

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Механізація вирощування гречки з модернізацією агрегату
для передпосівної підготовки ґрунту

Виконав здобувач вищої освіти IV
курсу,

групи AI-22-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Факадей Назар Миколайович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____ Дмитро АРТЕМЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд. техн. наук

_____ Дмитро ГОЛУБ

« ____ » _____ 2026 р.

Кропивницький

Анотація

Робота присвячена підвищенню ефективності механізованого вирощування гречки шляхом удосконалення технічних засобів для передпосівного обробітку ґрунту. На основі аналізу існуючих рішень встановлено, що сучасні прикочуючі котки не здатні повною мірою поєднати високу ущільнюючу здатність із якісним подрібненням, мульчуванням та вирівнюванням поверхні. Це викликає необхідність оптимізації процесу формування насіннєвого ложа. Для вирішення цієї проблеми у роботі запропоновано модернізацію культиватора КШУ 8, яка полягає у розробці нової конструкції прикочуючого котка. Обґрунтування запропонованого рішення підтверджено інженерними розрахунками конструктивно-технологічних параметрів котка. Практична цінність роботи полягає в тому, що впровадження розробленого прикочуючого котка суттєво підвищує якість підготовки насіннєвого ложа, що потенційно забезпечує приріст врожайності культури на рівні до 10%.

Abstract

This study focuses on improving the efficiency of mechanized buckwheat cultivation by enhancing the technical equipment for pre-sowing soil tillage. Based on the analysis of existing solutions, it has been established that modern packer rollers cannot fully combine high compacting ability with high-quality clod crumbling, mulching, and surface leveling. This necessitates the optimization of the seedbed formation process. To address this problem, the paper proposes the modernization of the KShU 8 cultivator, which consists of developing a new design for the packer roller. The justification of the proposed solution is confirmed by engineering calculations of the design and technological parameters of the roller. The practical value of the work lies in the fact that the implementation of the developed packer roller significantly improves the quality of seedbed preparation, which potentially ensures a crop yield increase of up to 10%.

Перв. примен.	Формат	Знач.	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	A4			МВГ 00.000 ПЗ	Документація загальна		
					Заново розроблена		
Подп. и дата	A1			МВГ 00.001 ТЧ	Пояснювальна записка		
					Документація по технологічній частині		
					Заново розроблена		
Инв. № докл.	A1			МВГ 00.002 ТЧ	Технологічна карта	1	
					Документація по складальним одиницям		
					Заново розроблена		
Взам. инв. №	A1			МВГ 00.000 СБ	Культиватор широкозахватний універсальний КШУ 8	1	
Подп. и дата	A1			МВГ 00.110 СБ	Рама	1	
Инв. № подл.	A2			МВГ 00.140 СБ	Ступиця	1	
				МВГ 00.000 ВП			
Изм. / Лист		№ докум.		Подп.	Дата		
Разр. / Пров.		Факадей / Артеменко					
И.контр. / Утв.		Артеменко / Васильковский					
Відомість кваліфікаційної роботи						Лист	Лист
						1	1
						ЦНТУ	
						гр. АІ-22-1	

Копировал

Формат А4

[illegible]

Копировал

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Аналіз сучасної технології вирощування гречки з визначенням шляхів її удосконалення.....	7
3. Операційна технологія процесу передпосівного обробітку ґрунту під посів гречки.....	18
4. Інженерна частина.....	31
5. Охорона праці.....	52
Висновки.....	55
Список використаної літератури.....	56
Додатки	

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

1. Вступ

Гречка є однією з найважливіших круп'яних, медоносних та дієтичних культур в агропромисловому комплексі України. Висока харчова цінність та стабільний попит роблять її вирощування економічно вигідним. Однак, біологічною особливістю гречки є чутливість до умов проростання: насіння потребує неглибокого, але максимально рівномірного загортання, а коренева система на початкових етапах розвитку є відносно слабкою. Саме тому ключовим фактором отримання високих і стабільних врожаїв є якісна передпосівна підготовка ґрунту.

Агротехнічні вимоги до передпосівного обробітку під гречку передбачають створення ідеального насінневого ложа, ґрунт повинен мати дрібногрудкувату структуру для забезпечення капілярного підняття вологи до насіння, а поверхня поля має бути ідеально вирівняною для рівномірного ходу сошників сіялки. Більшість базових моделей сучасних культиваторів не завжди здатні забезпечити такий результат за один прохід, особливо в умовах недостатнього зволоження або на важких ґрунтах. Це призводить до необхідності проведення додаткових технологічних операцій, що збільшує витрати палива та призводить до надмірного переущільнення ґрунту.

В зв'язку з цим, модернізація агрегату для передпосівної підготовки ґрунту, а саме культиватора КШУ 8, з особливою увагою до вдосконалення робочих органів для інтенсивного кришення ґрунту та ідеального вирівнювання поверхні поля (гряділів, котків, вирівнювальних планок, шлейфів тощо), є надзвичайно актуальним практичним завданням. Це дозволить сумістити кілька операцій в одну, зберегти ґрунтову вологу, знизити енергоємність процесу та створити оптимальні умови для сходів гречки.

					МВГ 00.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.	Факадей									
Перевір.	Артеменко								6	60
								ЦНТУ гр. АІ-22-1		
Н. Контр.	Артеменко									
Затверд.	Васильковськи									

2. Технологічна частина

2.1 Технологія вирощування гречки

Опис культури. Гречка посівна - однорічна трав'яниста рослина родини Гречкові (Polygonaceae). У сільськогосподарському виробництві України вона відіграє стратегічну роль як круп'яна, медоносна, дієтична та страхова культура (завдяки короткому вегетаційному періоду, який становить 60 - 90 діб). Рослина характеризується стрижневою кореневою системою, яка проникає в ґрунт на глибину до 1 м, проте її основна маса зосереджена в орному (0 - 30 см) шарі. Важливою біологічною особливістю є те, що коренева система гречки відносно слабо розвинена (становить лише 10 - 15% від надземної маси) і має низьку засвоювальну здатність на початкових етапах органогенезу. Стебло порожнисте, ребристе, здатне до інтенсивного галушення. Листки серцеподібно-трикутні, квітки зібрані у суцвіття (китиця або щиток), характеризуються диморфізмом (гетеростилією), що зумовлює перехресне запилення, переважно ентомофільне (бджолами) [1-6].

Вимоги до температури. Гречка належить до теплолюбних культур, чутливих до температурних стресів на всіх етапах органогенезу. Біологічний мінімум для початку проростання насіння становить 6 - 8°C, однак за таких умов сходи з'являються повільно і нерівномірно (через 15 - 20 діб). Оптимальна температура для інтенсивного і дружного проростання насіння та появи сходів становить 15 - 20°C (сходи з'являються на 5 - 6 добу). В період від сходів до цвітіння оптимальним температурним фоном є 18 - 22°C. Рослини надзвичайно чутливі до весняних заморозків, зниження температури до -1...-2°C призводить до повної загибелі сходів.

Цвітіння та плодоутворення - найбільш критичний період. Оптимальна температура становить 20 - 25°C, підвищення температури понад 30°C на фоні зниження відносної вологості повітря (менше 40%) призводить до пригнічення виділення нектару, висихання приймочок маточок, стерилізації пилку та, як наслідок, масового обпадання квіток і зав'язі [1-6].

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Вимоги до світла. Гречка є рослиною короткого світлового дня. Вона висуває високі вимоги до інтенсивності сонячної інсоляції. Висока інтенсивність освітлення є критично важливою для накопичення пластичних речовин, формування потужного асиміляційного апарату та розвитку генеративних органів. В умовах затінення (наприклад, при надмірному загущенні посівів або високій забур'яненості) спостерігається інтенсивне витягування міжвузлів стебла, зниження стійкості до вилягання, слабе галуження та різке зменшення кількості квіток. Крім того, достатнє освітлення стимулює нектаровиділення, що приваблює комах-запилювачів [1-6].

Вимоги до ґрунту. Гречка характеризується високою гнучкістю щодо ґрунтових умов, проте для повної реалізації її генетичного потенціалу врожайності необхідний ретельний підбір типу ґрунту. Найкращими для культури є пухкі, добре аеровані, структурні ґрунти, які швидко прогріваються навесні. До таких належать чорноземи (типові, опідзолені), темно-сірі та лісові суглинки. На дерново-підзолистих і піщаних ґрунтах гречка здатна формувати задовільні врожаї лише за умови достатнього внесення органічних і мінеральних добрив.

Гречка є однією з найбільш нечутливих сільськогосподарських культур до кислотності. Вона добре розвивається за слабнокислої реакції ґрунтового розчину (рН 5,0 - 6,5), хоча витримує зниження рН до 4,5. Біологічною унікальністю гречки є здатність її кореневої системи виділяти специфічні органічні кислоти (лимонну, щавлеву, мурашину). Ці кореневі екsudати розчиняють важкодоступні фосфорні та калійні сполуки ґрунту, перетворюючи їх на легкозасвоювані форми. Саме тому гречка здатна засвоювати елементи живлення навіть на відносно бідних ґрунтах.

Абсолютно непридатними є важкі глинисті, перезволожені, заболочені ґрунти, а також солонці. На таких масивах коренева система страждає від гіпоксії (нестачі кисню), рослини уражуються корневими гнилями, а поверхня поля утворює щільну кірку, яку важко зруйнувати робочими органами ґрунтообробної техніки [1-6].

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Попередники у сівозміні. Правильне розміщення гречки в сівозміні має вирішальне значення, оскільки вона сама по собі є чудовим фітосанітаром (пригнічує розвиток бур'янів завдяки швидкому росту та алелопатичним властивостям) і цінним попередником для наступних культур.

Найкращі попередники - озимі зернові (пшениця, жито), зернобобові (горох, вика, соя), а також просапні культури (картопля, цукрові буряки, кукурудза), під які вносилися високі норми органічних добрив. Ці культури залишають поле чистим від злісних бур'янів та мають відмінну структуру орного шару.

Задовільні попередники - ярі зернові (ячмінь, пшениця), льон-довгунець.

Небажані попередники - овес (має спільних з гречкою збудників кореневих гнилей та нематод). Також слід уникати посіву гречки після культур, де застосовувалися гербіциди з тривалим періодом напіврозпаду (зокрема, деякі препарати сульфонілсечовинної групи), оскільки гречка є надзвичайно чутливою до залишкової дії (післядії) пестицидів. Повертати гречку на те саме поле рекомендується не раніше ніж через 4 - 5 років [1-6].

Обробіток ґрунту (основний обробіток). Система основного обробітку ґрунту під гречку формується залежно від попередника, ґрунтово-кліматичної зони та ступеня забур'яненості поля. Мета основного обробітку - накопичення осінньо-зимової вологи, мінералізація пожнивних залишків та формування базової структури орного шару, яка навесні буде піддана передпосівній підготовці.

Після стерньових попередників (озимі та ярі зернові): Застосовується класичний напівпаровий або поліпшений зяблевий обробіток. Одразу після збирання попередника проводять лушення стерні дисковими знаряддями на глибину 6 - 8 см. Це запобігає втратам вологи та провокує проростання насіння бур'янів. Через 12 - 14 днів, після появи масових сходів бур'янів, виконують зяблеву оранку плугами з передплужниками на глибину 20 - 22 см.

Після просапних попередників (картопля, буряки). Оскільки поле зазвичай залишається чистим від бур'янів і відносно пухким, відпадає

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідність в луценні. Проводиться глибока зяблева оранка (22 - 25 см) або безполицеве глибоке розпушування, що особливо актуально для регіонів із дефіцитом вологи або схильних до вітрової ерозії ґрунтів [1 - 6].

Передпосівний обробіток ґрунту під гречку є найбільш відповідальним технологічним етапом, від якості якого безпосередньо залежить польова схожість насіння, дружність появи сходів та кінцева врожайність. Оскільки насіння гречки загортається на невелику глибину (3 - 6 см), а її коренева система потребує безперебійного надходження вологи з нижніх горизонтів, головним завданням весняного обробітку є створення рівного, ущільненого насінневого ложа, вкритого пухким дрібногрудкуватим шаром ґрунту.

Традиційна схема передбачає ранньовесняне боронування (закриття вологи) при настанні фізичної стиглості ґрунту, після чого проводяться одна або дві культивуації зі знищенням сходів ярих бур'янів. В умовах сучасного агровиробництва, де рентабельність вирощування гречки вимагає жорсткої оптимізації витрат, найбільш доцільним, економічно вигідним та агротехнічно ефективним рішенням є використання широкозахватних універсальних культиваторів типу КШУ 8 (та його модифікацій) [1-6].

