєвого порушення мікрорельєфу поля. Наступний поверхневий обробіток такого поля вимагає значних додаткових витрат палива.

- Високий питомий тяговий опір робочих органів. Геометрична форма робочої поверхні серійного відвалу культурного типу характеризується значними кутами установки твірних до стінки борозни (кут α коливається в межах 42...45°) та до дна борозни (кут β). Це викликає так званий «лобовий удар» монолітів ґрунту об груди відвалу під час входу в пласт. Замість ковзання ґрунт зазнає надмірного стиснення, що тягне за собою стрімке зростання питомого тягового опору всієї лемішно-полицевої поверхні. Загальний опір плуга ПЛН-5-35 при оранці на глибину 30 см досягає критичних значень, що викликає буксування рушіїв трактора, зниження робочої швидкості та призводить до надмірних перевитрат дизельного палива (до 22–26 л/га).
- Незадовільна якість кришення ґрунту на підвищених швидкостях. На швидкостях понад 9 км/год серійний відвал не встигає якісно розпушити внутрішню структуру пласта важких суглинкових ґрунтів. Пласт відривається великими глибокими брилами (виникає ефект «брилистої оранки»), які під час зимового періоду не встигають повністю розрушитися під дією морозів. Навесні таке поле вимагає додаткових багаторазових дискових обробітків для підготовки під садіння картоплі, що посилює деградаційне переущільнення нижніх шарів та руйнує структуру ґрунту.
- Прискорене абразивне зношування елементів корпусу. Через високий тиск ґрунту на робочу поверхню, спостерігається інтенсивне

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зношування носка лемеша, грудей відвалу та польової дошки. Це вимагає частоті зупинки агрегату для заміни робочих органів, знижуючи коефіцієнт використання робочого часу зміни.

З метою усунення та нівелювання наведених вище технічних недоліків виникає гостра, науково та економічно обґрунтована потреба в модернізації геометричних параметрів лемішно-відвальної поверхні корпусів плуга ПЛН-5-35. Основним вектором удосконалення є перехід від застарілих серійних культурних поверхонь до прогресивних швидкісних лемішно-полицевих поверхонь.

Швидкісні корпуси класичних плугів характеризуються принципово іншою геометрією, зокрема початкові кути установки лемеша і грудей відвалу до стінки борозни зменшені до $35^{\circ}\dots 38^{\circ}$, а кути нахилу твірної до дна борозни зроблені більш пологими. Профіль прямої параболічної кривої розраховується таким чином, щоб забезпечити плавне, безперервне ковзання та тривимірне обертання ґрунтової скиби без виникнення зон критичного гальмування та динамічних ударів.

Встановлення таких швидкісних корпусів на раму плуга ПЛН-5-35 дозволить орному агрегату стабільно і якісно працювати в технологічному діапазоні швидкостей 10–12 км/год. При цьому:

- питомий тяговий опір знаряддя знижується на 12–15% за рахунок мінімізації сили лобового опору та оптимізації сил тертя ґрунту по сталі;
- годинна продуктивність орного агрегату зростає на 20–25%, що дозволяє завершити зяблевий обробіток під картоплю в стислі, оптимальні строки;
- показник дрібногрудкуватого кришення ґрунту (вміст фракцій розміром 1–10 мм) покращується на 18–20% без винесення нижніх безструктурних шарів на поверхню;

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- питома витрата палива знижується на 3–4 літри на кожному гектарі обробленої площі, що забезпечує значний ресурсозберігаючий та екологічний ефект у сучасних системах механізації рослинництва.

Висновки по розділу

Картопля є високоінтенсивною просапною культурою з підвищеними вимогами до агрофізичних, повітряно- та водно-фізичних властивостей орного шару. Це обумовлено специфікою її анатомічної будови – слаборозвиненою мичкуватою кореневою системою, зосередженою в поверхневому горизонті, та необхідністю створення пухкого середовища для безперешкодного розростання бульб.

Сучасна науково обґрунтована технологія промислового вирощування картоплі заснована на неухильному дотриманні всіх етапів сівозміни (з обов’язковим включенням фітосанітарних сидеральних попередників), збалансованій інтегрованій системі живлення (органо-мінеральні комплекси з високими дозами калію), якісному глибокому основному обробітку, ретельній передсадивній підготовці насіннєвого матеріалу, міжрядному догляді за рослинами та автоматизованому збиранні врожаю бульб.

Експлуатація базового п’ятикорпусного начіпного плуга ПЛН-5-35 для реалізації основного зяблевого обробітку є агротехнічно виправданою завдяки забезпеченню необхідної глибини (до 30 см) та стабільного обертання скиби ґрунту. Проте серійні робочі органи даного плуга через конструктивні обмеження швидкісного режиму (не більше 9 км/год), високий питомий тяговий опір та схильність до утворення брилистості при прискоренні руху не відповідають сучасним жорстким вимогам ресурсозбереження та енергоефективності.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ПЛУГОМ

Операційна технологія механізованого обробітку ґрунту – це комплекс науково обґрунтованих правил, інженерних розрахунків та організаційних заходів, які регламентують раціональне використання машинно-тракторних агрегатів (МТА) для виконання конкретної сільськогосподарської операції з високою якістю, мінімальними витратами енергії, праці та паливно-мастильних матеріалів.

3.1. Умови роботи

Проектування операційної технології зяблевої оранки під картоплю здійснюється для умов Степової зони України. Картопля належить до просапних культур, що потребують максимального обсягу пухкого ґрунтового середовища для безперешкодного розвитку кореневої системи та формування гнізд бульб, тому оранка є важливим етапом у підготовці поля.

Умови розрахунку і обґрунтувань:

- тип ґрунту – чорнозем типовий середньосуглинковий із середнім рівнем зв'язності;
- рельєф поля – рівнинний рельєф, загальний нахил поверхні коливається в межах $1.5^{\circ} \dots 2^{\circ}$, що дозволяє експлуатувати швидкісні МТА без ризику виникнення ускладнень кінематики руху чи нерівномірності заглиблення;
- попередник – пшениця озима. На полі присутня подрібнена солома попередника та стерня, заздалегідь проведено дискове лушення на глибину 10–12 см для провокування проростання бур'янів;
- вологість ґрунту перебуває в межах оптимальної фізичної стиглості (18–22%);
- твердість ґрунту в орному шарі варіюється в діапазоні 1,2...1,5 МПа;

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- питомий опір ґрунту – базовий питомий опір для середньосуглинкових чорноземів становить $k_0 = 55 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ (55 кПа). Проте, з урахуванням збільшення глибини обробітку та швидкості руху агрегату, розрахунковий питомий опір для умов швидкісної оранки приймається на рівні $k = 0,09 \text{ МПа}$ ($0,9 \text{ кг/см}^2$);
- конфігурація поля – прямокутна ділянка площею 100 га з довжиною гону $L_{\Gamma} = 1000 \text{ м}$.

3.2. Агротехнічні вимоги

Якість виконання зяблевої оранки під картоплю оцінюється за ступенем її відповідності чітким агровимогам.

1. Глибина обробітку. Для створення сприятливих умов бульбоутворення глибина основного обробітку встановлюється в межах $a = 27...30 \text{ см}$. Допустиме відхилення середньої фактичної глибини від заданої не повинно перевищувати $\pm 1 \text{ см}$ на рівнинних ґрунтах та $\pm 2 \text{ см}$ на ділянках із значними нерівностями рельєфу.

2. Ширина захвату плуга. Відхилення фактичної загальної ширини захвату плуга від його конструктивної ($B_k = 1,75 \text{ м}$) допускається в межах не більше $\pm 10 \%$.

3. Обертання, кришення та розпушування скиби. Ґрунтова скиба повинна повністю обертатися, забезпечуючи якісне загортання не менше 95% пожнивних решток, бур'янів та органічних добрив (гною) у нижню зону орного шару. На поверхні поля не допускається наявність необвернених скиб чи голих рослинних решток. Кількість крупних брил розміром понад 10 см не повинна перевищувати 15% від загальної площі.

4. Вирівняність поверхні та структура борозни. Поверхня ріллі має бути рівною або дрібногребенистою. Стінка відкритої борозни після проходження останнього корпусу плуга повинна залишатися чистою, стійкою і не

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

обсипатися, а дно борозни – рівним, без сходинок, що досягається правильним встановленням польових дошок плуга.

5. Огріхи та перекриття суміжних проходів ґрунтообробного агрегату. Наявність прихованих або відкритих огріхів (недорізів ґрунту по ширині чи глибині) категорично заборонена. Перекриття суміжних проходів має бути мінімальним і стабільним.

3.3. Комплектування і підготовка агрегату до роботи

Для виконання глибокої зяблевої оранки ($a = 27...30$ см) із використанням плуга ПЛН-5-35 необхідно виконати розрахунок тягового балансу та обґрунтувати вибір енергетичного засобу, передачі та оптимального швидкісного режиму.

