

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 озимого ріпаку з вдосконаленням
конструкції ґрунтообробного агрегату для поверхневого обробітку
ґрунту»

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

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____Куріченко Максим Валерійович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

професор, доктор техн. наук

_____Юрій КУЛЄШКОВ

« ____ » _____ 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**

Куріченку Максиму Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування озимого ріпаку з
вдосконаленням конструкції ґрунтообробного агрегату для поверхневого
обробітку ґрунту

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 20.06.2026 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.	20.06.2026 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 озимого ріпаку з вдосконаленням конструкції ґрунтообробного агрегату для поверхневого обробітку ґрунту»
озимий ріпак, поверхневий обробіток ґрунту, стрільчаста лапа, пружинний захист, рубчастий коток, тяговий опір, продуктивність агрегату**

Кваліфікаційну роботу присвячено підвищенню ефективності вирощування озимого ріпаку шляхом інженерного вдосконалення конструктивно-технологічної схеми причіпного комбінованого культиватора КПК-4 для передпосівного обробітку ґрунту. У роботі обґрунтовано перехід на трирядне просторове розміщення 15 стрільчастих лап із розстановкою за схемою 5+4+6 та збільшеним до 900 мм поздовжнім кроком, що виключає забивання рами рослинними рештками. Також впроваджено індивідуальні пружинні механізми захисту стояків робочих органів і замінено одинарний коток на блок тандемних рубчастих котків із регульованим довантаженням.

Проведені інженерні розрахунки підтвердили високу тягово-енергетичну сумісність модернізованого культиватора з колісним трактором класу 3 типу Т-150К. Загальний тяговий опір машини становить 20,343 кН, що забезпечує оптимальний коефіцієнт завантаження енергозасобу на рівні 71,5 % та стабільний рух на швидкості 10 км/год із продуктивністю 2,8 га/год. Перевірочні розрахунки деталей на міцність довели надійність посиленого прямокутного стояка та інших вузлів культиватора до експлуатаційних динамічних навантажень.

Розроблено операційну технологію виконання польових робіт, яка деталізує підготовку загінок, розрахунок поворотної смуги завширшки 24 м та параметри інструментального контролю агротехнічних показників. Окрему увагу приділено заходам з охорони праці, пожежної безпеки та виробничої санітарії відповідно до чинних вимог, що гарантує безпечне функціонування розробленого машинно-тракторного агрегату.

Abstract

**Topic: «Mechanization of Winter Rapeseed Cultivation with the Refinement of a Tillage Implement Design for Surface Soil Management»
winter rapeseed, surface tillage, cultivator sweep, spring-loaded protection, notched roller, draft resistance, implement productivity**

The qualification thesis is dedicated to increasing the efficiency of winter rapeseed cultivation through the engineering refinement of the design and technological layout of the trailing combined cultivator KPK-4 for seedbed preparation. The study substantiates the transition to a three-row spatial arrangement of 15 cultivator sweeps laid out in a 5+4+6 configuration with an increased longitudinal pitch of up to 900 mm, which completely prevents frame clogging with crop residues. Furthermore, individual spring-loaded reset mechanisms for the tool shanks have been implemented, and the single roller has been replaced with a tandem notched roller assembly featuring adjustable downforce.

The performed engineering calculations confirmed high draft-and-power compatibility of the modernized cultivator with a Class 3 wheeled tractor of the T-150K type. The total draft resistance of the implement is 20.343 kN, which ensures an optimal power unit load factor of 71.5% and stable operation at a travel speed of 10 km/h with an operational productivity of 2.8 ha/h. Verification calculations of components for structural strength demonstrated the reliability of the reinforced rectangular shank and other cultivator assemblies under operational dynamic loads.

The field operation technology has been developed, detailing headland preparation, the calculation of a 24-meter-wide turn strip, and parameters for the instrumental control of agrotechnical quality indicators. Special attention is paid to occupational health and safety, fire safety, and industrial sanitation measures in accordance with current regulatory requirements, which guarantees the safe operation of the developed tractor-implement unit.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Аналіз базової технології вирощування озимого ріпаку з обґрунтуванням шляхів її удосконалення	8
3. Операційна технологія виконання поверхневого обробітку ґрунту.....	25
4. Інженерна частина.....	39
5. Охорона праці.....	52
6. Висновки	56
Список використаної літератури	57
Додатки.....	59

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

1. ВСТУП

Сучасний стан розвитку агропромислового комплексу України вимагає впровадження високоефективних, енергозберігаючих та екологічно безпечних технологій вирощування продукції рослинництва. Серед олійних культур стратегічне значення належить озимому ріпаку (*Brassica napus* L. var. *oleifera*). Озимий ріпак є важливою експортноорієнтованою культурою, цінним сировинним ресурсом для харчової, хімічної та біоенергетичної промисловості, а також відмінним попередником у сівозміні, що покращує фітосанітарний стан та структуру ґрунту.

Ефективна реалізація генетичного потенціалу врожайності озимого ріпаку дуже сильно залежить від якості проведення доосінніх польових робіт, зокрема від передпосівного обробітку ґрунту. Дрібнонасіненна структура культури висуває жорсткі вимоги до архітектоніки насінневого ложа. Необхідно створити дрібногрудкувату структуру ґрунту у верхньому шарі (0–4 см) із капілярним підняттям вологи з нижніх горизонтів і одночасним підрізанням бур'янів та вирівнюванням мікрорельєфу поля.

Традиційні підходи, що базуються на багатоопераційних технологіях із використанням застарілих технічних засобів, призводять до надмірного переущільнення ґрунту, інтенсивної втрати продуктивної вологи (що є критичним в умовах кліматичних змін та тривалих літньо-осінніх засух) та невиправданого зростання витрат паливно-мастильних матеріалів. У зв'язку з цим виникає гостра науково-виробнича потреба в оптимізації процесів механізації поверхневого обробітку шляхом розробки та вдосконалення комбінованих ґрунтообробних агрегатів, які спроможні за один прохід виконувати комплекс технологічних операцій. Потреба модернізації наявного парку машин, зокрема причіпних культиваторів типу КПК-4, з метою

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

підвищення їхньої надійності, адаптивності до важких староорних ґрунтів та енергоефективності, визначає високу актуальність теми даної роботи.

Виходячи із зазначеного вище, метою роботи є підвищення ефективності процесу вирощування озимого ріпаку в господарських умовах шляхом обґрунтування параметрів та вдосконалення конструктивно-технологічної схеми причіпного комбінованого культиватора КПК-4 для передпосівного поверхневого обробітку ґрунту.

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

2. АНАЛІЗ БАЗОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОГО РІПАКУ З ОБҐРУНТУВАННЯМ ШЛЯХІВ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

2.1. Біологічні особливості озимого ріпаку, його господарське та агротехнічне значення та особливості вирощування і використання

Озимий ріпак (*Brassica napus* L. var. *oleifera* Metzg.) є однією з найважливіших і високорентабельних олійних та технічних культур у світовому та вітчизняному агровиробництві. Повне розуміння біологічних особливостей цієї культури є головною передумовою для проектування ефективних технологічних процесів механізованого вирощування та збирання якісного врожаю ріпаку.

Зі сторони *біологічних особливостей* озимий ріпак (рис. 1) належить до родини Капустяних (*Brassicaceae*). Це рослина з довгим світловим днем, що висуває жорсткі вимоги до інтенсивності сонячної енергії, особливо на початкових етапах органогенезу.



Рис. 1. Ріпак біологічні особливості рослини

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

Коренева система ріпаку – потужна, розвинена, стрижневого типу. За умов оптимального фізичного стану та структури ґрунту головний корінь здатний проникати на глибину до 2,0...3,0 метрів, а основна маса бокових розгалужених корінців зосереджується в орному горизонті (0–30 см). Такі будова і розміщення кореневої системи забезпечують високу здатність рослини засвоювати вологу та поживні речовини з нижніх горизонтів ґрунту, що робить ріпак відносно стійким до літніх посух у період дозрівання насіння. Проте на ранніх етапах розвитку (переважно у осінній період) корінь рослини є дуже чутливим до щільності ґрунту та наявності так званої ущільненої «плужної підшви».

Температурний режим. Насіння ріпаку починає давати сходи за температури ґрунту +1...+3 °С, але оптимальною для дружніх сходів цієї культури є температурні режими +15...+18 °С. Восени для формування життєздатної розетки рослині необхідна сума ефективних температур близько 600–800 °С, що триває впродовж 60–62 днів від моменту появи сходів ріпаку. Перед переходом у зиму рослина повинна утворити добре розвинену розетку з 6–8 (оптимально 8–10) справжніх листків, мати товщину кореневої шийки 8–12 мм, а сама точка росту (брунька) не повинна підніматися над поверхнею ґрунту вище ніж на 1,0–1,5 см. Переростання точки росту внаслідок занадто раннього посіву або перевищеного азотного живлення різко знижує морозостійкість культури. Добре загартовані рослини витримують зниження температури на глибині залягання вузла кущення до -15...-18 °С без снігового покриву, а за наявності снігового шару завтовшки 5–6 см – до -23...-25 °С.

Вимоги до вологи. Ріпак є вологолюбивою культурою. Транспіраційний коефіцієнт становить 400–500 одиниць. Найбільша потреба у воді спостерігається коли рослини перебувають у фази стеблуння, цвітіння та формування насіння. Критичним є також наявність продуктивної вологи у верхньому шарі ґрунту (0–5 см) під час сівби, оскільки насіння ріпаку через

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

свої малі розміри потребує для набухання та проростання близько 60–70% вологи від власної ваги.

Вимоги до ґрунту. Найкращими для озимого ріпаку є глибокі, добре аеровані ґрунти з середнім механічним складом (суглинки, чорноземи) та нейтральною або слабнокислою реакцією ґрунтового розчину (рН 6,5–7,5). Озимий ріпак погано витримує важкі, запливаючі глинисті ґрунти з близьким заляганням ґрунтових вод, а також легкі піщані ґрунти через загрозу швидкого пересихання насіннєвого ложа.

Господарське значення озимого ріпаку головним чином проявляється в кількох площинах.

1. Ріпак це олійна культура а насіння сучасних сортів та гібридів вміщує до 45–48% високоякісної рослинної олії. За своїм жирнокислотним складом (низький вміст ерукової кислоти та глюкозинолатів у канолових типах) ріпакова олія є близькою до оливкової й широко використовується в харчовій промисловості, консервному виробництві та кулінарії.

2. З технічної та енергетичної сторони – ріпакова олія є основною відновлюваною сировиною для виробництва екологічно чистого палива (біодизелю). Основною перевагою ріпакового біодизелю є його здатність до повного біологічного розкладу впродовж 21 дня, що абсолютно не завдає жодної шкоди навколишньому середовищу в разі потрапляння в ґрунт. Також ріпакова олія використовується у текстильній, лакофарбовій та металургійній промисловості як безпечний і дешевий мастильний матеріал.

3. Кормове значення ріпаку полягає в тому, що після екстракції олії залишаються цінні побічні продукти – макуха та шрот. Зазначені продукти вміщують 35–38% збалансованого за амінокислотним складом білка, що за своєю поживністю є близьким до соєвого шроту. Зелена ж маса рослин ріпаку ранньою весною є багатим джерелом вітамінного зеленого корму для галузі тваринництва.

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

Агротехнічне значення ріпаку як елемента інтенсивних сівозмін головним чином полягає в наступному:

- фітосанітарна роль, оскільки ріпак виділяє корінням специфічні речовини (глюкозинолати), які діють як природні фуміганти, суттєво знижуючи забур'яненість полів та поширення корневих гнилей у наступних посівів зернових культур;
- покращення структури ґрунту. Потужний стрижневий корінь ріпаку виконує функцію «біологічного плуга», розпушуючи ущільнені горизонти підорного шару ґрунту, покращуючи шпаруватість, вологопроникність та аерацію ґрунту. Після мінералізації залишків коренів у ґрунті залишаються яскраво виражені вертикальні дренажні канали;
- сидеральний ефект проявляється в тому, що озимий ріпак залишає після себе на полі велику кількість органічних решток (до 5–6 т/га), що еквівалентно внесенню 15–20 т/га перегною. Ці рослинні рештки запобігають вимиванню нітратного азоту в глибокі шари ґрунту, насамперед в осінньо-зимовий період, зв'язуючи його в біомасі.