Переваги застосування КШУ 8 для передпосівної підготовки під гречку - дозволяє отримати результати, співставні з роботою дорогих імпортних компакторів, проте за значно нижчої вартості експлуатації та технічного обслуговування. Це досягається завдяки вдалій комбінації робочих органів, які ідеально відповідають вимогам вирощування дрібнонасінних культур. Точне дотримання глибини розпушування. Стрілчасті лапи, встановлені на підпружинених стійках, забезпечують суцільне підрізання бур'янів і розпушування ґрунту на строго задану глибину (4 - 6 см). Пружинні стійки в процесі роботи створюють високочастотну вібрацію, що сприяє кращому самоочищенню лап від рослинних решток та інтенсивнішому руйнуванню ґрунтових монолітів. Лапи культиватора не перемішують вологі нижні шари ґрунту з сухими верхніми, що критично важливо для збереження вологи під посів гречки.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Наявність у конструкції КШУ 8 підпружинених вирівнювальних планок (або шлейф-балок) дозволяє якісно згладжувати гребені та поверхню поля. Ідеально рівна поверхня поля є обов'язковою умовою для стабільного ходу сошників сівалки та рівномірного загортання насіння гречки.

Інтенсивне кришення та зворотне ущільнення: Завершальним етапом роботи КШУ 8 є прохід пруткових або зубчастих котків. Саме вони виконують фінальне кришення ґрунту до агрономічно цінної фракції (менше 10 мм) та здійснюють легке прикочування. Це відновлює капілярний зв'язок в ґрунті, забезпечуючи безперешкодне підняття вологи безпосередньо до насінневого ложа.

Попри високу базову ефективність культиваторів лінійки КШУ 8, в умовах посушливої весни або на важких за механічним складом ґрунтах їхньої стандартної комплектації може бути недостатньо для досягнення ідеальної дрібногрудкуватої структури за один прохід.

Саме тому базовий агрегат КШУ 8 є чудовою платформою для модернізації. Вдосконалення блоку вирівнювання та кришення (наприклад, заміна стандартних котків на котки зі змінним вектором атаки, встановлення активних подрібнювальних елементів або багатовістрявих вирівнювальних планок) дозволить: гарантовано звести підготовку ґрунту до одного проходу агрегату, що попередить надмірне ущільнення поля тракторами; знизити тяговий опір агрегату та, як наслідок, витрату паливно-мастильних матеріалів; створити ідеальні умови для проростання чутливої кореневої системи гречки, гарантуючи підвищення врожайності.

Таким чином, використання культиватора типу КШУ 8 з модернізованими робочими органами для кришення та вирівнювання поверхні виступає оптимальним технічним рішенням, що поєднує низьку собівартість обробітку та високу якість підготовки насінневого ложа під посів гречки.

Вимоги до сівби та сівба. Сівба є головним етапом, успіх якого прямо залежить від якості передпосівного обробітку. Ідеально вирівняна та дрібногрудкувата поверхня поля, створена модернізованим агрегатом КШУ 8,

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

дозволить витримати жорсткі вимоги до глибини загортання насіння, що гарантує отримання одночасних та дружних сходів.

Гречка надзвичайно чутлива до холоду, сівбу розпочинають, коли ґрунт на глибині загортання насіння (10 см) стабільно прогрівається до 10 - 12°C, а загроза повернення весняних приморозків повністю минає. Для умов Лісостепу та Степу України цей період зазвичай настає у першій-другій декаді травня. Ранні посіви часто страждають від холодів, а пізні, від ґрунтової посухи та температурних стресів під час цвітіння.

Вибір способу сівби залежить від типу ґрунту та рівня забур'яненості поля. Широкорядний спосіб (міжряддя 45 см): Застосовується на середньо- та сильно забур'янених полях. Дозволяє проводити міжрядні обробітки, покращує аерацію та освітлення рослин, що сприяє кращому гілкуванню та підвищенню нектаропродуктивності.

Звичайний рядковий спосіб (міжряддя 15 см): Рекомендується на чистих від бур'янів полях та при вирощуванні скоростиглих негілчастих сортів.

Норма висіву - при широкорядному посіві норма становить 2,0 - 2,5 млн схожих насінин на гектар (приблизно 45 - 50 кг/га), при звичайному рядковому 3,0 - 4,5 млн/га (70 - 90 кг/га).

На важких суглинкових, схильних до запливання ґрунтах насіння загортають на глибину 3 - 4 см; на легких, добре окультурених ґрунтах, за умови нормального зволоження на 4 - 5 см; при пересиханні верхнього шару на 5 - 6 см. Точне дотримання глибини можливе лише за умови відсутності на полі гребенів та борозен після проходу культиватора.

За умов посушливої весни обов'язковим заходом є післяпосівне прикочування кільчасто-шпоровими котками. Це збільшує площу контакту насіння з ґрунтом і стимулює підняття капілярної вологи [1-6].

Внесення добрив. Попри те, що коренева система гречки здатна засвоювати важкодоступні фосфорні сполуки з ґрунту (завдяки виділенню специфічних кореневих кислот), культура дуже добре реагує на збалансоване мінеральне живлення. На формування 1 тони зерна та відповідної кількості

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

побічної продукції гречка виносить з ґрунту: 40 - 50 кг азоту, 25 - 30 кг фосфору та 50 - 60 кг калію.

Азотні добрива вносяться під передпосівну культивуацію. Норма внесення азоту має бути строго оптимізованою (30 - 45 кг/га діючої речовини). Надлишок азоту призводить до інтенсивного нарощування вегетативної маси, вилягання посівів, затягування періоду вегетації та різкого зниження врожайності зерна.

Фосфорно-калійні добрива - основну частину (до 70%) вносять з осені під зяблеву оранку, решту в рядки під час сівби (10 - 15 кг/га д.р. фосфору).

Хлор різко знижує нектаровиділення та пригнічує розвиток рослин. Тому для весняного внесення слід використовувати виключно безхлорні калійні добрива (калімагnezія, сульфат калію). Хлористий калій дозволяється вносити лише з осені, щоб за зиму іони хлору вимилися у глибші шари ґрунту.

Вирішальне значення для процесу плодоутворення та синтезу нектару має позакореневе підживлення (по листу) мікроелементами, зокрема бором (В) та цинком (Zn), у фазу бутонізації [1-6].

Боротьба з бур'янами. На початкових етапах росту (від сходів до початку гілкування) гречка розвивається відносно повільно і має низьку конкурентоспроможність у боротьбі з бур'янами. Проте у фазі масового цвітіння вона формує потужну листову масу, яка сильно затінює ґрунт і пригнічує розвиток більшості бур'янів. Тому головне завдання - захистити агроценоз на стадії сходів.

Система захисту базується на поєднанні агротехнічних та хімічних методів:

Агротехнічний метод.

Передпосівна культивуація є першим і найважливішим кроком. Суцільне підрізання проростків ранніх ярих бур'янів лапами культиватора КШУ 8 дозволяє посіяти гречку в чистий ґрунт.

Досходове боронування проводиться легкими посівними боронами впоперек рядків через 3 - 4 дні після сівби, коли насіння гречки щойно

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

наклонулося, а бур'яни перебувають у фазі білої ниточки. Цей прийом знищує до 70 - 80% сходів бур'янів та руйнує ґрунтову кірку.

Післясходове боронування виконується у фазі першого справжнього листка гречки. Проводиться в другій половині дня коли тургор рослин знижується і вони стають менш ламкими.

Міжрядні обробітки - при широкорядному способі сівби проводять 2 - 3 міжрядні культивації, першу на глибину 4 - 5 см (у фазі першого листка), наступні, глибше (6 - 8 см) до змикання рядків [1-6].

Хімічний метод.

Гречка є надзвичайно чутливою до фітотоксичної дії гербіцидів, тому застосування хімічних препаратів має бути обережним. За високої потенційної забур'яненості поля після сівби (але до появи сходів) поверхню обробляють дозволеними ґрунтовими препаратами (наприклад, на основі прометрину або S-метолахлору). Важливо зазначити, що якісно виконаний передпосівний обробіток із потужними кришильними котками дозволяє зменшити розмір ґрунтових грудок. Це створює суцільний гербіцидний екран на поверхні ґрунту, що значно підвищує ефективність дії ґрунтових хімічних препаратів та дозволяє зменшити норму їх внесення [1-6].

Боротьба із шкідниками та хворобами. Гречка характеризується відносно високою природною стійкістю до ураження патогенами порівняно з іншими зерновими культурами. Проте за сприятливих для розвитку шкідливих організмів погодних умов (висока вологість, різкі перепади температур) та порушення агротехніки втрати врожаю можуть бути суттєвими.

Найбільшої шкоди посівам завдають грибкові та бактеріальні інфекції. Пероноспороз (несправжня борошниста роса) вражає листки, на яких утворюються жовтуваті плями з сіро-фіолетовим нальотом зі спорами гриба на нижньому боці. Призводить до передчасного всихання асиміляційного апарату.

Сіра гниль (ботритіоз) - розвивається в фазі цвітіння і плодоутворення за умов надмірного зволоження, вражаючи суцвіття, стебла та листя.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кореневі гнилі (фузаріозна, бактеріальна) вражають кореневу шийку та коріння сходів.

Тому, якісна робота культиватора (забезпечення оптимальної щільності ложа та відсутність перезволожених западин на полі завдяки ідеальному вирівнюванню) є потужним профілактичним заходом проти корневих гнилей, оскільки усуває умови гіпоксії та застою вологи, які провокують розвиток патогенів.

Ґрунтові шкідники (дротяники, личинки травневого хруща) пошкоджують висіане насіння та кореневу систему сходів.

Листогризучі та сисні шкідники (гречкова блішка, попелиці, совки, лучний метелик), знищують вегетативну масу та висмоктують соки з генеративних органів, що призводить до стерильності квіток.

Система захисту від шкідників. Особливістю хімічного захисту гречки є те, що вона є ентомофільною культурою, врожайність якої критично залежить від комах-запилювачів (бджіл). Тому застосування інсектицидів під час цвітіння суворо заборонено.

Профілактика - дотримання сівозміни, використання протруєного насіння, знищення бур'янів, які є резерваторами шкідників.

Застосування фунгіцидів та інсектицидів проводиться виключно у разі перевищення економічного порогу шкодочинності (ЕПШ) і до початку бутонізації. В крайніх випадках дозволяється застосування екологічно безпечних біопрепаратів або репелентів, які не шкодять бджолам [1-6].

Збирання врожаю. Збирання є найскладнішим технологічним етапом вирощування гречки, що зумовлено її біологічною специфікою - індетермінантним (необмеженим) типом росту. На одній рослині одночасно можуть знаходитися бутони, розкриті квітки, зелена зав'язь та повністю дозрілі плоди (горішки). Дозрівання відбувається знизу вгору і розтягується на 25 - 35 діб.

Залежно від погодних умов, стану посівів та забур'яненості, застосовують два основні способи збирання:

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Роздільне збирання (двофазне) - є основним та пріоритетним способом. Проводиться, коли побуріє 75 - 80% плодів на рослинах.

Перша фаза - рослини скошують валковими жатками (типу ЖВН-6) і укладають у пухкі валки на стерню (висота зрізу 15 - 20 см). У валках протягом 3 - 5 діб відбувається процес дозрівання, вегетативна маса підсихає, а пластичні речовини зі стебел переміщуються до недозрілих зерен, завдяки чому вони і дозрівають. Це знижує вологість маси та підвищує загальний вихід повноцінного зерна.

Друга фаза - після зниження вологості стебел до 30 - 35%, а зерна до 15 - 17%, валки підбирають і обмолочують зернозбиральними комбайнами, обладнаними підбирачами. При обмолоті частоту обертання барабана зменшують до 500 - 600 об/хв, щоб запобігти обрушенню та подрібненню крихкого насіння гречки.

Пряме комбайнування (однофазне). Застосовується на чистих від бур'янів зріджених посівах або у разі настання ранніх осінніх заморозків, коли скошування у валки вже недоцільне. Також до цього способу вдаються при вирощуванні скоростиглих детермінантних сортів із дружним дозріванням.

Збирання розпочинають при повному достиганні 90 - 95% плодів. Для підвищення ефективності прямого комбайнування (підсушування стебел і листя) за 5 - 7 діб до збирання обов'язково проводять десикацію посівів дозволеними препаратами (наприклад, на основі диквату або гліфосату, залежно від регламенту).