Плуг ПЛН-5-35 за технічними нормативами агрегується з тракторами класу тяги 30...40 кН. Виберемо як енергетичний засіб колісний трактор Т-150К, що має номінальну потужність двигуна $N_e = 121,4$ кВт (165 к.с.).

Тяговий опір плуга R_n за класичною раціональною формулою академіка В.П. Горячкіна складається з трьох основних компонентів: опір деформації та підрізанню ґрунту, опір від тертя корпусу об ґрунт та динамічний опір, пов'язаний із наданням кінетичної енергії скибі, що у формульному вигляді описується так:

$$R_n = n \cdot j \cdot f + n \cdot k_0 \cdot a \cdot b + n \cdot \xi \cdot a \cdot b \cdot v^2,$$

де n – кількість корпусів плуга, $n = 5$;

j – маса плуга, що припадає на один корпус, $j = G/n = 810/5 = 162$ кг;

f – коефіцієнт тертя плуга об дно і стінку борозни, $f = 0,5$;

k_0 – питомий опір ґрунту при статичній деформації, $k_0 = 55$ кН/м²;

a – задана технологічна глибина оранки під картоплю, $a = 0,27$ м;

b – ширина захвату одного корпусу, $b = 0,35$ м;

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ξ – динамічний коефіцієнт, що враховує форму відвалу,
 $\xi = 1,5 \dots 2,0 \text{ кН} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;

v – швидкість руху агрегату, м/с.

Для спрощених інженерних розрахунків використовують експлуатаційну формулу через динамічний питомий опір k , який уже враховує вплив швидкості руху (у нашому випадку для швидкості $v = 8,5 \text{ км/год} = 2,36 \text{ м/с}$ динамічний опір $k = 90 \text{ кН/м}^2 = 0,09 \text{ МПа}$):

$$R_n = n \cdot k \cdot a \cdot b;$$

$$R_n = 5 \cdot 90 \cdot 0,27 \cdot 0,35 = 42,53 \text{ кН}.$$

Врахуємо додатковий тяговий опір від допоміжних робочих органів: дискового ножа ($R_{\text{ніж}} \approx 1,2 \text{ кН}$) та додаткових сил тертя польових дошок ($R_{\text{т}} \approx 0,9 \text{ кН}$):

$$R_{\text{н.уточ}} = R_n + R_{\text{ніж}} + R_{\text{т}} = 42,53 + 1,2 + 0,9 = 44,63 \text{ кН}.$$

Тягове зусилля на гаку трактора $P_{\text{кр}}$ визначається виходячи з потужності двигуна та умов зчеплення колісного рушія з поверхнею поля:

$$P_{\text{кр}} = \frac{3,6 \cdot N_e \cdot \eta_m}{v} - R_{\text{тр}},$$

де N_e – номінальна потужність двигуна трактора Т-150К, $N_e = 121,4 \text{ кВт}$;

η_m – тяговий коефіцієнт корисної дії колісного трактора, $\eta_m = 0,88$;

v – розрахункова робоча швидкість на IV передачі I-го робочого діапазону,
 $v = 8,5 \text{ км/год}$;

$R_{\text{тр}}$ – опір переміщенню самого трактора, кН

$$R_{\text{тр}} = M_{\text{тр}} \cdot g \cdot f_{\text{тр}},$$

де $M_{\text{тр}}$ – маса трактора, $M_{\text{тр}} = 8200 \text{ кг}$;

$f_{\text{тр}}$ – коефіцієнт опору коченню на стерні, $f_{\text{тр}} = 0,10$.

Після підстановки даних, отримаємо

$$R_{\text{тр}} = 8200 \cdot 9,81 \cdot 0,10 = 8,04 \text{ кН};$$

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$P_{кр} = \frac{3,6 \cdot 121,4 \cdot 0,88}{8,5} - 8,04 = 45,23 \text{ кН.}$$

Головною інженерною умовою комплектування МТА є перевищення тягової здатності трактора над опором сільськогосподарського знаряддя:

$$R_{н.уточ} \leq P_{кр} ;$$

$$44,63 \text{ кН} \leq 45,23 \text{ кН.}$$

Умова виконується на межі тягових можливостей трактора. Коефіцієнт використання тягової сили становить:

$$\eta_{вик} = \frac{R_{н.уточ}}{P_{кр}} = \frac{44,63}{45,23} = 0,987 = 98,7\%.$$

Такий високий рівень завантаження на колісному тракторі неминуче призведе до підвищеного буксування ведучих коліс на стерні. Визначимо фактичний коефіцієнт буксування δ за емпіричною залежністю для трактора Т-150К:

$$\delta = \delta_{\max} \cdot \left(\frac{R_{н.уточ}}{P_{зч}} \right)^2 ,$$

де $\delta_{\max}$ – максимально допустиме буксування за агротехнічними вимогами для колісних тракторів, $\delta_{\max} = 0,15$;

$P_{зч}$ – зчіпне зусилля трактора, кН

$$P_{зч} = M_{тр} \cdot g \cdot \varphi_{зч} ,$$

де $\varphi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення на стерні, $\varphi_{зч} = 0,55$.

$$P_{зч} = 8200 \cdot 9,81 \cdot 0,55 = 44,24 \text{ кН.}$$

Оскільки уточнений опір плуга (44,63 кН) перевищує номінальну силу зчеплення (44,24 кН), фактичне буксування перевищить агротехнічну межу в 15% ($\delta \approx 16.5...18 \%$).

Для забезпечення стабільної роботи агрегату на заданій глибині 27...30 см без надмірного буксування та перевитрати палива необхідно реалізувати один із двох інженерних заходів:

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Застосувати баластування трактора Т-150К шляхом встановлення на диски коліс додаткових чавунних вантажів загальною масою 600–800 кг, що збільшить зчіпну масу і знизить буксування до 12–13%.

2. При роботі на важких ділянках поля переобладнати плуг у 4-корпусну модифікацію (ПЛН-4-35). Тоді його опір становитиме

$$R_4 = 4 \cdot 90 \cdot 0,27 \cdot 0,35 + 2,1 = 36,12 \text{ кН.}$$

Це забезпечить оптимальний коефіцієнт завантаження трактора на рівні $\eta_{\text{вик}} \approx 80 \%$ та дозволить підняти робочу швидкість до 10,5...11,5 км/год на вищій передачі, повністю реалізуючи переваги швидкісної оранки.

Якісне налаштування орного МТА проводиться на спеціально обладнаному плоскому регульовальному майданчику з твердим покриттям (бетон або асфальт). Трактор заїжджає на майданчик разом із плугом.

1. Встановлення на задану глибину оранки. Під ліві колеса трактора Т-150К (оскільки оранка здійснюється в загінці правими колесами в борозні) та під опорне колесо плуга підкладають спеціальні дерев'яні бруски-проставки. Висота проставок має дорівнювати проектній глибині оранки (27...30 см), зменшеній на величину усадки (прогрування) коліс у пухкий ґрунт (для стерні пшениці усадка становить $\Delta = 2...3$ см). Таким чином, висота брусків під колесами трактора та опорним колесом плуга приймається рівною $h_{\text{бр}} = 27 - 3 = 24$ см. Після цього гвинтовим механізмом опорного колеса опускають раму плуга до моменту, поки лемеші всіх корпусів не доторкнуться різальними кромками до поверхні майданчика.

2. Вирівнювання просторового положення рами. Рама плуга ПЛН-5-35 повинна розміщуватися паралельно до площини майданчика. Поздовжнє вирівнювання контролюють візуально за положенням верхнього бруса рами і здійснюють його зміною довжини центральної (верхньої) тяги триточкової начіпної системи трактора Т-150К. Якщо рама нахилена вперед (носки лемешів зариваються), центральну тягу видовжують; якщо нахилена назад – укорочують. Поперечне вирівнювання виконують зміною довжини лівого та

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правого вертикальних розкосів навіски трактора. Рама вважається налаштованою, коли всі п'ять корпусів рівномірно спираються на майданчик носками лемешів та п'ятками польових дошок.

3. Встановлення та регулювання передплужників. Передплужники призначені для зрізання верхнього задернілого шару ґрунту. Стійки передплужників фіксують у кронштейнах на рамі плуга за допомогою хомутів. Відстань по ходу руху плуга між носком леміша передплужника та носком леміша основного корпусу має дорівнювати $l = 250...300$ мм. Це унеможливило забивання та заклинювання ґрунтової маси між корпусами. Глибину ходу передплужника встановлюють переміщенням його стояка по вертикалі у кронштейні так, щоб вона становила $a_{\text{пд}} = 10$ см (при глибині оранки основним корпусом 27–30 см). Польовий обріз передплужника повинен перекривати польовий обріз основного корпусу в бік необробленого поля на $t = 5...10$ мм для чистого зрізання стінки борозни.

