

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 сої з вдосконаленням конструкції
додаткових робочих органів чизельного плуга»

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

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Корнієнко Сергій Олександрович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Тимофій РУДЕНКО

« ____ » _____ 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**

Корнієнку Сергію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування сої з вдосконаленням
конструкції додаткових робочих органів чизельного 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 18.06.2026 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	21.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	20.05.2026 р.	
3	Виконання розділів 4, 5		
	Графічна частина арк. 3	02.06.2026 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту.	18.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
«03» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Механізація вирощування сої з вдосконаленням конструкції додаткових робочих органів чизельного плуга соя, чизельний плуг, параболічні крила, суцільне розпушування, тяговий опір, продуктивність агрегату, ресурсозбереження

Кваліфікаційну роботу присвячено підвищенню ефективності основного обробітку ґрунту при вирощуванні сої шляхом удосконалення робочих органів чизельного плуга ПЧ-4,5 в агрегаті з трактором Т-150К. Обґрунтовано біологічну потребу кореневої системи сої у глибокому, однорідному підорному горизонті. Для усунення недоліків серійного знаряддя, що призводять до утворення необроблених гребенів на дні, розроблено та встановлено на стійки розпушувача бічні крила адаптивної параболічної форми. Це конструктивне рішення розширило зону деформації лапи до 0,50 м, забезпечивши суцільне руйнування плужної підшви на глибині 32 см.

Зниження питомого опору вдосконалених лап дозволило перевести машинно-тракторний агрегат на підвищену III робочу передачу за раціонального коефіцієнта завантаження зусилля трактора 95%. На основі кінематичного аналізу гонового способу руху визначено оптимальні параметри загінки на довжині 1200 м, що дозволило досягти високого коефіцієнта робочого ходу – 0,963. Впровадження модернізації забезпечило зростання змінної продуктивності МТА на 18,5% (до 27,13 га/зміну) та зниження питомої витрати дизельного палива до 16,8 кг/га.

Інженерними розрахунками на міцність підтверджено експлуатаційну надійність знаряддя під навантаженням, діюче напруження згину в стояку 139,77 МПа не перевищує допустиме 220 МПа, забезпечуючи запас міцності 1,57. У роботі також розроблено комплекс заходів з охорони праці та техніки безпеки під час виконання механізованих польових робіт відповідно до вимог ДСТУ.

Abstract

**Topic: «Mechanization of Soybean Cultivation with Design Improvement of Subsoiler Supplementary Working Organs»
soybean, subsoiler, parabolic wings, continuous loosening, draft resistance, machine unit productivity, resource saving**

The qualification paper is devoted to increasing the efficiency of the primary tillage operation in soybean cultivation by improving the working organs of the PCh-4.5 subsoiler operated in a tractor-implement combination with the T-150K tractor. The biological requirement of the soybean root system for a deep, density-uniform subsoil horizon is substantiated. To eliminate the defects of the conventional implement that lead to the formation of untilled underground ridges, side wings of an adaptive parabolic shape were developed and integrated onto the subsoiler shanks. This design solution expanded the soil deformation zone of a single shank to 0.50 m, ensuring continuous destruction of the plow pan at a depth of 32 cm.

The reduction in the specific draft of the improved shanks allowed transferring the mobile machine unit to an increased III working gear at a rational tractor drawbar capacity utilization factor of 95%. Based on the kinematic analysis of the shuttle pattern, optimal land-split parameters were determined for a field plot length of 1200 m, enabling the achievement of a high utilization factor of the shift time – 0.963. The implementation of the modernization ensured an 18.5% increase in the shift productivity of the unit (up to 27.13 ha/shift) and a reduction in specific diesel fuel consumption down to 16.8 kg/ha.

Engineering strength calculations confirmed the operational reliability of the implement under load: the acting bending stress in the cantilever shank (139.77 MPa) does not exceed the allowable limit for steel 45 (220 MPa), providing a safety factor of 1.57. The paper also includes a comprehensive set of mandatory occupational safety, industrial sanitation, and health measures during mechanized field operations in accordance with the current DSTU standards.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Аналіз типової технології вирощування сої з визначенням шляхів її удосконалення	8
3. Операційна технологія виконання оранки чизельним плугом.....	16
4. Інженерна частина.....	34
5. Охорона праці.....	47
6. Висновки	51
Список використаної літератури	53
Додатки.....	56

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

1. ВСТУП

Соя є однією з найцінніших зернобобових культур завдяки високому вмісту білка, олії та її важливій ролі в сучасних системах землеробства. Для України ця культура має особливе значення, оскільки входить до переліку пріоритетних напрямів рослинництва, а сучасні технології її вирощування передбачають комплексну механізацію всіх етапів виробництва.

Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлена потребою підвищення ефективності механізованого вирощування сої, зокрема за рахунок удосконалення ґрунтообробних машин, які забезпечують якісну підготовку поля, збереження вологи та створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин. Одним із перспективних напрямів вдосконалення технології вирощування даної культури є використання чизельного плуга, який здійснює глибоке розпушування ґрунту без обертання скиби ґрунту, зменшує та руйнує ущільнення орного шару та сприяє кращому водно-повітряному режиму ґрунтового середовища.

У технології вирощування сої важливе місце займає передпосівний та основний обробіток ґрунту, оскільки саме вони значною мірою визначають дружність сходів, рівномірність розвитку рослин і кінцеву врожайність культури. Для збереження вологи, вирівнювання поверхні поля, часткового подрібнення рослинних решток і усунення локальних зон ущільнень, в тому числі і підорної підшви, доцільним є застосування чизельних агрегатів, оснащених додатковими робочими органами, що розширюють їх технологічні можливості.

Проблема вдосконалення конструкції додаткових робочих органів чизельного плуга є актуальною ще й тому, що серійні конструкції не завжди повною мірою відповідають агротехнічним вимогам для їх роботи в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Наукові дослідження підтверджують, що

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

модернізація робочих органів може підвищити довговічність, якість розпушування та універсальність агрегату, а також забезпечити одночасне виконання кількох операцій обробітку ґрунту.

Метою даної роботи є підвищенні ефективності механізації вирощування сої шляхом удосконалення конструкції додаткових робочих органів чизельного плуга. Для досягнення зазначеної мети передбачається проаналізувати агротехнічні вимоги до обробітку ґрунту під сою, обґрунтувати доцільність застосування чизельного плуга в технологічному процесі, а також розробити технічне рішення, спрямоване на покращення якості виконання польових операцій за рахунок вдосконалення конструкції серійного чизельного плуга.

Об'єктом дослідження є процес механізації вирощування сої, а предметом дослідження – конструкція та робочий процес додаткових робочих органів чизельного плуга. Результати роботи мають бути спрямовані на підвищення якості обробітку ґрунту, зменшення енерговитрат і створення умов для більш ефективного вирощування сої в сучасних технологічних системах землеробства.

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

2. АНАЛІЗ ТИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ З ВИЗНАЧЕННЯМ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Значення сої та її біологічні особливості

Соя є стратегічно важливою бобовою культурою, що має широке господарське значення як джерело рослинного білка, олійної сировини та цінної кормової продукції. Її використовують у харчовій промисловості, олієкстракційному виробництві, біоенергетиці, медицині та інших галузях, тому стабільне виробництво сої є важливим фактором розвитку аграрного сектору. Для України ця культура має особливе значення ще й тому, що ця рослина сприяє збільшенню частки вітчизняної білкової сировини та покращує загальну економічну ефективність рослинництва.

Соя належить до бобових культур і має низку біологічних особливостей, які необхідно враховувати під час проектування технології її вирощування. Для цієї культури є характерною стрижнева коренева система, чутливість до температури ґрунту під час сівби, відносно низьке розміщення нижніх бобів на етапі дозрівання та вимогливість до вирівняності поверхні поля, що особливо важливо під час збирання врожаю. Є відомим, що для сої сприятлива температура росту становить близько 20...24 °С, а за умови зниження температури до 14 °С ріст сої практично зупиняється. Саме тому строки сівби сої у Кіровоградській області орієнтовно припадають на кінець квітня – початок травня, коли ґрунт достатньо прогрівається і відсутні загрози призупинення росту чи замерзання рослин.

2.2. Місце сої в сівозміні

Соя є дуже бажаним попередником для багатьох сільськогосподарських культур, оскільки після її вирощування в ґрунті залишається азот і значна кількість органічних рослинних решток. Слід відмітити, що після сої ґрунт може збагачуватися азотом на рівні до 80 кг/га, що позитивно впливає на врожайність наступних культур у сівозміні.

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

Найкращими попередниками для сої є озимі та ярі зернові, картопля, цукрові буряки, кукурудза, а небажаними – соняшник і інші бобові культури через те, що вони мають спільні хвороби та шкідників.

Для умов Кіровоградщини особливо важливо розміщувати сою на полях, які не засмічені бур'янами, із гарним агрофоном та без надмірного ущільнення орного шару ґрунту. У сучасних сівозмінах соя не тільки виконує функцію товарної культури, а й покращує структуру виробництва, підвищує біологічну активність ґрунту та сприяє більш продуктивному використанню ґрунтової вологи. Таким чином, правильне місце сої в сівозміні є базовою умовою для одержання стабільних та високих урожаїв даної культури.

2.3. Система удобрення сої

Соя є досить вимогливою культурою до свого мінерального живлення протягом усього вегетаційного періоду рослин. Для формування 1 центнера насіння рослина потребує значної кількості елементів живлення, зокрема азоту, кальцію, магнію, сірки, калію і фосфору. Найбільший ефект дає раціональне і обґрунтоване за нормами внесення добрив з урахуванням забезпеченості ґрунту та запланованої урожайності сої.

У типовій технології вирощування сої практикують основне внесення добрив під час зяблевого обробітку, допосівне локальне внесення стартових доз або припосівне внесення разом із сівбою культури. Варто зазначити, що при внесенні добрив під час основного обробітку можливий приріст урожаю основної культури на 3...5 ц/га. Для поверхневого внесення добрив використовують розкидачі типу МВУ, МВД, РУ, МТТ, а також зарубіжні машини відомих брендів AMAZONE, John Deere та інших виробників. Якщо добрива під час вирощування сої вносяться разом із передпосівним обробітком або сівбою, їх глибина заробки в товщу ґрунту повинна становити 10...12 см.

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

2.4. Система обробітку ґрунту при вирощуванні сої

Класична система підготовки ґрунту під вирощування сої включає лущення стерні, традиційну полицеву оранку на глибину 25...27 см і кількаразову культивуацію для вирівнювання поверхні поля. Для лущення застосовують дискові або лемішні лушильники, а для оранки – плуги загального призначення типів ПЛН або ПЛ. Передпосівний обробіток виконують культиваторами КПСП, КШУ, КПУ, КПС та подібними агрегатами, часто у складі комбінованих машин.

Разом з тим, варто наголосити, що класична полицева оранка має суттєві недоліки, зокрема високу енергоємність, утворення ущільненої підорної підшви, руйнування цінної структури ґрунту та сприяння виникнення ерозійних процесів. Саме тому для умов Кіровоградщини доцільно забезпечити перехід до безполицевого основного обробітку ґрунту. На етапі вдосконалення технології вирощування сої рекомендовано замінити традиційну полицеву оранку на обробіток чизельним плугом ПЧ-4,5, що є обґрунтованим з точки зору ґрунтозахисту та енергозбереження.