Зібраний ворох гречки зазвичай має підвищену вологість і містить значну кількість соковитих домішок. Тому він підлягає негайному (впродовж 2 - 3 годин після обмолоту) очищенню на зерноочисних машинах та сушінню у шахтних або колонкових сушарках за м'яких температурних режимів (температура теплоносія не повинна перевищувати 40 - 45°C) до базової кондиційної вологості 13 - 14%. Після цього зерно закладається на тривале зберігання.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2.2 Технологічна карта вирощування гречки [7-11]:

1. Лущення стерні (після зернових попередників). Подрібнення пожнивних решток, провокація проростання бур'янів, збереження вологи. Одразу після збирання попередника (липень-серпень). Агрегат: Трактор ХТЗ-17221 + дисковий лушпильник ЛДГ-10 або дискова борона АГ-2.4-20, на глибина 6 - 8 см.

2. Основний обробіток ґрунту (зяблева оранка). Загортання решток, боротьба з багаторічними бур'янами, накопичення зимової вологи. Вересень-жовтень. Агрегат: Трактор ХТЗ-17221 + плуг ПЛН-5-35 (або ПН-5-40). Для менших площ: МТЗ-82 + ПЛН-3-35. Глибина 22 - 25 см.

3. Ранньовесняне закриття вологи (боронування). Руйнування капілярів для запобігання випаровуванню вологи, вирівнювання гребенів зябу. Виконується при настанні фізичної стиглості ґрунту (березень-квітень). Агрегат: Трактор МТЗ-82 + зчіпка С-11 з важкими зубовими боролами БЗТС-1.0. Робоча швидкість 8 - 10 км/год.

4. Передпосівний обробіток ґрунту. Остаточне знищення бур'янів, створення ущільненого насіннєвого ложа на глибині загортання насіння, інтенсивне подрібнення грудок та ідеальне вирівнювання поверхні. Виконується безпосередньо перед сівбою (травень), коли ґрунт прогріється до 10 - 12°C. Агрегат: Massey Ferguson 5711 (або Т-150К) + культиватор широкозахватний універсальний КШУ 8.

5. Внесення мінеральних добрив (передпосівне). Забезпечення рослин азотом на початкових етапах. Під передпосівну культивацію. Агрегат: Трактор МТЗ-82 + розкидач МВУ-0,5 (або Amazone ZAM). Норма N30 - 45 (залежно від аналізу ґрунту).

6. Посів гречки. Рівномірне розміщення насіння за площею та глибиною. Травень (після загрози заморозків). Агрегат: Трактор МТЗ-82 + сівалка СЗ-3.6 або СЗ-5.4 (з дрібнонасіннєвими висівними апаратами). Міжряддя 15 см (рядковий) або 45 см (широкорядний). Глибина 3 - 5 см.

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

7. Післяпосівне прикочування (в разі сухої погоди). Покращення контакту насіння з ґрунтом. Агрегат: Трактор МТЗ-82 + котки ЗКШ-6 (кільчасто-шпорові).

8. Догляд за посівами (боронування та захист). Руйнування кірки та знищення бур'янів у фазі білої ниточки. Агрегат: Трактор МТЗ-82 + легкі борони ЗБП-0.6А. Обприскування: Трактор МТЗ-82 + обприскувач ОП-2000 (внесення інсектицидів/фунгіцидів до цвітіння).

9. Скошування у валки (роздільне збирання). Підсушування вегетативної маси та дозрівання зерна. При побурінні 75 - 80% зерна. Агрегат: Самохідна косарка-плющилка або трактор МТЗ-82 + жатка валкова ЖВН-6А.

10. Підбирання та обмолот валків. Отримання чистого зерна. Через 3 - 5 днів після скошування (вологість зерна 14 - 16%). Агрегат: Комбайн «Скіф-230» або Palesse GS12 з платформою-підбирачем. Оберти барабана 500 - 600 об/хв для зменшення травмування зерна.

3. Операційна технологія посіву гречки

3.1 Операційна технологія процесу посіву при вирощуванні гречки

Умови роботи наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Умови роботи

Показник	Значення показника
Сільськогосподарська операція	Передпосівний обробіток ґрунту під посів гречки
Марка трактора	Massey Ferguson 5711
Культиватор	КШУ 8
Довжина гонів, L м	900
Фон поля	Під посів
Кут підйому, %	2

Агротехнічні вимоги до передпосівного обробітку ґрунту під посів гречки [3-9]:

Передпосівна культивуація є завершальною операцією підготовки ґрунту, яка безпосередньо формує середовище для проростання насіння. Враховуючи біологічну специфіку гречки (необхідність мілкового загортання та високу чутливість до дефіциту вологи), до роботи ґрунтообробних агрегатів висуваються жорсткі агротехнічні вимоги:

1. Глибина обробітку та формування насінневого ложа.

Глибина передпосівної культивуації повинна суворо відповідати заданій глибині посіву і становити 3 - 5 см на важких ґрунтах та 4 - 6 см на легких. Нерівномірність глибини обробітку за шириною захвату агрегату не повинна перевищувати ± 1 см. Робочі органи культиватора (стрілчасті лапи) не повинні виносити нижній вологий шар ґрунту на поверхню. Вони мають сформувати рівне та ущільнене ложе, на яке ляже насіння.

2. Якість кришення ґрунту (ступінь подрібнення).

Це один із найважливіших показників для обґрунтування модернізації агрегату, що досліджується. Верхній посівний шар ґрунту повинен мати дрібногрудкувату структуру. Вміст агрономічно цінної фракції (розмір ґрунтових часток від 1 до 10 мм) має становити не менше 80% від загальної маси обробленого шару. Наявність ґрунтових агрегатів розміром понад 30 - 50 мм на поверхні поля не допускається, оскільки вони утворюють повітряні кишені, що перешкоджають контакту насіння з ґрунтом і призводять до нерівномірних сходів.

3. Рівність поверхні поля.

Цей показник безпосередньо обґрунтовує модернізацію вирівнювальних планок чи шлейфів культиватора КШУ 8. Поверхня поля після проходу агрегату має бути максимально спланованою. Висота гребенів і глибина борозен мікрорельєфу не повинна перевищувати 1,5 - 2,0 см. Ідеально рівна поверхня є критично необхідною для стабільного ходу сошників зернової

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

сівалки та забезпечення абсолютно однакової глибини загортання кожної насінини.

4. Щільність ґрунту.

Після проходу агрегату щільність ґрунту в зоні насіннєвого ложа повинна становити 1,1–1,3 г/см³. Верхній (над насіннєвий) шар повинен бути максимально пухким (щільність 0,9–1,0 г/см³) для вільного доступу кисню та запобігання утворенню ґрунтової кірки. Зворотне ущільнення нижнього шару з одночасним розпушуванням верхнього досягається правильною роботою тандемних котків.

5. Підрізання бур'янів.

Ступінь підрізання кореневої системи проростків бур'янів та падалиці попередника повинен становити 100%. Не допускається наявність необроблених смуг (огріхів) між суміжними проходами агрегату та між робочими органами. Перекриття стрільчастих лап культиватора має бути не менше 4 - 5 см.

6. Збереження вологи.

Розрив в часі між передпосівною підготовкою ґрунту та сівбою гречки має бути мінімальним (не більше 0,5 - 1 години, в ідеалі - сівба слідом за культиватором). Це вимагає високої надійності та продуктивності ґрунтообробного агрегату.

Забезпечити всі ці показники (особливо 80% фракції 1-10 мм та гребнистість до 2 см) за один прохід базовим культиватором в умовах пересохлого або переущільненого ґрунту практично неможливо. Саме тому конструктивна зміна робочих органів, призначених для кришення та вирівнювання ґрунту, є технологічно необхідною умовою для виконання жорстких агротехнічних вимог при вирощуванні гречки.

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Підготовка агрегату до роботи (операція передпосівний обробіток ґрунту під гречку).

Процес підготовки ґрунтообробного агрегату (на базі трактора Massey Ferguson 5711 та модернізованого культиватора КШУ 8) є критично важливим етапом. Від точності виконання регулювань залежить здатність агрегату забезпечити жорсткі агротехнічні вимоги щодо глибини насіннєвого ложа (4 - 6 см) та якості подрібнення ґрунту. Підготовка проводиться в два етапи - на стаціонарному регульовальному майданчику та безпосередньо в полі.

Комплектування агрегату та технічний огляд. Трактор агрегують із культиватором, перевіряючи надійність приєднання до начіпного пристрою або гідрофікованої тягової сліпи. З'єднують гідросистему трактора з гідроциліндрами переведення культиватора у транспортне і робоче положення, перевіряють герметичність магістралей. Перевіряють стан стрілочастих лап. Леза лап мають бути загострені (товщина різальної кромки не більше 1 мм), оскільки тупі лапи не перерізають, а приминають бур'яни і збільшують тяговий опір. Перевіряють цілісність пружинних стійок та надійність їх кріплення до рами. Перевіряють розстановку робочих органів. Для забезпечення 100% підрізання бур'янів перекриття сусідніх лап (розташованих у різних рядах) має становити не менше 4 - 5 см.

Налаштування заданої глибини обробітку (на стаціонарному майданчику). Оскільки гречка вимагає мілкового та ідеально рівномірного загортання насіння, попереднє налаштування глибини ходу культиватора виконують на рівному майданчику (з твердим покриттям) методом підкладок. Культиватор переводять у робоче положення і опускають на майданчик. Під опорні (копіювальні) колеса культиватора підкладають дерев'яні бруски. Товщина брусків має дорівнювати заданій глибині обробітку (наприклад, 5 см) мінус глибина прогрузання коліс у ґрунт (зазвичай 1,5 - 2,0 см). Тобто висота підкладок становитиме близько 3 - 3,5 см. За допомогою гвинтових механізмів опорних коліс раму культиватора опускають доти, поки всі стрілочасті лапи не торкнуться поверхні майданчика всією довжиною різальної кромки. Рама

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

культиватора при цьому повинна бути строго паралельною до поверхні майданчика (регулюється центральною тягою навіски трактора або талрепами причіпного пристрою). Це гарантує однакову глибину ходу лап переднього і заднього рядів.

Регулювання робочих органів (вирівнювачів та котків). Цей етап є найважливішим, оскільки саме ці органи формують дрібногрудкувату структуру та згладжують мікрорельєф.

Налаштування вирівнювальної планки (шлейфу) - планка має бути встановлена таким чином, щоб її нижня кромка знаходилася на рівні або на 1 - 2 см вище глибини ходу стрілочастих лап. За допомогою кулісних механізмів або пружинних блоків регулюється кут атаки планки та зусилля притискання. Планка повинна активно зрізати гребені ґрунту, переміщуючи перед собою невеликий валик (хвилю) ґрунту, який засипає борозни від стійок лап. Якщо валик занадто великий, тиск планки зменшують, щоб уникнути згрібання ґрунту і забивання агрегату.

Регулювання котків зводиться до встановлення необхідного тиску на ґрунт. Це здійснюється зміною натягу натискних пружин або довжини регулювальних гвинтів (залежно від конструкції). Котки повинні обертатися без проковзування, інтенсивно розбиваючи грудки до розміру $< 10\text{мм}$, і ущільнювати підповерхневий шар до значення $1,1 - 1,3 \text{ г/см}^3$. Якщо ґрунт пересохший і грудкуватий, тиск на котки збільшують до максимуму, на легких або перезволожених ґрунтах тиск зменшують для запобігання залипанню.

Остаточне доведення параметрів агрегату здійснюється безпосередньо на полі, підготовленому під посів гречки. Пробний прохід - трактор виконує робочий прохід на дистанцію 50 - 100м з робочою швидкістю (8 - 12 км/год). Швидкість має бути достатньо високою, оскільки від неї залежить кінетична енергія удару планок котків по ґрунтових грудках, а отже і якість кришення.

За допомогою лінійки або глибиноміра в кількох місцях (по ширині захвату та по діагоналі) розгортають розпушений шар до твердого ложа і заміряють фактичну глибину. За необхідності коригують положення опорних

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коліс. Оцінка роботи котків і вирівнювачів - візуально та інструментально оцінюють гребнистість поверхні (має бути не більше 2см) та структуру верхнього шару. Якщо на поверхні залишаються великі брили або борозни, збільшують тиск на вирівнювальну планку та котки.

Перевіряють, чи не забиваються робочі органи рослинними рештками попередника або вологим ґрунтом. Після успішного польового коригування всіх параметрів агрегат допускається до виконання суцільного передпосівного обробітку масиву.