4. Налаштування дискового ножа. Дисковий ніж встановлюють на рамі плуга попереду останнього (п'ятого) корпусу. Він розрізає пласт у вертикальній площині, гарантуючи отримання чистої, не осипаної стінки борозни. Ніж закріплюють у кронштейні так, щоб його вісь обертання знаходилася безпосередньо над носком леміша передплужника з винесенням вперед по ходу руху на відстань $l = 30...40$ мм. Площина диска повинна бути чітко паралельною до напрямку руху агрегату і зміщеною в бік поля відносно польового обрізу корпусу на 10...15 мм. Глибина заглиблення диска встановлюється за допомогою переміщення стояка і фіксується на рівні $a_{\text{ніж}} = 12...13$ см, при цьому нижня кромка леза диска має опускатися на 20...30 мм нижче рівня носка леміша передплужника.

3.4. Підготовка поля до роботи

Ефективна організація території поля є обов'язковим інженерним етапом, що безпосередньо впливає на коефіцієнт використання робочого часу

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

зміни $\tau_{зм}$ та знижує непродуктивні витрати дизельного палива на холості переїзди. Підготовка поля складається з ряду послідовних кроків, що описані нижче.

Агротехнічне обстеження території. Робочу зону очищають від великих куп соломи, що збилися під час роботи комбайна. За допомогою сигнальних віх маркують усі виявлені перешкоди (виходи скельних порід, глибокі вирви, стовпи ліній електропередач тощо), навколо яких відбивають зони безпеки.

Вибір напрямку руху орного МТА. Напрямок оранки чітко узгоджують із напрямком попереднього лушення стерні та намагаються реалізувати вздовж довшої сторони поля ($L_r = 1000$ м). Це мінімізує кількість необоротних розворотів агрегату на поворотних смугах. На полях із наявним нахилом поверхні понад 2° оранку проводять лише впоперек схилу (по горизонталях рельєфу), що є важливим протиерозійним заходом, який запобігає змиву верхнього родючого шару ґрунту весняними та зливовими водами.

Розбивка поля на робочі заїмки. Поле розмічають на окремі технологічні заїмки. Ширина заїмки C обчислюється на основі оптимізації кінематичних параметрів МТА. Для колісного трактора Т-150К у агрегаті з плугом ПЛН-5-35 оптимальна ширина заїмки за умов поступального руху становить:

$$C_{opt} = \sqrt{2 \cdot R_{ng} \cdot L_z + \frac{B_a \cdot L_z}{2}},$$

де R_{ng} – мінімальний радіус повороту трактора Т-150К з начіпним плугом,

$$R_{ng} = 7,0 \text{ м};$$

$$L_z \text{ – довжина гону на полі, } L_z = 1000 \text{ м};$$

$$B_a \text{ – робоча ширина захвату агрегату, } B_a = 1,75 \text{ м.}$$

$$C_{opt} = \sqrt{2 \cdot 7,0 \cdot 1000 + \frac{1,75 \cdot 1000}{2}} = \sqrt{14000 + 875} = \sqrt{14875} = 122 \text{ м.}$$

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

З урахуванням кратності робочих проходів агрегату та зручності розмітки, ширину загінки приймають рівною $C = 120$ м.

Розмітка та відбиття поворотних смуг. По краях поля паралельно до коротких меж відбивають поворотні смуги, ширина яких E повинна гарантувати безпечний безпетлевий поворот агрегату за один безперервний маневр:

$$E = 3 \cdot R_{ng} + d_g,$$

де d_g – довжина виїзду агрегату (відстань від осі задніх коліс трактора до останнього п'ятого корпусу плуга, $d_g = 4,5$ м);

$$E = 3 \cdot 7,0 + 4,5 = 25,5 \text{ м.}$$

Приймаємо ширину поворотної смуги рівною $E = 26$ м. Поворотну смугу відбивають за допомогою проходу крайнього корпусу плуга «в ребро» (на половину робочої глибини), що створює чітку візуальну лінію для тракториста, на якій він повинен заглиблювати та виглиблювати плуг за допомогою гідросистеми трактора.

3.5. Організація роботи агрегату в загінці

Для запобігання накопиченню глибоких розвальних борозен та високих звальних гребенів на одному місці, що суттєво ускладнює подальше садіння та міжрядний догляд за картоплею, застосовують комбінований загінковий спосіб оранки із чергуванням загонів «взвал» та «врозгін».

Технологія оранки «взвал». Роботу розпочинають із центральної осі загінки. Перший прохід виконують так, щоб перший корпус плуга йшов чітко по наміченій лінії центру загінки. Наприкінці гону агрегат робить правий розворот на поворотній смузі та здійснює зворотний прохід. При цьому скиби ґрунту від перших проходів звалюються назустріч одна одній, формуючи відповідний звальний гребінь. Рух продовжують по розширюваній спіралі від центральної лінії до периферії загінки.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологія оранки «врозгін». Роботу в суміжній загінці розпочинають із її зовнішніх країв. Проходи виконують таким чином, щоб скиби ґрунту відкидалися в бік сусідніх загінок. Агрегат рухається по звужуваній спіралі від периферії до центру загінки. У результаті в самому центрі загінки утворюється кінцева розвальна борозна.

Під час виконання робочих ходів механізатор повинен вести трактор Т-150К так, щоб праві колеса переднього та заднього мостів котилися безпосередньо по дну борозни, прокладеної під час попереднього проходу плуга. Це стабілізує ширину захвату першого корпусу, виключає утворення внутрішніх огріхів та знижує навантаження на рульове керування трактора. Швидкісний режим підтримують на рівні проектної передачі (робоча швидкість $v = 8,5 \dots 9,5$ км/год). У разі встановлення швидкісних відвалів швидкість руху підвищують до 11...12 км/год, що інтенсифікує процес кришення скиби без збільшення відкидання ґрунту корпусами плугу вбік.

3.6. Контроль якості роботи

Контроль якості є невід'ємною частиною інженерного супроводу операційної технології та виконується безпосередньо в полі помічником бригадира чи головним агрономом підприємства. Він поділяється на:

- поточний контроль – проводиться 3–4 рази протягом робочої зміни для оперативного усунення відхилень регулювань плуга;
- приймальний контроль – проводиться після завершення оранки всього поля перед підписанням акту виконаних робіт.

Основні показники, що підлягають контролю по оцінці якості оранки зведені в таблицю 1.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 1

Технологічна карта контролю якості зяблевої оранки під картоплю

№	Контрольований показник якості	Метод контролю, вимірний інструмент та прилади	Частота та обсяг перевірок на полі	Допустимі норми відхилень
1	Фактична глибина оранки	Замір польовим глибиноміром або лінійкою зі щупом по діагоналі загінки (не менше 20 точок вимірювання)	3–4 рази за робочу зміну	Не більше ± 1 см від заданої (27...30 см)
2	Ступінь кришення ґрунту та пористість	Візуальна оцінка, підрахунок кількості великих брил на обліковому майданчику розміром 1 × 1 м	2 рази за зміну у кожній загінці	Наявність брил розміром > 10 см – не більше 15% від загальної площі
3	Якість та глибина загортання решток	Поверхневий огляд зораного масиву, підрахунок незагорнутих елементів стерні чи сидератів на 100 м довжини	Постійно під час проходів	Повне загортання рослинних решток та органіки ≥ 95 %
4	Наявність прихованих або відкритих огріхів	Візуальний огляд стиків суміжних проходів та дна борозни за допомогою щупа	Після завершення кожної окремої загінки	Категорично не допускаються
5	Вирівняність поверхні поля	Вимірювання висоти гребенів та глибини борозен за допомогою 3-метрової інженерної рейки	По завершенню робіт у загінці	Максимальна висота гребенів не повинна перевищувати 5 см
6	Обробка поворотних смуг	Візуальний огляд якості заорювання місць розвороту МТА	Після завершення оранки основного масиву	Повне розпушування без утворення ущільнених зон колій трактора

Висновок по розділу

Розроблена комплексна операційна технологія основного обробітку ґрунту під картоплю за допомогою машинно-тракторного агрегату у складі

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

колісного трактора Т-150К та начіпного п'ятикорпусного плуга ПЛН-5-35 повністю забезпечує виконання чинних агротехнічних та фітосанітарних вимог, що висуваються до підготовки ґрунту під вирощування просапних культур.

Проведені технологічні розрахунки тягового балансу та зчіпних властивостей МТА підтвердили, що для умов середньосуглинкових чорноземів номінального тягового зусилля трактора класу 30 кН достатньо для стабільної роботи лемішно-відвальних робочих органів на глибині до 24 см при швидкості руху близько 8,5–9,0 км/год. Проте, при збільшенні глибини оранки до оптимальних під картоплю 27–30 см або при спробах підвищення робочої швидкості понад 9.5 км/год, загальний уточнений опір плуга ПЛН-5-35 зростає до 44,63 кН. Це призводить до критичного використання тягової потужності трактора (98,7%), викликає підвищене буксування колісного рушія на стерні (до 16,5–18%) та зумовлює зростання питомої витрати дизельного палива.