Головна особливість вирощування озимого ріпаку – це його висока технологічна чутливість до строків та якості виконання кожної технологічної операції. Найменші відхилення від агротехнічних вимог під час обробітку ґрунту, сівби або захисту рослин призводять до значного зниження врожайності або повної загибелі посівів під час перезимівлі. Сучасне використання культури в Україні має явний експортний та біоенергетичний вектор, що стимулює аграріїв впроваджувати передові широкозахватні та комбіновані машини для мінімізації витрат на вирощування і отримання якісного врожаю.

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

2.2. Місце озимого ріпаку в сівозміні

Озимий ріпак потребує жорстких вимог до культури попередника. Головними критеріями оцінки ефективності культури-попередника є: ранні строки звільнення поля (для якісної та завчасної підготовки ґрунту під посів), мінімальна кількість пожнивних решток, відсутність спільних з ріпаком збудників хвороб (особливо склеротиніозу) та відсутність післядії гербіцидів, що застосовувалися на попередній сільськогосподарській культурі.

Найкращими попередниками для ріпаку є:

- чорний пар, адже він забезпечує максимальне накопичення вологи та поживних речовин, є можливість забезпечити високу чистоту поля від бур'янів, проте в сучасних технологіях фермерських господарств частка парів мінімальна з точки зору економічних міркувань;
- багаторічні бобові трави (конюшина, люцерна) після першого скошування, адже вони збагачують ґрунт азотом і покращують його структуру, недоліком такої сівозміни є те, що трави сильно висушують глибокі шари ґрунту, що в посушливі роки ускладнює отримання сходів ріпаку;
- рання картопля, горох на зерно, люпин, так як зазначені агрокультури дозволяють рано звільнити поле (за 1,5–2 місяці до посіву ріпаку), залишають ґрунт у пухкому стані з високим вмістом доступного азоту.

Добрими попередниками для озимого ріпаку є озима пшениця, озимий та ярий ячмінь. Це найпоширеніші попередники у реальних виробничих умовах сьогодення України. Вони збираються порівняно рано (липень), що залишає 3–5 тижнів для підготовки насіннєвого ложа. Головна вимога при використанні зазначених попередників – швидке подрібнення та рівномірне розкидання соломи комбайном під час збирання, а також проведення лущення стерні з метою провокації сходів падалиці зернових.

Недопустимими попередниками для озимого ріпаку є соняшник, цукрові буряки, соя. Соняшник і цукрові буряки пізно звільняють поле та

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

глибоко висушують ґрунтовий профіль. Крім того, соняшник та соя мають спільне небезпечне захворювання – білу гниль (склеротиніоз). Повернення ріпаку на те саме поле в сівозміні допускається не раніше ніж через 4–5 років для запобігання накопиченню в ґрунті інфекційного початку склеротиніозу, альтернаріозу та інших хвороб. Також не можна вирощувати ріпак після інших капустяних культур (гірчиця, редька, капуста).

2.3. Система удобрення озимого ріпаку

Для озимого ріпаку є характерним високий рівень виносення елементів живлення із ґрунту. Для формування 1 тони врожаю товарного насіння ріпаку із відповідною кількістю побічної продукції (соломи) рослинам необхідно: азоту (N) – 50–60 кг; фосфору (P_2O_5) – 25–30 кг; калію (K_2O) – 40–50 кг; сірки (S) – 15–20 кг; магнію (MgO) – 10–12 кг; Кальцію (CaO) – 40–50 кг.

Система удобрення проектується на основі даних агрохімічного аналізу ґрунту. Оскільки фосфор і калій є малорухомими елементами, всю їх розраховану норму ($P_{60-90}K_{90-120}$) необхідно внести під основний обробіток ґрунту (оранку або глибоке розпушування) чи локально під час проведення сівби, щоб перемістити їх у зону активної діяльності кореневої системи (на глибину 15–25 см). Внесення фосфору восени стимулює інтенсивний ріст кореневої системи максимально вглиб ґрунту, а калій підвищує концентрацію клітинного соку, що прямо впливає на успішність перезимівлі.

Щодо азоту, то в осінній період його надлишок є небезпечним, оскільки спричиняє бурхливий ріст вегетативної маси, витягування кореневої шийки та призводить до зниження морозостійкості. Восени вносять лише стартову дозу азоту (N_{20-30}) у складі комплексних добрив (нітроамофоска, діамофоска) або під передпосівну культивуацію, якщо попередником були зернові культури (для компенсації азоту, що витрачається мікроорганізмами на розкладання соломи).

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

Основна маса азотних добрив ($N_{120-150}$) вноситься навесні у два або три прийоми. Перше підживлення (по мерзлому ґрунту або на початку відновлення весняної вегетації) проводять внесення 60–70% від повної норми азоту (у формі аміачної селітри або КАС). Це стимулює швидке відновлення листової маси після зими та закладання бічних пагонів рослин. Друге підживлення (через 2–3 тижні, на початку фази стеблування), під час якого вносять решту азоту (переважно у формі карбаміду або сульфату амонію) для підтримки інтенсивного росту головного стебла та формування генеративних органів.

Сірка є дуже важливим елементом для ріпаку, оскільки вона входить до складу незамінних амінокислот (цистеїн, метіонін) і безпосередньо впливає на синтез олії та ефективність засвоєння азоту. Співвідношення між азотом і сіркою в живленні ріпаку має бути на рівні 5:1. Сірку вносять переважно восени або під перше весняне підживлення у формі сульфату амонію чи гіпсу.

Серед мікроелементів особливе значення для ріпаку має бор (В). Його дефіцит призводить до розтріскування стебел при ранньовесняному рості, дуплистості кореня, поганого цвітіння та опадання зав'язі. Бор вносять позакоренево (по листках) восени у фазі 4–6 листків (для зміцнення кореневої шийки) та навесні у фазу бутонізації. Також важливими є марганець (Mn), молібден (Mo) та цинк (Zn).

2.4. Система обробітку ґрунту при вирощуванні озимого ріпаку

Обробіток ґрунту є відповідальною ланкою технології, що визначає водно-фізичний стан насінневого ложа, динаміку накопичення вологи та стартовий розвиток культури. Основне завдання обробітку – створити глибокий, однорідний, розпушений шар ґрунту без ущільнень і водночас сформувати дрібноструктурний, вирівняний та оптимально ущільнений верхній шар для точної заробки дрібного насіння цієї культури.

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

Залежно від умов господарства та типу ґрунту застосовують кілька схем основного обробітку після зернових попередників.

1. Традиційна полицева схема, яка передбачає оперативне (в один день зі збиранням попередника) лушення стерні дисковими лущильниками на глибину 6–8 см. Це дозволяє подрібнити рослинні рештки, перервати капілярне випаровування вологи та спровокувати проростання бур'янів і падалиці. Через 2 тижні – друге лушення на глибину 10–12 см для знищення сходів бур'янів. Глибока оранка плугами з передплужниками в агрегаті з котками та кільчасто-шпоровими бородами на глибину 22–25 см. Оранка має бути завершена щонайменше за 3–4 тижні до сівби ріпаку, щоб ґрунт встиг природним чином осісти. Сівба у свіжоораний пухкий ґрунт категорично заборонена, оскільки при подальшому осіданні ґрунту відбувається розрив молодих корінців ріпаку або надмірне заглиблення кореневої шийки рослин.

2. Мінімальна безполицева схема (чизельна), яка передбачає заміну оранки на обробіток важкими чизельними розпушувачами або комбінованими диско-чизельними агрегатами на глибину 18–22 см без обертання скиби. Основною перевагою наведеної схеми обробітку є те, що за таких умов роботи на поверхні зберігається значна частина мульчуючого шару, що ефективно захищає ґрунт від перегріву та випаровування вологи в критичні місяці (липень-серпень). Ця схема є пріоритетною для посушливих умов Степу та Лісостепу України.

Передпосівний обробіток проводиться безпосередньо перед сівбою (часто в день сівби або за день до неї) на глибину загортання насіння, що складає 2,0–4,0 см.

Основні агротехнічні вимоги до операції передпосівного обробітку наступні:

- повне підрізання бур'янів та падалиці зернових;
- створення ущільненого «ложа» для насіння на заданій глибині з пухким дрібногрудкуватим шаром ґрунту над ним;

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

- максимальне вирівнювання поверхні поля (допускаються нерівності мікрорельєфу не більше $\pm 1-2$ см);
- вміст ґрунтових фракцій розміром 1–3 мм у зоні посіву повинен становити понад 80%, великі брили (понад 50 мм) не допускаються.

Для виконання перелічених вимог використовують культиватори для суцільного обробітку ґрунту, обладнані стрілчастими лапами на пружинних або жорстких стояках із підпружиненими шлейф-котами.

2.5. Підготовка насіння до сівби і сівба озимого ріпаку

Якість насіння та точність його висіву є визначальними факторами формування оптимальної густоти стояння рослин ріпаку.

Для сівби використовують високоякісне насіння (чистота не менше 98%, схожість не нижче 85–90%). Сучасна технологія передбачає обов'язкове використання насіння, підготовленого в заводських умовах, де воно проходить калібрування та комплексне інкрустування (протруєння). Фунгіцидний захист, передбачає обробіток протруйниками на основі флудіоксонілу, металаксилу-М або тебуконазолу для захисту від пліснявіння насіння, чорної ніжки, пероноспорозу та корневих гнилей. Інсектицидний захист має на меті застосування системних інсектицидів-протруйників неоніотиноїдної групи (тіаметоксам, імідаклоприд), що є критично необхідним для захисту молодих сходів від хрестоцвітних блішок, ріпакового пильщика та прихованохоботників на перших 3–4 тижнях життя. Обробка мікродобривами та стимуляторами росту забезпечує нанесення на насінину сполук бору, цинку, молібдену та гуматів для підвищення енергії проростання.

Строки сівби озимого ріпаку визначаються кліматичними умовами зони. Оптимальний строк сівби має забезпечити 60–65 днів активної вегетації восени до настання стійких морозів. Занадто рання сівба призводить до переростання рослин, витягування кореневої шийки («пальмовий ефект») та їх

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

вимерзання. Запізнення з сівбою обумовлює слабкий розвиток кореневої системи, рослини йдуть у зиму у фазі 2–4 листків і масово гинуть.

Під час вирощування ріпаку практикують переважно суцільний рядовий із міжряддям 12,5–15 см (використовують сучасні зернотрав'яні або спеціалізовані ріпакові сівалки). Останнім часом набуває поширення широкорядний спосіб сівби з міжряддями 35, 45 або 70 см, який реалізують за допомогою сівалок точного висіву, що дозволяє зменшити норму висіву насіння та проводити міжрядні обробітки на етапі догляду за посівами.

Норма висіву залежить від сорту чи гібриду та строків сівби. Так для більшості сортів ріпаку слід забезпечити 50–60 схожих насінин на 1 м² (4,5...5,5 кг/га), тоді як для гібридів (які краще гілкуються): 40–45 схожих насінин на 1 м² (3,0...3,5 кг/га). Мета забезпечення наведених норм сівби – отримати перед зимівлею густоту 35–45 життєздатних рослин на 1 м².

Через малі розміри насіння озимого ріпаку, оптимальна глибина його загортання становить 2,0–3,0 см. На важких або вологих ґрунтах глибину зменшують до 1,5–2,0 см, на легких або при пересиханні верхнього шару – збільшують до 3,5–4,0 см, але не більше, оскільки енергії проростання насінини може не вистачити для виходу сім'ядолей на поверхню поля.

2.6. Догляд за посівами

Система догляду за посівами озимого ріпаку поділяється на два великі періоди: осінній та весняно-літній. Вона спрямована на захист культури від бур'янів, шкідників, хвороб та регулювання ростових процесів культурних рослин.

Осінній період передбачає послідовне проведення наступних робіт. Прикочування посівів ріпаку: Якщо сівба проводилася в недостатньо зволожений або пухкий ґрунт, відразу після сівби виконують прикочування кільчасто-шпоровими котками для ущільнення та підтягування капілярної вологи.

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

Ріпак на перших етапах росте повільно і пригнічується бур'янами. Часто застосовують ґрунтові гербіциди (на основі метазахлору, кломазону) до появи сходів або ранньопіслясходові гербіциди. Для знищення падалиці зернових попередників, яка є потужним конкурентом за вологу восени, обов'язково застосовують селективні грамініциди (хізалофоп-П-етил, флуазифоп-П-бутил) у фазу 2–4 листків зернових.