Проведемо розрахунок необхідної кількості палива для виконання операції передпосівного обробітку ґрунту під посів гречки. Визначаємо за методикою наведеною в [12], тяговий опір трактора Massey Ferguson 5711 на гаку:

$$P_T = \frac{3,77 \cdot N_T \cdot \eta_T}{V_p} - G_T \cdot (f \pm i),$$

де $N_T = 88,3$ кВт – потужність двигуна Massey Ferguson 5711;

η_T - кпд трансмісії $\eta_T = 0,85$;

G_T - вага трактора $G_T = 41,5$ кН;

f - опір кочення трактора $f = 0,2$;

$i = 0$;

V_p - швидкість руху агрегату $V_p = 12$ км/год.

$$P_T = \frac{3,77 \cdot 88,3 \cdot 0,85}{12} - 41,5 \cdot 0,2 = 21,5 \text{ кН}$$

Питомий опір агрегату K_a [13,14]:

$$K_a = K_0 \cdot (1 + \Pi \cdot V_p)$$

де K_0 - величина питомого опору ґрунту $K_0 = 1,6$ кН/м;

Π - збільшення питомого опору $\Pi = 1,5\%$;

$$K_a = 1,6 \cdot (1 + 0,015 \cdot 8) = 1,79 \text{ кН / м}$$

Додатковий опір при русі агрегату на підйом [13,14]:

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$R_{\partial} = \frac{G_T}{B} \cdot i,$$

де B - ширина захвату $B = 8$ м ;

$i = 0,02$ - підйом.

$$R_{\partial} = \frac{41,5}{8} \cdot 0,02 = 0,1 \text{ кН / м}$$

Тяговий опір агрегату [13,14]:

$$R_a = K_a \cdot B + R_{\partial}$$

$$R_a = 1,79 \cdot 8 + 1,3 = 15,6 \text{ кН}$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля трактора [13,14]:

$$\eta_T = \frac{R_a}{P_T},$$

$$\eta_T = \frac{15,6}{21,5} = 0,73$$

Продуктивність агрегату, га/зм:

$$П_{зм} = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot T_p,$$

де T_p – робочий час зм./год.

$$T_p = T_3 \cdot \tau,$$

де T_3 – час зміни, $T_3 = 7$ год;

τ - коефіцієнт використання часу $\tau = 0,82$.

$$T_p = 7 \cdot 0,82 = 5,74 \text{ год}$$

$$П_{зм} = 0,1 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 5,74 = 55,1 \text{ га / зм}$$

Витрати палива (кг/га) [13,14]:

$$Q_{\text{га}} = \frac{Q_{зм}}{П_{зм}},$$

де $Q_{зм}$ – витрати палива за зміну, кг;

$$Q_{зм} = Q_p T_p + Q_x t_x + Q_3 t_3,$$

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

де Q_p, Q_x, Q_3 – годинні витрати палива за час холостих ходів та під час роботи, на зупинках з працюючим двигуном, кг/год;

$$t_x = t_3 = \frac{7 - 7,54}{2} = 0,63 \text{ год}$$

$$Q_{3M} = 14 \cdot 5,74 + 10 \cdot 0,63 + 2 \cdot 0,63 = 87,92 \text{ кг / га}$$

$$\eta_{T3} = 0,35; \quad Q_p = 14 \text{ кг / год}; \quad Q_x = 10 \text{ кг / год}; \quad Q_3 = 2 \text{ кг / год}$$

Витрата палива на 1 га:

$$Q_{га} = \frac{87,92}{55,1} = 1,6 \text{ кг / га}$$

3.2 Підготовка поля до роботи

Підготовка поля є не менш важливою за підготовку самого агрегату, адже правильна організація руху безпосередньо впливає на продуктивність трактора та якість роботи робочих органів.

Перед початком виконання суцільної передпосівної культивуації під гречку за допомогою агрегату на базі КШУ 8, необхідно провести комплекс організаційно-технологічних заходів безпосередньо на ґрунтовому масиві. Правильна підготовка поля мінімізує непродуктивні витрати часу, знижує витрату палива та створює оптимальні умови для роботи вирівнювальних планок і котків.

Підготовка поля включає такі етапи.

Огляд поля та визначення фізичної стиглості ґрунту. Поле обстежують на наявність прихованих перешкод (каміння, великих деревних залишків, ям), які можуть спричинити поломку пружинних стійок лап або деформацію котків. Виявлені перешкоди усувають або позначають добре помітними віхами.

Оскільки гречка висівається у пізніші строки (травень), критично важливо не допустити пересихання ґрунту, але і не розпочинати роботу по перезволоженому ґрунту. Оптимальна вологість ґрунту для роботи

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

модернізованого культиватора становить 15 - 20%. За підвищеної вологості ґрунт буде налипати на котки (що зведе нанівець їхню кришильну дію), а за пересихання - утворюватимуться міцні брили, які важко розбити за один прохід.

Вибір напрямку руху агрегату. Для досягнення максимального ефекту вирівнювання поверхні (що є критичним для дрібнонасінної гречки), рух культиватора КШУ 8 обов'язково має відбуватися під кутом (по діагоналі) до напрямку попереднього обробітку - зяблевої оранки або ранньовесняного боронування.

Рух по діагоналі або впоперек гребенів оранки дозволяє вирівнювальній планці (шлейфу) культиватора ефективно зрізати верхівки нерівностей і заповнювати борозни. Якби рух відбувався вздовж борозен, колеса та робочі органи агрегату копіювали б нерівності, і якість підготовки насінневого ложа суттєво б знизилася.

Відбивання поворотних смуг та розмітка гонів. Широкозахватні агрегати (яким є КШУ 8) потребують значної площі для розвороту, щоб уникнути поломок робочих органів.

Ширина поворотних смуг визначається кратно ширині захвату агрегату. Смуги відбивають по краях поля контрольними борознами або проходами трактора. Категорично забороняється здійснювати розворот агрегату із заглибленими робочими органами. Перед виїздом на поворотну смугу тракторист зобов'язаний перевести культиватор в транспортне положення, інакше бокове навантаження призведе до деформації рам котків та вирівнювачів.

Вибір способу руху. Для суцільної передпосівної культивації симетричними причіпними агрегатами найефективнішим є човниковий спосіб руху. Він забезпечує найменшу кількість холостих ходів та високий коефіцієнт робочих ходів. Агрегат рухається від краю до краю поля, розвертається на поворотній смузі (петльовим або безпетльовим способом) і заходить у наступний прохід поруч із попереднім. Для запобігання утворенню

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необроблених смуг (огріхів), де згодом проростуть бур'яни, суміжні проходи повинні виконуватися з перекриттям стикових міжрядь на 15 - 20 см. Перший прохід обов'язково виконують за попередньо виставленими віхами для забезпечення ідеально прямолінійного руху.

Після того як основний масив поля оброблено, агрегат здійснює культивуацію поворотних смуг. Їх обробляють тим самим агрегатом шляхом кругових або човникових проходів, залишаючи після себе ідеально підготовлене та сплановане поле, повністю готове до заїзду посівних агрегатів.

3.3 Організація роботи агрегату в загінці

Розрахунок організації роботи агрегату в загінці проводимо за методикою наведеною в [13,14]. Обираємо спосіб руху – човниковий, а напрям руху агрегату вздовж сторони гону - $L=900\text{м}$.

Кінематична довжина агрегату:

$$L_k = l_m + l_{\text{м}},$$

де $l_m, l_{\text{м}}$ – кінематичні довжини трактора, культиватора, м.

$$l_m = 4,3 \text{ м}, l_{\text{м}} = 4,93 \text{ м}.$$

$$L_k = 4,3 + 4,93 = 9,23 \text{ м}.$$

Ширина поворотної смуги агрегату при петльовому способі повороту:

$$E_p = 3 \cdot R_m + l_a,$$

де R_m – мінімальний радіус повороту, м.

$$R_m = 1,2 \cdot B = 1,2 \cdot 8 = 9,6 \text{ м},$$

l_a – довжина виїзду агрегату, м.

$$l_a = 0,5 \cdot 9,23 = 4,62 \text{ м}.$$

$$E_p = 3 \cdot 9,6 + 4,62 = 33,42 \text{ м}$$

Приймаємо кратну ширині захвату

$$E_p = K \cdot B,$$

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

де K – кратність ширини захвату ціле число.

$$K = \frac{E_p}{B} = \frac{33,42}{8} = 4,18 \approx 4$$

Ширина загінки:

$$H = \frac{10^4 \cdot (2...3) \cdot \Pi_{з.м}}{L},$$

де L – довжина загінки, м.

$$H = \frac{10^4 \cdot 2,5 \cdot 55,1}{900} = 1530 \text{ м}$$

Кількість загінок:

$$n_z = \frac{10^4 \cdot S}{L \cdot H}$$

де S – площа посіву, га;

L – довжина загінки, м.

$$n_z = \frac{10^4 \cdot 120}{900 \cdot 1530} = 0,9$$

2.4.6 Контроль якості роботи

На основі проведених розрахунків оформлюємо операційну технологічну карту на операцію передпосівного обробітку ґрунту під посів гречки та виконуємо додаткові розрахунки згідно [13,14].

Тривалість одного циклу, хв.

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot L_p}{10^2 \cdot V} + 2 \cdot t_n,$$

де L_p – робоча довжина загінки, м;

$t_n = 2 \text{ хв}$ - час повороту в кінці загінки.

$$L_p = L - 2 \cdot E_p$$

де $L = 900 \text{ м}$ – довжина загінки;

$E_p = 33,42 \text{ м}$ – ширина поворотної смуги.

Робоча довжина загінки:

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_p = 900 - 2 \cdot 33,42 = 833 \text{ м}$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot 833}{10^2 \cdot 12} + 2 \cdot 2 = 12,33 \text{ хв} = 0,21 \text{ год}$$

Визначаємо технічну продуктивність за цикл, га/ц:

$$\Pi_{\text{ц}} = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot T_{\text{ц}} \cdot \tau ,$$

$$\Pi_{\text{ц}} = 0,1 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 0,21 \cdot 0,82 = 1,65 \text{ га / ц} .$$

Кількість циклів за зміну:

$$n_{\text{ц}} = \frac{\Pi_{\text{зм}}}{\Pi_{\text{ц}}} ,$$

$$n_{\text{ц}} = \frac{55,1}{1,65} = 33,4 \text{ ц / зм}$$

На основі агротехнічних вимог на посів гречки, умов роботи та проведення розрахунків, складаємо операційно технологічну карту, рис. 3.1.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Операційна карта вирощування гречки

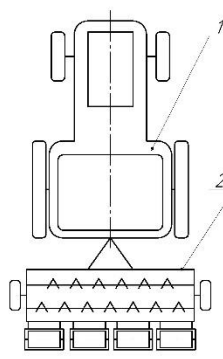
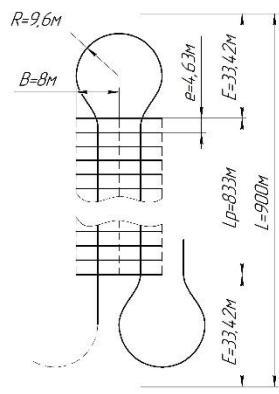
Назва груп показників	Параметри, вимоги, нормативи	Схеми
Умови роботи	Площа – 120 га, довжина гонів – 900 м, величина підйому – 0,02, питомий опір з поправкою на швидкість – 1,79 кН/м, глибина обробки – 10 см.	 Схема поля
Агротехнічні вимоги	Коливання ширини міжрядь повинно бути не більше: у основних ± 2 см, суміжних проходів ± 5 см, відхилення від заданої глибини обробки ± 2 см. Не допускаються пропуски і необроблені ділянки поля.	
Склад агрегату і підготовка його до роботи	Трактор Massey Ferguson 5711, культиватор КШУ 8, робоча ширина захвату 8 м, мінімальний радіус повороту – 9,6 м, кінематична довжина агрегату – 9,23 м. Підготовка агрегату: 1. провести щозмінне ТО трактора і культиватора; 2. відрегулювати на задану глибину обробки; 3. встановити змінні робочі органи	 1 – трактор Massey Ferguson 5711 2 – культиватор КШУ 8
Підготовка поля	Перед початком роботи поле оглянути, перешкоди усунути, ширина поворотної смуги 33,42 м.	
Спосіб руху	Спосіб руху гонівий човниковий, спосіб повороту петльовий грушоподібний	 $R=9,6\text{м}$ $B=8\text{м}$ $e=4,63\text{м}$ $E=33,42\text{м}$ $L=900\text{м}$ $L_p=8,33\text{м}$
Швидкість руху	Робоча передача V, враховуючи буксування, робоча швидкість 10 км/год	
Показники організаційного процесу	Тривалість циклу 0,21 год, технічна продуктивність за цикл 1,65 га/ц; змінна продуктивність агрегату 18,37 га/зм, кількість циклів за зміну 33,4 ц/зм	
Контроль за якістю роботи сіялки	Відхилення від заданої глибини обробки повинно бути не більше ± 2 см.	При оцінці якості обробки ґрунту необхідно врахувати такі показники: візуально оглянути оброблену площу, оцінити рівномірність обробки, глибину розпушування та наявність скупчень великих грудок; перевірку глибини розпушення виконувати за допомогою вимірвальних інструментів, таких як лінійка або зонд; при використанні котків у складі агрегату перевірити щільність ґрунту на глибині посіву.