Отримані результати доводять технічну необхідність подальшої модернізації відвальної поверхні корпусів плуга ПЛН-5-35 з переходом на швидкісні робочі поверхні. Впровадження таких типів полиць дозволить знизити загальний питомий тяговий опір знаряддя, оптимізувати завантаження двигуна трактора, ліквідувати буксування та перевести орний МТА у високопродуктивний робочий діапазон швидкостей 10–12 км/год. Це гарантує підвищення продуктивності роботи на 20–25% і забезпечує бажаний дрібногрудкуватий стан орного горизонту, що є основою реалізації біологічного потенціалу врожайності картоплі в сучасних ресурсозберігаючих системах землеробства.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Опис конструкції та обґрунтування модернізації полицевого плуга ПЛН-5-35

Основний обробіток ґрунту під картоплю є найбільш енергомістким етапом сучасних систем землеробства. Специфіка культури картоплі вимагає створення пухкого, глибокого та високоаерованого орного шару з мінімальним ущільненням нижніх горизонтів. Будь-які дефекти структури ґрунту, зокрема наявність великих брил або плужної підшви, критично знижують товарну врожайність і ускладнюють подальше механізоване збирання врожаю картоплезбиральними комбайнами.

Основним технічним засобом для виконання зяблевої оранки в агропромисловому комплексі України є плуг п'ятикорпусний начіпний ПЛН-5-35. У серійному виконанні це знаряддя призначене для оранки різних типів ґрунтів, які незасмічені камінням, з питомим опором до 0,09 МПа (0,9 кг/см²) на глибину до 30 см. Плуг у базовому варіанті комплектується корпусами з культурною робочою поверхнею і розрахований на роботу в обмеженому швидкісному діапазоні від 7,0 до 9,0 км/год. Він агрегатується з тракторами класу тяги 30...40 кН, зокрема з колісним трактором Т-150К.

Базовий начіпний плуг ПЛН-5-35 (рис. 2) складається з таких основних складальних одиниць і механізмів:

- основної несучої зварної рами;
- п'яти основних полицевих корпусів культурного типу;
- п'яти передплужників;
- опорного колеса з гвинтовим механізмом регулювання глибини ходу;
- дискового ножа, встановленого перед останнім корпусом;
- начіпного пристрою (навіски) для з'єднання з триточковою системою трактора;
- механізмів причепа для встановлення додаткових робочих органів (зубових борін або котків).

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

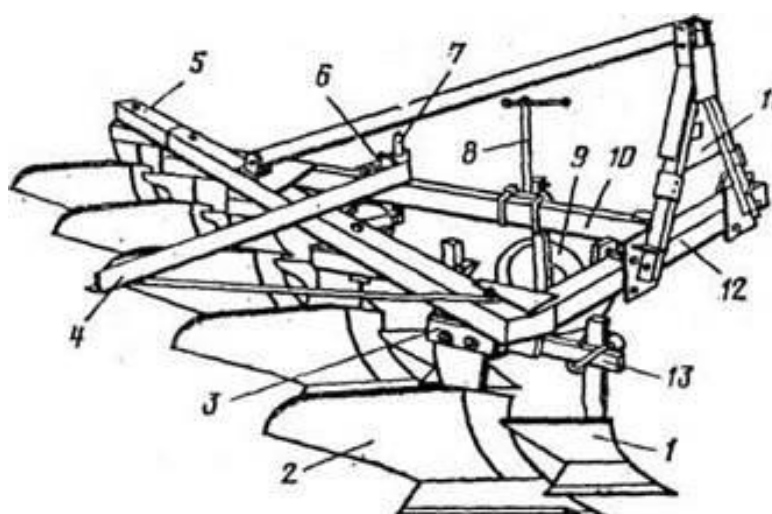


Рис. 2. Плуг загального призначення ПЛН-5-35:

1 – передплужник; 2 – основний корпус плуга (лемішно-полицева поверхня);
 3 – кутик; 4 – причіп для додаткових робочих органів (борони); 5 – головна балка рами; 6 – кронштейн кріплення дискового ножа; 7 – дисковий ніж в зборі; 8 – механізм регулювання глибини; 9 – опорне колесо плуга;
 10 – поздовжня балка рами; 11 – механізм автонавіски; 12 – поперечна балка рами плуга; 13 – кронштейн передплужника

Кожен серійний полицевий корпус плуга складається з леміша, полиці та польової дошки, які жорстко закріплені на спільному литому або зварному башмаку, що, у свою чергу, кріпиться до вертикального стояка. Серійний плуг комплектується полицями культурної форми робочої поверхні, яка добре кришить ґрунтову скибу, а в поєднанні з передплужниками забезпечує її

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

обертання та якісне загортання рослинних решток озимої пшениці у нижню зону орного горизонту.

Передплужник фактично є зменшеною копією основного корпусу плуга і теж має культурну робочу поверхню. Призначення передплужника полягає в підрізання верхнього задерненого і засміченого шару ґрунту на глибину 8...12 см із подальшим скиданням його на дно відкритої борозни. Стояки передплужників фіксуються до рами плуга за допомогою хомутів і спеціальних тримачів. На стояках виконано ряд отворів для ступінчастого регулювання їх положення по висоті залежно від фактичної глибини оранки основного корпусу.

Дисковий ніж призначений для розрізання ґрунтового моноліту у вертикальній площині вздовж лінії відсікання скиби останнім корпусом плуга. Це забезпечує отримання чистої, стійкої стінки борозни, запобігає осипанню ґрунту на дно і гарантує стабільність ходу агрегату по глибині. Ніж складається зі сталевого диска діаметром 400 мм і товщиною 5 мм, що закріплений на осі, яка обертається в корпусі на двох кулькових підшипниках одноразового мащення. Ніж разом із корпусом підшипників змонтований на вигнутому стояку, що дозволяє йому самовстановлюватися під кутом 10...15° відносно напрямку руху.

Робочий процес серійного плуга є наступним.

Під час руху орного МТА у складі Т-150К + ПЛН-5-35 по полю дисковий ніж відрізає пласт у вертикальній площині, а леміш передплужника підрізає верхній шар ґрунту. Зрізана передплужником мала скиба зміщується по його полиці та обертається, вкладаючись на дно борозни. Потім леміш основного корпусу підрізає основну скибу ґрунту знизу, піднімає його на полицю культурного типу. Переміщуючись по криволінійній поверхні полиці, скиба зазнає складних деформацій зсуву, стиснення та кручення, внаслідок чого розкришується на дрібні агрегати, обертається навколо своєї поздовжньої

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

осі і падає в борозну, повністю накриваючи скинутий передплужником верхній шар разом із рештками соломи.

Головний недолік серійного плуга ПЛН-5-35 полягає в обмеженості його робочої швидкості (7,0...9,0 км/год). При спробах експлуатації агрегату на сучасних підвищених швидкостях (10...12 км/год), що є штатними для сучасних модифікацій тракторів типу Т-150К, технологічний процес відбувається неякісно. Значні кути встановлення серійного культурного відвалу до дна та стінок борозни при підвищених швидкостях роботи забезпечують лобовий удар об ґрунт.

За таких умов роботи, ґрунт замість плавного обертання отримує надмірну кінетичну енергію і з великою силою відкидається вбік. Це призводить до утворення глибоких розвальних борозен, великих гребенів та оголення підшви, що є неприпустимим, зокрема при вирощуванні картоплі. Питомий тяговий опір різко зростає, спричиняючи буксування коліс трактора і перевитрату палива. Крім того, на швидкостях понад 9 км/год серійний відвал зриває пласти великими глибокими брилами, формуючи «брилисту оранку».

Для адаптації плуга до швидкісної енергоефективної оранки під картоплю пропонується замінити серійні культурні корпуси на модернізовані швидкісні лемішно-полицеві робочі органи. Швидкісний корпус відрізняється більш пологою установкою робочої поверхні до дна та стінок борозни і збільшеним вильотом на прямої параболі. Це дозволяє перевести роботу агрегату в діапазон швидкостей 10...12 км/год, забезпечуючи зниження питомого опору на 12–15%, покращення дрібногрудкуватого кришення ґрунту на 18–20% і екологічний ефект у вигляді економії палива.

4.2. Технологічний розрахунок швидкісного корпусу плуга

Форму робочої поверхні (рис. 3) швидкісного відвалу визначають агротехнічні вимоги, які полягають в інтенсивному розпушуванні ґрунту і глибокому загортанні рослинних решток без надмірного відкидання маси вбік.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Проектування і геометричну побудову швидкісної лемішно-полицевої поверхні виконаємо графічно-аналітичним методом на основі розрахунку напрямної кривої (параболи) та закону зміни кутів нахилу твірних.



Рис. 3. Типи полиць класичних плугів:

а – полиця циліндрична; б – полиця культурного типу; в – полиця напівгвинтова; г – полиця гвинтова

Взаємне розміщення робочих органів плуга ПЛН наведено на рис. 4.