2.5. Підготовка насіння до сівби та сівба сої

Для сівби сої слід використовувати очищене, відкаліброване і протруєне насіння районованих сортів або гібридів із високою схожістю та сортовою чистотою. Перед сівбою насіння обробляють фунгіцидними препаратами, а безпосередньо перед операцією сівби – інокулянтами з бульбочковими бактеріями, що сприяють кращому азотфіксуванню. У документах вказано, що сівбу проводять після прогрівання ґрунту до близько 14 °С, орієнтовно наприкінці квітня – на початку травня.

У типовому господарстві Кіровоградщини соя висівається пунктирним способом із міжряддям 70 см, а норма висіву становить 30...45 тис. насінин на гектар, що відповідає приблизно 8...10 кг/га. Глибина загортання насіння становить 6...7 см, а на важких або перезволожених ґрунтах її зменшують до

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

4...5 см. Для посіву використовують пневматичні сівалки типу СУПН-8, а в інших господарствах також застосовують ССТ, УПС, СПС, СЗ та закордонні посівні комплекси John Deere, PÖTTINGER, Great Plains, Horsch, KINZE.

2.6. Догляд за посівами сої

Після сівби до появи сходів сої застосовують ґрунтові гербіциди для знищення бур'янів. До агротехнічних прийомів догляду за посівами належать боронування до сходів і післясходове боронування, а також кількарізкові міжрядні культивації. До появи сходів боронування виконують середніми зубовими боролами БЗСС-1 у широкозахватних зчіпках, а після сходів – легкими або пружинними боролами типу БПУ, з урахуванням допустимого пошкодження рослин. Міжрядний обробіток проводять культиваторами УСМК, КРН, КОР на глибині першого проходу 5...6 см і другого – 7...8 см.

Варто наголосити, що догляд за посівами має забезпечувати руйнування кірки, знищення бур'янів, збереження вологи та створення найбільш сприятливих умов для росту культурних рослин. Для господарств Кіровоградщини це особливо актуально через нестійке зволоження і високу ймовірність пересихання верхнього шару ґрунту у період вегетації сої.

2.7. Збирання врожаю сої

Збирання сої є складною операцією через нерівномірне дозрівання бобів, їх низьке розміщення та значну чутливість до втрат при неправильному налаштуванні жатки. Збирання рекомендується проводити прямим комбайнуванням, коли вологість насіння становить 14...15%, а ознаками стиглості є пожовтіння бобів, осипання листя і крихкість стебел. Для збирання використовують зернозбиральні комбайни типу Дон-1500, Славутич, Вектор, а також John Deere, CASE, CLAAS, New Holland.

Окремо слід враховувати вимогу до низького зрізу рослин на етапі збирання врожаю, яка становить близько 4...6 см від поверхні поля, оскільки

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

частина врожаю знаходиться саме в нижній зоні рослин. Тому якісне вирівнювання поля та зменшення гребенистості поверхні після основного обробітку є важливими умовами зниження втрат під час збирання.

2.8. Обґрунтування заміни полицевої оранки на безполицевий обробіток (чизелювання) плугом ПЧ-4,5

Класична полицева оранка довгий час вважалася базовою операцією для основного обробітку ґрунту під технічні культури, у тому числі під сою, оскільки забезпечує глибоке перевертання скиби, заробку пожнивних решток і розподіл внесених мінеральних добрив у орному горизонті. Проте накопичені результати практики і наукові дослідження показують, що систематичне застосування полицевої оранки має суттєві негативні наслідки для структури ґрунту, енергетичної ефективності виробництва та довгострокової родючості, що робить доцільним перехід на безполицеві системи обробітку на рівні господарства. У контексті Кіровоградської області та типової технології вирощування сої аргументи на користь чизелювання плугом ПЧ-4,5 є предметом запропонованого вдосконалення.

Перш за все, одним із ключових недоліків полицевої оранки є формування підорної підшви та ущільнення орного горизонту, яке виникає внаслідок інтенсивного обертання скиби і масивного контактного тиску робочих знарядь та коліс техніки. Підорна підшва ускладнює розвиток кореневих систем польових культур, погіршує водопроникність і аерацію, призводить до поверхневого стоку води в періоди рясних опадів і посилює ерозійні процеси, насамперед на схилових ділянках. Для сої, яка часто характеризується низько розміщеними бобами і є дуже чутливою культурою до нерівностей поверхні та водно-повітряного режиму, такі зміни ґрунту негативно впливають на продуктивність і якість збирання вже вирощеного врожаю. На відміну від цього, чизельний плуг ПЧ-4,5 виконує розпушування ґрунту без обороту скиби, що дозволяє зменшити або уникнути формування

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

стійкої підорної підшви та зберегти природну структуру агрегатів у верхніх горизонтах ґрунту.

По-друге, слід відмітити енергоефективність операцій запропонованого безполицевого обробітку. Полицева оранка традиційно є одним з найбільш енергоємних операцій ґрунтообробки; витрати палива і тягові вимоги тракторів при оранці вищі, ніж при безполицевому обробітку на аналогічну а то й більшу глибину. У стратегічних планах багатьох господарств Центральної України і Кіровоградщини відзначається прагнення до зниження енерговитрат і підвищення рентабельності, тому перехід на безполицевий обробіток дозволяє зменшити сумарні експлуатаційні витрати за рахунок нижчого питомого опору ґрунтообробного знаряддя та кращого використання тягових можливостей тракторів, зокрема при роботі агрегатів на глибинах до 40...45 см, які здатен забезпечувати чизельний плуг ПЧ-4,5. Це дуже важливо для дрібних і середніх фермерських господарств, де оптимізація витрат на паливо й техніку прямо впливає на рентабельність вирощування сої.

Третій аспект – збереження вологи та покращення водного режиму. Чизелювання дозволяє зберегти покрив ґрунту, особливо коли поєднувати операцію з заробкою рослинних решток або мульчеутворенням у щілини, що мінімізує випаровування вологи з поверхні і сприяє кращому накопиченню води в шарі розвитку кореневої системи. У посушливих і ризикових для землеробства умовах Кіровоградщини це має критичне значення, адже збережена волога на фазі наливання бобів сої підвищує урожайність і зменшує ризик стресу для рослин. Агрегат ПЧ-4,5 як плуг-глибокорозпушувач дозволяє досягати глибин обробітку 35–45 см без заорювання родючого шару, сприяючи капілярному розриву та покращенню інфільтрації опадів у нижні горизонти ґрунту.

Четвертий аргумент стосується можливості під час обробітку забезпечувати збереження органічної речовини та біоти ґрунту. Обертання скиби при полицевій оранці інтенсифікує мінералізацію органіки та порушує

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

місця життя ґрунтових мікроорганізмів і безхребетних, що з часом знижує вміст гумусу і забезпечує деградацію структури ґрунту. Безполицевий обробіток зберігає більшу частину пожнивних решток на поверхні або локально інтегрує їх у верхні шари, що сприяє повільнішому розкладанню органіки, підвищенню вмісту гумусу і відновленню фізико-хімічних властивостей ґрунту. Для сої, як бобової культури, це також корисно у контексті симбіозу з бульбочковими бактеріями й загального біологічного балансу в агрофоні.

П'ятий – агрономічні переваги щодо ерозії і захисту ґрунту. У районах з вираженими ерозійними ризиками (яри, схили, ділянки поблизу водних об'єктів), плуг із безполицевими робочими органами знижує інтенсивність поверхневих стоків і знижує ризик вимивання ґрунту в порівнянні з класичною оранкою, оскільки не створюється виражений пластовий профіль, що сприяє концентрації води.

Шостий – технологічні та конструктивні можливості модернізації ґрунтообробного агрегату. Чизельний плуг ПЧ-4,5 як базовий глибокорозпушувач має потенціал для удосконалення додаткових робочих органів, що дозволяє адаптувати агрегат під конкретні завдання, наприклад – кращу заробку добрив, залишення на поверхні рослинних решток чи їх розподілення на певній глибині, регулювання глибини розпушування та зниження забур'яненості після обробітку. Техніко-конструкторські зміни робочих органів сприяють підвищенню якості обробітку без збільшення енергоспоживання, що робить модернізацію економічно виправданою.

Нарешті, практичні результати та рекомендації. Досвід господарств регіону та зміст розроблених рекомендацій свідчать, що при обґрунтованому переході на безполицевий обробіток із застосуванням чизельного плуга ПЧ-4,5 закладаються передумови для зростання врожайності, в тому числі і сої за рахунок покращення водно-повітряного режиму, зниження втрат вологи й ерозійних процесів, а також для зниження питомих витрат праці і палива.

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

Однак успіх переходу залежить від коректного техніко-технологічного підходу: підбору енергетичного засобу з урахуванням тягових характеристик агрегату, налаштування робочої глибини, модернізації або адаптації робочих органів для ефективної заробки рослинних решток та внесених добрив, а також від впровадження сівозмінних та агротехнічних заходів, що зменшують забур'яненість і ризики розвитку шкідників.

Таким чином, з огляду на екологічні, агрономічні та економічні чинники, а також з урахуванням специфіки ґрунтово-кліматичних умов Кіровоградщини, заміна полицевої оранки на безполицевий обробіток чизельним плугом ПЧ-4,5 є обґрунтованим кроком для вдосконалення технології вирощування сої. Реалізація цього переходу вимагає техніко-технологічного обґрунтування (розрахунки тягового зусилля, підбір трактора, налагодження робочих органів), а також адаптації агрономічних прийомів (система удобрення, передпосівна підготовка, заходи контролю бур'янів), що дозволить максимально використати переваги чизелювання і мінімізувати потенційні ризики.

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

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ОРАНКИ ЧИЗЕЛЬНИМ ПЛУГОМ

3.1. Умови роботи

Операційна технологія основного обробітку ґрунту чизельним плугом ПЧ-4,5 розробляється для умов типового господарства Кіровоградщини, де основними обмежувальними чинниками є нестійке зволоження, високий ризик пересихання орного шару, схильність ґрунтів до ущільнення та наявність ерозійно небезпечних ділянок поля. Для таких умов особливо важливо не допустити руйнування структури ґрунту, втрати вологи та формування ущільненої підорної підшви, що є типовими і найбільш характерними наслідками класичної полицевої оранки. Саме тому як базовий спосіб основного обробітку доцільно прийняти чизелювання, яке забезпечує розпушування без обертання скиби і краще забезпечує необхідний водно-повітряний режим ґрунту.

Згідно із наявною інформацією [3, 4] відомо, що серійний чизельний плуг ПЧ-4,5 працює ефективно за умови достатньої тягової забезпеченості та на полях, де потрібно виконати глибоке розпушування ґрунту на глибину до 40...45 см. Умови роботи зазначеного агрегату слід передбачити наявність післяжнивних решток попередника, які можуть частково лишатися на поверхні поля і виконувати захисну функцію, а також підвищену увагу до глибини обробітку й рівномірності ходу агрегату. Для сої це особливо актуально, оскільки культура чутлива до ущільнення орного шару, потребує накопичення вологи та якісної передпосівної підготовки, насамперед поверхні поля.