Рис. 3.1 Операційна карта вирощування гречки

4. Інженерна частина

Обробіток ґрунту представляє собою сукупність механічних способів і технологічних прийомів, спрямованих на покращення його структури, підвищення родючості та формування сприятливих умов для росту і розвитку рослин. До складу цих заходів входять різноманітні операції, що змінюють фізичні та хімічні властивості ґрунту, які є визначальними для отримання високих врожаїв. Прийнято виділяти три основні види обробітку: основний, поверхневий і спеціальний, кожен з яких характеризується власними особливостями та відповідним технічним забезпеченням для виконання необхідних операцій [15,16].

Ключовою операцією, що забезпечує створення оптимальних умов для висіву насіння, є поверхневий обробіток ґрунту, основною складовою якого виступає культивация. Культиватори застосовуються для розпушення верхнього шару ґрунту на задану глибину, знищення бур'янів і формування якісного насінневого ложа. Окрім цього, вони можуть виконувати внесення мінеральних добрив та інші підготовчі операції, тому передпосівний обробіток є одним із головних напрямів їх використання [17].

Для реалізації зазначених процесів застосовують універсальні культиватори суцільного обробітку. Сучасні конструкції таких машин передбачають наявність різних функціональних модулів, що дозволяють одночасно виконувати кілька технологічних операцій, підвищуючи їх універсальність. В зв'язку з цим культиватори поступово трансформуються в багатофункціональні ґрунтообробні агрегати. З метою виявлення їх переваг і недоліків доцільно здійснити аналіз найбільш поширених конструкцій подібної техніки.

4.1 Огляд конструкцій агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту

На сучасному етапі як вітчизняні, так і зарубіжні виробники пропонують широкий спектр універсальних ґрунтообробних машин [18-21]. Доцільно

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зосередити увагу на тих конструкціях, які можуть ефективно застосовуватись під час передпосівного обробітку ґрунту для посіву гречки.

Чотирирядний причіпний культиватор суцільного обробітку GeneralL КПС 4.0 – Bellota [18] є універсальним агрегатом, призначеним для виконання передпосівної культивації та обробітку парових площ (рис. 4.1).



Рис. 4.1 General Machines

Дана машина забезпечує комплексну підготовку ґрунту до сівби за один прохід по полю. Культиватор GeneralL КПС одночасно реалізує чотири технологічні операції: видалення рослинних решток і розпушення ґрунту без обороту пласта; ущільнення ґрунту та формування оптимальної структури насінневого ложа і поверхневого шару за допомогою прикочуючих котків, що також сприяє зменшенню випаровування вологи; очищення поля від бур'янів із підрізанням їх кореневої системи; подрібнення великих грудок і вирівнювання поверхні за рахунок роботи пружинного гряділя.

Лапові робочі органи розміщені у три ряди в шаховому порядку, що забезпечує рівномірне розпушення та перемішування ґрунту, а також запобігає забиванню рослинними рештками і бур'янами. Водночас пластинчастий

коток, встановлений на агрегаті, ефективно виконує функції подрібнення та вирівнювання ґрунту, проте його здатність до ущільнення є недостатньою.

Відоме вітчизняне підприємство «Уманьферммаш ТіЗ» пропонує паровий причіпний культиватор КПП-8,2 [19], який є вдосконаленою та модернізованою машиною для обробітку ґрунту. Даний агрегат оснащений сучасними імпортними лапами нового покоління, а також розширеними котками, що забезпечують ефективне подрібнення ґрунтових грудок. Культиватор призначений для виконання повного циклу культивації та передпосівного обробітку (рис. 4.2).



Рис. 4.2 Культиватор КПП 8.2

Водночас однією з його конструктивних особливостей є використання пластинчастого котка, який переважно виконує функції остаточного подрібнення грудок і вирівнювання поверхні поля. Однак для забезпечення достатнього ущільнення ґрунту та формування якісного насінневого ложа такий тип котка є недостатньо ефективним.

Культиватор Versatill Vo Profi [20] є високоуніверсальним агрегатом, призначеним для виконання як поверхневого, так і передпосівного обробітку ґрунту (рис. 4.3). Завдяки широкому вибору доліт і лап, розміщених в шести рядах, машина може бути адаптована під різноманітні технологічні вимоги. Навіть за умов значної кількості рослинних решток або підвищеної вологості ґрунту культиватор демонструє високу пропускну здатність. Легка, але

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

водночас міцна рамна конструкція робить його ефективним для підготовки ґрунту до сівби.



Рис. 4.3 Versatill Vo Profi

Додатково агрегат може оснащуватись передньою вирівнюючою планкою Crushbar з гідравлічним регулюванням, яку також можна встановлювати позаду лап для більш рівномірного вирівнювання поверхні поля та подрібнення грудок. Заключний етап обробітку здійснюється за допомогою різних типів котків, які забезпечують ущільнення поверхневого шару та формування оптимальної структури ґрунту. Разом із тим, певним недоліком даного культиватора є застосування швелерних котків, які не є універсальними та можуть бути малоефективними для обробітку ґрунту під окремі види сільськогосподарських культур, таких як гречка.

Культиватор HORSCH Terrano FX [21] є компактним універсальним агрегатом (рис. 4.4), який завдяки різноманіттю робочих органів може ефективно використовуватись як для поверхневого обробітку стерні, так і для глибокої культивації з інтенсивним перемішуванням пожнивних решток на глибину від 5 до 30 см. Міцна рамна конструкція з трьома балками та високий кліренс забезпечують стабільну роботу і якісне перемішування рослинних залишків навіть у складних польових умовах. Подовжений час перебування ґрунту в робочій зоні Terrano FX у поєднанні зі спеціальною геометрією лап

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

дозволяє досягти значно вищої ефективності перемішування порівняно з двобалковими аналогами.



Рис. 4.4 HORSCH Terrano FX

Застосування змінних швидкознімних робочих органів, зокрема стрілчастих лап для поверхневого обробітку або лап для глибокого розпушування з активним перемішуванням, суттєво розширює функціональні можливості агрегату як за глибиною обробітку, так і за якістю виконання технологічного процесу. Підтримання заданої глибини забезпечується завдяки взаємодії гідросистеми трактора та ущільнювального котка. Разом із зазначеними перевагами конструкція має і певний недолік - особливості котка зумовлюють локальне ущільнення ґрунту лише в межах ширини контакту окремих його елементів, що обмежує рівномірність ущільнення по всій ширині захвату.

4.2 Стан питання про машину, що модернізується

За результатами проведеного аналізу ґрунтообробних машин, представлених на ринку України, можна зробити висновок, що вони загалом ефективно забезпечують формування необхідного агрегатного складу ґрунту. Водночас питання якісного ущільнення насінневого ложа залишається недостатньо вирішеним. В зв'язку з цим для подальшого вдосконалення

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

технології передпосівного обробітку за базову модель було обрано культиватор КШУ 8, що виготовляється компанією «Агроліга» [22], який є багатофункціональним доступним агрегатом. КШУ 8 культиватор, який призначений для парового та суцільного передпосівного обробітку ґрунту. В його конструкції передбачено використання трубчастих котків, що сприяють інтенсивному кришенню ґрунту та працюють по всій ширині захвату, а також гряділя, який забезпечує вирівнювання поверхні поля (рис. 4.5).

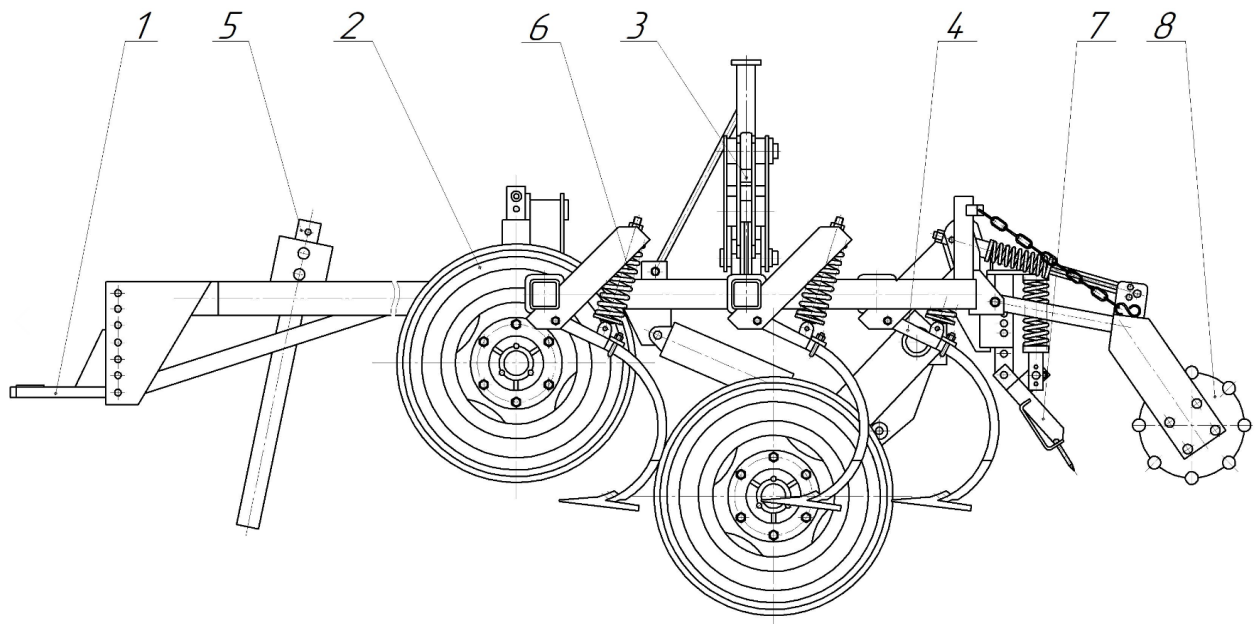


Рис. 4.5 Схема культиватора КШУ 8:

1 – причіпне кільце; 2 – колесо опорне; 3 – гідропривід; 4 – стрілочна пружинна лапа; 5 – опорна стійка; 6 – пружинний механізм лапи; 7 – гряділь; 8 – коток трубчастий.

Основні технічні характеристики культиватора КШУ-8 [22]:

- напівпричіпний тип;
- продуктивність в межах 7,5 – 12 га/год;
- ширина захвату 8 м;
- робоча швидкість до 12 км/год;
- глибина обробітку за один прохід 6 – 15 см;
- кількість лап – 27;
- ширина захвату однієї лапи – 240 мм.

Габаритні розміри в робочому (транспортному) положенні становлять: довжина – 4470 (4470) мм, ширина – 8000 (3000) мм, висота – 1300 (2600) мм. Маса агрегату складає 3435 кг. Культиватор агрегується з тракторами тягового класу 3 – 4.

4.3 Аналіз технологічних характеристик сучасних культиваторів

Культиватор універсальний суцільного обробітку використовується для часткового загортання рослинних решток, поверхневого розпушування ґрунту, знищення бур'янів і мульчування, формування рівного насінневого ложа. Сучасні підходи до вирощування зернових і технічних культур орієнтовані на заміну вузькоспеціалізованої техніки універсальними багатофункціональними агрегатами. Такий підхід є економічно вигіднішим завдяки скороченню кількості проходів техніки по полю, а також сприяє зменшенню ущільнення ґрунту, що позитивно позначається на розвитку рослин і рівні врожайності.

Застосування сучасних робочих органів культиватора дозволяє формувати дрібногрудкувату структуру ґрунту, яка має важливе значення для покращення умов проростання насіння. Така структура забезпечує збільшення площі контакту між ґрунтом і насінням, що сприяє кращому зволоженню та підвищує ймовірність його успішного проростання. За відсутності подібної структури процес проростання може значно погіршуватися або взагалі не відбуватися.