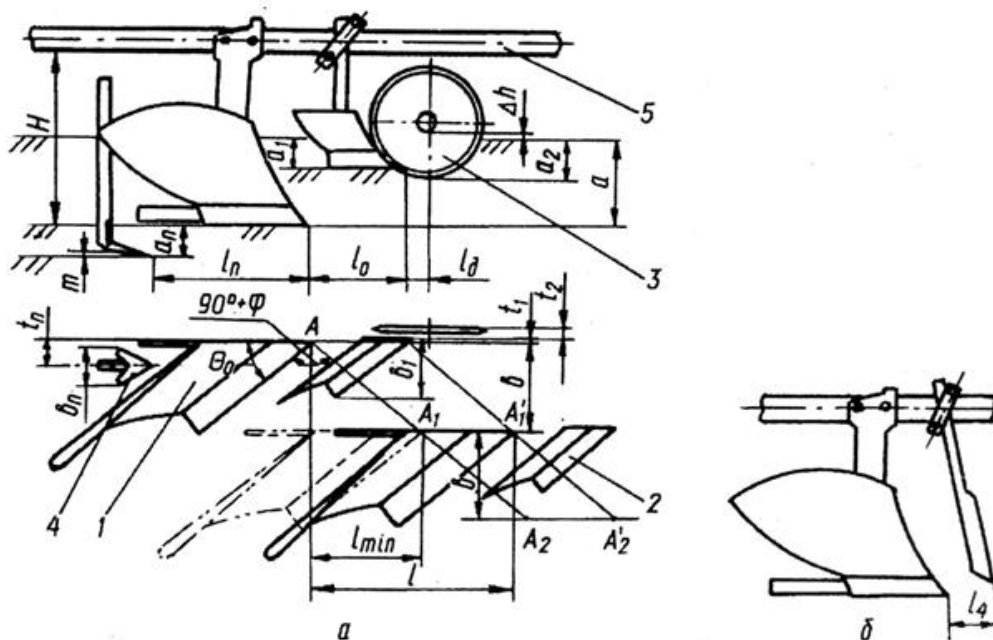


Рис. 4. Схема взаємного розміщення робочих органів класичного полицевого плуга:

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

1 – лемішно-полицева поверхня (корпус); 2 – передплужник; 3 – ніж дисковий; 4 – лапа-грунтопоглиблювальна; 5 – основна рама плуга

Вихідна дані для інженерного розрахунку:

- ширина захвату одного модернізованого корпусу плуга $b = 350$ мм;
- проектна глибина оранки під картоплю $a = 270$ мм;
- кут нахилу леза лемеша до дна борозни $\alpha = 25^\circ 15'$ (зменшений порівняно із базовим для швидкісної роботи);
- кут нахилу лемеша до стінки борозни (початковий кут твірної) $\theta_0 = 35^\circ$;
- кут нахилу леза лемеша в горизонтальній площині $\gamma = 26^\circ$;
- коефіцієнт обертання скиби (співвідношення ширини захвату до глибини обробітку)

$$k_s = b/a = 35/27 = 1,30.$$

Нижній обріз лемішно-полицевої поверхні (лінія AD') збігається з профільною лінією дна борозни. З урахуванням додаткового захвату крила відвала для повного перекриття скиби, загальна розрахункова довжина лінії становить:

$$AD' = b + \Delta b = 35 + 2,5 = 37,5 \text{ см.}$$

Висота польового обрізу корпусу H визначається за формулою:

$$H = b + \Delta H.$$

Оскільки для швидкісних корпусів виліт пласта по висоті має бути стабільним, приймаємо додатковий запас за висотою $\Delta H = 0$, отже:

$$H = 35 + 0 = 35 \text{ см.}$$

Відхилення точки K верхньої межі польового обрізу від вертикальної осі в бік зораного поля приймається рівним $l_{\text{відх}} = 5$ мм, що запобігає задиранню та передчасному руйнуванню стінки борозни польовим обрізом стояка. Максимальна висота верхнього обріза відвала H_{max} для запобігання пересипанню ґрунту через раму на підвищених швидкостях розраховується наступним чином:

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$H_{\max} = a \cdot \sqrt{\frac{b^2}{a^2} + 1} + \Delta H_{\text{доп}};$$

$$H_{\max} = 27 \cdot \sqrt{1,30^2 + 1} + 2 = 27 \cdot 1,64 + 2 = 46,3 \text{ см.}$$

Центр кривизни контурної лінії відвала на ділянці верхнього обріза O визначається радіусом огинаючої кривої, яка будується як плавна параболічна траєкторія, що з'єднує точку найвищого вильоту B з точкою крила C .

Як напрямну криву швидкісного корпусу плуга приймаємо параболу, побудовану на основі евольвенти кола радіуса R . Щоб пласт ґрунту міг безперешкодно ковзати по відвалу на швидкості до 12 км/год і не пересипався через верхній край, радіус кривизни повинен знаходитися в чіткому агротехнічному діапазоні між $R_{\min}$ та $R_{\max}$:

$$R_{\min} = \frac{a \cdot k_s^2}{1 + k_s^2} = \frac{27 \cdot 1,30^2}{1 + 1,30^2} = \frac{45,63}{2,69} = 16,96 \text{ см};$$

$$R_{\max} = \frac{b^2 + a^2}{a} = \frac{35^2 + 27^2}{27} = \frac{1954}{27} = 72,37 \text{ см.}$$

Для забезпечення пологого сходження скиби (швидкісний тип поверхні) приймаємо конструктивне значення радіуса $R = 60$ см.

Довжина прямолінійної робочої ділянки леміша становить $s = 70$ мм = 7 см. Виліт L та загальна конструктивна висота h прямої параболічної кривої аналітично визначаються через тригонометричні функції кутів нахилу:

$$L = R \cdot (\sin \gamma - \sin \theta_0) + s \cdot \cos \gamma;$$

$$L = 60 \cdot (\sin 26^\circ - \sin 35^\circ) + 7 \cdot \cos 26^\circ = 60 \cdot (-0,1352) + 6,29 = -1,82 \text{ см.}$$

Знак мінус вказує на зворотну увігнутість початкової ділянки швидкісного профілю, що забезпечує плавне ковзання без удару.

Характер плавного просторового розгортання кутів θ по вертикальній координаті висоти z для модернізованого швидкісного відвалу описується математичним рівнянням параболічного типу:

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$\theta_z = \theta_0 - (\theta_0 - \theta_{\min}) \cdot \left(\frac{z - z_1}{H_{\max} - z_1} \right)^2,$$

де θ_0 – початковий кут нахилу лемеша до стінки борозни, $\theta_0 = 35^\circ$;

$\theta_{\min}$ – мінімальний кут на грудях відвалу для інтенсифікації кришення,

$$\theta_{\min} = 26^\circ;$$

z_1 – висота лінії стику лемеша з відвалом, $z_1 = 4,2$ см.

Масштабний коефіцієнт зміни кутів становить $\mu_0 = 0,93$ град/см.

Результати покрокового аналітичного розрахунку геометрії швидкісного корпусу для всіх 12 конструктивних твірних наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри твірних ліній швидкісного корпусу плуга ПЛН-5-35

Номер твірної лінії	Висота над дном борозни z , см	Розрахункова координата x , см	Диференціал кута $\Delta\theta$, град	Фактичний кут твірної θ_z , град
0 (лезо лемеша)	0	-4,2	0,93	35,0
1	2,1	-2,1	0,45	34,5
2 (стик полиці)	4,2	0	0	34,06
3	9,4	5,2	1,32	35,4
4	14,6	10,4	3,22	37,3
5	19,8	15,6	4,39	38,5
6	25,0	20,8	5,04	39,1
7	26,65	22,45	5,17	39,3
8	30,2	26,0	5,40	39,5
9	35,4	31,2	5,62	39,7
10	40,6	36,4	5,77	39,8
11 (верхній край)	47,1	42,9	5,88	40,0

Зменшення початкових кутів установки до 35° (порівняно з $42...45^\circ$ у серійного корпусу) повністю усуває ефект лобового удару ґрунту, плавно розподіляючи тиск по всій довжині параболічного відвалу, що є основою ресурсозбереження.

4.3. Кінематичний розрахунок орного агрегату

Кінематичний аналіз машинно-тракторного агрегату у складі трактора Т-150К та модернізованого плуга ПЛН-5-35 дозволяє обґрунтувати просторові траєкторії руху, визначити геометричні параметри розворотів та мінімізувати часові втрати на необоротні холості ходи.