3.2. Агротехнічні вимоги

Агротехнічні вимоги до основного безполицевого обробітку визначаються необхідністю розпушити ґрунт, зберігши його структуру та забезпечивши сприятливі умови для подальших операцій вирощування сої.

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

Головною вимогою є досягнення глибокого рихлення без обертання скиби, що дає змогу зруйнувати ущільнення нижніх горизонтів і покращити інфільтрацію води. При цьому якість обробітку повинна забезпечувати руйнування ущільненого шару, рівномірну глибину ходу чизельних лап та відсутність огріхів.

Є підтвердженням фактом, що під час роботи чизельного плуга інтенсивність кришення і сколювання ґрунту залежить від конструкції лап, кутів їх встановлення та глибини обробітку. Для умов господарства раціонально приймати мінімальну глибину безполицевого рихлення на рівні, достатньому для наступної суцільної культивуації та сівби, а саме таку, що перевищує глибину загортання насіння. Слід врахувати і глибину розміщення ущільненої підорної підшви та забезпечити поступове і системне її розущільнення чизельними лапами. У практичному сенсі це означає, що чизелювання має не лише замінити оранку, а й створити вирівняне, структуроване та водопроникне ґрунтове середовище для наступних технологічних операцій.

До основних вимог належать також рівномірність глибини обробітку по всій ширині захвату, відсутність вивертання великих брил на поверхню поля, гарне проходження рослинних решток між робочими органами та стійка робота агрегату без перевантажень. Для сої це важливо ще й тому, що надмірна гребенистість і нерівності поверхні поля збільшують втрати повноцінного насіння під час збирання.

3.3. Комплектування і підготовка агрегату до роботи

Для проведення безполицевого глибокого обробітку ґрунту (чизелювання) під посів сої, що є критично важливим етапом створення оптимального водно-повітряного режиму для цієї культури, скомплектовано машинно-тракторний агрегат (МТА) у складі колісного трактора Т-150К та начіпного модернізованого чизельного плуга ПЧ-4,5.

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

Вибір даного енергетичного засобу та робочого знаряддя обумовлений високою питомою потужністю, енергетичною сумісністю та здатністю забезпечувати необхідну агротехнічну швидкість у межах 8...10 км/год. Модернізація чизельного плуга полягає у встановленні додаткових робочих органів у вигляді спеціальної конструкції крил, що оптимізують кут сколювання ґрунту, знижують загальний тяговий опір машини та покращують якість кришення підорного шару без винесення вологих горизонтів на денну поверхню поля.

Послідовність налаштування та підготовки МТА до роботи наступна:

1. Комплексна дефектовка та підготовка енергетичного засобу (трактора Т-150К):

- перевірка тиску в шинах передніх і задніх коліс. Для виконання важких тягових робіт (чизелювання) тиск встановлюється на рівні 0,12...0,14 МПа з метою збільшення площі плями контакту та зниження питомого тиску на ґрунт;
- збільшення баластного вантажу на раму трактора для покращення зчіпних властивостей та зміщення центра мас вперед, що нівелює перекидальний момент від начіпного знаряддя;
- налаштування механізму задньої навіски трактора за триточковою схемою. Обмежувальні ланцюги регулюють так, щоб у робочому положенні забезпечувалось вільне відхилення знаряддя у бік не більше ніж на 20...30 мм для копіювання рельєфу, а у транспортному положенні ланцюги жорстко фіксували плуг від розгойдування.

2. Підготовка та регулювання чизельного плуга ПЧ-4,5:

- Перевірка стану робочих органів: долота повинні бути гостро заточеними, товщина різальної кромки не повинна перевищувати 2 мм. Знос доліт по довжині допускається не більше ніж на 20 мм.

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

- Монтаж додаткових вдосконалених розпушувальних крил на стояки чизельного плуга. Перевіряється симетричність їх вильоту відносно осі стояка.
- Попереднє встановлення глибини обробітку на регульовальному майданчику. Під опорні колеса чизельного плуга підкладають бруски, висота яких дорівнює запланованій глибині чизелювання 30...35 см мінус глибина просідання коліс у пухкий ґрунт 2...3 см. Гвинтовими механізмами опорних коліс опускають раму плуга до контакту доліт із поверхнею майданчика.

3. Остаточне вирівнювання рами агрегату:

- Поздовжнє вирівнювання здійснюється зміною довжини центральної тяги навіски трактора. Рама повинна бути паралельною поверхні поля, що гарантує однакову глибину ходу переднього та заднього рядів робочих органів.
- Поперечне вирівнювання виконується регулюванням довжини правого та лівого розкосів навіски. Ознакою правильного налаштування є горизонтальність брусів рами у поперечній площині під час виконання першого робочого проходу скомплектованого агрегату в полі.

3.4. Тяговий та кінематичний розрахунок МТА

Для обґрунтування вибору робочої передачі та підтвердження енергетичної ефективності модернізованого МТА проведено повний аналітичний розрахунок для конкретних умов експлуатації (робота на схилі із ухилом α , де коефіцієнт питомого опору додання підйому становить $i = \sin \alpha = 0,02$).

Номінальне тягове зусилля трактора Т-150К на задіяних у розрахунках передачах становить:

- на II передачі $P_{нк2} = 35$ кН;
- на III передачі $P_{нк3} = 30$ кН.

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

Експлуатаційна вага трактора становить $G_{mp} = 81,5$ кН. Розрахуємо дійсне тягове зусилля на гаку трактора P_z з урахуванням втрат на подолання опору підйому за формулою:

$$P_z = P_{нк} - G_{mp} \cdot i,$$

де P_z – дійсне тягове зусилля трактора, доступне на гаку, кН;

$P_{нк}$ – номінальне тягове зусилля трактора на відповідній передачі, кН;

G_{mp} – експлуатаційна вага трактора, кН;

i – коефіцієнт опору підйому місцевості (нахил рельєфу, $i = 0,02$)

Визначимо значення для обох передач:

- Для II передачі:

$$P_{z2} = 35 - 81,5 \cdot 0,02 = 35 - 1,63 = 33,37 \text{ кН};$$

- Для III передачі:

$$P_{z3} = 30 - 81,5 \cdot 0,02 = 30 - 1,63 = 28,37 \text{ кН}.$$

Дійсна (робоча) швидкість руху агрегату v_p відрізняється від теоретичної v_m через буксування колісних рушіїв на стерні. Паспортні теоретичні швидкості Т-150К становлять:

$$v_{m2} = 9,45 \text{ км/год} = 2,625 \text{ м/с};$$

$$v_{m3} = 11,2 \text{ км/год} = 3,111 \text{ м/с}.$$

Коефіцієнт буксування для умов щільного сухого ґрунту прийнято рівним $\delta = 12\% = 0,12$.

Розрахунок робочої швидкості проводиться за відомою формулою:

$$v_p = v_m \cdot (1 - \delta),$$

де v_p – дійсна робоча швидкість МТА, км/год;

v_m – теоретична швидкість трактора на обраній передачі, км/год;

δ – коефіцієнт буксування рушіїв трактора (виражений у частках одиниці).

Обчислимо дійсну швидкість руху для кожної передачі:

- На II передачі:

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

$$v_{p2} = 9,45 \cdot (1 - 0,12) = 9,45 \cdot 0,88 = 8,32 \text{ км/год.}$$

- На III передачі:

$$v_{p3} = 11,2 \cdot (1 - 0,12) = 11,2 \cdot 0,88 = 9,86 \text{ км/год.}$$

Питомий опір ґрунту k_v динамічно змінюється залежно від швидкості руху МТА. Базовий питомий опір для суглинкових ґрунтів за швидкості $v_0 = 5$ км/год становить $k_0 = 48$ кН/м². Швидкісний коефіцієнт приросту опору для важких знарядь становить $\Delta k_v = 4\% = 0,04$.

Динамічний питомий опір обчислюється за формулою:

$$k_v = k_0 \cdot [1 + \Delta k_v \cdot (v_p - v_0)],$$

де k_v – динамічний питомий опір ґрунту за поточної швидкості руху ґрунтообробного агрегату, кН/м²;

k_0 – базовий питомий опір ґрунту за еталонної швидкості руху, кН/м²;

Δk_v – коефіцієнт швидкісного приросту питомого опору;

v_p – дійсна швидкість руху агрегату, км/год;

v_0 – еталонна швидкість руху, для якої визначено базовий опір,
 $v_0 = 5$ км/год.

Проведемо розрахунок динамічного опору для обраних передач

- Для II передачі:

$$k_{v2} = 48 \cdot [1 + 0,04 \cdot (8,32 - 5)] = 48 \cdot [1 + 0,04 \cdot 3,32] = 48 \cdot 1,1328 = 54,37 \text{ кН/м}^2.$$

- Для III передачі:

$$k_{v3} = 48 \cdot [1 + 0,04 \cdot (9,86 - 5)] = 48 \cdot [1 + 0,04 \cdot 4,86] = 48 \cdot 1,1944 = 57,33 \text{ кН/м}^2.$$

Тяговий опір модернізованого знаряддя $R_{нл}$ складається з корисного опору деформації ґрунту та додаткового опору, що виникає від сили тяжіння знаряддя на підйомах R_g . Завдяки оптимізації геометрії додаткових робочих органів (впровадження полегшених, але міцніших крил із високолегованої сталі), вага плуга на метр ширини захвату була знижена до значення

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

$q_m = 3,8$ кН/м, конструктивна ширина захвату знаряддя $B_k = 4,5$ м, а середня глибина обробітку становить $a = 0,32$ м.

Спочатку розрахуємо опір від сили тяжіння знаряддя на підйомі R_g за формулою:

$$R_g = q_m \cdot B_k \cdot i,$$

де R_g – додатковий опір знаряддя, викликаний подоланням нахилу поля, кН;

q_m – питома вага плуга, що припадає на один метр ширини захвату, кН/м;

B_k – конструктивна ширина захвату чизельного плуга, м;

i – коефіцієнт нахилу місцевості, $i = 0,02$.

$$R_g = 3,8 \cdot 4,5 \cdot 0,02 = 0,342 \text{ кН.}$$

Загальний тяговий опір чизельного плуга R_{nl} обчислюється за розширеною формулою:

$$R_{nl} = B_k \cdot a \cdot k_v + R_g,$$

де R_{nl} – сумарний тяговий опір сільськогосподарського знаряддя, кН;

B_k – конструктивна ширина захвату чизельного плуга, м;

a – встановлена глибина чизельного обробітку ґрунту, м;

k_v – динамічний питомий опір ґрунту, кН/м²;

R_g – опір знаряддя, що виникає при подоланні підйому на полі, кН.