Водночас інтенсивне подрібнення ґрунту може призводити до зменшення його щільності. Це небажано, оскільки оптимальне значення щільності для нормального росту рослин становить близько 1,1 г/см³, тоді як після обробітку культиватором воно може знижуватись до 0,7 г/см³. Саме тому сучасні культиватори часто комплектуються додатковими робочими органами для ущільнення ґрунту. До них належать пружинні борінки, гряділі, котки або їх системи, а також прикочувальні колеса, які дозволяють відновити оптимальну щільність після розпушування. Це не лише покращує умови

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

проростання і розвитку рослин, але й позитивно впливає на біологічні процеси в ґрунті.

Універсальний культиватор КШУ 8 здатний виконувати передпосівний обробіток як на невеликій глибині, так і на глибині до 15 см. Він ефективно створює умови для накопичення і збереження вологи в зимовий період на полях, призначених під ярі культури. Конструкція агрегату передбачає значну ширину захвату, міцну раму, глибоке ешелонування робочих органів (зазвичай у 4 - 6 рядів), а також наявність вирівнювальних і ущільнювальних пристроїв. Лапи закріплюються на жорсткій рамі, а для їх амортизації використовуються пружинні стійки зі змінною жорсткістю по довжині. Враховуючи різноманітність нерівностей ґрунту, ефективним є поєднання низько та високочастотних коливань, що забезпечує якісне розпушування з мінімальними енерговитратами та дозволяє лапам відхилятися при зустрічі з перешкодами.

Тому, можна констатувати, що сучасні вітчизняні та закордонні виробники створили універсальні багатофункціональні ґрунтообробні агрегати, здатні ефективно працювати в різних умовах. Водночас особливу увагу слід приділити завершальному етапу передпосівного обробітку - прикочуванню, підвищення якості якого можливе шляхом конструктивного вдосконалення форми котків.

4.4 Обґрунтування модернізації конструкції котка універсального культиватора КШУ 8

Культиватор універсальний КШУ 8 комплектується прутковим котком (рис. 4.6), основне призначення якого полягає у подрібненні великих ґрунтових агрегатів і створенні підповерхневого ущільнення. Одночасно нахилені під кутом прутки сприяють вирівнюванню поверхні поля.

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

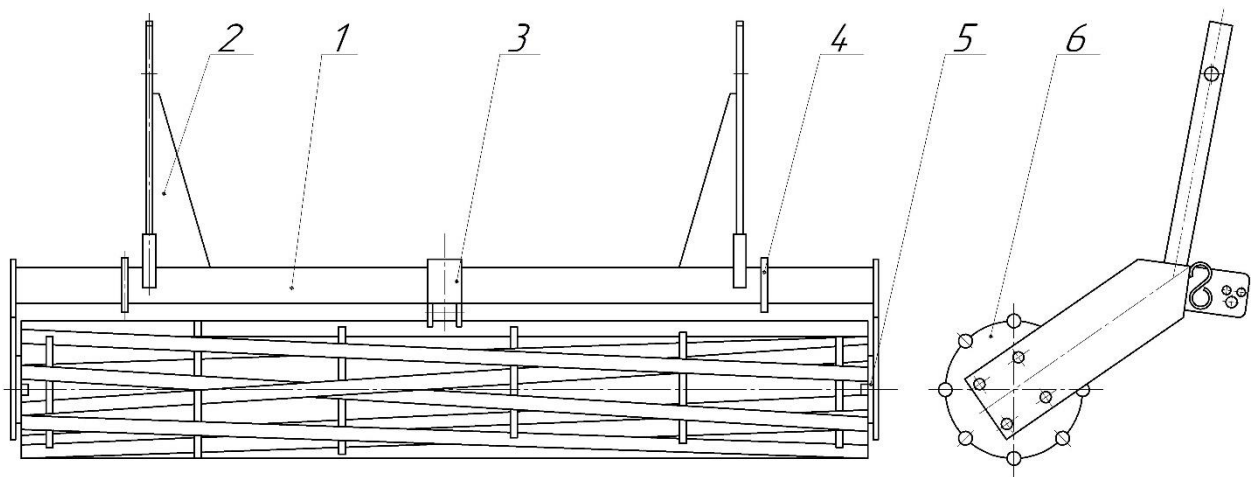


Рис. 4.6 Базовий коток КШУ 8:

1 – рама; 2 – кронштейн навіски; 3 – кріплення механізму навантаження; 4 – кронштейн обмежувача; 5 – вузол підшипниковий; 6 – коток

Конструктивно коток КШУ 8 (рис. 4.6) складається з рами 1, на якій змонтовано вузол підшипниковий 5, через який за допомогою осі здійснюється з'єднання з диском котка. На рамі також розміщено кронштейни навіски 2 для агрегування з рамою культиватора, кронштейн механізму навантаження, що дозволяє регулювати силу притискання котка до ґрунту, а також елемент кріплення ланцюгового обмежувача 4. Робоча поверхня котка 6 утворена вісьмома прутками, встановленими під кутом атаки та розміщеними з кроком 45° один відносно одного. Завдяки такому розташуванню та наявності кута атаки забезпечується інтенсивне подрібнення грудок і певний рівень ущільнення ґрунту. Разом із тим, зазначена конструкція має певний недолік - недостатню ущільнюючу дію у зоні формування насінневого ложа, особливо в умовах посухи, коли це є найбільш критичним. Проведений аналіз існуючих конструкцій котків культиваторів, як вітчизняного, так і закордонного виробництва, показав, що ефективність процесу прикочування значною мірою визначається формою робочої поверхні та конструктивним виконанням котка [23-29]. Основними недоліками є обмежений вплив робочих органів переважно на поверхневий шар ґрунту, а також нерівномірність ущільнення по ширині захвату.

З огляду на це було виконано вдосконалення котка культиватора КШУ 8 шляхом модернізації його робочого елемента (прутка) з метою підвищення інтенсивності ущільнення саме в зоні розміщення насіння незалежно від фізичного стану ґрунту. Запропонована конструкція забезпечує не лише більш ефективне подрібнення та вирівнювання ґрунту, але і формування сприятливих умов на глибині посіву для росту рослин.

Для усунення вище наведених недоліків запропоновано виконувати робочу поверхню котка у вигляді циліндричних прутків збільшеного розміру зі збільшеним кроком та вигнутих в горизонтальній площині по гвинтовій лінії на всю ширину захвату, а довжина одного витка відповідає половині ширини захвату котка (рис. 4.7).

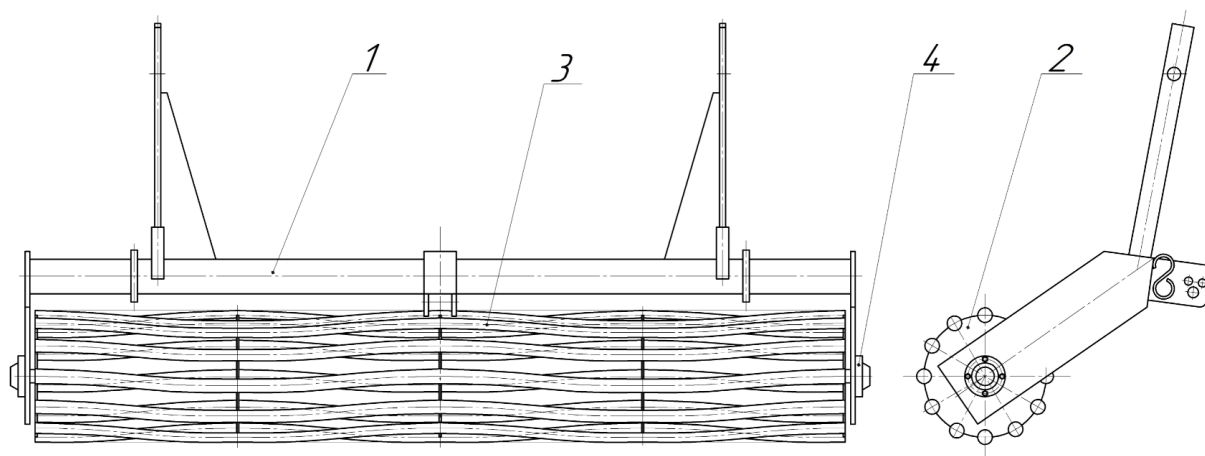


Рис. 4.7 Удосконалений коток культиватора КШУ 8:

1 – рама; 2 – диски котка; 3 – прутки; 4 – підшипниковий вузол

На рис. 4.7 представлено дві проекції модернізованого котка для передпосівного обробітку ґрунту. Конструкція включає раму котка 1, диски котка 2, циліндричні прутки 3 та підшипниковий вузол 4.

Робочий процес запропонованого котка відбувається таким чином: під час руху котка прутки 3 з циліндричним профілем поступово входять у розпушений ґрунт по гвинтовій траєкторії, забезпечуючи плавну та рівномірну деформацію ґрунтового шару по всій ширині захвату. Пруток 3 завдяки циліндричній формі, що забезпечує максимальний тиск у поздовжньому напрямку. Водночас завдяки збільшеному кроку між прутками відбувається

перекриття зон ущільнення. Під час взаємодії з великими грудками циліндрична поверхня прутка, маючи збільшену площу контакту, сприяє їх ефективному руйнуванню на дрібніші частини, що покращує агрегатний склад ґрунту. Крім того, за рахунок оптимального кроку та якіснішого подрібнення забезпечується більш рівномірне планування поверхні поля після проходу котка. В разі підвищеної сухості ґрунту, використовуючи механізм навантаження, можна збільшити силу дії котка, що дозволяє підсилити ущільнення або впливати на глибші шари ґрунту за сприятливих умов. Таким чином, завдяки збільшеному циліндричному профілю та гвинтовій формі прутка 3 досягається ущільнення ґрунту по всій ширині захвату котка і на значній глибині.

Перевагами під час виконання технологічного процесу удосконаленням котком є: підвищення щільності ґрунту в зоні його обробітку, що сприяє підняттю капілярної вологи та покращенню структури ґрунту, створюючи сприятливі умови для проростання насіння. Конструктивні особливості прутка в горизонтальній площині забезпечують поступове зростання напружень у ґрунті, запобігаючи утворенню грудок і забезпечуючи рівномірність ущільнення як по довжині, так і по глибині обробітку.

4.5 Обґрунтування основних параметрів модернізованого котка КШУ 8

Перед розглядом роботи і обґрунтуванням конструктивно – технологічних параметрів модернізованого котка культиватора КШУ 8, приймемо наступні вихідні данні.

Умови роботи: суглинистий чорнозем, поле після зимової оранки, щільність ґрунту після проходу культиватора складе $0,9 \text{ г/см}^3$. Згідно розробленого креслення конструкції котка - зовнішній діаметр котка 220мм, кут розстановки прутків по діаметру диска кожні 30° градусів, довжина котка 1600 мм.

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Спочатку розраховуємо базові кінематичні та геометричні параметри котка. Оскільки кут розстановки прутків по діаметру диска становить 30° , можемо визначити загальну кількість прутків на одному диску:

$$n = \frac{360^\circ}{30^\circ} = 12 \text{ шт.}$$

Крок гвинтової лінії (S). Згідно з описом конструкції, довжина одного витка прутка відповідає половині ширини захвату котка. Оскільки довжина котка (ширина захвату) $L = 1600 \text{ мм}$:

$$S = \frac{L}{2} = \frac{1600}{2} = 800 \text{ мм.}$$

Кут підйому гвинтової лінії (β). Цей параметр важливий для розуміння того, під яким кутом прутки будуть взаємодіяти з ґрунтом (ефект ковзання та зминання). Розраховується по зовнішньому діаметру $D = 220 \text{ мм}$:

$$\beta = \arctg\left(\frac{\pi \cdot D}{S}\right),$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{3,14 \cdot 220}{800}\right) = \arctg(0,8635) \approx 40,8^\circ.$$

Щоб провести повний технологічний та силовий розрахунок (визначити необхідну масу котка, тяговий опір, глибину ущільнення та діаметр самого прутка) приймаємо наступні дані:

робоча швидкість агрегату (V_p), яка необхідна для визначення динамічного впливу на ґрунт та тягового опору, приймаємо $V_p = 12 \text{ км/год}$;

коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту (q), для суглинистого чорнозему після оранки та культивування при вологості $W = 20\%$ буде знаходитись в межах $q = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^3$ [30-32].