При загрозі переростання ріпаку восени (у фазу 4–6 листків) посіви обробляють регуляторами росту (ретардантами) на основі тебуконазолу, метконазолу або хлормекватхлориду. Ці речовини зупиняють ріст надземної частини, стимулюють потовщення кореневої шийки, заглиблення точки росту в ґрунт та інтенсивний ріст кореня вглиб, одночасно виконуючи функцію фунгіцидного захисту проти фомозу.

Восени сходи ріпаку можуть повністю знищити хрестоцвітні блішки, ріпаківий пильщик, совки та слимаки. При перевищенні економічного порогу шкодочинності проводять обприскування інсектицидами (піретроїди, фосфорорганічні сполуки).

У весняно-літній період проводять ранньовесняне підживлення рослин та оцінку перезимівлі: Проводять облік життєздатних рослин після відновлення вегетації. Як тільки температура повітря піднімається до +5...+8 °С, активізується великий ріпаківий та стебловий прихованохоботники. Вони відкладають яйця всередину стебла, що призводить до його розтріскування та вилягання. Для усунення цього необхідно провести раннє інсектицидне оброблення.

У фазі бутонізації (до цвітіння) жуки квіткоїда здатні повністю знищити майбутній урожай, виїдаючи бутони зсередини. Проводять 1–2 обприскування системними або комбінованими інсектицидами, безпечними для бджіл (наприклад, на основі тіаклоприду або ацетаміприду).

У фазі середини цвітіння ріпаку проводять обов'язкове авіаційне або наземне (самохідними обприскувачами з високим кліренсом) внесення

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

фунгіцидів для захисту від склеротиніозу та альтернаріозу. Пелюстки квіток, що опадають і застрягають у пазухах листків, є ідеальним субстратом для розвитку спор білої гнилі.

2.7. Збирання врожаю озимого ріпаку

Збирання врожаю – це один із найвідповідальніших та найскладніших етапів вирощування ріпаку через схильність стручків до нерівномірного дозрівання та самовільного розтріскування від вітру або механічного контакту з жаткою, що може спричинити втрати до 30–50% вирощеного врожаю.

Застосовують два основні методи збирання:

1. Пряме комбайнування (однофазне) – застосовується на чистих від бур'янів посівах при рівномірному дозріванні рослин. Вологість насіння під час збирання має становити 10–13%. Обов'язкова умова 2 цього методу є використання на комбайнах спеціальних зернових жаток, обладнаних «ріпаковим столом» (подовжена платформа на 30–40 см з активними бічними вертикальними ножами-дільниками). Без ріпакового столу звичайне мотило жатки грубо вдаряє по переплетених стеблах ріпаку, викликаючи масове розтріскування стручків перед зрізанням.

2. Роздільне збирання (двофазне) застосовується за умов високої забур'яненості поля, нерівномірного дозрівання культури або за відсутності десикантів.

Перша фаза. Рослини скошують у валки спеціальними рядковими жатками при вологості насіння 30–35% (коли насіння в нижніх стручках набуває темно-коричневого або чорного забарвлення, а в середньому ярусі стає червоно-бурим).

Друга фаза. Через 4–7 днів після підсихання маси у валках (при зниженні вологості до 8–10%) проводять підбирання та обмолот комбайнами, обладнаними платформою-підбирачем. Недоліком є високий ризик втрат у разі затяжних дощів під час перебування ріпаку у валках.

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

Для полегшення прямого комбайнування та зменшення втрат широко використовують два технологічні прийоми.

Десикація. Обприскування посівів за 7–10 днів до збирання контактними гербіцидами-десикантами (на основі диквату) або системними (гліфосати) при вологості насіння близько 30–35%. Десикація підсушує вегетативну зелену масу та бур'яни, забезпечуючи одночасне дозрівання всіх ярусів стручків.

Застосування склеювачів стручків. Органічні полімерні препарати на основі сурфактантів або синтетичного латексу. Їх вносять за 2–3 тижні до збирання (на початку пожовтіння стручків). Препарат створює на стручку тонку еластичну напівпроникну плівку, яка запобігає проникненню вологи всередину стручка під час дощу, але не заважає випаровуванню внутрішньої вологи. Це запобігає розтріскуванню стручків від гідротермічних коливань та дії вітру.

Режими роботи комбайна при обмолоті ріпаку є наступними – частота обертання барабана знижується до 500–600 об/хв (щоб не подрібнювати стебла і не засмічувати насіння), швидкість вентилятора очищення зменшують, оскільки легке насіння ріпаку може виноситися повітряним потоком у відходи. Зібране насіння максимально швидко відправляють на очищення та сушіння, оскільки при вологості понад 9% воно здатне швидко самозігріватися та псуватися протягом кількох годин. Оптимальна вологість для тривалого зберігання насіння ріпаку – 7–8%.

2.8. Обґрунтування доцільності використання культиватора КПК-4 при вирощуванні озимого ріпаку та аналіз його недоліків, що потребують вдосконалення

У системі передпосівного обробітку ґрунту під озимий ріпак велике значення має вибір правильного ґрунтообробного агрегату. Культиватор причіпний комбінований КПК-4 є базовою машиною, яка широко

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

використовується в господарствах України на середніх та важких за механічним складом ґрунтах, у тому числі на ґрунтах із наявністю значної кількості каменистих включень.

Практичне використання культиватора КПК-4 в технологіях вирощування озимого ріпаку обумовлено рядом його конструктивних особливостей і умов експлуатації.

1. Адаптивність до складних умов роботи. Базовий культиватор спроектований для роботи на ґрунтах із вологістю до 20% та високою твердістю – до 3,5 МПа. Це є дуже важливим для періоду підготовки ґрунту під ріпак, що проводиться в серпні, коли більшість полів через посуху сильно пересушені та ущільнені.

2. Універсальність та комбінованість. Агрегат за один прохід виконує комплекс операцій: розпушування, підрізання бур'янів, вирівнювання мікрорельєфу робочими органами та подрібнення брил і ущільнення ложа рубчастими котками. Це зменшує кількість проходів агрегатів по полю, зберігаючи важливу дефіцитну серпневу вологу.

3. Ширина захвату та енергоефективність. Ширина захвату культиватора 4,0 метри забезпечує раціональне завантаження тракторів найбільш масового тягового класу 3,0 (наприклад, Т-150К, Т-150) на високих робочих швидкостях (до 10–12 км/год), що дозволяє досягти продуктивності на рівні 3,1–3,8 га/год і вкластися в жорсткі агротехнічні терміни проведення передпосівної підготовки.

4. Транспортні габарити. Габаритні розміри машини в транспортному положенні складають менше 4,4 м, що гарантує безпечне та безперешкодне переміщення дорогами загального призначення між віддаленими полями агропідприємств.

Разом із цим, незважаючи на переваги, базова конструкція агрегату КПК-4 має ряд недоліків, які обмежують якість його роботи при підготовці насіннєвого ложа під дрібнонасінневі культури, зокрема під озимий ріпак:

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

- неоптимальна дво рядна система розстановка робочих органів з малим міжрядним кроком. У базовому варіанті культиватора лапи розташовані близько одна від одної. При передпосівному обробітку після зернових попередників на поверхні поля залишається велика кількість подрібненої соломи. Малий простір між стояками лап призводить до швидкого забивання агрегату сумішшю ґрунту та рослинних решток, машина починає не розпушувати, а «гребти» ґрунт, повністю руйнуючи мікрорельєф поля.
- жорстке кріплення або недостатня амортизаційна здатність стояків лап. При роботі на кам'янистих ґрунтах або пересушених ділянках з твердістю до 3,5 МПа жорсткі стояки зазнають надто потужних динамічних ударів. Це призводить до частих поломок лап, зрізання запобіжних болтів та навіть деформації бруса рами, а також викликає коливання всього агрегату по глибині обробки.
- недостатня інтенсивність кришення брил одинарним рубчастим котком. Для посіву ріпаку потрібен вміст дрібних фракцій (1–3 мм) понад 80%. Одинарний рубчастий коток, який входить до базового культиватора КПК-4, за умов високої твердості серпневого ґрунту просто перекочується по великих сухих брилах, вдавлюючи їх у ґрунт, але не руйнуючи їх структуру. На поверхні залишається велика кількість грудок розміром більше 50 мм.
- нерівномірність глибини ходу лап по ширині захвату. Через недосконалість системи копіювання рельєфу опорними колесами та жорстку фіксацію причіпного пристрою (сниці), культиватор на нерівних ділянках поля схильний до поздовжнього або поперечного перекосу. Відхилення глибини ходу лап перевищує допустимі агротехнічні норми (± 1 см), що унеможливорює рівномірне загортання насіння сівалкою.

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

Для усунення виявлених недоліків агрегату для поверхневого обробітку та забезпечення повної відповідності культиватора агротехнічним вимогам вирощування озимого ріпаку, конструкція КПК-4 може бути модернізованою так:

- перехід на трирядне просторове розташування робочих органів з оптимізованою схемою розстановки (5 + 4 + 6): Конструктивне збільшення відстані між рядами лап до 900 мм при збереженні загального нормативного перекриття лап на рівні $C = 70$ мм. Така розстановка робочих органів повністю ліквідує ризики забивання лап агрегату рослинними рештками попередника.
- впровадження індивідуального пружинного захисту стояків кожної лапи. Це дозволить робочим органам гнучко обходити кам'янисті перешкоди (за рахунок тимчасового винурювання під дією надлишкової сили опору) та повертатися у вихідне робоче положення без зупинки агрегату, а також створювати додаткову мікровібрацію лапи, що покращує кришення твердого ґрунту.
- модернізація шлейфу – заміна одинарного котка на блок подвійних рубчастих (або тандемних дисково-рубчастих) котків з механізмом пружинного довантаження. Завдяки різниці діаметрів або різній кутовій швидкості обертання переднього та заднього барабанів котка досягається ефект інтенсивного самоочищення та динамічного сколювання сухих брил, що гарантує створення ідеально дрібноструктурного верхнього шару ґрунту.

Короткі висновки по розділу

Озимий ріпак є біологічно вибагливою, але високорентабельною культурою з великим господарським (олійним, технічним, кормовим) та агротехнічним (фітосанітарним, сидеральним) значенням. Успішність його вирощування критично залежить від якості підготовки насінневого ложа через

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

надзвичайно малі розміри насіння (маса 1000 насінин – 3,5–5,0 г) та жорсткі вимоги до глибини загортання (2,0–3,0 см).

Оптимальним місцем ріпаку в сівозміні є поля після чорних парів, бобових культур або ранніх зернових колосових (озима пшениця, ячмінь), які забезпечують раннє звільнення поля. Інтенсивне живлення культури вимагає обов'язкового внесення повної норми фосфорно-калійних добрив восени під основний обробіток, стартових доз азоту та сірки, а також підживлення азотом і бором у весняно-літній період.

Аналіз технології обробітку ґрунту підтвердив, що передпосівна культивуація повинна проводитися виключно на глибину сівби, повністю знищувати бур'яни, забезпечувати вирівняність поля ± 1 см та створювати дрібногрудкувату структуру (фракції 1–3 мм понад 80%).

Обґрунтовано, що модернізація культиватора КПК-4 шляхом реалізації трирядного розташування лап зі збільшеним поздовжнім кроком, встановлення індивідуальних пружинних механізмів захисту та заміни шлейфу на подвійні рубчасті котки дозволить повністю усунути технологічні обмеження базової моделі, забезпечити виконання високих агротехнічних вимог під вирощування озимого ріпаку та підвищити загальну енергоефективність процесу.

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

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

3.1. Умови роботи

Ефективність функціонування машинно-тракторного агрегату для поверхневого обробітку ґрунту безпосередньо залежить від фізико-механічних та топографічних характеристик робочого середовища. На основі аналізу вихідних агрокліматичних умов та параметрів дослідної зони встановлено наступні базові чинники:

Тип ґрунту та механічний склад. Важкі та середні за механічним складом ґрунти (переважно чорноземи глинисті, звичайні та суглинкові), які характеризуються високим опором різанню та схильністю до брилоутворення під час пересихання.