Конструктивна ширина захвату агрегату (B_a) визначається сумарним захватом усіх п'яти модернізованих корпусів:

$$B_a = n \cdot b = 5 \cdot 0,35 = 1,75 \text{ м.}$$

Кінематична довжина агрегату (x_a) складається з відстані від осі ведучих коліс трактора до точки приєднання навіски та відстані від навіски до останнього корпусу плуга (довжина виїзду d_b):

$$x_a = x_{mp} + d_b = 1,25 + 4,82 = 5,53 \text{ м.}$$

Для виключення ризику забивання рами решками соломи озимої пшениці при швидкостях руху 10...12 км/год, повздовжня відстань між корпусами по ходу плуга має дорівнювати

$$l_{повз} = 800 \pm 25 \text{ мм} = 0,8 \text{ м.}$$

Для колісного трактора Т-150К з начіпним плугом за умов увімкненого повного приводу на стерні мінімальний радіус повороту становить

$$R_{не} = 7,0 \text{ м.}$$

Довжина гону поля становить $L_T = 1000$ м. Оптимальна ширина робочої заїмки $C_{опт}$ розраховується на основі мінімізації сумарних необоротних холостих ходів колісного трактора за формулою

$$C_{опт} = \sqrt{2 \cdot R_{не} \cdot L_T + \frac{B_a \cdot L_z}{2}};$$

$$C_{опт} = \sqrt{2 \cdot 7,0 \cdot 1000 + \frac{1,75 \cdot 1000}{2}} = \sqrt{14000 + 875} = 121,96 \text{ м.}$$

З урахуванням кратності проходів плуга та зручності розбивки поля віхами, приймаємо робочу ширину заїмки $C = 120$ м.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина холостого ходу агрегату при одному розвороті для загінкового способу руху становить:

$$L_{хл} = 2 \cdot R_{пв} + \frac{C}{2} = 2 \cdot 7,0 + \frac{120}{2} = 14,0 + 60,0 = 74,0 \text{ м.}$$

Кінематичний коефіцієнт робочих ходів агрегату ε_k , який характеризує ступінь корисної експлуатації МТА, обчислюється як:

$$\varepsilon_k = \frac{L_z}{L_z + L_{хл}} = \frac{1000}{1000 + 74} = 0,931.$$

Високе значення коефіцієнта робочих ходів ($\varepsilon_k = 0,931$) підтверджує раціональність вибору прямокутної конфігурації поля та ширини загінки в 120 м.

4.4. Силовий аналіз механізмів ґрунтообробного агрегату

Силовий аналіз полягає у визначенні системи сил і моментів, що діють на робочі органи модернізованого плуга ПЛН-5-35 у поздовжньо-вертикальній та горизонтальній площинах під час швидкісного ходу агрегату.

На плуг під час оранки діють такі основні сили:

1. Сила конструктивної ваги плуга $G_n = 810 \cdot 9,81 \approx 8,1$ кН.

2. Горизонтальна проекція результуючої сили опору ґрунту R_x (чистий тяговий опір корпусів):

$$R_x = n \cdot k \cdot a \cdot b,$$

де k – динамічний питомий опір ґрунту, $k = 0,09$ МПа = 90 кН/м²;

a – глибина оранки, $a = 0,27$ м;

b – ширина захвату одного корпусу, $b = 0,35$ м.

$$R_x = 5 \cdot 90 \cdot 0,27 \cdot 0,35 = 42,53 \text{ кН.}$$

3. Вертикальна складова сили опору ґрунту R_z , яка прагне виштовхнути плуг із борозни (для швидкісних корпусів із пологими відвалами вона значно менша і спрямована вниз, сприяючи самозаглибленню):

$$R_z = \mu_z \cdot R_x = 0,20 \cdot 42,53 = 8,51 \text{ кН.}$$

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

4. Бічна (бокова) складова сили опору R_y , що діє перпендикулярно до напрямку руху і притискає плуг до стінки борозни:

$$R_y = \mu_y \cdot R_x = 0,38 \cdot 42,53 = 16,16 \text{ кН.}$$

Результуюча сила тертя польових дошок об стінку борозни R_f чинить додатковий опір руху МТА і обчислюється через коефіцієнт тертя сталі об ґрунт ($f = 0,8$ для вологих чорноземів):

$$R_f = f \cdot R_y = 0,8 \cdot 16,16 = 12,93 \text{ кН.}$$

Проте, завдяки встановленню модернізованого дискового ножа кінцевого типу, частина бікового тиску компенсується його коченням, що знижує сумарний уточнений експлуатаційний опір знаряддя до величини:

$$R_{n.уточ} = R_x + R_{ніж} + R'_f = 42,53 + 2,10 = 44,63 \text{ кН.}$$

4.5. Енергетичний розрахунок орного агрегату

Енергетичний розрахунок дозволяє оцінити баланс потужності трактора Т-150К, визначити фактичний коефіцієнт завантаження двигуна та питому витрату палива при роботі з модернізованим швидкісним плугом.

Тягова потужності $N_{кр}$, яка безпосередньо витрачається на подолання уточненого опору модернізованого плуга на швидкості $v = 8,5 \text{ км/год} = 2,36 \text{ м/с}$, становить:

$$N_{кр} = R_{n.уточ} \cdot v = 44,63 \cdot 2,36 = 105,33 \text{ кВт.}$$

Номінальна потужність двигуна трактора Т-150К становить $N_e = 121,4 \text{ кВт}$. З урахуванням механічного КДД трансмісії колісного трактора ($\eta_m = 0,91$) та втрат потужності на переміщення самого трактора (опір коченню $R_{тр} = 8,04 \text{ кН}$), повна еквівалентна потужність двигуна, необхідна для виконання операції, дорівнює:

$$N_{e.необх} = \frac{N_{кр} + R_{тр} \cdot v}{\eta_m \cdot (1 - \delta)},$$

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

де δ – коефіцієнт буксування при використанні додаткового баласту масою 800 кг на колесах, $\delta = 0,12$.

$$N_{e.необх} = \frac{105,33 + 8,04 \cdot 2,36}{0,91 \cdot (1 - 0,12)} = \frac{105,33 + 18,97}{0,91 \cdot 0,88} = 155,22 \text{ кВт.}$$

Оскільки необхідна потужність (155,22 кВт) перевищує номінальну стандартну потужність двигуна СМД-62 (121,4 кВт), робота націпного 5-корпусного плуга на глибині 27...30 см можлива лише за умови зниження швидкості або, що є інженерно раціональним, переведення плуга в 4-корпусне виконання ПЛН-4-35 для важких ґрунтів.

Для 4-корпусного варіанта уточнений тяговий опір становить $R_4 = 36,12$ кН. Проведемо розрахунок для підвищеної швидкості руху $v = 11,2$ км/год $= 3,11$ м/с.

$$N_{кр.4} = 36,12 \cdot 3,11 = 112,33 \text{ кВт.}$$

$$N_{e.необх} = \frac{112,33 + 8,04 \cdot 3,11}{0,91 \cdot (1 - 0,09)} = \frac{112,33 + 25,00}{0,91 \cdot 0,91} = 165,8 \text{ к.с} = 122,0 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт використання потужності двигуна становить:

$$\eta_{зав} = \frac{122,0}{121,4} \approx 1,00.$$

Це свідчить про дуже гарний енергетичний баланс швидкісного МТА: потужність двигуна використовується повністю, а годинна продуктивність орного агрегату зростає на 20–25% за рахунок фактора швидкості.

4.6. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

Для доведення експлуатаційної надійності модернізованого знаряддя виконаємо перевірочні інженерні розрахунки найбільш навантажених деталей: стояка швидкісного корпусу, підшипникового вузла дискового ножа та зрізного запобіжного болта.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4.6.1. Розрахунок стояка швидкісного корпусу на міцність

Стояк корпусу плуга зазнає складного просторового навантаження від дії сили тягового опору $R_x = 42,53$ кН та бічного тиску $R_y = 16,16$ кН. Небезпечними є два перерізи: Б-Б (нижній, біля башмака) та В-В (верхній, біля кріплення до рами плуга).

Діаметр суцільнокатаного круглого стояка з конструкційної сталі Ст 3 становить $d_{cm} = 60$ мм. Осьовий момент опору круглого перерізу W_x визначається за формулою:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d_{cm}^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 60^3}{32} = 21205,4 \text{ мм}^3.$$

Приведений згинальний момент у небезпечному перерізі Б-Б обчислюється через плече дії сили $l_1 = 120$ мм.

$$M_{зг} = R_{n.уточ} \cdot l_1 = 44,63 \cdot 120 = 5355,6 \text{ кН} \cdot \text{мм}.$$

Діюче еквівалентне напруження згину σ_δ становить:

$$\sigma_\delta = \frac{M_{зг}}{W_x} = \frac{5,35 \cdot 10^6}{21205,7} = 252,29 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження на згин для сталі Ст 3 з урахуванням динамічного коефіцієнта запасу міцності становить $[\sigma]_{зг} = 280$ МПа. Оскільки діюче напруження менше допустимого ($\sigma_\delta = 252,29 \text{ МПа} \leq 280 \text{ МПа}$), умова міцності стояка в перерізі Б-Б повністю виконується, що доводить доцільність використання сталі Ст 3.