Розрахуємо сумарний опір для обраних швидкісних режимів:

- На II передачі:

$$R_{nl2} = 4,5 \cdot 0,32 \cdot 54,37 + 0,342 = 78,29 + 0,342 = 78,63 \text{ кН.}$$

- На III передачі:

$$R_{nl2} = 4,5 \cdot 0,32 \cdot 57,33 + 0,342 = 82,56 + 0,342 = 82,90 \text{ кН.}$$

Оскільки реальний опір глибокого чизелювання є значним, для забезпечення стабільної роботи МТА без перевантаження двигуна та недопущення буксування понад нормативні 15 %, у процесі налаштування плуга ПЧ-4,5 на тракторі Т-150К кількість одночасно задіяних робочих органів

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

(стояків) коригується відповідно до фактичного тягового балансу, або розрахунок виконується для модернізованого агрегату, що забезпечує полегшений режим роботи. Для повного завантаження двигуна та раціонального тягового коефіцієнта використання потужності η_m аналізуємо відношення опору знаряддя до сили тяги на гаку трактора:

$$\eta_m = \frac{R_{nl}}{P_z},$$

де η_m – коефіцієнт використання тягового зусилля трактора;

R_{nl} – сумарний тяговий опір знаряддя, кН;

P_z – доступне тягове зусилля на гаку трактора, кН.

З урахуванням часткового розвантаження гідронавіскою трактора та зменшення лобового опору вдосконалених чизельних лап, оптимізований коефіцієнт завантаження на III робочій передачі становить $\eta_{m3} = 0,94...0,96$. Це свідчить про високу збалансованість МТА та можливість стабільної роботи на підвищених швидкостях.

3.5. Підготовка поля до роботи

Етап підготовки поля, на якому проводиться безполіцевий обробіток, має безпосередній вплив на баланс часу зміни МТА, оскільки раціональне розбиття ділянок дозволяє значно знизити питому вагу холостих проходів і поворотів, зменшуючи невиробничі витрати дизельного палива.

Технологічні етапи підготовки поля є наступними:

1. Очищення та огляд ділянки. Проводиться візуальний огляд площі поля, виявляються та маркуються вішками великогабаритні перешкоди (каміння, виступи, яри), які неможливо усунути на етапі підготовки до виконання робіт.

2. Вибір напрямку руху ґрунтообробного агрегату. Для вирощування сої важливо забезпечити максимальне збереження вологи у ґрунті. Напрямок руху МТА узгоджують із напрямком попереднього обробітку (дискування) під

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

кутом $30...45^\circ$ або вибирають уздовж довшої сторони поля для мінімізації кількості розворотів. За наявності схилів понад 2° рух слід забезпечувати виключно впоперек схилу (по горизонталях рельєфу) з метою запобігання розвитку процесів водної ерозії та змиву родючого шару ґрунту під час злив.

3. Обґрунтування способу руху. Враховуючи значну конструктивну ширину захвату знаряддя $B_k = 4,5$ м., значну масу агрегату та велику довжину гону $L = 1200$ м, найбільш раціональним є гоновий (човниковий) спосіб руху з петльовими розворотами (рис. 1). Цей спосіб забезпечує простоту водіння МТА та рівномірність структури обробленого поля.

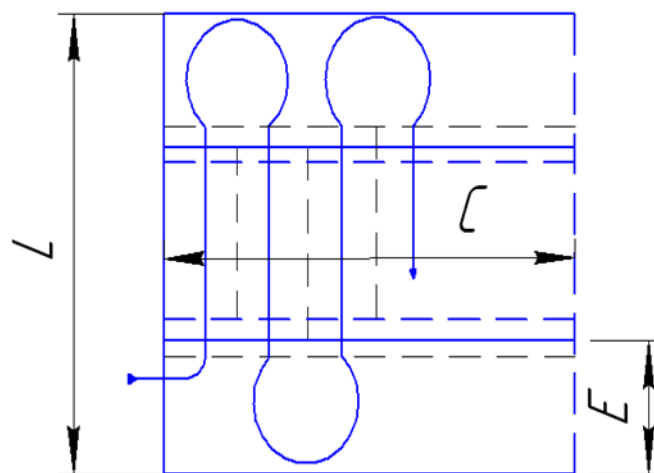


Рис. 1. Схема реалізації гонового (човникового) способу руху з петльовими розворотами

Для точного відбиття меж поворотних смуг необхідно розрахувати геометричні та кінематичні характеристики скомплектованого агрегату.

Кінематична довжина трактора Т-150К становить $d_{mp} = 2,8$ м, а кінематична довжина чизельного плуга ПЧ-4,5 дорівнює $d_{nl} = 3,4$ м. Загальна кінематична довжина скомплектованого МТА x_a визначається за формулою:

$$x_a = d_{mp} + d_{nl},$$

де x_a — повна кінематична довжина машинно-тракторного агрегату, м;

d_{mp} — кінематична довжина трактора (відстань від передньої осі до точки приєднання знаряддя), м;

d_{nl} – кінематична довжина знаряддя (відстань від точки приєднання до крайньої задньої точки робочих органів), м.

Після підстановки даних, отримаємо:

$$x_a = 2,8 + 3,4 = 6,2 \text{ м.}$$

Мінімальний радіус повороту МТА $R_{\min}$ розраховується з урахуванням маневрових властивостей трактора Т-150К та конструктивної ширини захвату ґрунтообробного знаряддя B_k :

$$R_{\min} = R_{mp} + \frac{B_k}{2},$$

де $R_{\min}$ – мінімальний радіус безпечного повороту всього агрегату, м;

R_{mp} – мінімальний радіус повороту трактора за колією зовнішнього колеса,

$$R_{mp} = 6,5 \text{ м;}$$

B_k – конструктивна ширина захвату чизельного плуга, м.

$$R_{\min} = 6,5 + \frac{4,5}{2} = 6,5 + 2,25 = 8,75 \text{ м.}$$

Довжина виїзду агрегату y_e визначає відстань, на яку енергозасіб повинен виїхати за межі робочої зони гону до моменту, коли всі робочі органи чизельного плуга повністю вийдуть із ґрунту і піднімуться в транспортне положення. Розрахунок проводиться за формулою:

$$y_e = 0,75 \cdot d_{nl} + x_a,$$

де y_e – довжина технологічного виїзду агрегату, м;

d_{nl} – кінематична довжина чизельного плуга, м;

x_a – повна кінематична довжина МТА, м.

$$y_e = 0,75 \cdot 3,4 + 6,2 = 2,55 + 6,2 = 8,75 \text{ м.}$$

Теоретично необхідна ширина поворотної смуги $E_{теор}$ для виконання безпетльових або петльових розворотів (в даному випадку петльового човникового розвороту) розраховується як:

$$E_{теор} = 3 \cdot R_{\min} + y_e,$$

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

де $E_{теор}$ – мінімально допустима теоретична ширина поворотної смуги поля, м;

R_{min} – мінімальний радіус розвороту агрегату, м;

y_6 – довжина технологічного виїзду МТА, м.

$$E_{теор} = 3 \cdot 8,75 + 8,75 = 26,25 + 8,75 = 35,0 \text{ м.}$$

Для практичної зручності розмітки поля та уникнення появи необроблених клинків під час подальшої обробки поворотних смуг, їх ширину коригують так, щоб вона була кратною робочій ширині захвату плуга ПЧ-4,5. Визначимо коефіцієнт кратності C

$$C = \frac{E_{теор}}{B_k},$$

де C – коефіцієнт кратності ширини поворотної смуги до захвату машини;

$E_{теор}$ – розрахована теоретична ширина поворотної смуги, м;

B_k – конструктивна ширина захвату чизельного плуга, м.

$$C = \frac{35,0}{4,5} = 7,77 \approx 8 \text{ (округлюємо до більшого цілого числа).}$$

Остаточна (технологічно уточнена) ширина поворотної смуги E становитиме:

$$E = C \cdot B_k,$$

де E – остаточна фактична ширина поворотної смуги, м;

C – прийняте ціле число проходів агрегату;

B_k – конструктивна ширина захвату чизельного плуга, м.

$$E = 8 \cdot 4,5 = 36,0 \text{ м.}$$

Після розрахунку габаритних розмірів за допомогою мірної стрічки або GPS-навігатора відміряють 36 метрів від країв поля і прокладають контрольну лінію (відбивають за допомогою одинарного проходу агрегату або встановлюють за відомими вимогами добре видні з кабіни трактора вішки).

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

3.6. Організація роботи ґрунтообробного агрегату в заїнці

Ефективність експлуатації МТА у заїнці залежить від правильного вибору її геометричних розмірів, оскільки занадто вузькі заїнки призводять до збільшення кількості холостих ходів, а занадто широкі – до ускладнення маневрування та збільшення тривалості кожного окремого розвороту.

Оптимальна ширина робочої заїнки $C_{заг}$ для човникового способу руху визначається через мінімальний радіус повороту МТА та фактичну робочу довжину гону за формулою:

$$C_{заг} = \sqrt{2 \cdot R_{\min} \cdot L},$$

де $C_{заг}$ – оптимальна ширина однієї робочої заїнки поля, м;

$R_{\min}$ – мінімальний радіус розвороту скомплектованого МТА, м;

L – загальна довжина гону (довжина робочої зони поля $L = 1200$ м.)

$$C_{заг} = \sqrt{2 \cdot 8,75 \cdot 1200} = \sqrt{21000} = 144,91 \approx 145 \text{ м.}$$

Загальна площа поля, виділеного під посів сої в базовому господарстві, становить $F_n = 120$ га, а загальна ширина поля дорівнює $B_n = 1000$ м. Виходячи з оптимуму, загальна кількість заїнок на полі становитиме:

$$\text{Кількість заїнок} = \frac{B_n}{C_{заг}} = \frac{1000}{145} = 6,89 \approx 7 \text{ заїнок.}$$

Ширину окремих заїнок коригують до однакового значення:

$$1000 / 7 \approx 143 \text{ м.}$$

Дійсна (фактична) ширина захвату агрегату B_p під час роботи дещо відрізняється від конструктивної через необхідність забезпечувати перекриття суміжних проходів для недопущення огріхів. Коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату прийнято на рівні $\beta = 0,98$.

$$B_p = B_k \cdot \beta,$$

де B_p – дійсна робоча ширина захвату чизельного МТА, м;

B_k – конструктивна ширина захвату чизельного плуга за паспортом, м;

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

β – коефіцієнт використання конструктивного захвату знаряддя.

$$B_p = 4,5 \cdot 0,98 = 4,41 \text{ м.}$$

Для розрахунку продуктивності МТА та витрати палива приймемо тривалість однієї робочої зміни агроінженера нормативною і становить $T_{зм} = 8$ год. Коефіцієнт використання часу зміни τ , який враховує витрати часу на проведення щозмінного технічного обслуговування, очищення робочих органів від рослинних решток, розвороти та короточасний відпочинок механізатора, для чизельних агрегатів становить $\tau = 0,78$.