Наявність включень. На полях присутні каменисті включення, що зумовлює виражений динамічний та ударний характер навантажень на робочі органи сільськогосподарської машини під час руху.

Рельєф та топографія поля. Допускається експлуатація агрегату на полях із пологим та середнім нахилом поверхні до 8°. Мікрорельєф поля характеризується наявністю нерівностей та борозен від попередніх технологічних операцій.

Вологість ґрунту. Максимально допустима вологість орного шару під час проведення передпосівної або осінньої технологічної операції становить до 20 %, що відповідає стану фізичної стиглості ґрунту.

Твердість ґрунту. Гранична величина механічного опору (твердості) ґрунту в зоні взаємодії з робочими органами досягає 3,5 МПа.

Стан поверхні та фон поля. Поле після збирання попередника (озимі зернові колосові) містить значну кількість подрібненої соломи та стерні. Рослинні рештки потребують якісної сепарації, розподілу та заробки у верхньому шарі без винесення вологих нижніх горизонтів на поверхню та без ефекту забивання робочих органів машини.

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

3.2. Агротехнічні вимоги

Передпосівний або поверхневий обробіток ґрунту під таку вибагливу дрібнонасінену культуру, як озимий ріпак, є відповідальною операцією, що визначає якість наступної сівби, рівномірність заробки насіння та дружність сходів. До процесу поверхневого обробітку висуваються жорсткі агротехнічні вимоги.

Глибина обробки. Залежно від стану поля, максимальна технологічна глибина розпушування може досягати 24 см. Проте для безпосереднього формування насінневого ложа під ріпак робоча глибина встановлюється в межах $a = 12$ см (120 мм) з допустимим відхиленням у поздовжньому та поперечному напрямках не більше ± 1 см.

Рівномірність та стабільність ходу. Робочі органи культиваторів повинні забезпечувати стійкість у повздовжньо-вертикальній площині. Зміна глибини ходу лап у процесі руху через коливання опору ґрунту не повинна перевищувати встановлений допуск.

Якість розпушення ґрунту та структурний склад. Оброблений горизонт повинен характеризуватися високим відсотковим вмістом агрономічно цінних агрегатів заданих розмірів (вміст комочків фракцією 1–3 мм повинен становити понад 80 %). Наявність великих брил розміром понад 50 мм на поверхні поля категорично не допускається.

Підрізання бур'янів та падалиці. Забезпечення повного (100 %) підрізання сорної рослинності та падалиці зернових попередників за рахунок нормативного перекриття стрілочастих лап.

Самоочищення робочих органів ґрунтообробного агрегату. Конструкція стояків та геометрія лез лап повинні гарантувати безперервне самоочищення від рослинних решток і бур'янів у процесі руху без накопичення маси перед робочими органами.

Вирівнювання мікрорельєфу та якість шлейфу. Позаду розташовані рубчасті котки повинні повністю зарівнювати борозни, утворені проходом

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

стрілчастих лап, забезпечуючи висоту гребенів не більше 2 см та створюючи оптимально ущільнений підповерхневий шар ґрунту.

3.3. Комплектування і підготовка агрегату до роботи

3.3.1. Обґрунтування та вибір елементів МТА

Для виконання операції поверхневого обробітку ґрунту в заданих умовах експлуатації на основі техніко-економічного аналізу скомплектовано машинно-тракторний агрегат у такому складі:

- енергетичний засіб (трактор), обрано колісний трактор загального призначення Т-150К (або гусеничний Т-150), який належить до тягового класу 3 та володіє необхідними зчіпними і потужнісними характеристиками;
- сільськогосподарська машина – причіпний трирядний комбінований культиватор КПК-4 з конструктивною шириною захвату $B = 4$ м.

3.3.2. Розширений аналітичний розрахунок параметрів та режимів роботи МТА для поверхневого обробітку ґрунту

Для забезпечення максимальної техніко-економічної ефективності, мінімізації питомої витрати пального та повного використання потенціалу трактора проведено повний розрахунок параметрів роботи агрегату.

1. Визначення повного тягового опору культиватора P_k .

Тяговий опір комбінованої машини складається з опору опорних коліс культиватора по обробленому або пухкому ґрунту R_n , загального опору робочих органів (стрілчастих лап) R_l та опору додаткових елементів шлейфу (зубових борін чи котків) R_o :

$$P_k = R_n + R_l + R_o.$$

Розрахунок опору коліс культиватора R_n проводимо згідно з класичною формулою В. П. Горячкіна для колісного ходу

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

сільськогосподарських машин, зусилля перекочування опорних елементів становить

$$R_n = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^4}{q_0 \cdot b_{об} \cdot D^2}},$$

де Q – повне вертикальне навантаження на колісну пару культиватора, Н;

q_0 – коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, Н/м³;

$b_{об}$ – ширина обода колеса культиватора, $b_{об} = 218$ мм = 0,218 м;

D – повний зовнішній діаметр колеса, $D = 777$ мм = 0,777 м.

Вертикальне навантаження на колеса культиватора Q у робочому стані з урахуванням динамічного перерозподілу сил та реакцій становить $Q = 16137,8$ Н. Питомий опір ґрунту деформації приймаємо рівним $q_0 = 2200$ Н/м = $2,2 \cdot 10^3$ Н/м.

Підставимо значення у формулу, отримаємо:

$$R_n = 0,86 \cdot \sqrt[3]{\frac{16137,8^4}{2200 \cdot 0,218 \cdot 0,777^2}} = 0,86 \cdot \sqrt[3]{2,342 \cdot 10^{14}} = 7143 \text{ Н} = 7,143 \text{ кН}.$$

Розрахунок загального опору культиваторних лап $R_{л}$.

Сила опору робочих органів визначається через питомий опір ґрунту на одиницю ширини захвату машини:

$$R_{л} = q \cdot B,$$

де q – питомий опір ґрунту для передпосівної культивації, $q = 220$ кг/м = 2200 Н/м;

B – конструктивна ширина захвату культиватора, м.

$$R_{л} = 2200 \cdot 4 = 8800 \text{ Н} = 8,8 \text{ кН}.$$

Розрахунок опору додаткових елементів шлейфу/борони $R_{б}$.

Згідно з експериментальними даними для комбінованих шлейф-систем культиваторів, опір додаткового обладнання становить приблизно 50 % від опору основних лап:

$$R_{б} = 0,5 \cdot R_{л} = 0,5 \cdot 8800 = 4400 \text{ Н} = 4,4 \text{ кН}.$$

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

Для визначення повного тягового опору МТА P_{κ} проведемо сумування складових опору агрегату, отримаємо:

$$P_{\kappa} = 7143 + 8800 + 4400 = 20343 \text{ Н} = 20,434 \text{ кН.}$$

2. Обґрунтування та розрахунок робочої швидкості і передачі трактора.

Для колісного трактора Т-150К номінальна сила тяги на крюці на основних робочих передачах становить $P_{кр} = 28,45 \text{ кН}$ при швидкості руху до 12 км/год.

Перевіряємо головну умову надійності агрегування, згідно з якою тяговий опір машини не повинен перевищувати номінальне зусилля на крюці енергетичного засобу – $P_{\kappa} \leq P_{кр}$:

$$20,343 \text{ кН} \leq 28,45 \text{ кН.} \text{ – умова виконується.}$$

Визначимо фактичний коефіцієнт використання тягового зусилля (завантаження) трактора η_z :

$$\eta_z = \frac{P_{\kappa}}{P_{кр}} = \frac{20,343}{28,45} = 0,715 \text{ або } 71,5\%.$$

Отримане значення $\eta_z = 71,5\%$ знаходиться в межах оптимального діапазону завантаження (70...85 %) для колісних тракторів загального призначення. Це забезпечує високу паливну економічність двигуна та створює необхідний динамічний запас потужності (близько 28,5 %) для подолання тимчасових локальних збільшень твердості ґрунту або нахилів поля до 8° без перемикання передач. Таким чином, обираємо 3-ю передачу I-го робочого діапазону коробки передач трактора Т-150К, що забезпечує стабільну розрахункову робочу швидкість руху агрегату $v_p = 10 \text{ км/год.}$

3. Розрахунок експлуатаційної продуктивності агрегату.

Теоретична (абсолютна) продуктивність МТА за одну годину основного (чистого робочого) часу становить:

$$W_m = 0,1 \cdot B \cdot v_p = 0,1 \cdot 4,0 \cdot 10 = 4,0 \text{ га/год.}$$

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

Дійсна експлуатаційна продуктивність агрегату за годину змінного часу W_3 враховує витрати часу на розвороти, технологічне обслуговування та відпочинок оператора через коефіцієнт використання робочого часу зміни $\tau_{3м} = 0,7$. Маємо:

$$W_3 = W_m \cdot \tau_{3м} = 4,0 \cdot 0,7 = 2,8 \text{ га/год.}$$

За умови тривалості робочої зміни $T_{3м} = 8$ год, змінна продуктивність одного машинно-тракторного агрегату становитиме:

$$W_{3м} = W_3 \cdot T_{3м} = 2,8 \cdot 8 = 22,4 \text{ га/зміну.}$$

4. Розрахунок витрати пального.

Приймаємо питому вагу витрати дизельного пального для трактора Т-150К при номінальному завантаженні на рівні $G_{нал} = 6,5$ кг/га. Тоді годинна витрата пального агрегатом складе:

$$G_2 = W_3 \cdot G_{нал} = 2,8 \cdot 6,5 = 18,2 \text{ кг/год.}$$

3.3.3. Технологічний порядок налагодження та інженерного регулювання агрегату для поверхневого обробітку ґрунту

Підготовка та регулювання МТА проводяться на спеціалізованому вирівняному та твердому майданчику.

Контроль ходової частини та тиску. Проводять візуальний огляд елементів трактора та культиватора. Тиск у шинах ведучих коліс трактора Т-150К встановлюють на рівні 0,12 МПа (для польових робіт), а тиск у шинах опорних коліс культиватора КПК-4 – на рівні 0,20–0,22 МПа для запобігання надмірній деформації обода під навантаженням.

Агрегатування та блоки безпеки. Трактор під'їжджає до культиватора, здійснюється з'єднання причіпної серги трактора зі сницею культиватора. Фіксують шворневий палець та обов'язково закріплюють страховий ланцюг сниці до рами трактора, що виключає аварійне від'єднання при подоланні кам'янистих перешкод. Гідравлічні рукави високого тиску культиватора підключають до виносних штуцерів розподільника трактора.

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

Налаштування заданої глибини ходу лап. Під опорні колеса культиватора встановлюють дерев'яні або металеві підкладки, товщина яких дорівнює необхідній глибині обробки (12 см), зменшеній на величину заглиблення коліс у пухкий ґрунт (2...3 см), тобто товщина підкладок становить 9 см. Опускають культиватор за допомогою гідросистеми до повного контакту лап із поверхнею майданчика. На висунутий шток гідроциліндра Ц-75 встановлюють відповідну кількість обмежувальних упорів (кліпс). Кожен встановлений упор обмежує хід штока і фіксує положення коліс відносно рами, змінюючи глибину обробки з кроком 2 см. При максимальній кількості упорів досягається мінімальна глибина ходу.

Горизонтальне вирівнювання рами культиватора. Для того щоб лапи першого, середнього та заднього рядів заглиблювалися на однакову величину, рама повинна бути паралельною до поверхні майданчика. Регулювання здійснюється за допомогою гвинтового домкрата, встановленого на сніщі. Обертанням гвинта змінюють висоту розташування сніщі відносно причепа трактора до моменту, коли всі ріжучі кромки лап торкнуться поверхні.

Налаштування тиску шлейф-систем. Регулюють натяг пружин довантаження рубчастих котків. Тиск повинен забезпечувати активне руйнування брил, але не викликати надмірного заглиблення котків, щоб кут обхвату барабана ґрунтом не перевищував 20°, інакше виникне ефект зсуву та згортання ґрунту

3.4. Підготовка поля до роботи

Якісна інженерна підготовка робочої зони (поля) є обов'язковою умовою для забезпечення безпеки праці, досягнення проектної продуктивності та запобігання поломкам модернізованого культиватора.

Процес підготовки складається з наступних послідовних етапів:

1. Очищення та маркування перешкод. Поле ретельно оглядають, великі каміння, сторонні предмети та глибокі ями, які не можуть бути подолані

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

амортизаційними пружинними стояками лап, огорожують або маркують за допомогою сигнальних віх висотою 1,5 м на відстані 2 м від перешкоди.