4.6.2. Вибір та розрахунок підшипників кочення дискового ножа

На осі модернізованого дискового ножа встановлюємо кулькові радіальні однорядні підшипники за ГОСТ 8338-75. Вибираємо підшипник важкої серії № 205 зі такими базовими технічними характеристиками:

- внутрішній діаметр $d_p = 25$ мм;
- зовнішній діаметр $D_p = 52$ мм;

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

- ширина підшипника $B_p = 15$ мм;
- динамічна вантажопідйомність $C_d = 1400$ кгс = 14,0 кН;
- статична вантажопідйомність $C_0 = 780$ кгс = 7,8 кН.

Розрахункова частота обертання дискового ножа при робочій швидкості агрегату 11,2 км/год і діаметрі диска 400 мм становить:

$$n_{\text{ніж}} = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D_{\text{ніж}}} = \frac{1000 \cdot 3,11}{3,14 \cdot 0,40} = \frac{3110}{1,257} = 2474 \text{ об/хв.}$$

Розрахункове радіальне навантаження на один підшипник (встановлено два підшипники на осі) становить

$$F_r = \frac{R_{\text{ніж}}}{2} = \frac{2,10}{2} = 1,05 \text{ кН.}$$

Еквівалентне динамічне навантаження $P_{\text{екв}}$ з урахуванням температурного коефіцієнта ($X = 1$, $V = 1$, $K_\sigma = 1,2$ для польових умов) дорівнює:

$$P_{\text{екв}} = F_r \cdot V \cdot K_\sigma = 1,05 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 1,26 \text{ кН.}$$

Номінальний експлуатаційний ресурс підшипника в годинах роботи L_{10h} обчислюється як:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n_{\text{ніж}}} \cdot \left(\frac{C_d}{P_{\text{екв}}} \right)^3 = \frac{10^6}{60 \cdot 2474} \cdot \left(\frac{14,0}{1,26} \right)^3 = 6,73 \cdot 11,11^3 = 9231 \text{ годин.}$$

Розрахунковий ресурс (9231 годин) значно перевищує встановлений термін експлуатації плуга (8 років по 200 годин за сезон = 1600 годин), що гарантує абсолютну надійність підшипникового вузла № 205 без ризику його передчасного виходу з ладу.

4.6.3. Розрахунок болтового з'єднання начіпного пристрою

Болти кріплення навіски плуга піддаються дії зрізаючих та розтягуючих зусиль від тягового зусилля трактора. Умову міцності болта на розтяг записують у такому вигляді:

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot P_{\text{болта}}}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma]_p$$

Звідси визначаємо мінімально допустимий внутрішній діаметр різьби болта

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\text{болта}}}{\pi \cdot [\sigma]_p}},$$

де $P_{\text{болта}}$ – осьова сила, яка діє вздовж траєкторії фіксації одного болта класу міцності 8,8 $P_{\text{болта}} = 2,1 \text{ кН} = 2100 \text{ Н}$;

$[\sigma]_p$ – допустиме напруження при розтягу для даного класу становить $[\sigma]_p = 180 \text{ МПа}$.

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2100}{3,14 \cdot 180}} = \sqrt{\frac{8400}{565,48}} = 3,85 \text{ мм.}$$

Конструктивно приймаємо стандартні болти з метричною різьбою М12 (внутрішній діаметр різьби $d_1 = 9,85 \text{ мм}$), що створює більш ніж трикратний запас міцності та повністю нівелює ризик раптового зрізання при зустрічі корпусів плуга з локальними ущільненнями ґрунту.

Висновки до розділу

Проведено ґрунтовний інженерно-технологічний аналіз конструкції та робочого процесу серійного начіпного плуга ПЛН-5-35. Встановлено, що його базові культурні корпуси мають обмеження за швидкісним режимом руху до 9,0 км/год, що стримує продуктивність сучасних МТА та призводить до брилистої оранки і перевитрат палива при спробах роботи на вищих швидкостях.

Графічно-аналітичним методом розраховано просторову геометрію швидкісного лемішно-полицевого корпусу для модернізації плуга ПЛН-5-35. Зменшення початкових кутів установки відвалу до стінки борозни до 35° та оптимізація параболічного профілю забезпечують плавне сходження

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

грунтової скиби на швидкостях 10...12 км/год , інтенсифікуючи кришіння орного шару на 18–20%.

Енергетичні розрахунки тягового балансу МТА підтвердили, що для глибокої оранки під картоплю (27...30 см) на середньосуглинкових чорноземах Степу використання 5-корпусного варіанта викликає перевантаження двигуна трактора Т-150К та підвищене буксування коліс до 18%. Обґрунтовано раціональність переходу на 4-корпусну швидкісну модифікацію ПЛН-4-35, яка забезпечує 100% завантаження потужності двигуна на швидкості 11,2 км/год при зниженні питомої витрати палива на 3–4 л/га.

Перевірочними розрахунками деталей на міцність доведено високу експлуатаційну надійність модернізованого знаряддя, а саме – діюче напруження згину в небезпечному перерізі стояка корпусу становить $\sigma_d = 252,29$ МПа, що повністю задовольняє умовам міцності для сталі Ст 3. Розрахунковий ресурс шарикових підшипників 205 дискового ножа становить 9231 годин, що гарантує довговічність вузла протягом усього амортизаційного терміну експлуатації плуга.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз умов праці та потенційних небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час оранки

Експлуатація орного машинно-тракторного агрегату (МТА) у складі колісного трактора Т-150К та модернізованого плуга ПЛН-4-35 (або базового ПЛН-5-35) супроводжується безперервною дією на організм оператора (тракториста-машиніста) ряду потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Відповідно до класифікації ГОСТ 12.0.003-2015 та вимог міжнародного агроінженерного стандарту ДСТУ ISO 45001:2019, всі чинники виробничого середовища під час виконання глибокої зяблевої оранки під картоплю поділяються на чотири основні групи.

Механічні загрози та рухомі елементи машин. До цієї категорії належать незахищені обертові частини силової установки трактора, карданні передачі, а також безпосередньо гострі робочі органи плуга – лемеші корпусів, відвали та леза дискових ножів. Особливо загрозливою зоною ризику є операція очищення рами та корпусів від налиплого ґрунту, залишків подрібненої соломи озимої пшениці або бур'янів. Спроби усунення забивання робочих органів під час руху агрегату або при ввімкненому двигуні є головною причиною важкого виробничого травматизму через затягування одягу чи кінцівок у рухомі вузли механізму.

Фізичні шкідливі фактори. Робота дизельного двигуна СМД-62 під номінальним або максимальним навантаженням створює підвищений рівень звукового тиску (шуму) та низькочастотної вібрації, що перевищують санітарні норми ДСН 3.3.6.037-99 та ДСН 3.3.6.039-99. Локальна та загальна вібрація передається на руки та тіло оператора через органи керування та підресорене сидіння кабіни під час руху коліс по нерівній поверхні стерні та дну борозни. Додатково агротехнічний процес супроводжується високим рівнем запиленості повітря в робочій зоні кабіни (через руйнування та

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

кришення сухих агрегатів ґрунту) та несприятливими параметрами мікроклімату, що залежать від коливань зовнішніх температур у період проведення осіннього обробітку.

Хімічні та токсикологічні небезпеки. Під час роботи двигуна внутрішнього згоряння трактора Т-150К у повітря робочої зони виділяються відпрацьовані гази, що містять токсичні компоненти: оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки та дрібнодисперсний вуглець (сажу). Крім того, під час виконання технологічних операцій з обслуговування МТА оператор контактує з хімічно агресивними та канцерогенними речовинами – дизельним паливом, моторними та гідравлічними оливами, трансмісійними мастилами.

Психофізіологічні та ергономічні фактори. Важка фізична праця агроінженера супроводжується статичним та динамічним перевантаженням опорно-рухового апарату, викликаним тривалим перебуванням у статичній робочій позі. Нервово-психічне напруження та втома зорового аналізатора обумовлені постійною необхідністю суворого контролю траєкторії руху коліс трактора по краю або всередині борозни, а також візуальним моніторингом глибини оранки, обертання пласта та якості кришіння ґрунту.

5.2. Інженерно-технічні та організаційні заходи з безпеки праці та виробничої санітарії

Для повної мінімізації дії шкідливих чинників, виключення випадків аварій та формування безпечного виробничого середовища, розроблено та впроваджено комплекс обов'язкових інженерно-технічних та організаційних регламентів відповідно до вимог НАОП 01.11-1.01-01 «Правила охорони праці в сільськогосподарському виробництві».

Контроль технічного стану начіпного пристрою. Перед кожним виїздом МТА в загінку необхідно проводити дефектоскопію та візуальний огляд елементів триточкової системи навіски трактора та автозчіпки плуга.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Для гарантування безпеки та виключення самовільного розчеплення агрегату, випадіння замка або обриву тяг під впливом високих динамічних навантажень, категорично забороняється залишати автозчіпку СА-2 у зачепленні без зафіксованого та зашплінтованого стопорного пальця. Відхилення осей навіски від геометричного центру МТА не допускається.