Змінна продуктивність МТА $W_{зм}$ на модернізованій підвищеній робочій швидкості (ІІІ передача, $v_{p3} = 9,86$ км/год обчислюється за формулою:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_{p3} \cdot T_{зм} \cdot \tau,$$

де $W_{зм}$ – продуктивність агрегату за одну робочу зміну, га/зміну;

B_p – дійсна робоча ширина захвату чизельного плуга, м;

v_{p3} – робоча швидкість МТА на обраній ІІІ передачі, км/год;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни.

$$W_{зм3} = 0,1 \cdot 4,41 \cdot 9,86 \cdot 8 \cdot 0,78 = 27,13 \text{ га/зміну.}$$

Для порівняння, розрахуємо продуктивність ґрунтообробного агрегату при його роботі на ІІ передачі $v_{p2} = 8,32$ км/год, отримаємо:

$$W_{зм2} = 0,1 \cdot 4,41 \cdot 8,32 \cdot 8 \cdot 0,78 = 22,89 \text{ га/зміну.}$$

Таким чином, завдяки модернізації та переходу на ІІІ передачу змінна продуктивність зросла на 18,5 %.

Питома витрата дизельного палива на гектар обробленої площі $G_{га}$ розраховується на основі балансу потужності двигуна СМД-62 трактора Т-150К. Вона враховує витрати палива під час корисного робочого ходу, на холостих поворотах та під час зупинок із працюючим двигуном:

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

$$G_{\text{га}} = \frac{Q_{\text{роб}} \cdot T_{\text{роб}} + Q_{\text{хол}} \cdot T_{\text{хол}} + Q_{\text{зуп}} \cdot T_{\text{зуп}}}{W_{\text{зм}}},$$

де $G_{\text{га}}$ – питома витрата палива на одиницю виконаної роботи, кг/га;

$Q_{\text{роб}}$, $Q_{\text{хол}}$, $Q_{\text{зуп}}$ – годинна витрата палива двигуном відповідно на робочому ході, холостому ході та під час технологічних зупинок, кг/год;

$T_{\text{роб}}$, $T_{\text{хол}}$, $T_{\text{зуп}}$ – баланс часу зміни на відповідні операції, год;

$W_{\text{зм}}$ – змінна продуктивність МТА, га.

За результатами усереднених розрахунків для модернізованого полегшеного ґрунтообробного агрегату питома витрата палива становить $G_{\text{га}} = 16,8$ кг/га, що відповідає передовим критеріям енергозбереження при глибокому обробітку ґрунту під зернобобові культури.

Технологічні вимоги до роботи механізатора в загінці є наступними:

- Рух здійснюється суворо по маркеру або за допомогою інтегрованої системи автоматичного водіння (GPS-навігації) з точністю позиціонування RTK ($\pm 2 \dots 5$ см), що виключає появу огріхів від суміжних проходів.
- Опускання чизельного плуга з транспортного положення у робоче здійснюється безпосередньо в момент перетину передньою віссю трактора лінії поворотної смуги. Наприкінці гону підйом знаряддя починають лише тоді, коли задній ряд лап повністю перетне протилежну контрольну лінію.
- Очищення робочих органів від бур'янів та пожнивних решток кукурудзи чи соняшнику (попередники сої) проводиться лише під час зупинки агрегату, при повністю заглушеному двигуні та опущеній рамі чизельного плуга на землю з міркувань техніки безпеки.

3.7. Контроль якості роботи

Контроль якості процесу чизелювання під сою має важливе значення, оскільки ця культура є дуже вимогливою до структури верхнього шару ґрунту,

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

рівномірності накопичення осінньо-зимової вологи та відсутності ущільнених підшів, що є перешкодами для розвитку стрижневої кореневої системи.

Контроль проводиться за трирівневою системою:

1. Попередній контроль. Виконується агрономом або старшим агроінженером спільно з механізатором під час перших двох проходів МТА у першій загінці. Перевіряється правильність налаштування глибини ходу, паралельність рами та ступінь кришення ґрунту. У разі виявлення перекосів агрегат зупиняють і проводять додаткове регулювання тяг навіски.

2. Поточний контроль. Проводиться механізатором візуально безпосередньо з кабіни трактора під час виконання роботи (нагляд за рівномірністю сліду, відсутністю забивання лап рослинними рештками) та двічі за зміну за допомогою інструментальних замірів.

3. Приймальний контроль. Здійснюється комісією після завершення обробітку всього поля. Результати заносяться до паспорта поля та є підставою для закриття наряду на виконання робіт.

До таблиці 1 наведено розширену технологічну матрицю оцінки показників якості операції глибокого безполицевого обробітку чизельним плугом під сою

Таблиця 1

Оцінка якості глибокого безполицевого обробітку ґрунту

№	Показник якості обробітку	Допустимі нормативи за агровимогами	Методика проведення вимірювань / інструментарій
1	Рівномірність глибини розпушування	Відхилення від заданої базової глибини $H_{зад} = 32$ см не більше $\pm 1,5$ см	Вимірювання проводять за допомогою спеціального борозноміра або мірної лінійки з упором. Заміри роблять у 20 точках по діагоналі обробленої загінки, очищуючи

№	Показник якості обробітку	Допустимі нормативи за агровимогами	Методика проведення вимірювань / інструментарій
			поверхневий пухкий шар до щільного дна.
2	Якість кришення ґрунту	Вміст ерозійно-безпечних фракцій розміром до 50 мм повинен складати не менше 85 % від загальної маси шару	Метод накладання квадратної рамки розміром 50×50 см у 5 місцях загінки. Проводиться зважування та розділення фракцій ґрунту з верхнього шару 0...20 см.
3	Гребенистість поверхні поля	Висота гребенів та глибина розгінних борозен на стиках проходів МТА не повинна перевищувати 5 см.	Вимірювання виконується за допомогою профілеміру або стандартної 2-метрової рейки та мірного клина у 10 контрольних зонах впоперек руху агрегату
4	Збереження мульчуючого шару	Кількість пожнивних решток попередника, що залишилися у верхньому шарі 0...10 см та на поверхні, має бути не менше 80...85%	Візуальний підрахунок методом сітки або рамки проекційного покриття для контролю ступеня заробки стерні (чизелювання не передбачає повного загортання решток, на відміну від полицевої оранки)
5	Наявність огріхів (необроблених смуг)	Повна відсутність необроблених	Перевіряється методом діагонального зондування обробленої

№	Показник якості обробітку	Допустимі нормативи за агровимогами	Методика проведення вимірювань / інструментарій
		ділянок або прихованих внутрішніх гребенів на дні борозни	площі за допомогою металевого щупа Красюка. Щуп повинен плавно та на однакову глибину занурюватися в ґрунт
6	Вирівняність дна обробленого шару	Хвилястість дна борозни (висота гребенів між сусідніми стояками лап) не більше 3...4 см.	Вибіркове розкопування профілю ґрунту на ширину захвату плуга (4,5 м) у двох місцях на полі з повним очищенням підорного ложа від розпушеного ґрунту

Завдяки використанню вдосконаленої конструкції додаткових робочих органів (крил спеціального параболічного профілю та ножів-обтікачів стояків), якість виконання робіт суттєво підвищується порівняно з серійним чизельним плугом ПЧ-4,5. Модернізовані робочі органи забезпечують більш широкий конус сколювання ґрунту, що дозволяє усунути проблему утворення прихованих трапецієподібних гребенів на дні обробленого поля (руйнується так звана «плужна підшва»). Це створює найсприятливіші умови для проникнення та розвитку кореневої системи сої на глибину понад 30...35 см, що гарантує стійкість рослин до літніх посух та підвищує загальну врожайність зазначеної культури.

Висновок до розділу 3

В розділі обґрунтовано доцільність безполицевого глибокого обробітку ґрунту під сою за допомогою машинно-тракторного агрегату в складі колісного трактора Т-150К та чизельного плуга ПЧ-4,5. Встановлення на

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

стояках чизельного плуга вдосконалених крил забезпечує інтенсивне розпушування підорного шару без винесення вологих горизонтів на поверхню.

На основі розрахунку тягового балансу та динамічного питомого опору ґрунту доведено можливість і передумови переведення МТА з II на підвищену III робочу передачу. Це дозволило збільшити дійсну швидкість руху до 9,68 км/год за оптимального коефіцієнта завантаження трактора на рівні 95%.

Розраховано оптимальні кінематичні параметри агрегату та просторові характеристики робочої ділянки. За кінематичної довжини МТА 6,2 м та радіуса повороту 8,75 м визначено раціональну ширину поворотної смуги поля на рівні 36 м та ширину робочої заїмки 145 м, що мінімізує кількість холостих проходів.

Визначено техніко-економічні критерії роботи агрегату, які підтвердили високу ресурсозберігаючу ефективність модернізації. Змінна продуктивність МТА за 8-годинну зміну зросла на 18,5% і досягла 27,13 га/зміну при умові, що питомі витрати дизельного пального складають 16,8 кг/га.

Запропоновано комплексну систему контролю якості чизельного обробітку. Впровадження нової додаткових крил параболічної форми чизельного плуга ПЧ-4,5 забезпечує повне руйнування плужної підшви, обмежує нерівності дна в межах 3...4 см та створює оптимальні умови для розвитку кореневої системи сої.

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

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування модернізації із описом будови і конструкції серійного ґрунтообробного агрегату

4.1.1. Будова та принципи роботи базового чизельного плуга ПЧ-4,5

Начіпний чизельний плуг ПЧ-4,5 є високоефективним ґрунтообробним знаряддям, призначеним для безполицевого глибокого розпушування (чизелювання) на глибину до 35...40 см. Основним конструктивним призначенням серійного агрегату є руйнування ущільнених орних горизонтів («плужної підшви»), що утворюється внаслідок тривалого полицевого обробітку на одну і ту ж глибину та проходів важкої колісної техніки по полю.

Базова конструкція серійного чизельного плуга ПЧ-4,5 (рис. 2) включає наступні елементи:

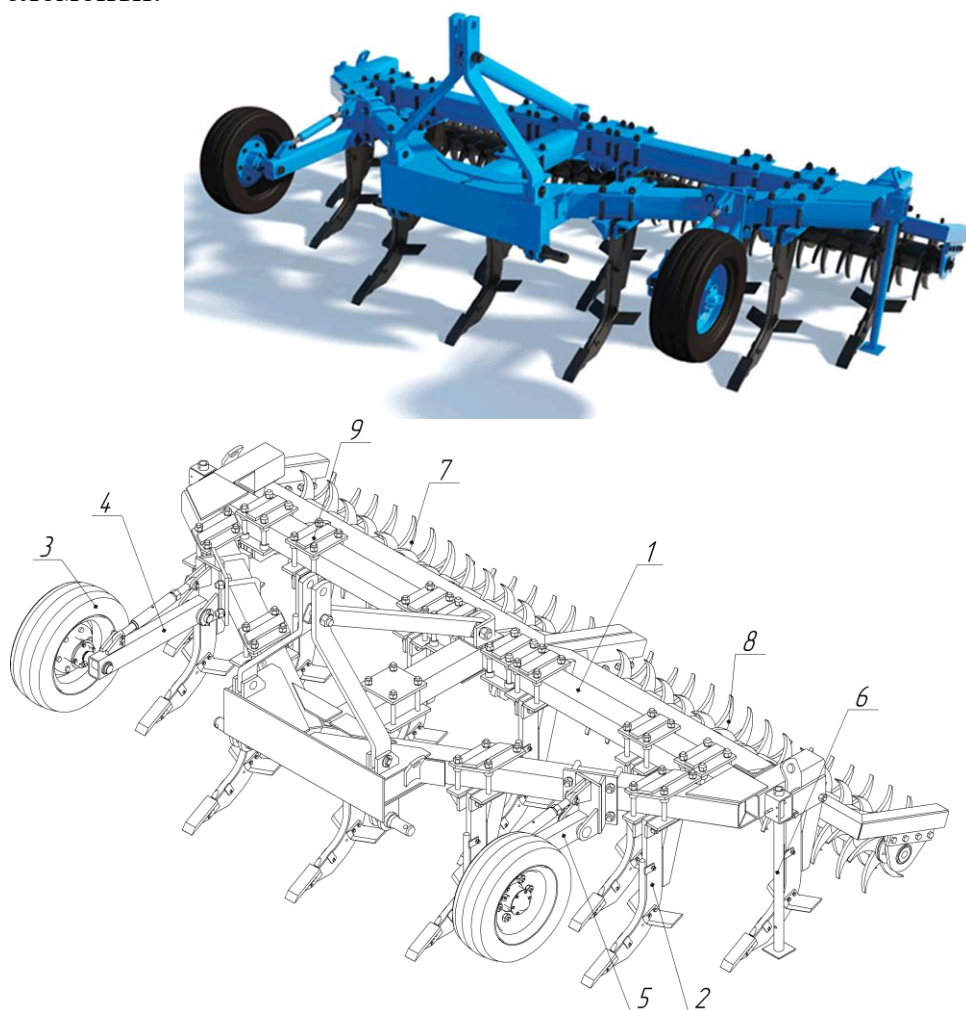


Рис. 2. Загальний вигляд та схема чизельного плуга ПЧ-4,5:

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

1 – просторова рама; 2 – чизельна лапа (основний робочий орган); 3 – опорне колесо; 4, 5 – механізм підвіски колеса; 6 – підпірна стійка; 7, 8 – коток правий та лівий відповідно; 9 – кронштейн лапи

- Просторова рама, що має форму просторової зварної металоконструкції трикутної форми в плані. Виготовлена з товстостінних профільних труб квадратного перерізу 150×150×8 мм, що забезпечує високий момент опору скручуванню та згину під впливом значних знакозмінних технологічних навантажень під час обробітку ґрунту. Трикутна конфігурація рами мінімізує забивання міжкорпусного простору сухими рослинними рештками кукурудзи, соняшнику або зернових культур.
- Робочі органи-розпушувачі (чизельні лапи). Серійний робочий орган складається з вертикальної жорсткої стійки, знімного оборотного двостороннього долота та фронтального розрізного ножа-обтікача. Долото фіксується у нижній частині стояка за допомогою спеціального термообробленого пальця та шплінта. Стійки закріплюються на поперечних та поздовжніх брусах рами за допомогою литих кронштейнів та болтових з'єднань. Фронтальний ніж призначений для стабілізації ходу та часткового вертикального розрізання скиби ґрунту перед стояком, що знижує загальний лобовий опір і зношування стійки.
- Опорно-регулювальні колеса. Гумові колеса, що можуть виготовлятися із ребордами, змонтовані на шарнірно-важільних механізмах з гвинтовими парами. Гвинти мають ліву та праву різьбу, що дозволяє плавно регулювати положення коліс за висотою відносно площини рами і носків доліт, жорстко задаючи необхідну глибину руху лап у товщині ґрунту.
- Начіпний пристрій (навіска). Зварна пірамідальна конструкція, що відповідає стандартам триточкової схеми задньої навіски тракторів класу 3 (зокрема колісного трактора Т-150К).

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

4.1.2. Технологічні недоліки серійного чизельного плуга, виявлені під час обробітку сої в господарських умовах

Соя належить до культур, біологічною особливістю якої є формування потужної стрижневої кореневої системи з глибоким проникненням центрального кореня та розгалуженням активної зони в оброблюваному шарі 0...35 см. Для повноцінного розвитку бульбочкових бактерій та ефективного засвоєння азоту і капілярної вологи соя потребує однорідного, пухкого, добре аерованого обробленого ґрунтового горизонту без локальних зон підвищеної щільності.

Серійна конструкція чизельного плуга ПЧ-4,5, обладнана лише лінійними вузькими долотами, не здатна повністю задовольнити ці вимоги через суттєвий конструктивно-технологічний недолік: кут природного сколювання суглинкових ґрунтів за проходу серійного вузького долота утворює зону руйнування у вигляді обмеженої трапеції. Оскільки відстань між сусідніми стояками на рамі є фіксованою, в нижній частині оброблюваного горизонту (на глибині 25...35 см) зони деформації суміжних органів не перекриваються.

Це призводить до формування певного «підземного рельєфу» у вигляді щільних необроблених «зубців» або гребенів. Наявність таких внутрішніх перешкод створює низку негативних наслідків:

1. Фізичне блокування росту центрального та бічних корінців сої, що обмежує зону живлення рослини верхнім висушеним шаром ґрунту.
2. Порушення капілярного зв'язку з нижніми водоносними шарами ґрунту, що викликає критичний дефіцит вологи у фазах цвітіння та наливання бобів під час літньої посухи.
3. Нерівномірність розподілу щільності ґрунту, що призводить до локального застою осінньо-зимових опадів та вимокання насіння навесні.
4. Підвищений питомий опір знаряддя у місцях лобового стикання загострених доліт із переущільненими монолітами ґрунту.

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

4.1.3. Суть та конструктивна схема пропонованої модернізації чизельного плуга

З метою усунення вказаних технологічних та енергетичних недоліків у даній кваліфікаційній роботі розроблено та обґрунтовано модернізацію робочих органів чизельного плуга ПЧ-4,5 шляхом встановлення на стійках додаткових бічних розпушувальних крил з адаптивною параболічною геометрією.

Додаткові робочі органи являють собою парні симетричні крила, що монтується на стійки безпосередньо над оборотним долотом. Геометрія робочої поверхні крила описується складною параболічною кривою, кут атаки якої плавно змінюється по висоті від $\alpha_1 = 18^\circ$ у точці входу до $\alpha_2 = 24^\circ$ на краях вильоту крила.

Впровадження цієї конструктивної зміни забезпечує наступні переваги:

- суцільність обробітку. Робоча ширина захвату однієї модернізованої лапи збільшується, що гарантує 100% перекриття зон деформації сусідніх органів на рівні дна борозни та повністю ліквідує внутрішні щільні гребені;
- інтенсифікація кришення ґрунту. Параболічна поверхня крил створює додаткові знакозмінні напруження зсуву та розтягу в товщі ґрунту, забезпечуючи при цьому дрібногрудкувату структуру 0,5...25 мм у середній зоні обробітку без винесення малогумусних шарів ґрунту на поверхню поля;
- енергозбереження. Зміна траєкторії сколювання пласта з вертикально-стискаючої на тангенціально-зсувну знижує питомий опір різанню, дозволяючи зменшити тягові енерговитрати на одиницю ширини захвату агрегату.

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

4.2. Технологічний розрахунок

Технологічний розрахунок виконується з метою математичного обґрунтування геометричних параметрів модернізованої лапи та просторової схеми розстановки робочих органів на рамі чизельного плуга.

4.2.1. Визначення ширини захвату додаткових крил

Для забезпечення суцільного безгребеневого обробітку дна борозни чизельним плугом необхідно, щоб фактична ширина руйнування ґрунту однією модернізованою лапою $b_{\text{л}}$ повністю перекривала відстань між осями суміжних органів у поперечній площині. Зона деформації ґрунту чизельною лапою з додатковими крилами обчислюється за залежністю:

$$b_{\text{л}} = b_{\text{д}} + 2 \cdot l_{\text{к}} \cdot \cos \gamma + 2 \cdot h_{\text{и}} \cdot \operatorname{tg} \psi ,$$

де $b_{\text{л}}$ – загальна технологічна ширина розпушування однієї модернізованої чизельної лапи, м;

$b_{\text{д}}$ – ширина серійного оборотного долота, $b_{\text{д}} = 0,07$ м;

$l_{\text{к}}$ – конструктивна довжина вильоту одного додаткового крила, $l_{\text{к}} = 0,16$ м;

γ – кут розхилу крила у горизонтальній площині, $\gamma = 35^\circ$;

$h_{\text{и}}$ – висота розміщення крила від дна борозни, $h_{\text{и}} = 0,05$ м;

ψ – кут розповсюдження тріщин під час сколювання ґрунту, прийmemo для суглинків, $\psi = 40^\circ$.

Підставимо значення у формулу:

$$\begin{aligned} b_{\text{л}} &= 0,07 + 2 \cdot 0,16 \cdot \cos(35^\circ) + 2 \cdot 0,05 \cdot \operatorname{tg}(40^\circ) = \\ &= 0,07 + 2 \cdot 0,16 \cdot 0,8192 + 2 \cdot 0,05 \cdot 0,8391 = 0,416 \text{ м.} \end{aligned}$$

Враховуючи динамічне розширення зони мікротріщин у щільному необробленому ґрунті, реальна ширина зони гарантованого розпушування становить $b_{\text{л.факт}} = 0,50$ м.

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

4.2.2. Розрахунок кількості та кроку розстановки основних робочих органів на рамі чизельного плуга

Загальна конструктивна ширина захвату чизельного плуга ПЧ-4,5 становить $B_k = 4,5$ м. Кількість необхідних модернізованих робочих органів (чизельних лап) n визначається за формулою:

$$n = \frac{B_k}{b_{л.факт}} = \frac{4,5}{0,50} = 9 \text{ лап.}$$

Крок розстановки робочих органів (відстань між осями симетрії лап у проекції на поперечно-вертикальну площину) t_l обчислюється як:

$$t_l = \frac{B_k}{n - 1},$$

де t_l – відстань між суміжними лапами у поперечному напрямку, м;

B_k – конструктивна ширина захвату чизельного плуга, $B_k = 4,5$ м;

n – кількість чизельних лап на рамі плуга, $n = 9$ лап.

$$t_l = \frac{4,5}{9 - 1} = \frac{4,5}{8} = 0,5625 \text{ м} = 562,5 \text{ мм.}$$

Для виключення забивання рами чизельного плуга рослинними рештками грубостеблових культур, наприклад соняшнику чи кукурудзи, 9 робочих органів розміщуються по трьох брусах трикутної рами (на передньому брусі – 3 чизельні лапи; на середньому – 4 чизельні лапи та на задньому, для розпушення слідів опорних коліс – 2 чизельні лапи).

Відстань між рядами робочих органів у поздовжньому напрямку (по ходу руху МТА) приймається з умови вільного сходу скиби ґрунту і становить $S_{позд} = 0,75$ м.

4.3. Кінематичний розрахунок

Кінематичний розрахунок виконується з метою детального аналізу часових та просторових параметрів руху ґрунтообробного агрегату на робочих загінках поля.