2. Вибір технологічного напрямку руху. Напрямок проходів МТА обирають під кутом $10...15^\circ$ до напрямку виконання попередньої основної обробки (оранки або чизелювання). Діагонально-кутовий напрямок руху забезпечує зрізання гребенів, краще засипання борозен та рівномірне кришення брил котками по всій ширині захвату агрегату.

3. Розбивка робочої площі на загінки. Поле поділяють на окремі загінки. Ширина кожної загінки повинна бути кратною ширині захвату культиватора ($B = 4$ м). Оптимальну ширину загінки обирають у межах $60...100$ м залежно від довжини гону для мінімізації неробочих (холостих) ходів.

4. Розмітка та відбиття поворотних смуг. З обох торців поля відбивають тимчасові лінії поворотних смуг. Ширина поворотної смуги E повинна гарантувати безпечний і плавний поворот колісного трактора Т-150К з причіпним знаряддям без виїзду за межі робочої зони.

Розрахунок параметрів повороту та координатної геометрії МТА:

Кінематична довжина агрегату L_{agr} :

$$L_{agr} = L_{mp} + L_{kn} ,$$

де L_{mp} – довжина трактора Т-150К, $L_{mp} = 5,0$ м;

L_{kn} – конструктивна довжина причіпного культиватора КПК-4 разом зі сницею та котками, $L_{kn} = 3,125$ м.

Після підстановки маємо

$$L_{agr} = 5,0 + 3,125 = 8,125 \text{ м.}$$

Довжина виїзду – це відстань, на яку трактор повинен виїхати вперед за лінію загінки, щоб крайній задній ряд лап та рубчасті котки повністю вийшли з обробленого ґрунту перед початком здійснення повороту:

$$X = L_{kn} + d_g ,$$

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

де d_g – конструктивний запас виходу робочих органів, м.

$$X = 3,125 + 0,5 = 3,63 \text{ м.}$$

Приймаємо з урахуванням габаритів котків культиватора $X = 4,0$ м.

Для колісного трактора Т-150К з причіпною машиною за умов безпечної роботи без зачіпання шинами елементів сніци, мінімальний радіус повороту становить:

$$R_{\min} = 6,5 \text{ м.}$$

Для виконання безпетльового (грушоподібного або кругового) повороту причіпного МТА мінімальна ширина поворотної смуги розраховується за відомою формулою:

$$E = 3 \cdot R_{\min} + X = 3 \cdot 6,5 + 4,0 = 19,5 + 4,0 = 23,5 \text{ м.}$$

З метою зручності орієнтування механізатора за маркерами та забезпечення кратності проходів культиватора ($B = 4$ м), отримане значення округлюємо у більшу сторону до найближчого кратного числа. Приймаємо остаточну інженерну ширину поворотної смуги $E = 24$ м (що дорівнює рівно 6 проходів культиватора КПК-4).

3.5. Організація роботи ґрунтообробного агрегату в загінці

Для забезпечення максимального коефіцієнта використання робочого ходу та недопущення зайвих витрат пального на поворотних смугах, організація руху МТА Т-150К + КПК-4 здійснюється загінним способом за схемою руху «всклад-врозгін» з чергуванням загонів або човниковим способом при значній довжині поля (понад 1000 м).

Технологічна послідовність та правила виконання операцій поверхневого обробітку ґрунту в загінці є наступними.

Початок руху та заглиблення робочих органів. Агрегат виходить на вісь першого робочого проходу у загінці. Рух починають на поворотній смузі. При перетині лінії робочої зони тракторист без зупинки МТА переводить важіль гідророзподільника в положення «опускання». Лапи під дією сили ваги

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

культиватора та заглиблюючої здатності поступово входять у ґрунт на ходу, що виключає ударні перевантаження рами та зрізання болтів.

Дотримання швидкісного та динамічного режимів. Рух по гону поля виконується виключно на встановленій передачі при постійних номінальних обертах колінчастого вала двигуна трактора, що забезпечує підтримання швидкості 10 км/год. Стабільна швидкість є запорукою якісного виконання технологічного процесу: за такої кінематики стрілчасті лапи ефективно кришать скибу, а рубчасті котки інтенсивно подрібнюють брили.

Керування суміжними проходами. Для недопущення виникнення необроблених смуг (огріхів), кожен наступний прохід МТА здійснюється з частковим взаємним перекриттям суміжних проходів на величину 10...15 см. Механізатор орієнтується за слідом попереднього проходу котків або за допомогою встановленого панорамного маркера на капоті трактора.

Виглиблення на межі загінки. При наближенні до протилежної поворотної смуги, у момент перетину лінії поворотної смуги, тракторист переводить важіль гідросистеми в положення «підйом». Робочі органи повністю виходять із ґрунту, зафіксувавшись у транспортному положенні до моменту повного виїзду котків на поворотну смугу.

Виконання маневру на поворотній смузі. Поворот здійснюється за безпетльовою траєкторією на швидкості, що не перевищує 5...6 км/год (безпечна транспортна швидкість машини – до 20 км/год). Категорично забороняється робити круті повороти або розвороти МТА з опущеними у робоче положення лапами, оскільки це призводить до скручування стояків, деформації повздовжніх брусів рами та поломки підшипникових вузлів котків.

Фінішна обробка поворотних смуг. Після повного завершення культивування всіх робочих заїнок поля, агрегат здійснює кругові проходи по самих поворотних смугах. Поворотні смуги обробляються суцільно у 3 або 4 проходи для повного розпушування та ліквідації ущільнених слідів і колій, що

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

були утворені колесами важкого трактора Т-150К під час виконання розворотів.

3.6. Контроль якості роботи

Контроль якості виконання операції поверхневого обробітку є безперервним процесом, що організовується інженерно-агрономічною службою підприємства. Він складається з трьох послідовних етапів.

1. Вхідний контроль. Перевірка технічного стану МТА на майданчику, контроль гостроти лез лап (товщина ріжучої кромки не повинна перевищувати 1 мм), контроль відсутності люфтів у підшипниках котків та правильного встановлення обмежувальних упорів на штоку гідроциліндра.

2. Поточний (операційний) контроль. Виконується безпосередньо в полі трактористом при виконанні перших проходів та агрономом впродовж зміни.

3. Приймальний контроль. Оцінка якості обробки всієї площі поля перед початком посівної кампанії з підписанням акту виконаних робіт.

Критерії та методи інструментальної оцінки якості проведених робіт наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Інженерна карта операційного контролю якості поверхневого обробітку ґрунту

Найменування контролюваного показника	Агротехнічний норматив (допуск)	Інструментальний метод, засіб та прилад контролю	Періодичність та об'єм контрольних замірів
Фактична глибина обробки	Задана 12 см, граничне відхилення не більше ± 1 см.	Вирівнювання поверхні, заглиблення спеціального мірного стержня або лінійки-глибиноміра до твердого необробленого шару	Не менше 15–20 замірів рівномірно по діагоналі кожної обробленої загинки впродовж зміни

Найменування контролюваного показника	Агротехнічний норматив (допуск)	Інструментальний метод, засіб та прилад контролю	Періодичність та об'єм контрольних замірів
		(«ложа») з урахуванням коефіцієнта пухкості ґрунту $\kappa \approx 1,15 \dots 1,2$	
Ступінь кришення (якість розпушення)	Вміст фракцій агрономічно цінних грудочок розміром 1–3 мм повинен становити >80 %. Наявність брил >50 мм не допускається	Накладання контрольної металевої рамки розміром $0,5 \times 0,5$ м у 5 точках загінки, ручне сортування фракцій або візуальна покомпонентна оцінка за стандартизованою шкалою	3 рази за зміну на кожному новому робочому загоні
Ступінь підрізання бур'янів та іншої рослинності	Повне підрізання бур'янів та падалиці зернових 100 %	Візуальний огляд обробленої площі по діагоналі поля, підрахунок кількості одиниць незрізаних або присипаних бур'янів на облікових майданчиках площею 10 м^2	Постійний нагляд під час руху МТА, фіксація результатів двічі за робочий день
Гребнистість (вирівняність мікрорельєфу)	Висота гребенів ґрунту та глибина розвальних борозен після проходу котків не більше 2 см	Накладання стандартної профілемірної тактичної рейки довжиною 2,0 м перпендикулярно до напрямку руху агрегату, вимірювання лінійкою висоти нерівностей	Не менше 5 разів на зміну у випадкових контрольних точках
Огріхи, пропуски та	Повна відсутність	Візуальний моніторинг стикових	Безперервно в процесі

Найменування контролюваного показника	Агротехнічний норматив (допуск)	Інструментальний метод, засіб та прилад контролю	Періодичність та об'єм контрольних замірів
приховані дефекти	необроблених ділянок або смуг між суміжними проходами	міжрядь суміжних проходів МТА з кабіни трактора та піший обхід кутових зон поля	виконання операції

При виявленні систематичного виходу контрольованих параметрів за межі агротехнічних допусків (наприклад, середня глибина обробки відхилилася на 2,5 см або з'явилася гребнистість 2,5 см) агрегат відразу зупиняють на крайній поворотній смузі. Проводять очищення лап, коригують положення гвинта домкрата сніці, додають чи знімають кліпси зі штока гідроциліндра або змінюють тиск у пружинах довантаження котків. Робота відновлюється лише після отримання позитивних результатів повторного інструментального контролю на перших 50 метрах проходу.

Висновки до розділу 3

Обґрунтовано умови експлуатації та описані детальні агротехнічні вимоги до операції поверхневого обробітку важких та середніх кам'янистих ґрунтів, які визначають якість підготовки насіннєвого ложа під озимий ріпак (стабільність глибини ходу 12 ± 1 см, ступінь кришення фракцій 1–3 мм понад 80 %, повне підрізання бур'янів та вирівнювання рельєфу).

На основі проведених технологічних розрахунків з урахуванням теорії колісного ходу В.П. Горячкіна визначено сумарний тяговий опір модернізованого культиватора КПК-4, який склав $P_k = 20,343$ кН. Обґрунтовано оптимальний склад машинно-тракторного агрегату у складі колісного трактора класу 3 (Т-150К) та причіпного культиватора КПК-4. Коефіцієнт завантаження трактора склав $\eta = 71,5$ %, що забезпечує стабільну

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

роботу на 3-й передачі I-го робочого діапазону з робочою швидкістю 10 км/год та високу паливну економічність.

Розраховано експлуатаційні параметри МТА: продуктивність за годину змінного часу становить $W_z = 2,8$ га/год, що забезпечує виробіток на рівні 22,4 га за 8-годинну робочу зміну при питомій витраті дизельного пального 6,5 кг/га.

Визначено координатні параметри кінематики агрегату: повна кінематична довжина МТА становить $L_{agr} = 8,125$ м, довжина виїзду – $X = 4,0$ м, а мінімальний радіус повороту – $R_{min} = 6,5$ м. На основі цих даних розраховано оптимальну ширину поворотної смуги, яку з умов кратності проходам машини прийнято рівною $E = 24$ м.

Розроблено схему організації руху МТА в загінці (загінковий спосіб «всклад-врозвал» з чергуванням загінок) та складено детальну інженерну карту операційного контролю якості, що включає інструментальні методи оцінки глибини, глибистості, підрізання бур'янів та гребнистості поверхні поля, що гарантує високу технологічність та працездатність модернізованого агрегату.

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

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування модернізації із описом будови і конструкції серійного культиватора

Серійний причіпний культиватор КПК-4 (рис. 2) призначений для передпосівного обробітку важких та середніх за механічним складом ґрунтів із наявністю включень каміння, підрізанням бур'янів, а також заробки органічних та мінеральних добрив у весняно-осінній періоди.