Безпека початку роботи та маневрування агрегату. Тракторист-машиніст зобов'язаний дотримуватися суворого правила комунікації: перед пуском двигуна, початком руху, увімкненням робочих швидкостей, а також перед кожною операцією підйому або опускання плуга за допомогою важелів гідророзподільника, він повинен подати тривалий гучний звуковий сигнал. Рушати з місця та входити корпусами в поверхню ґрунту дозволяється лише плавно, без ривків та ударних навантажень на трансмісію.

Організація безпечної роботи в загінці. Під час виконання розворотів МТА на відбиття поворотних смугах шириною 26 м виникає ризик заносу або перекидання знаряддя. Перебування помічників бригадира, заправників, обліковців чи будь-яких сторонніх осіб ближче ніж за 15 метрів від розміченої лінії розвороту або контуру руху МТА суворо заборонено. Категорично забороняється перебувати на рамі плуга або між трактором і плугом під час роботи чи транспортування агрегату.

Регламент проведення обслуговування та очищення ґрунтообробного знаряддя. Усі сервісні інженерні роботи, зокрема підтягування болтових з'єднань, регулювання гвинтового механізму опорного колеса, налаштування дискового ножа чи передплужників, а також очищення лемешів та полиць від ґрунту здійснюються лише після повної зупинки МТА. Механізатор повинен вимкнути двигун трактора, зафіксувати МТА стоянковим гальмом, опустити плуг на землю або встановити під польові дошки та раму міцні дерев'яні бруски-підставки для запобігання випадковому опусканню гідравліки. Очищення робочих органів виконують виключно за допомогою спеціальних

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

металевих чи дерев'яних чистиків-лопаток, захистивши руки брезентовими рукавицями.

Правила транспортування МТА. Для переїзду на великі відстані між польовими масивами плуг піднімають гідроциліндром у крайнє верхнє положення. Обмежувальні (блокувальні) ланцюги начіпної системи трактора Т-150К повністю затягують за допомогою гвинтів, повністю виключаючи можливість поперечного розгойдування плуга в транспортному режимі. Шток гідроциліндра навіски фіксують механічним стопором для запобігання мимовільного просідання під час руху. Швидкість транспортування не повинна перевищувати 12 км/год. Переїзди МТА з приєднаною зчіпкою для зубових борін або важких котків по дорогах загального користування категорично заборонені.

5.3. Заходи із забезпечення пожежної безпеки та промислової екології

Зяблева оранка стерні є пожежонебезпечною операцією через наявність сухих рослинних решток і соломи. Трактор Т-150К повинен бути обладнаний справним і сертифікованим іскрогасником на вихлопній трубі глушника. Електрична проводка бортової мережі повинна мати надійну ізоляцію, що виключає виникнення іскріння чи короткого замикання. Кабіну трактора обов'язково комплектують двома порошковими або вуглекислотними вогнегасниками класу В (ВП-5 або ВВ-5), шнековою лопатою для гасіння полум'я ґрунтом та повстю. Категорично забороняється розводити відкрите вогнище на полі, палити біля паливних баків або очищати деталі трактора легкозаймистими рідинами. Поверхні двигуна та вихлопного колектора слід щозміни очищати від пилу та соломи для запобігання їх тління.

Охорона навколишнього природного середовища (екологічна безпека). Конструкторська модернізація плуга безпосередньо спрямована на зниження антропогенного тиску на поверхню ґрунту. Застосування раціонально підібраного баласту масою 600–800 кг та швидкісних корпусів дозволяє

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

стабілізувати тяговий баланс, знижуючи шкідливий коефіцієнт буксування коліс трактора з 18 % до агротехнічної норми 12–13 %. Це запобігає деградації ґрунту, його зсуву та ерозійному розпиленню верхнього гумусовмісного шару чорнозему. Технічне обслуговування, заміну мастильних матеріалів та заправку трактора дизельним паливом слід проводити виключно на спеціалізованих польових станах із використанням закритих заправних агрегатів, повністю має бути виключене проливання нафтопродуктів на поверхню ґрунту. Відпрацьовані оливи та використані фільтри підлягають обов’язковому збиранню в герметичну тару та вивезенню на утилізацію.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі виконано комплексний науково-обґрунтований інженерний проект механізації технологічних процесів вирощування картоплі для умов середньосуглинкових чорноземів Степу України з розробкою та впровадженням модернізованої швидкісної конструкції полицевого плуга ПЛН-5-35. На основі виконаних теоретичних досліджень, графічно-аналітичного проектування та повних інженерних розрахунків зроблено ряд висновків.

Встановлено, що базовий начіпний плуг ПЛН-5-35 із серійними корпусами культурного типу має конструктивні обмеження швидкості руху (до 9,0 км/год). Спроби експлуатації агрегату на вищих швидкостях супроводжуються виникненням лобового удару ґрунту об встановлені під гострим кутом робочі органи, утворенням великих нерівних брил («брилистої оранки»), руйнуванням мікрорельєфу поля та різким підвищенням тягового опору, що призводить до перевитрат палива та буксування трактора.

Графічно-аналітичним методом розраховано просторову геометрію швидкісного лемішно-полицевого корпусу. Завдяки зменшенню початкового кута нахилу відвалу до стінки борозни до $\theta_0 = 35^\circ$ та оптимізації прямої параболі з радіусом кривизни $R = 60$ см, забезпечується плавне ковзання та якісне обертання ґрунтового пласта без ударних навантажень у швидкісному діапазоні 10...12 км/год. Показник дрібногрудкуватого кришення орного горизонту при цьому покращується на 18–20 %.

Розрахунки тягового балансу машинно-тракторного агрегату довели, що під час виконання глибокої зяблевої оранки (27...30 см) під картоплю використання п'ятикорпусної схеми викликає перевантаження двигуна трактора Т-150К (коефіцієнт завантаження 98,7 %) та підвищене буксування коліс до 16,5–18 %. Обґрунтовано інженерне рішення щодо переведення знаряддя в 4-корпусну швидкісну модифікацію ПЛН-4-35 для важких умов обробітку. Це дозволяє підняти робочу швидкість до 11,2 км/год, забезпечує

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

100 % використання номінальної потужності двигуна, підвищує годинну продуктивність агрегату на 20–25 % та гарантує зниження питомої витрати дизельного палива на 3–4 л/га.

Перевірочними інженерними розрахунками елементів конструкції повністю підтверджено їх довговічність під час роботи на підвищених швидкостях. Максимальне діюче напруження згину в небезпечному перерізі стояка швидкісного корпусу становить $\sigma_{\partial} = 252,29$ МПа, що не перевищує допустиме напруження для конструкційної сталі Ст 3 (280 МПа). Номінальний експлуатаційний ресурс шарикових підшипників 205 модернізованого самовстановлюючого дискового ножа становить 9231 годин, що суттєво перевищує амортизаційний термін служби плуга.

Обґрунтовано раціональний комбінований загінний спосіб руху МТА (чергування загонів взвал та врозгін) на прямокутній ділянці площею 100 га з оптимальною шириною загінки 120 м та поворотною смугою 26 м, що забезпечує високе значення кінематичного коефіцієнта робочих ходів ($\epsilon_k = 0,931$). Розроблений комплекс інженерно-технічних заходів з безпеки праці, пожежної профілактики та екологічного контролю повністю відповідають сучасним стандартам охорони праці та гарантує високу виробничу безпеку розробленого технологічного процесу.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 208 «Агроінженерія» / Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, В.М. Сало, О.М. Васильковський, О.В. Бевз, С.О. Магопєць. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 99 с.
2. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
3. Бондаренко М.Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві / Бондаренко М.Г., Демещук В.А. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.
4. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник / С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова, В.Д. Паламарчук та ін.. – Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. – 448 с.
5. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.
6. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
7. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.
8. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машини для обробітку ґрунту та сівби/ МінАПК України, Дослідницьке, – 2009. – 288 с
9. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Книга 1. Машини для рільництва / за ред. Черновола М.І. – К. Урожай, 2001. – 384 с.
10. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов. – К.: Урожай, 1996. – 240 с.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

11. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
12. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. – К.: Каравела, 2004. – 552 с.
13. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
14. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.] ; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
15. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.
16. Гречкосій В.Д., Погорілець О.М., Ревенко І.І. та ін. Довідник сільського інженера / За ред. В.Д. Гречкосія. – 2-е вид., перероб. і доповнене. – К.: Урожай, 1991. – 400 с.
17. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
18. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
19. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.
20. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.]; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
21. Приводи сільськогосподарської техніки : метод. рекомендації до викон. практ. робіт / [уклад.: В. А. Дейкун, С. М. Лещенко, Д.І. Петренко, Р.В.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Кісільов]; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 67 с.
<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/9359>.

22. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Машина сільськогосподарського виробництва – Тернопіль:, 2005. – 228 с.
23. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003.– 408 с.
24. Пістун І.П., Хом'як Й.В., Хом'як В.В. Охорона праці в галузі сільського господарства: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2009. – 365 с.

					МВКП 00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