Побудуємо математичну модель для визначення діаметра прутка d , спираючись на механіку взаємодії жорсткого циліндра з ґрунтом, з урахуванням динамічного впливу від швидкості агрегату.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення необхідного занурення прутка (h_r). Закономірність розповсюдження напружень в ґрунті описується емпіричними залежностями. Глибина ущільнення (H) залежить від фактичного занурення робочого органу та швидкості деформації ґрунту. Згідно з працями Г.Н. Синеокова та І.М. Панова [33], залежність має вигляд:

$$H = k_z \cdot h_r \cdot k_v,$$

де $H = 6 \text{ см}$ - цільова глибина зони ущільнення;

$k_z = 0,3$ - коефіцієнт розповсюдження напружень для пухкого суглинку;

$k_v = 1,28$ - динамічний коефіцієнт для швидкості $V_p = 12 \text{ км/год}$

Знайдемо динамічний коефіцієнт k_v . Робоча швидкість $V_p = 12 \text{ км/год} \approx 3,33 \text{ м/с}$:

$$k_v = 1 + c_v \cdot V_p^2,$$

де c_v - емпіричний коефіцієнт швидкості деформації ґрунту (в середньому $c_v = 0,025 \text{ с}^2 / \text{м}^2$).

$$k_v = 1 + 0,025 \cdot (3,33)^2 = 1,28$$

Визначасмо необхідне занурення прутка:

$$h_r = \frac{H}{k_z \cdot k_v},$$

$$h_r = \frac{6}{3,0 \cdot 1,28} = 1,56 \text{ см} = 15,6 \text{ мм}$$

Приймаємо розрахункове занурення $h_r = 16 \text{ мм}$.

Щоб коток котився без утворення ґрунтового валка (явище зсування ґрунту), необхідно дотримуватись кінематичної умови защемлення грудок та перекочування, яку обґрунтував В.П. Горячкін. Для циліндричних прутків діаметр має перевищувати глибину занурення мінімум у 1,25 рази:

$$d \geq 1,25 \cdot h_r,$$

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$d \geq 1,25 \cdot 16 = 20 \text{ мм} .$$

Приймаємо стандартний діаметр сталевого кругового прокату $d = 20 \text{ мм}$. Маса 1 погонного метра круга $d = 20 \text{ мм}$ становить 2,47 кг (довідник конструктора-машинобудівника В.І. Анур'єв).

Тепер розрахуємо, який об'єм ґрунту одночасно деформує запропонований коток. Радіус котка $R = 110 \text{ мм}$, занурення $h_r = 16 \text{ мм}$. Кут контакту (α) :

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{R - h_r}{R} ,$$

$$\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{110 - 16}{110} \approx 0,8545 ,$$

$$\frac{\alpha}{2} = \arccos(0,8545) \approx 31,3^\circ \Rightarrow \alpha = 62,6^\circ$$

Кількість активних прутків в ґрунті (m):

При кроці розстановки $\gamma = 30^\circ$:

$$m = \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{62,6^\circ}{30^\circ} \approx 2,08 \text{ шт}$$

Активна довжина прутків (L_a):

З урахуванням кута гвинтової лінії ($\beta = 40,8^\circ$) та ширини захвату $L = 1,6 \text{ м}$:

$$L_a = \frac{m \cdot L}{\cos(\beta)} ,$$

$$L_a = \frac{2,08 \cdot 1,6}{0,757} = 4,4 \text{ м} .$$

Об'єм зминання (V):

Площа сегмента прутка $d = 20 \text{ мм}$, що занурений на 16 мм (тобто занурений більше ніж на половину, розраховується як площа круга мінус верхній незанурений сегмент висотою 4 мм), становить:

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S \approx 269 \text{ мм}^2 = 2,69 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$V = S \cdot L_a,$$

$$V = 2,69 \cdot 10^{-4} \cdot 4,4 = 0,00118 \text{ м}^3$$

Згідно із загальною теорією об'ємного зминання В.П. Горячкіна, необхідне вертикальне зусилля (P) дорівнює добутку об'єму деформації на коефіцієнт об'ємного зминання (q). Тут ми маємо розглянути два експлуатаційні режими, щоб обґрунтувати рішення про перенесення зусилля на додаткове навантаження.

Режим 1.

Оптимальна вологість (20%), ґрунт податливий, коефіцієнт $q = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^3$.

$$P = q \cdot V,$$

$$P = 0,8 \cdot 10^6 \cdot 0,00118 = 944 \text{ Н}.$$

Таким чином, еквівалентна маса $M = 96 \text{ кг}$. Сумарна довжина всіх 12 прутків котка становить близько 25,3 м (вага металу 62,5 кг). Додавши диски, вісь та підшипники, власна вага однієї секції складе приблизно 100 - 110 кг. Тобто за ідеальних умов коток працює виключно за рахунок власної ваги, створюючи мінімальний тяговий опір.

Режим 2.

Посушливі умови, пересушені грудки (режим додаткового навантаження). Для руйнування сухих грудок та ущільнення сухого ґрунту опір зминанню різко зростає. Коефіцієнт q збільшується до $q = 2,0 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^3$ [30-32].

$$P = 2,0 \cdot 10^6 \cdot 0,00118 = 2360 \text{ Н}.$$

Еквівалентна маса складе $M = 240 \text{ кг}$.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Оскільки власна вага котка становить лише 110 кг, різницю (240 - 110 = 130 кг еквівалентного навантаження) можна примусово передати через пружинні або гідравлічні довантажувачі штанги культиватора.

Розглянемо розрахунок тягового опору (горизонтальної складової сили тяги, яка необхідна для перекочування котка), яка базується на класичній механіці взаємодії ґрунтообробних машин з ґрунтом.

В основі наведеного нижче розрахунку лежать методики Г.Н. Синеокова та І.М. Панова [33], де тяговий опір визначається через аналітичний коефіцієнт опору коченню жорсткого циліндра по пластично-деформованій поверхні.

Визначення коефіцієнта опору коченню (f_k).

При перекочуванні котка трактор витрачає енергію на постійне зминання ґрунту перед ним (утворення колії). Аналітично коефіцієнт опору коченню для циліндра визначається, як відношення глибини занурення до діаметра котка:

$$f_k = \sqrt{\frac{h_r}{D}},$$

де h_r - розрахована раніше глибина занурення прутків;

$D = 220$ мм - зовнішній діаметр котка.

$$f_k = \sqrt{\frac{16}{220}} = \sqrt{0,0727} \approx 0,27$$

Отримане розрахунковим шляхом значення $f_k = 0,27$ повністю узгоджується з довідковими даними для сільськогосподарських котків на розпушеному ґрунті (зазвичай цей показник становить від 0,15 до 0,30 залежно від щільності).

Тяговий опір однієї секції котка (R_x).

Горизонтальне зусилля, необхідне для переміщення однієї секції, дорівнює добутку вертикального навантаження (P) на коефіцієнт опору коченню, плюс опір у підшипникових вузлах. Для врахування тертя в

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

підшипниках та можливих нерівностей поля введемо коефіцієнт запасу $k_d = 1,1$.

$$R_x = P \cdot f_k \cdot k_d,$$

Вище, розраховували два режими роботи котка (з різним вертикальним навантаженням) тому розрахуємо тяговий опір для обох.

Режим 1, оптимальна вологість (робота за рахунок власної ваги).

Вертикальне зусилля $P = 944 \text{ Н}$.

$$R_x = 944 \cdot 0,27 \cdot 1,1 \approx 280 \text{ Н}.$$

Режим 2, посушливі умови (з пружинним довантаженням).

Вертикальне зусилля $P = 2360 \text{ Н}$

$$R_x = 2360 \cdot 0,27 \cdot 1,1 \approx 701 \text{ Н}.$$

Розраховуємо сумарний тяговий опір та витрати потужності для всього агрегату.

Культиватор КШУ 8 має 4 такі секції. Знайдемо загальний тяговий опір (R), який ця модернізація додасть на гаку трактора:

для оптимальних умов - $280 \text{ Н} \times 4 = 1120 \text{ Н}$ (або $\sim 114 \text{ кгс}$);

для посушливих умов - $701 \text{ Н} \times 4 = 2804 \text{ Н}$ (або $\sim 286 \text{ кгс}$).

Щоб зрозуміти, чи не перевантажить таке навантаження трактор, переведемо ці сили у витрати потужності (N) двигуна при заданій робочій швидкості 12 км/год (що дорівнює 3,33 м/с):

$$N = \frac{R \cdot V}{1000}.$$

Витрати потужності трактора (кВт):

оптимальні умови

$$N = \frac{1120 \cdot 3,33}{1000} \approx 3,7 \text{ кВт} \quad (5 \text{ к.с.})$$

посушливі умови (максимальне навантаження)

$$N = \frac{2804 \cdot 3,33}{1000} \approx 9,3 \text{ кВт} \quad (12,6 \text{ к.с.})$$

Таким чином із розрахунків видно, що модернізація є енергетично дуже ефективною. Для 8-метрового культиватора зазвичай використовують трактори класу 3,0 і вище (потужністю 150 - 200 к.с.). Запропоновані котки, навіть при максимальному пружинному довантаженні для ущільнення сухого ґрунту на глибину 6 см, заберуть лише до 13 кінських сил від загальної потужності трактора. Це абсолютно прийнятний показник, який дозволить витримувати швидкість 12 км/год без перевантаження двигуна та перевитрати пального.

Проведемо розрахунок кроку впливу на ґрунт (кінематика ущільнення).

Розглядаючи конструкцію котка необхідно запевнитись, що коток не просто залишає смуги на полі, а формує суцільне ущільнене насіннєве ложе на заданій глибині посіву.

Теоретичний крок прутків (рис. 4.8) – це відстань між слідами, які залишають прутки на поверхні ґрунту в поздовжньому перерізі, визначається за формулою:

$$l_z = \frac{\pi \cdot D}{n},$$

де D - зовнішній діаметр котка;

$n = 12$ - кількість прутків.

$$l_z = \frac{3,14 \cdot 220}{12} \approx 57,6 \text{ мм}$$

Таким чином, на поверхні ґрунту центри ліній вдавлювання знаходяться на відстані 57,6 мм один від одного. Оскільки діаметр прутка становить 20 мм, між ними залишається вільна смуга шириною близько 37,6 мм (на самій поверхні).

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

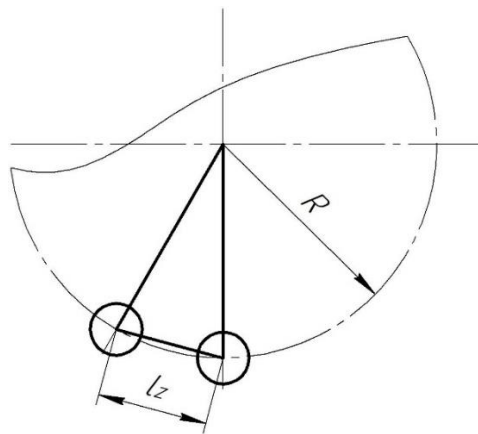


Рис. 4.8 Схема до визначення кроку прутків

Перевірка перекриття зон ущільнення на глибині посіву.

Згідно з теорією механіки ґрунтів (модель поширення напружень Буссінеска-Цитовича [30]), тиск від циліндричного штампа поширюється вглиб пухкого ґрунту під кутом розсіювання $\varepsilon \approx 30 - 45^\circ$.

Ширина зони ущільнення (B_z) на глибині $h = 60$ мм буде становити:

$$B_z = d + 2h \cdot \operatorname{tg}(30^\circ),$$

$$B_z = 20 + 2 \cdot 60 \cdot 0,577 \approx 89 \text{ мм}$$

Оскільки ширина зони ущільнення від одного прутка на глибині 6 см (89 мм) значно більша за крок між їхніми слідами (57,6 мм), ці зони накладаються одна на одну. Це математично доводить, що завдяки зменшеному кроку між прутками відбувається перекриття зон ущільнення. Це дає можливість гарантовано отримати суцільне насінневе ложе для рівномірного залягання насіння гречки.

Проведемо розрахунок прутка на міцність, як основного робочого елемента котка. Необхідно перевірити, чи не погнеться пруток під час роботи, особливо в режимі пружинного довантаження (на максимальній вазі 240 кг на секцію).

Розрахунок ведемо за найгіршим сценарієм: коток працює на сухому ґрунті (максимальне навантаження $P = 2360$ Н). З попереднього розрахунку ми знаємо, що це зусилля одночасно сприймають $m = 2,08$ прутків.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Тоді навантаження на один пруток:

$$F_1 = \frac{P}{m} = \frac{2360}{2,08} \approx 1134 \text{ Н}.$$

Розглянемо пруток як балку, що лежить на опорах (дисках котка).