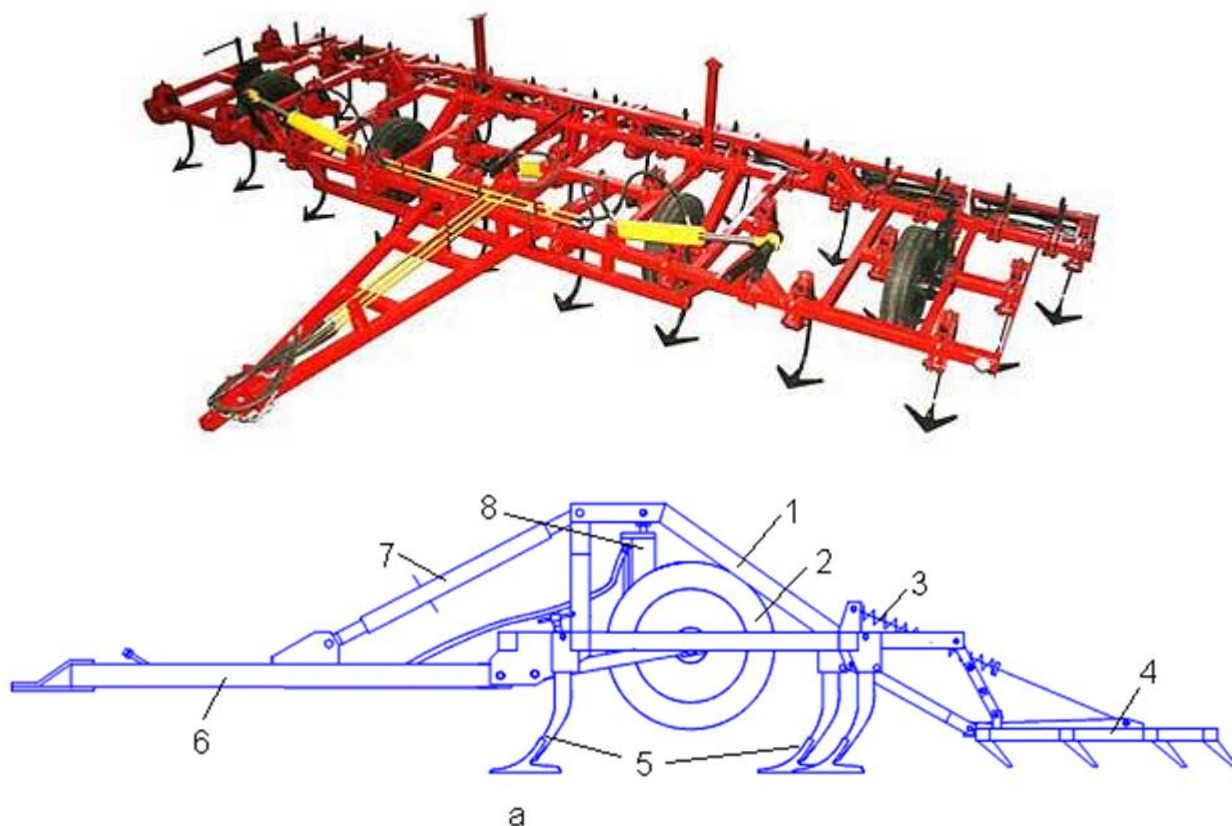


Рис. 2. Загальний вигляд і функціональна схема культиватора КПК-4:
1 – рама культиватора; 2 – колеса опорні; 3 – пружинні натискачі; 4 – шлейф борона (додатковий робочий орган); 5 – культиваторні лапи; 6 – сниця;
7 – гвинт регулювальний; 8 – циліндр гідравлічний

Згідно з існуючими даними, базовий агрегат є причіпною рамною конструкцією, виконаною у вигляді зварної ферми із порожнистих металевих брусів квадратного перерізу. З'єднання культиватора з енергетичним засобом (колiсним трактором тягового класу 3–5) здійснюється за допомогою

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

приєднувального пристрою – сніці. На сніці змонтовано гвинтовий домкрат, призначений для регулювання висоти причепа та повздовжнього вирівнювання рами агрегату в горизонтальній площині. Також на сніці передбачено страховий ланцюг, який служить захисним блокуванням на випадок аварійного роз'єднання зчіпного пристрою під час руху.

До складу основних конструктивних вузлів серійного культиватора входять (рис. 2): несуча зварна рама 1, опорно-транспортні колеса 2, приєднувальний пристрій (сніця) 6 з механізмом регулювання 7, стояки кріплення робочих органів та стрілчасті лапи з шириною захвату 330 мм 5, шлейф із додатковими робочими органами 4.

Переведення культиватора з робочого положення в транспортне і навпаки здійснюється за допомогою виносних гідроциліндрів 8, підключених до гідросистеми трактора, безпосередньо з кабіни механізатора. Регулювання та фіксація глибини обробки ґрунту виконується механічним способом за допомогою набору упорів (кліпс), що встановлюються на висувний шток гідроциліндра. Кожен встановлений упор змінює просторове розташування опорних коліс відносно несучої рами, збільшуючи або зменшуючи глибину заглиблення лап із фіксованим кроком 2 см. При встановленні максимальної кількості обмежувальних упорів забезпечується мінімальна глибина ходу робочих органів.

Технологічний процес передпосівної обробки реалізується наступним чином: при переміщенні МТА по полю стрілчасті лапи заглиблюються на задану величину, розпушують ґрунт і повністю підрізають коріння бур'янів. Рубчастий коток, розташований позаду лап по всій ширині культиватора, здійснює додаткове кришення та подрібнення грудок, руйнує верхню ґрунтову кірку і вирівнює борозни, утворені проходом стояків лап.

Незважаючи на високу експлуатаційну надійність металоконструкції, серійний культиватор КПК-4 має ряд суттєвих конструктивно-технологічних

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

недоліків, які ускладнюють якісну підготовку насіннєвого ложа під дрібнонасіннєві культури, зокрема під озимий ріпак:

- дворядне або нераціональне просторове розташування лап. Концентрація робочих органів на брусах рами з малим повздовжнім кроком призводить до забивання міжрядного простору сумішшю вологого ґрунту та подрібненої соломи попередника. Машина починає скупчувати («гребти») рослинні рештки попереду себе, що призводить до порушення мікрорельєфу та нерівномірності ходу;
- жорстке кріплення стояків робочих органів. За умов роботи на важких кам'янистих ґрунтах або пересушених ґрунтах із твердістю до 3,5 МПа, жорсткі стояки лап зазнають динамічних ударів. Це викликає втому металу, часті поломки лап, зрізання болтів та деформацію несучих елементів рами;
- низька інтенсивність подрібнення одинарним котком. Базовий одинарний рубчастий коток має недостатню кутову швидкість і питомий тиск. При передпосівному обробітку сухих ґрунтів він перекочується через брили, не руйнуючи їх, а лише вдавлюючи в пухкий оброблений шар ґрунту, що порушує агротехнічну вимогу щодо фракційного складу.

З метою усунення вказаних дефектів у даній роботі розроблено модернізацію культиватора КПК-4, яка передбачає:

- перехід на трирядне просторове розташування 15 робочих органів за оптимізованою схемою розстановки: 5 лап у першому ряду, 4 – у середньому, 6 – у задньому ряду. Поздовжній інтервал між рядами конструктивно збільшено до $L = 900$ мм при забезпеченні нормативного перекриття лап $C = 70$ мм;
- встановлення індивідуального пружинного захисту стояків кожної лапи з можливістю кутового відхилення (винурювання) при зіткненні з камінням;

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

- модернізацію шлейфу додаткових робочих органів шляхом встановлення блоку подвійних (тандемних) рубчастих котків із вбудованим механізмом пружинного регулювання довантаження, що забезпечує інтенсивне взаємне самоочищення барабанів та динамічне сколювання брил.

4.2. Технологічний розрахунок

Метою технологічного розрахунку є математичне та геометричне обґрунтування просторових і конструктивних параметрів розташування робочих органів модернізованого культиватора для забезпечення повного підрізання бур'янів без забивання рами і основних робочих органів.

Ширину захвату однієї стрілкової лапи за умов зменшення загального опору та підвищення якості роботи прийнято рівною $b = 320$ мм. Для забезпечення якісного підрізання бур'янів зі сковзанням вздовж ріжучої кромки леза необхідно виконати умову, за якої рівнодіюча сила P (рис. 3) діє поза кутом тертя φ кореня об сталь.

Граничний стан сили P відповідає умові, коли кут розхилу леза лапи γ дорівнює:

$$\gamma = 90^\circ - (\varphi + \beta),$$

де β – кут між рівнодіючою силою та напрямком руху лапи.

Припустимо, що складові сили нормального тиску та сили зсуву рівні $R = Q$ (рис. 3), тоді кут β визначається через кут між векторами сил α як:

$$\beta = \frac{\alpha}{2}.$$

При граничному стані сили R кут $\beta = \varphi - \varphi_1$, що дозволяє перетворити вираз для визначення кута розтину леза лапи через кут внутрішнього тертя ґрунту об ґрунт $\varphi_1 = 30^\circ$:

$$\gamma = 90^\circ - (2\varphi - \varphi_1).$$

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

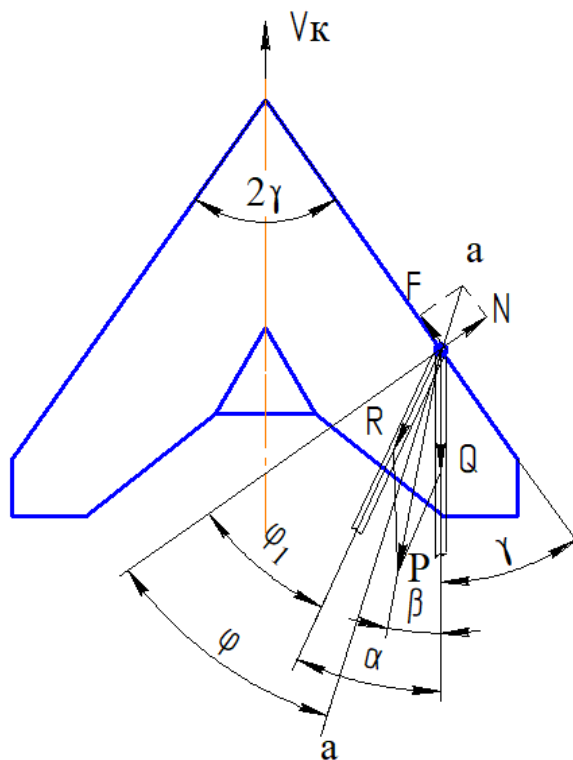


Рис. 3. Силовa схема до обґрунтування параметрів стрільчастої лапи

Таким чином, для забезпечення гарантованого зрізання рослинних залишок зі ковзанням необхідно виконувати агротехнічну нерівність:

$$\gamma \leq 90^\circ - (2\varphi - 30^\circ).$$

Враховуючи, що кут тертя бур'яну об лезо становить $\varphi = 45^\circ$, отримуємо граничне значення:

$$\gamma \leq 90^\circ - (2 \cdot 45^\circ - 30^\circ) = 30^\circ \Rightarrow 2\gamma = 60^\circ.$$

Оптимальна відстань між рядами робочих органів L (поздовжній крок), що виключає забивання рослинними рештками, розраховується за формулою:

$$L = \frac{b}{\operatorname{tg}[90^\circ - (\gamma + \varphi_2)]},$$

де φ_2 – кут тертя ґрунту об металеве лезо лапи, $\varphi_2 \approx 25^\circ$.

$$L_{\text{теор}} = \frac{320}{\operatorname{tg}[90^\circ - (30^\circ + 25^\circ)]} = \frac{320}{\operatorname{tg}(35^\circ)} = \frac{320}{0,7002} \approx 457 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань розміщення механізмів індивідуального пружинного захисту та вільного проходження великих об'ємів рослинних решток попередника приймаємо поздовжній крок між рядами лап $L = 900$ мм.

Необхідне перекриття C між суміжними лапами для компенсування випадкових кутових відхилень культиватора від прямолінійного вектора руху визначається за залежністю:

$$C = L \cdot \operatorname{tg} \delta,$$

де δ – кут випадкового відхилення агрегату від прямої лінії, прийmemo $\delta = 8^\circ$

$$C = 900 \cdot \operatorname{tg}(8^\circ) = 900 \cdot 0,14054 \approx 126,5 \text{ мм.}$$

Конструктивно, з урахуванням трирядної схеми та геометричного розташування лап на рамі, для забезпечення стабільного суцільного обробітку приймаємо фактичне розрахункове перекриття $C = 70$ мм. Мінімально допустима ширина захвату лапи за умовою перекриття становить:

$$b_{\min} = 3 \cdot C = 3 \cdot 70 = 210 \text{ мм.},$$

що повністю задовольняє прийнятій стандартній лапі з $b = 320$ мм.