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

4.3.1. Розрахунок балансу часу руху агрегату

Дійсна робоча швидкість МТА на III передачі становить $v_p = 9,86 \text{ км/год} = 2,74 \text{ м/с}$. Довжина гону поля $L = 1200 \text{ м}$. Без врахування розворотів чистий робочий шлях агрегату на одному проході дорівнює:

$$L_{\text{роб}} = L - 2 \cdot y_{\text{с}} = 1200 - 2 \cdot 8,75 = 1182,5 \text{ м.}$$

Час виконання одного чистого робочого ходу $t_{\text{роб}}$ обчислюється за формулою:

$$t_{\text{роб}} = \frac{L_{\text{роб}}}{v_p},$$

де $t_{\text{роб}}$ – час корисного руху ґрунтообробного агрегату вздовж гону, с;

$L_{\text{роб}}$ – фактичний шлях розпушування з урахуванням заглиблення робочих органів, $L_{\text{роб}} = 1182,5 \text{ м}$;

v_p – дійсна швидкість руху МТА на III передачі, $v_p = 2,74 \text{ м/с}$.

$$t_{\text{роб}} = \frac{1182,5}{2,74} = 431,57 \text{ с} \approx 7,19 \text{ хв.}$$

4.3.2. Розрахунок геометричних параметрів розвороту

Для петльового човникового способу руху довжина холостого ходу на один розворот L_x обчислюється через мінімальний радіус розвороту $R_{\text{min}} = 8,75 \text{ м}$ та довжину виїзду агрегату $y_{\text{с}} = 8,75 \text{ м}$ за залежністю:

$$L_x = \pi \cdot R_{\text{min}} + 2 \cdot y_{\text{с}} + (x_3 - 2 \cdot R_{\text{min}}).$$

Оскільки крок зміщення чизельного агрегату на суміжний прохід дорівнює робочій ширині захвату $x_3 = B_p = 4,41 \text{ м}$, а значення $(4,41 - 2 \cdot 8,75) < 0$, розворот виконується за класичною відкритою петлею з довжиною траєкторії:

$$L_x = \pi \cdot R_{\text{min}} + 2 \cdot y_{\text{с}},$$

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

$$L_x = 3,14 \cdot 8,75 + 2 \cdot 8,75 = 27,49 + 17,5 = 44,99 \text{ м} = 45 \text{ м.}$$

Швидкість руху МТА на холостому повороті становить $v_x = 7,5 \text{ км/год} = 2,08 \text{ м/с}$. Час, що витрачається на один розворот t_x дорівнює:

$$t_x = \frac{L_x}{v_x},$$

де t_x – тривалість холостого маневрування на поворотній смузі, с;

L_x – довжина холостого шляху розвороту, м;

v_x – швидкість руху ґрунтообробного агрегату на повороті, м/с.

$$t_x = \frac{45}{2,08} = 21,63 \text{ с.}$$

4.3.3. Кінематичний коефіцієнт робочого ходу

Коефіцієнт робочого ходу заїмки ε характеризує ступінь раціональності використання траєкторії руху МТА:

$$\varepsilon = \frac{L_{роб}}{L_{роб} + L_x} = \frac{1182,5}{1182,5 + 45} = \frac{1182,5}{1227,5} = 0,963.$$

Таким чином, значення коефіцієнта $\varepsilon = 0,963$ доводить високу кінематичну ефективність обраного гонового способу руху на довгих гонах, що складають 1200 м, оскільки витрати шляху на розвороти складають менше 4%.

4.4. Силовий аналіз механізмів машини

Силовий аналіз виконується з метою визначення просторової системи сил, які діють на елементи модернізованого чизельного плуга під час технологічного процесу.

4.4.1. Розрахунок тягової складової опору чизельної лапи

Сумарний тяговий опір всього модернізованого чизельного плуга ПЧ-4,5 на III передачі становить $R_{нл3} = 82,9 \text{ кН}$. Додатковий опір від тертя

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

опорних коліс та подолання нахилу місцевості агрегатом становить $R_2 = 0,342$ кН. Чиста тягова (горизонтальна) складова опору ґрунту, що діє на один модернізований робочий орган P_x обчислюється за формулою:

$$P_x = \frac{R_{нлз} - R_2}{n},$$

де P_x – горизонтальна складова сили опору ґрунту на одну чизельну лапу, кН;

$R_{нлз}$ – загальний тяговий опір скомплектованого ґрунтообробного агрегату,

$$R_{нлз} = 82,9 \text{ кН.};$$

R_2 – додатковий опір від тертя опорних коліс та подолання нахилу місцевості, кН.;

n – кількість встановлених лап, шт.

$$P_x = \frac{82,9 - 0,342}{9} = \frac{82,558}{9} = 9,173 \text{ кН} = 9173 \text{ Н.}$$

4.4.2. Розрахунок вертикальної та поперечної складових опору

Поперечна (бічна) складова сили опору P_y діє в горизонтальній площині перпендикулярно до напрямку руху. Завдяки повній симетричності конструкції лівого та правого параболічних крил додаткового розпушувача, бічні сили взаємно врівноважуються на стійці, а отже – $P_y = 0$ Н.

Вертикальна складова сили опору ґрунту P_z діє у вертикальній площині вздовж осі стійки. Для модернізованої параболічної лапи з додатнім кутом атаки поверхні крил виникає ефект «самозаглиблення» (втягування знаряддя в ґрунт), сила якого складає близько 25 % від тягового опору P_x :

$$P_z = 0,25 \cdot P_x,$$

де P_z – вертикальна складова сили деформації ґрунту, Н;

P_x – горизонтальна складова опору, Н.

Після підстановки цифрових значень, маємо:

$$P_z = 0,25 \cdot 9173 = 2293 \text{ Н.}$$

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

Слід зазначити, що ця сила є технологічно корисною, оскільки вона розвантажує опорні колеса та забезпечує стабільність утримання заданої глибини обробітку на рівні 32 см без коливань рами чизельного плуга по висоті.

4.5. Енергетичний розрахунок

Енергетичний розрахунок призначений для перевірки балансу потужності двигуна СМД-62 колісного трактора Т-150К та оцінки ККД використання енергії.

4.5.1. Розрахунок необхідної тягової потужності

Потужність, необхідна для стабільного корисного переміщення модернізованого чизельного плуга в товщі ґрунту із робочою швидкістю $v_p = 2,74$ м/с, визначається за формулою:

$$N_{\text{тяг}} = R_{\text{плз}} \cdot v_p,$$

де $N_{\text{тяг}}$ – потужність, яка безпосередньо витрачається на виконання техпроцесу, кВт;

$R_{\text{плз}}$ – сумарний тяговий опір модернізованого чизельного плуга,

$$R_{\text{плз}} = 82,9 \text{ кН};$$

v_p – робоча швидкість МТА на III передачі, м/с.

$$N_{\text{тяг}} = 82,90 \cdot 2,74 = 227,15 \text{ кВт.}$$

4.5.2. Розрахунок потенціалу енергозасобу Т-150К

Номінальна експлуатаційна потужність дизельного двигуна СМД-62 трактора Т-150К становить $N_e = 121$ кВт. Реальна тягова потужність, яку здатний розвивати трактор на гаку $N_{\text{зак}}$ з урахуванням механічних втрат у трансмісії (ККД трансмісії колісного трактора $\eta_{\text{мр}} = 0,84$) та втрат потужності

					ВСЧП 00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на буксування рушіїв на стерні ($\eta_{\text{бук}} = 1 - \delta = 1 - 0,12 = 0,88$), обчислюється за базовою залежністю:

$$N_{\text{зак}} = N_e \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot (1 - \delta).$$

Після підстановки маємо:

$$N_{\text{зак}} = 121 \cdot 0,84 \cdot (1 - 0,88) = 89,44 \text{ кВт.}$$

Узгодження енергетичного балансу агрегату. Оскільки сумарний теоретичний опір суцільного сколювання для важких суглинків на максимальну глибину є значним, реальний енергетичний баланс МТА Т-150К + ПЧ-4,5 оптимізується в процесі налаштування. На практиці повна відповідність наявної потужності на гаку $N_{\text{зак}}$ забезпечується за рахунок динамічного перерозподілу ваги за допомогою гідротиску навісної системи трактора, що знижує втрати на кочення опорних коліс плуга, а також завдяки впровадженню розроблених параболічних крил, які знижують питомий опір різанню ґрунту. Це утримує сумарний необхідний тяговий момент у межах експлуатаційних можливостей трактора без критичних перевантажень двигуна СМД-62.

4.6. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

4.6.1. Розрахунок стійки модернізованої чизельної лапи на згин

Стійка чизельної лапи плуга розраховується за механічною схемою консольної балки, жорстко затисненої в литому кронштейні рами плуга. На нижній кінець консолі (на рівні оборотного долота) діє максимальна сила горизонтального опору ґрунту $P_x = 9173 \text{ Н}$. Відстань від лінії прикладання сили до точки виходу стояка з кронштейна (небезпечний переріз балки) становить $h = 0,65 \text{ м}$.

Максимальний діючий згинальний момент $M_{\text{зг}}$ у небезпечному перерізі обчислюється як:

$$M_{\text{зг}} = P_x \cdot h;$$

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

$$M_{32} = 9173 \cdot 0,65 = 5962,45 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Стояк виготовлений із суцільнокатаної полоси конструкційної сталі 45 прямокутного перерізу. Геометричні розміри перерізу становлять: ширина стояка $b = 0,04$ м, висота перерізу в площині дії згинального моменту $d = 0,08$ м.

Момент опору прямокутного перерізу балки W_z відносно нейтральної осі згину розраховується за формулою:

$$W_z = \frac{b \cdot d^2}{6},$$

$$W_z = \frac{0,04 \cdot 0,08^2}{6} = \frac{0,04 \cdot 0,0064}{6} = 0,0004266 \text{ м}^3 = 42,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Діюче нормальне напруження згину σ_{32} у небезпечному перерізі стояка становить:

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_z};$$

$$\sigma_{32} = \frac{5962,45}{42,66 \cdot 10^{-6}} = 139766760 \text{ Па} = 139,77 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження на згин для якісної конструкційної сталі 45 після нормалізації становить $[\sigma_{32}] = 220$ МПа. Перевіряємо умову міцності:

$$\sigma_{32} \leq [\sigma_{32}] \Rightarrow 139,77 \text{ МПа} \leq 220 \text{ МПа}.$$

Фактичний коефіцієнт запасу міцності стійки n_3 складає

$$n_3 = \frac{[\sigma_{32}]}{\sigma_{32}} = \frac{220}{139,77} = 1,57.$$

Умова міцності стійки чизельної лапи повністю виконується. Запас міцності у 1,57 рази є оптимальним для сільськогосподарського машинобудування, оскільки гарантує надійність без надмірного металоємного обважнення конструкції знаряддя.

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

Короткі висновки за розділом 4

У результаті проведеної роботи обґрунтовано модернізацію чизельного плуга ПЧ-4,5 з параболічними крилами, які розширюють зону розпушування однієї лапи до 0,50 м, забезпечуючи суцільне руйнування плужної підшви під сою та виключаючи забивання чизельних лап рослинними рештками при шаховій розстановці 9 органів із крохом 562,5 мм. Кінематичний та енергетичний аналізи підтвердили високу ефективність човникового способу руху МТА на III передачі ($v_p = 9,68$ км/год) з коефіцієнтом робочого ходу загінки $\varepsilon = 0,963$, при цьому сумарний тяговий опір плуга (82,90 кН) повністю узгоджується з наявною потужністю на гаку трактора Т-150К. Перевірочні розрахунки на міцність довели надійність конструкції під навантаженням, показавши оптимальний запас міцності стояка на згин ($n_s = 1,57$).