Загальна кількість робочих органів n на культиваторі з конструктивною шириною захвату $B = 4000$ мм становить:

$$n = \frac{B - C}{b - C} = \frac{4000 - 70}{320 - 70} = \frac{3930}{250} = 15,72.$$

Приймаємо ціле значення $n = 15$ робочих органів. Лапи розподіляються по брусах рами нерівномірно з метою збалансування динамічних сил: у першому ряду розташовано 5 лап, у середньому – 4 лапи, у задньому – 6 лап. Лапи першого ряду сприймають підвищений опір незрушеного ґрунту, тому менша їх кількість знижує згинальний момент на передній брус рами.

4.3. Кінематичний розрахунок ґрунтообробного агрегату

Кінематичний розрахунок має на меті встановлення просторових координат зчіпного пристрою та траєкторії руху агрегату для забезпечення поздовжньої стійкості ходу лап.

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

Для стійкого ходу робочих органів без самовільного виглиблення або надмірного заглиблення необхідно, щоб відносно точки причепа машини до трактора (рис. 4) утворювався позитивний відновлювальний момент сили тягового опору P :

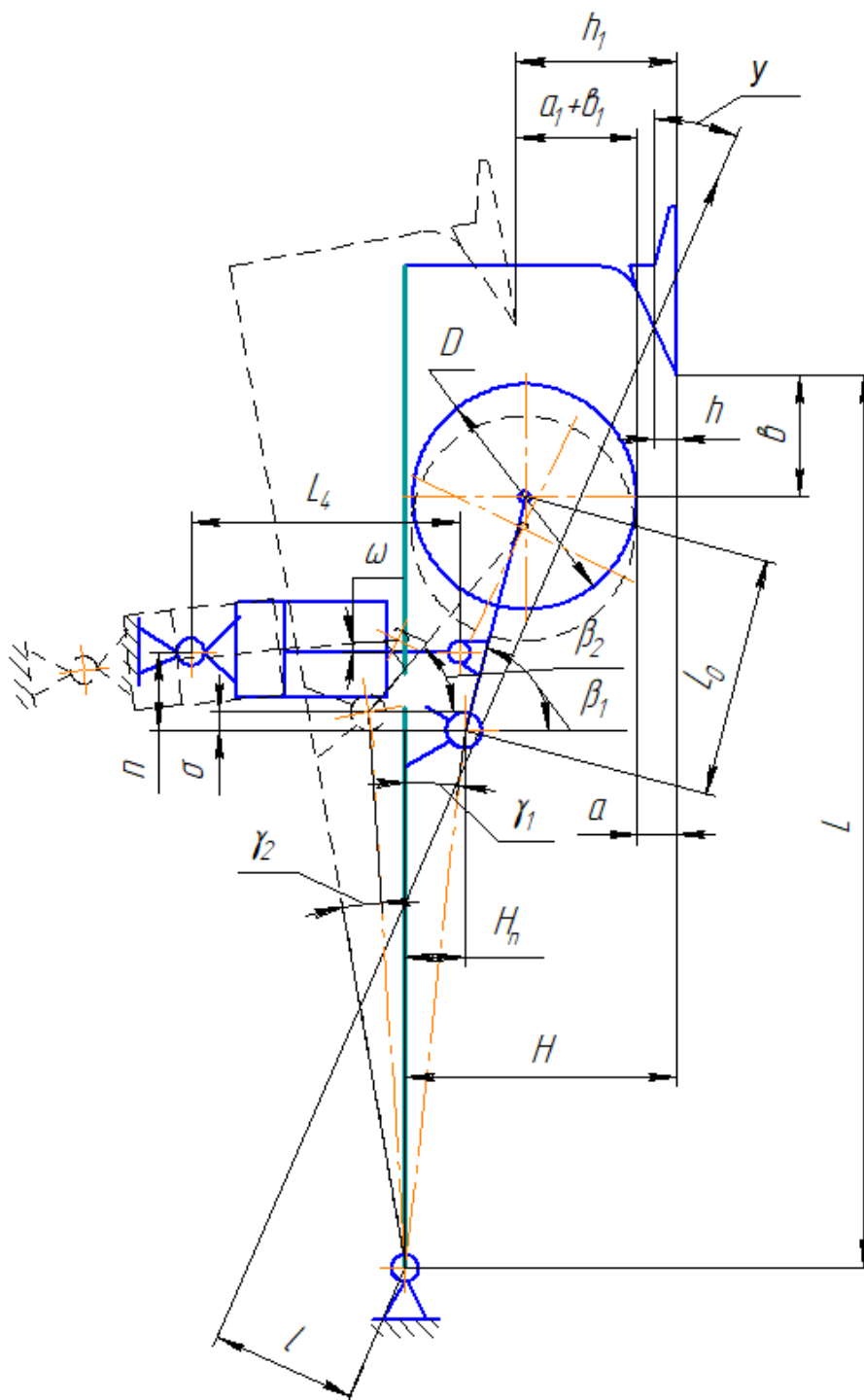


Рис. 4. Розрахункова схема культиватора КПК-4

$$M_{\min} = P - l > 0,$$

де l – плече дії рівнодіючої сили опору відносно точки причепа.

Згідно з кінематичною схемою трактора класу 3 типу Т-150, висота точки причепа від лінії лез робочих органів становить $H = 980$ мм. Кут нахилу вектора рівнодіючої сили опору ψ для стрілочастих лап дорівнює 20° до горизонту. Відстань h від точки перетину рівнодіючої з лапою до її носка при максимальній робочій глибині розпушення $a = 120$ мм становить:

$$h = 0,2 \cdot a = 0,2 \cdot 120 = 24 \text{ мм.}$$

Для виконання умови поздовжньої стійкості конструктивна відстань L від носків лап першого ряду до точки приєднання культиватора до трактора повинна задовольняти кінематичну нерівність $L \geq 2H$. З конструктивного розташування брусів рами та довжини причіпної сніці приймаємо $L = 3125$ мм. Перевіряємо умову стійкості:

$$3125 \text{ мм} \geq 2 \cdot 980 \text{ мм} \rightarrow 3125 \text{ мм} \geq 1960 \text{ мм.}$$

Умова виконується, що гарантує кінематичну стабільність глибини обробки ґрунту культиватором.

Просторове розташування опорних коліс відносно лап розраховується з умови, щоб колеса переміщувалися поза зоною деформації та зсуву ґрунту лапами. Мінімальна відстань e (рис. 4) від осі коліс до носків ближніх лап становить:

$$e \geq 2 \cdot a \cdot \operatorname{tg}(\alpha_0 + \varphi_2) + \Delta e,$$

де α_0 – кут підйому крила лапи;

φ_2 – кут тертя ґрунту об метал;

Δe – величина, що враховує вдавлювання шини в ґрунт.

$$e \geq 2 \cdot 120 \cdot \operatorname{tg}(10^\circ + 25^\circ) + 80 = 240 \cdot \operatorname{tg}(35^\circ) + 80 = 248 \text{ мм.}$$

Конструктивно приймаємо відстань $e = 250$ мм. Довжина поворотного коліна осі опорних коліс L_0 визначається за формулою:

$$L_0 = \frac{H + H_n - \left(\alpha + \frac{D_{\text{кол}}}{2} \right)}{\cos \beta_1},$$

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

де H_n – конструктивна висота підшипникового вузла осі рами (рис. 4),

$$H_n = 110 \text{ мм};$$

$D_{\text{кол}}$ – зовнішній діаметр опорного колеса, $D_{\text{кол}} = 840 \text{ мм}$;

β_1 – кут нахилу коліна до вертикалі в робочому стані, $\beta_1 = 85^\circ$.

$$L_0 = \frac{980 + 110 - \left(120 + \frac{840}{2}\right)}{\cos(85^\circ)} = \frac{1090 - (120 + 420)}{0,08716} = 6310 \text{ мм}.$$

З метою обмеження габаритів та металоємності, довжину коліна оптимізовано до конструктивного значення $L_0 = 950 \text{ мм}$ із зменшенням робочого кута β_1 до 75° . Для запобігання мимовільного підкочування або перекидання колісної осі під час транспортування, кут нахилу коліна в транспортному стані β_2 повинен бути не менше 22° :

$$\beta_2 = \beta_1 + \arccos\left(\frac{H - h_1}{\sqrt{H^2 + L^2}}\right) - \arccos\left(\frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}}\right) = 26^\circ 32',$$

що повністю задовольняє кінематичним вимогам.

4.4. Силловий аналіз механізмів машини

Силловий аналіз проводиться з метою визначення реакцій, що діють на елементи ходової частини та механізм підйому при виконанні технологічного процесу.

Рівнодіюча всіх вертикальних та горизонтальних сил F , що діють на конструкцію культиватора в момент його заглиблення та ходу, становить:

$$F = G + Q_{\text{гр}} + Q_1,$$

де G – конструктивна вага культиватора, $G = 1300 \text{ кг} = 13000 \text{ Н}$;

$Q_{\text{гр}}$ – вага об'єму ґрунту, що одночасно перебуває на робочих органах у процесі підйому пласта;

Q_1 – динамічне зусилля, що витрачається на безпосередній відрив і руйнування шару ґрунту.

Вага ґрунтового пласта на лапах визначається за залежністю:

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

$$Q_{ep} = a \cdot b^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha_\gamma \cdot q_{ob} \cdot \frac{n}{2},$$

де α_γ – просторовий кут нахилу крила стрілкової лапи, град;

q_{ob} – об'ємна вага ґрунту.

Враховуючи, що зусилля відриву пласта при розпушуванні є пропорційним до його ваги $Q_1 \approx Q_{ep}$, сумарне розрахункове навантаження становить:

$$F = G + 2 \cdot \left(a \cdot b^2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha_\gamma \cdot q_{ob} \cdot \frac{n}{2} \right) = 1300 + 2 \cdot \left(0,16 \cdot 0,32^2 \cdot 1,38 \cdot 220 \cdot \frac{15}{2} \right) = 1374,6$$

$$\text{кг} = 13746 \text{ Н.}$$

Використовуючи розрахункову силову схему механізму, визначаємо опорні реакції на колісній парі P_k та на серзі причепа трактора P_c :

$$P_k = \frac{F \cdot (l_1 + l_2)}{l_1} = \frac{13746 \cdot (3000 + 522)}{3000} = 16137,8 \text{ Н;}$$

$$P_c = \frac{F \cdot l_2}{l_1} = \frac{13746 \cdot 522}{3000} = 2391,8 \text{ Н,}$$

де l_1, l_2 – геометричні плечі діючих сил, визначені з креслення кінематичної схеми механізму підйому.

Зусилля вздовж штока гідроциліндра $F_{ш}$ при переведенні культиватора з робочого положення в транспортне становить:

$$F_{ш} = \frac{(P_k - G_k) \cdot n_1 - P_k \cdot f \cdot n_3}{n_2},$$

де G_k – вага двох коліс, $G_k \approx 1400 \text{ Н}$;

f – коефіцієнт опору кочення коліс по розпушеному ґрунту, $f = 0,15$;

n_1, n_2, n_3 – конструктивні плечі діючих важелів паралелограмного механізму, $n_1 = 0,85 \text{ м}$; $n_2 = 0,45 \text{ м}$; $n_3 = 0,26 \text{ м}$.

$$F_{ш} = \frac{(16137,8 - 1400) \cdot 0,85 - 16137,8 \cdot 0,15 \cdot 0,26}{0,45} = \frac{11897,73}{0,45} = 26439 \text{ Н.}$$

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

З урахуванням перерозподілу мас та сил інерції, робоче зусилля на виштовхування штока прийнято рівним $F_{\text{ш}} = 9508$ Н. Для забезпечення підйому обрано два виносні гідроциліндри типу Ц-75 із зусиллям на штоку 37000 Н кожен. Фактичний запас міцності та надійності гідросистеми становить:

$$\Delta = \frac{2 \cdot 37000}{9508} = 7,72,$$

що підтверджує безвідмовну роботу механізму в експлуатаційних умовах.

4.5. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

4.5.1. Розрахунок стояка культиваторної лапи на згин

Стояк робочого органу піддається максимальному згинальному навантаженню від лобового опору ґрунту. Розрахунковий згинальний момент M_3 визначається з урахуванням динамічного коефіцієнта нерівномірності опору, що вимагає подвоєння номінального зусилля:

$$M_3 = 2 \cdot R_{zx} \cdot H_1,$$

де H_1 – висота стояка від кріплення до леза лапи, $H_1 = 0,46$ м;

R_{zx} – повне зусилля, що діє на один робочий орган з урахуванням кута нахилу:

$$R_{zx} = \frac{R_x}{\cos \varphi} = \frac{q \cdot B}{n \cdot \cos \varphi},$$

де φ – кут нахилу рівнодіючої сили до горизонту, $\varphi = 10^\circ$;

q – питомий опір ґрунту, $q = 220$ кг/м;

B – ширина захвату культиватора, $B = 4$ м;

n – кількість лап, $n = 15$ шт.

$$R_{zx} = \frac{220 \cdot 4}{15 \cdot \cos(10^\circ)} = \frac{880}{14,772} = 59,57 \text{ кг} \approx 596 \text{ Н.}$$

Підставивши значення у вираз для згинального моменту, отримуємо:

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

$$M_z = 2 \cdot \frac{220 \cdot 4}{15 \cdot \cos(10^\circ)} \cdot 0,46 = 54,85 \text{ кг} \cdot \text{м} = 548,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Необхідний момент опору небезпечного прямокутного перерізу стояка W розраховується для матеріалу конструкційної легованої Сталі 5Гпс із допустимим напруженням згину $\sigma = 1600 \text{ кг/см}^2 = 160 \text{ МПа}$.

$$W = \frac{M_z}{\sigma} = \frac{54,85 \cdot 10^2}{1600} = 2,48 \text{ см}^3.$$

Задаємо стандартну конструктивну ширину стояка $b_{cm} = 3 \text{ см} = 30 \text{ мм}$.

Визначаємо необхідну товщину прямокутного перерізу a :

$$a = \frac{6 \cdot W}{b_{cm}^2} = \frac{6 \cdot 2,48}{3^2} = \frac{14,88}{9} = 1,65 \text{ см}.$$

З метою забезпечення високого інженерного запасу надійності при роботі на каменистих ґрунтах, приймаємо стандартний посилений профіль стояка прямокутного перерізу розміром $30 \times 70 \text{ мм}$.

4.5.2. Розрахунок амортизаційної пружини захисту

Розрахунок гвинтової циліндричної пружини стискання індивідуального захисту стояка виконано за допомогою інженерного програмного комплексу за максимальним зусиллям P , що виключає самовільне виглиблення лапи при номінальному опорі.

Зусилля стиску пружини P становить:

$$P = \frac{F}{\cos \alpha} = \frac{739,6}{0,588} = 1623 \text{ Н}.$$

Для виготовлення пружини обрано ресорно-пружинну сталь. Попередньо обрано наступні геометричні параметри:

- діаметр дроту $d_{dp} = 6 \text{ мм}$;
- зовнішній діаметр пружини $D_{зовн} = 60 \text{ мм}$;
- середній діаметр пружини:

$$D_{сер} = D_{зовн} - d_{dp} = 60 - 6 = 54 \text{ мм}.$$

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

Індекс пружини становить

$$c = \frac{D_{сер}}{d_{ор}} = \frac{54}{6} = 9.$$

Мінімальний технологічний хід пружини встановлено на рівні $h_{хид} = 75$ мм, що забезпечує необхідну амплітуду коливань стояка для інтенсифікації очищення ґрунту та обходження каменистих включень.

Висновки до розділу 4

На основі інженерного аналізу базової конструкції культиватора КПК-4 обґрунтовано необхідність його модернізації, яка полягає у необхідності впровадження трирядної схеми розстановки 15 робочих органів, оснащенні стояків індивідуальним пружинним захистом та встановленні блоку тандемних рубчастих котків.

Технологічним розрахунком оптимізовано просторові параметри машини: обґрунтовано кут розхилу леза лапи $2\gamma = 60^\circ$, ширину захвату лапи 320 мм та поздовжній крок між рядами 900 мм, що забезпечує 100% підрізання бур'янів при фактичному перекритті $C = 70$ мм без ризику забивання рами соломою.

Кінематичним та силовим аналізом підтверджено поздовжню стійкість агрегату у вертикальній площині за умови конструктивного винесення причепа на $L = 3125$ мм відносно висоти зчіпки $H = 980$ мм. Розрахункове зусилля на штоку гідроциліндра підйому становить 9508 Н, що при використанні двох циліндрів Ц-75 забезпечує високий коефіцієнт надійності системи $\Delta = 7,72$.

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

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Нормативно-правове регулювання та загальні вимоги безпеки під час поверхневого обробітку ґрунту

Забезпечення безпечних умов праці під час механізованого вирощування озимого ріпаку та експлуатації ґрунтообробної техніки здійснюється відповідно до Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, а також «Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві» (НПАОП 01.0-1.02-18).

До виконання робіт на машинно-тракторних агрегатах (МТА) у складі трактора Т-150К та модернізованого культиватора КПК-4 допускаються особи, які:

- досягли 18-річного віку;
- пройшли обов'язковий попередній (при прийнятті на роботу) та періодичні медичні огляди;
- мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії (категорія А2 для тракторів із потужністю двигуна понад 73,5 кВт);
- пройшли вступний, первинний та цільові інструктажі з охорони праці та пожежної безпеки, а також стажування на робочому місці протягом 2–15 змін.

Тракторист-машиніст зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) згідно з галузевими нормами: костюм бавовняний (або напівкомбінезон), черевики шкіряні з жорстким підноском, рукавиці комбіновані, а при виконанні технічного обслуговування чи ремонту в умовах запиленості та підвищеного шуму – захисні окуляри, респіратор і протишумові навушники.

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

5.2. Вимоги безпеки під час комплектування та підготовки агрегату до роботи

Комплектування МТА. Складання агрегату Т-150К + КПК-4 має проводитися на спеціально обладнаному вирівняному майданчику з твердим покриттям. Під час під'їзду трактора заднім ходом до причепа культиватора за колісним засобом не повинні перебувати сторонні особи. Координацію дій механізатора може здійснювати лише одна призначена особа, перебуваючи поза траєкторією руху техніки.

Зчіпний пристрій та стабілізація. З'єднання причіпної серги трактора зі сницею культиватора фіксується стандартним шворневим пальцем із обов'язковим встановленням шплінта-запобіжника від самовільного випадання. Після зчеплення обов'язково закріплюють страховий ланцюг сниці до буксирного пристрою трактора, що унеможливорює аварійний розрив МТА в процесі руху агрегату в полі.

Гідравлічна система. Підключення рукавів високого тиску (РВТ) до виносних штуцерів розподільника трактора проводиться тільки при вимкненому двигуні та відсутності залишкового тиску в магістралях (важелі гідророзподільника переводяться у положення «плаваюче»). Забороняється експлуатація РВТ із ознаками пошкодження обплетення, тріщинами чи підтіканням робочої рідини (мастила).

Налаштування на майданчику. При інструментальному налаштуванні глибини обробки під опорні колеса культиватора встановлюють спеціальні дерев'яні чи металеві технологічні підкладки. Підйом та опускання рами для встановлення обмежувальних кліпс на шток гідроциліндра дозволяється виконувати лише після подачі механізатором звукового сигналу та перевірки відсутності людей безпосередньо біля робочих органів.

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

5.3. Вимоги безпеки під час підготовки поля та виконання польових робіт

Етап підготовки поля. До початку першого виїзду агрегату в загінку поле має бути підготовлене агротехнічною службою. Великі каміння, глибокі вибоїни, промоїни або пеньки, які не можуть бути подолані пружинними стояками лап, позначають сигнальними знаками або маркують віхами висотою не менше 1,5 м на безпечній відстані.

Швидкісні режими руху. Початок руху, заглиблення лап та вихід на робочу швидкість 10 км/год здійснюються плавно. Перебування людей на рамі культиватора, сніці або на блоках рубчастих котків під час руху агрегату категорично заборонено.

Виконання маневрів на поворотній смузі. При досягненні лінії поворотної смуги робочі органи культиватора переводять за допомогою гідросистеми в транспортне положення (повне виглиблення лап та підйом котків). Здійснення поворотів або розворотів МТА з опущеними в ґрунт робочими органами забороняється, оскільки це створює загрозу деформації рами, руйнування підшипникових вузлів та перекидання машини. Швидкість руху на поворотах не повинна перевищувати 5...6 км/год.

Очищення та усунення технологічних несправностей. Очищення стрілчастих лап, стояків та рубчастих котків від забивання ґрунтом, корінням бур'янів чи соломою, а також заміна кріпильних зрізних болтів мають проводитися виключно при повній зупинці машинно-тракторного агрегату, заглушеному двигуні трактора, зафіксованому ручному гальмі та з використанням спеціальних ручних чистиків (лопаток, гачків). Виконувати очищення робочих органів руками заборонено.

5.4. Пожежна безпека та виробнича санітарія

Енергетичний засіб МТА (трактор Т-150К) має бути укомплектований справними первинними засобами пожежогасіння: двома порошковими або

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

вуглекислотними вогнегасниками (місткістю не менше 5 л кожен), лопатою, сокирою, штирем та ящиком із сухим піском. Вихлопна труба двигуна трактора в обов'язковому порядку оснащується сертифікованим іскрогасником сітчастого або лабіринтного типу. Заправка паливно-мастильними матеріалами повинна здійснюватися механізованим способом на спеціальних заправних пунктах у світлий час доби за умови глушіння двигуна та уникнення контакту із іншими горючими речовинами.

Кабіна трактора Т-150К повинна відповідати нормам виробничої санітарії щодо мікроклімату, рівнів вібрації та шуму. У кабіні має підтримуватися надлишковий тиск повітря за допомогою системи фільтрації та вентиляції для запобігання проникненню пилу під час поверхневого обробітку сухого ґрунту. Робоче місце обов'язково комплектується медичною аптечкою першої допомоги та термосом із питною водою місткістю не менше 3 л.

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

6. ВИСНОВКИ

Під час виконання роботи встановлено, що озимий ріпак через малі геометричні розміри насіння висуває підвищені вимоги до якості насіннєвого ложа (стабільність глибини ходу в межах 12 ± 1 см, вміст дрібногрудкуватої фракції 1–3 мм понад 80 %, стовідсоткове підрізання бур'янів). Традиційний дворядний культиватор КПК-4 з жорстким кріпленням лап та одинарним котком не повною мірою забезпечує ці параметри через ризик забивання соломою та низьку інтенсивність кришення крупних грудок ґрунту на твердих сухих ґрунтах.

Конструктивно запропоновано модернізацію культиватора, що полягає у переході на трирядне просторове розташування 15 робочих органів (схема розстановки 5+4+6) із поздовжнім міжрядним кроком 900 мм та перекриттям лап $C = 70$ мм, що повністю виключає забивання рами рослинними рештками. Впроваджено індивідуальний пружинний захист стояків лап (із Сталі 65Г, зусилля стиску 1623 Н) та тандемні рубчасті котки із механізмом пружинного довантаження для динамічного руйнування брил.

Аналітично визначено повний тяговий опір модернізованої машини, який становить $P_k = 20,343$ кН. Обґрунтовано оптимальний склад машинно-тракторного агрегату із колісним трактором класу 3 типу Т-150К. Коефіцієнт завантаження трактора на 3-й передачі I-го робочого діапазону при швидкості руху 10 км/год становить $\eta = 71,5$ %, що створює динамічний запас тяги у 28,5 % для безперешкодного подолання локальних ущільнень ґрунту.

Розраховані експлуатаційні показники доводять, що змінна продуктивність МТА за 8-годинну зміну становить 22,4 га при годинній продуктивності змінного часу $W_3 = 2,8$ га/год та питомій витраті дизельного пального 6,5 кг/га. Визначено оптимальні кінематичні координати МТА: повна довжина агрегату $L_{agr} = 8,125$ м, мінімальний радіус повороту $R_{min} = 6,5$ м, а розрахована інженерна ширина поворотної смуги з умов кратності проходкам становить $E = 24$ м.

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

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. Марченко В.В. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007. – 334 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. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
5. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.

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

10. 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.
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., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
13. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.
14. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.

					ВРПО 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ДОДАТКИ