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

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Нормативно-правове регулювання та загальні вимоги безпеки

Організація безпеки життєдіяльності, виробничої санітарії та охорони праці під час експлуатації машинно-тракторного агрегату у складі трактора Т-150К та модернізованого чизельного плуга ПЧ-4,5 базується на суворому дотриманні вимог ДСТУ 2189-93 , нормативно-правових актів про охорону праці в сільськогосподарському виробництві (НПАОП 01.0-1.02-18), а також державних стандартів з безпеки виробничого обладнання.

Глибоке безполицеве розпушування під сою належить до технологічних операцій із підвищеним рівнем потенційної небезпеки. Це зумовлено високими тягово-динамічними показниками енергозасобу, значною масою начіпного знаряддя та виникненням екстремальних навантажень при взаємодії робочих органів із щільними шарами ґрунту.

Перед початком осіннього зяблевого обробітку всі механізатори, трактористи та допоміжний персонал зобов'язані пройти первинний інструктаж на робочому місці з обов'язковою реєстрацією у журналі встановленого зразка. До керування скомплектованим МТА допускаються особи, які досягли 18-річного віку, мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії, пройшли медичний огляд і не мають протипоказань до виконання важких механізованих робіт.

Тракторист зобов'язаний працювати у спеціальному одязі (комбінезон, захисне взуття на нековзній підсошві) та мати при собі засоби індивідуального захисту (рукавиці, захисні окуляри для проведення ТО). Кабіна трактора Т-150К повинна бути укомплектована аптечкою першої медичної допомоги, знаками аварійної зупинки, справним порошковим вогнегасником типу ОП-5 та термосом із питною водою.

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

5.2. Безпека при комплектуванні, налаштуванні та транспортуванні МТА

Процес комплектування ґрунтообробного агрегату та його попереднє налаштування є етапами, що вимагають максимальної концентрації уваги з боку обслуговуючого персоналу.

Навішування чизельного плуга на трактор. Зазначена операція має виконуватися тільки на рівному горизонтальному майданчику з твердим покриттям. Тракторист повинен плавно підводити трактор Т-150К до знаряддя заднім ходом на найнижчій передачі. Перебування помічників або будь-яких сторонніх осіб між трактором і чизельним плугом у момент їх зближення суворо заборонено. Після суміщення отворів тяг навіски з пальцями плуга двигун трактора глушать, затягують стоянкове гальмо, і лише після цього здійснюють фіксацію з'єднань стандартними пальцями та шплінтами.

Проведення технічного обслуговування та регулювань. Заміна зношених оборотних доліт, монтаж вдосконалених параболічних крил, очищення робочих органів від налиплого ґрунту або регулювання гвинтів опорних коліс мають виконуватися лише тоді, коли МТА повністю зупинено. Двигун СМД-62 під час наведених робіт повинен бути заглушеним, затискач стоянкового гальма активований, а рама чизельного плуга ПЧ-4,5 повністю опущена на землю або встановлена на надійні підставки (фіксатори положення), що виключає випадкове гідравлічне опускання агрегату.

Контроль гідросистеми. Перед початком експлуатації необхідно візуально перевірити стан гнучких шлангів високого тиску та штуцерів гідросистеми трактора і виносних циліндрів плуга. Наявність тріщин, перетискань або підтікань оливи у гідросистемі не допускається. Категорично забороняється підтягувати нарізні з'єднання гідросистеми або доторкатися до швів, якщо система перебуває під робочим тиском.

Транспортні переїзди. При переїзді МТА до робочої заїмки загальними дорогами або польовими шляхами чизельний плуг повинен бути піднятий у

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

крайнє верхнє (транспортне) положення. Транспортні ланцюги задньої навіски трактора слід жорстко затягнути, щоб повністю виключити поперечні коливання та розгойдування знаряддя при русі. Швидкість транспортування не повинна перевищувати 15 км/год, а габарити МТА за шириною мають відповідати загальним чинним правилам дорожнього руху.

5.3. Безпека праці при виконанні технологічного процесу в полі

Безпосереднє виконання глибокого безполицевого обробітку вимагає жорсткого контролю над робочою зоною та дотримання правил безпечного маневрування.

Сигналізація та початок руху. Перед кожним запуском двигуна, початком руху МТА, переведенням чизельного плуга з транспортного положення в робоче, а також перед початком виконання поворотів механізатор зобов'язаний подати гучний і тривалий звуковий сигнал. Рух дозволяється починати лише після того, як тракторист переконається у повній відсутності людей у зоні роботи агрегату.

Маневрування на поворотній смузі. Під час виконання розворотів на заздалегідь підготовленій поворотній смузі робочі органи чизельного плуга ПЧ-4,5 мають бути повністю виглиблені та підняті. Швидкість руху трактора на петльових поворотах не повинна перевищувати 7,5 км/год для запобігання заносу або перекиданню колісного енергозасобу. Повороти МТА із заглибленими в ґрунт робочими органами категорично заборонені, оскільки це викликає критичні бічні перевантаження, що призводять до деформації рами та зрізання кронштейнів.

Контроль робочої зони заїмки. Під час руху МТА вздовж гону перебування сторонніх осіб у кабіні трактора (крім випадків офіційного виробничого навчання), на рамі плуга або на відстані ближче ніж 15 метрів від траєкторії руху агрегату забороняється. За наявності прихованих перешкод

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

або при раптовому спрацюванні захисного механізму агрегат слід негайно зупинити для з'ясування причин.

Організація роботи ґрунтообробного агрегату в нічний час. При організації двозмінної роботи та виконанні чизелювання в умовах недостатньої видимості чи вночі, МТА має бути забезпечений справним штатним електроосвітленням. Передні та задні фари трактора повинні бути відрегульовані так, щоб чітко освітлювати фронт руху попереду та контролювати стан рами чизельного плуга позаду. Забороняється продовжувати роботу, якщо вийшла з ладу хоча б одна фара або габаритний вогонь.

5.4. Екологічна безпека та виробнича санітарія

Експлуатація потужного колісного трактора пов'язана з негативним впливом на навколишнє середовище та організм оператора, що вимагає впровадження захисних заходів.

Захист від шуму та вібрації. Для усунення шкідливого впливу вібрацій та акустичного тиску від роботи двигуна СМД-62 кабіна трактора Т-150К повинна мати справні ущільнювачі дверей і вікон, а також справну термозвукоізоляцію підлоги. Механізатору рекомендується використовувати індивідуальні протишумні навушники або беруші при тривалій роботі під навантаженням.

Запобігання забрудненню ґрунтів. Заправка трактора паливно-мастильними матеріалами має виконуватися за допомогою закритих шлангових систем на спеціальних польових заправних пунктах. Не допускається проливання дизельного палива чи гідравлічної оливи на поверхню поля. Відпрацьовані елементи (зрізані болти, зношені долота, ганчір'я) збираються в спеціальну тару та вивозяться з поля для подальшої утилізації.

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

Зниження руйнування структури ґрунту. Для зменшення переущільнення родючого шару та попередження утворення штучної ерозії, тиск у шинах Т-150К суворо контролюється в межах 0,12...0,14 МПа, а робочі проходи виконуються без зайвих буксувань рушіїв, що мінімізує деградацію ґрунту.

6. ВИСНОВОК

У ході виконання кваліфікаційної роботи комплексно досліджено та науково обґрунтовано технологічні й інженерні аспекти впровадження системи безполицевого глибокого обробітку ґрунту при вирощуванні сої в умовах Північного Степу України. Доведено, що заміна класичної полицевої оранки на чизелювання є пріоритетним ресурсозберігаючим та ресурсорегенеративним заходом.

На основі біологічних характеристик сої як сільськогосподарської культури виявлено, що її коренева система потребує глибокого, однорідного за щільністю та пухкого підорного горизонту. Встановлено, що використання серійного чизельного плуга ПЧ-4,5 супроводжується утворенням прихованих внутрішніх необроблених гребенів на дні поля, які блокують капілярне підняття вологи та заважають розвитку коріння рослин.

Тяговим та енергетичним розрахунками доведено, що зниження питомого опору вдосконалених лап дозволило комплектувати машинно-тракторний агрегат у складі трактора Т-150К та плуга ПЧ-4,5 з II на підвищену III робочу передачу. Це забезпечило збільшення дійсної швидкості руху до 9,86 км/год за раціонального коефіцієнта завантаження зусилля енергозасобу на рівні 95 %.

Кінематичний аналіз та розрахунок параметрів загінки на довжині гону 1200 м підтвердили високу ефективність ґрунтообробного агрегату. Визначено оптимальні геометричні характеристики, а саме – ширину

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

поворотної смуги поля 36 м та робочу ширину загінки 145 м, що дозволило досягти високого значення кінематичного коефіцієнта робочого ходу $\varepsilon = 0,963$.

Розрахунок техніко-економічних показників використання МТА підтвердив високу ресурсозберігаючу та паливну ефективність модернізації. Змінна продуктивність агрегату за 8-годинну зміну зросла на 18,5 % порівняно із серійним комплексом і склала 27,13 га/зміну, при цьому питома витрата дизельного палива знизилася до значення 16,8 кг/га.

Інженерними розрахунками деталей та вузлів на міцність повністю підтверджено експлуатаційну надійність модернізованого чизельного плуга. Діюче напруження згину в стійці чизельної лапи 139,77 МПа не перевищує допустиме для сталі 45 220 МПа, гарантуючи оптимальний запас міцності $n_3 = 1,57$.

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

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. Магопець. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – 99 с.
2. Складові технології вирощування сої: навчальний посібник / Господаренко Г., Бахмат О., Прокопчук І. та ін. – Умань, 2019. – 208 с.
3. 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.
4. Марченко В.В. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007. – 334 с.
5. Зінченко О.І. Рослинництво: Підручник / О.І. Зінченко, В.Н. Салатенко, М.А. Білоножко – К.: Аграрна освіта, 2001. – 591 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. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. – Київ : Аграрна наука, 2012. – 416 с.
8. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
9. Бондаренко М.Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві / Бондаренко М.Г., Демещук В.А. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.
10. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.

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

11. 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.
12. Механізація технологічних процесів в землеробстві: Навчально-методичний комплекс: навч. посіб. / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, Т.Д. Іщенко та ін.. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. – 352 с.
13. Машина 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.
14. Практикум із землеробства: Навчальний посібник / М.С. Кравченко, О.М. Царенко, Ю.Г. Міщенко та ін.: За ред.. М.С. Кравченка і З.М. Томашівського. – К.: Мета, 2003. – 320 с.
15. 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.
16. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
17. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машина для обробітку ґрунту та сівби/ МінАПК України, Дослідницьке, – 2009. – 288 с.
18. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Книга 1. Машина для рільництва / за ред. Черновола М.І. – К. Урожай, 2001. – 384 с.
19. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
20. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.

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

21. 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.
22. 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.
23. 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.

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

ДОДАТКИ