Згинальний момент залежить від відстані між цими дисками (прольоту L_n).

Нормальний робочий режим (рівномірне навантаження).

Вважаємо, що ґрунт тисне на пруток рівномірно по всій його довжині. Якщо коток має 3 диски (два по краях і один по центру), проліт становить $L_n = 800 \text{ мм} = 0,8 \text{ м}$. Максимальний згинальний момент ($M_{\max}$) для рівномірно розподіленого навантаження:

$$M_{\max} = \frac{F_1 \cdot L_n}{8},$$

$$M_{\max} = \frac{1134 \cdot 0,8}{8} = 113,4 \text{ Нм}.$$

Момент опору перерізу круглого прутка (W_x) для $d = 20 \text{ мм}$:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32},$$

$$W_x = \frac{3,14 \cdot 0,02^3}{32} = 7,85 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Робоче напруження згину (σ_p):

$$\sigma_p = \frac{M_{\max}}{W_x},$$

$$\sigma_p = \frac{113,4}{7,85 \cdot 10^{-7}} = 144,4 \cdot 10^6 = 144,4 \text{ МПа}$$

Межа текучості звичайної конструкційної сталі (наприклад, Ст. 3) становить 240 МПа. Наше напруження 144,4 МПа дає запас міцності $n = 1,6$. Для нормальної роботи на чистих полях цього цілком достатньо.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аварійний режим (зустріч з камінням) буде виникати, якщо весь тиск секції (2360) миттєво припаде на одну точку прутка посередині прольоту (наїзд на прихований камінь).

Згинальний момент від зосередженої сили:

$$M_3 = \frac{P \cdot L_n}{4},$$

$$M_3 = \frac{2360 \cdot 0,8}{4} = 472 \text{ Нм}.$$

Аварійне напруження:

$$\sigma_a = \frac{M_3}{W_x},$$

$$\sigma_a = \frac{472}{7,85 \cdot 10^{-7}} = 601 \text{ МПа}$$

Напруження 601 МПа гарантовано зігне пруток зі звичайної сталі, оскільки воно перевищує її межу текучості. Щоб цього уникнути і зберегти діаметр прутка 20 мм, необхідно зробити два конструктивних кроки: збільшити кількість підтримуючих дисків (проміжних опор) або обрати більш якісну марку сталі для прутків.

Встановлюємо на вал котка не 3, а 5 опорних диски (два торцеві і три проміжні). Тоді довжина вільного прольоту зменшується до:

$$L_n = \frac{1600}{4} = 400 \text{ мм}.$$

Перерахунок аварійного моменту:

$$\sigma_a = 601 \cdot \left(\frac{400}{800} \right) = 300,5 \text{ МПа}.$$

Це суттєво знижує ризик деформації.

Правильний вибір матеріалу: Щоб пруток витримував пікові напруження до 400 МПа без залишкової деформації, його необхідно виготовляти не зі звичайної сталі, а зі Сталі 45 (межа текучості 360-490 МПа після нормалізації) або з ресорно-пружинної Сталі 65Г. Завдяки

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циліндричному профілю такий прокат є загальнодоступним. З такими параметрами конструкція котка (пруток 20 мм, крок 57,6 мм, 4 опорні диски) буде ідеально збалансованою: вона гарантує відмінну роботу і витримає жорсткі умови експлуатації без зайвої маси металу. Але недоліком такого варіанту буде значне здорожчання конструкції котка, тому більш раціональним буде варіант з підтримуючими дисками.

5. Охорона праці

Охорона праці та безпека життєдіяльності під час виконання передпосівного обробітку ґрунту [34-40].

Комплекс механізованих робіт із передпосівної підготовки ґрунту належить до робіт із підвищеною небезпекою. Використання широкозахватних агрегатів (типу КШУ 8) із пружинними стійками, вирівнювачами та роторними котками вимагає суворого дотримання нормативно-правових актів з охорони праці для запобігання виробничому травматизму. Заходи з безпеки праці поділяються на кілька ключових етапів.

Організаційні заходи та допуск до роботи:

до керування тракторами та роботи з модернізованим культиватором допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії та пройшли навчання за фахом;

перед початком весняно-польових робіт усі механізатори повинні пройти цільовий інструктаж з охорони праці безпосередньо на робочому місці (з обов'язковим записом у журналі);

трактор має бути укомплектований аптечкою першої медичної допомоги, справним вогнегасником, знаком аварійної зупинки та противідкатними башмаками. Механізатор повинен працювати в спецодязі, спецвзутті та мати засоби індивідуального захисту (рукавиці).

Вимоги безпеки під час підготовки та агрегування:

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

агрегування культиватора з трактором повинно виконуватися на рівному, очищеному майданчику. Під час подачі трактора назад для зчеплення категорично забороняється знаходження людей між трактором і причіпним пристроєм культиватора до повної зупинки трактора;

з'єднувальний штир причіпного пристрою обов'язково має бути зафіксований шплінтом, а агрегат додатково з'єднаний із трактором страхувальним ланцюгом;

підключення розривних муфт гідросистеми культиватора (для піднімання/опускання рами та складання крил) дозволяється лише при вимкненому двигуні трактора та відсутності тиску в системі. Забороняється перевіряти герметичність шлангів високого тиску голими руками через ризик потрапляння гідравлічної оливи під шкіру.

Безпека під час налаштування модернізованих робочих органів:

оскільки модернізований культиватор оснащений важкими котками та пружинними вирівнювачами, будь-які регулювання (зміна кута атаки, натяг пружин, регулювання глибини ходу опорних коліс) виконуються виключно при вимкненому двигуні трактора;

якщо для заміни стрільчастих лап або налаштування котків необхідно підняти культиватор, під його раму обов'язково встановлюють надійні металеві або дерев'яні підставки (козелки). Працювати під піднятим агрегатом, який утримується лише гідравлікою трактора, смертельно небезпечно;

під час роботи з гострими стрільчастими лапами слід використовувати цупкі брезентові рукавиці для запобігання порізам.

Вимоги безпеки під час роботи агрегату в полі:

перед тим як зрушити агрегат з місця (як на початку роботи, так і після зупинок), тракторист зобов'язаний подати попереджувальний звуковий сигнал і переконатися у відсутності людей поблизу машини;

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

категорично забороняється перебування підсобних робітників або пасажирів на рамі культиватора, причіпному пристрої чи в кабіні трактора під час руху;

якщо під час культивації стійки або котки забиваються рослинними рештками чи вологим ґрунтом, очищення здійснюється тільки після повної зупинки агрегату, опускання його на землю та вимкнення двигуна. Для очищення використовують спеціальні чистики або металеві гачки з довгою ручкою, але в жодному разі не ноги чи руки;

розворот агрегату на поворотних смугах та рух заднім ходом дозволяється виконувати лише після переведення культиватора в транспортне положення. Розворот із заглибленими робочими органами призводить до руйнування стійок і може спричинити аварійну ситуацію;

під час переїздів дорогами загального користування крила широкозахватного культиватора КШУ 8 мають бути складені, надійно зафіксовані транспортними тягами (стопорами), а гідроциліндри перекриті запірними клапанами. Швидкість транспортування не повинна перевищувати 15-20 км/год.

Заходи пожежної безпеки та охорони довкілля:

не допускається підтікання паливно-мастильних матеріалів із двигуна, трансмісії трактора та гідравлічної системи культиватора, оскільки це забруднює ґрунт і створює пожежну небезпеку;

заправка трактора паливом має здійснюватися закритим способом (за допомогою паливозаправника) за межами поля;

під час відпочинку або технічного обслуговування агрегату в полі забороняється розводити відкритий вогонь в радіусі ближче ніж 50 метрів від місця стоянки техніки.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Висновки

1. Дослідження існуючих конструкцій прикочуючих котків провідних виробників показало, що на сьогодні відсутні технічні рішення, які б поєднували високу ущільнюючу здатність із ефективним виконанням операцій подрібнення, мульчування та вирівнювання поверхні ґрунту, особливо за умов підвищеної вологості. Це зумовлює необхідність удосконалення конструкцій котків в напрямку забезпечення якісного формування насінневого ложа.

2. В результаті модернізації культиватора КШУ 8 запропоновано нову конструкцію прикочуючого котка, робоча поверхня якого утворена гвинтоподібно вигнутими прутками по всій ширині захвату. Поперечний переріз прутків має циліндричну форму, а крок гвинтової лінії становить половину ширини котка. Така геометрія забезпечує поступове навантаження на ґрунт, зменшує ймовірність налипання та сприяє формуванню рівномірної щільності по всьому оброблюваному шару.

3. Виконано інженерний розрахунок конструктивно-технологічних параметрів модернізованого котка, який показав пряму залежність формування щільності ґрунту на глибині посіву від конструктивних особливостей котка. Проведений розрахунок на міцність прутка при граничних навантаженнях.

4. Запропоновано інженерні заходи, спрямовані на мінімізацію впливу небезпечних і шкідливих факторів під час експлуатації культиватора КШУ 8, що забезпечує покращення умов праці оператора.

5. Впровадження розробленої конструкції прикочуючого котка в склад культиватора КШУ 8 дозволяє підвищити якість формування насінневого ложа під посів гречки, що в свою чергу, сприяє формуванню кращих умов для посіву і проростання насіння та потенційно забезпечує приріст врожайності на рівні до 10%.

					<i>МВГ 00.000 ПЗВГ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Біологізована технологія вирощування гречки: монографія / Карпенко В. П., Даценко А. А., Притуляк Р. М., Леонтюк і. Б., Шутко С. С.; за ред. В. П. Карпенка. – Умань: Видавець «Сочінський М. М.», 2020. – 132 с. URL: <https://lib.udau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/cb6bcc1b-0bb7-433d-a745-09640a349e18/content>
2. Хомик Н.І. Основи агрономії: навчальний посібник (курс лекцій) / Н.І. Хомик, Г.Б. Цьонь, Т.А. Довбуш, В.П. Олексюк. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 232 с. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35847/1/2021_Osnovu_agronomia_posibnuk_lekzii%20%281%29.pdf
3. Аверчев О.В., Нікітенко М.П., Ворона П.С. Гречка: адаптивні технології вирощування. Навчальний посібник: Олді+, 2025. - 256с.
4. Кващук О.В. та інш. Круп'яні культури. Медобори, 2013. – 288 с.
5. Лихочвор В.В., Бомба М.І., Дубковецький С.В. Довідник з вирощування зернових та зернобобових культур. Львів: Українські технології, 1991. 408 с.
6. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В.В. Лихочвор, В.Ф. Петриченко, П.В. Іващук, О.В. Корнійчук; заред. В.В. Лихочвора, В.Ф. Петриченко. - 3-є вид., вип. та доп. - Львів: НВФ «Українські технології», 2010. - 1088 с.
7. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. – К.: Нора-прінт, 1999. – 280 с.
8. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур з різним ресурсним забезпеченням /за ред. Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева. Харків: ХНТУСГ. 2006. 725 с.
9. Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України /за ред П.Т. Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева. 2-е вид., доп. К.: ННЦ ІАЕ, 2008. 720 с.

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

10. Петров П.В., Посполітак Т.Є., Юркевич Є.О. Агротехнологія і технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: навч. посіб. К.: Аграрна освіта, 2009. 268 с.

11. Технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: монографія /Л.М. Тіщенко, С.І. Корнієнко, В.А. Дубровін та ін.: за ред. Л.М. Тіщенка /Харк. нац. техн. ун-т с.-г. ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2015. – 273 с. – https://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2020/01/2015_techkarti.pdf

12. Ярошенко П.М. Про вдосконалення методики розрахунку тягового зусилля МТА. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 4 (42), 2020 С. 22-25. <https://snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/article/download/426/380/>

13. Ластівка М.М. Експлуатація машин і обладнання. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти аграрних технікумів і коледжів денної і заочної форми навчання зі спеціальності 208 Агроінженерія. Ладижинський коледж, ВНАУ, 2019. – 374 с.

14. Навчальний посібник. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві./ А.С. Лімонт, І.І. Мельник, А.С. Малиновський, В.В. Марченко, В.Л. Гуз, І.М. Грищенко. - К.: Кондор, 2004. - 284 с.

15. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2005. - 464 с.

16. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. У 2 т. Т.1. Ч.1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Х.: ОКО, 2001. 443 с.

17. Сисолін П.В. та інш. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

18. General KPC 4.0 – Bellota. URL: <https://general-machines.ua/product/kultivator-4-rjadnyj-pricepnoj-sploshnoj-general-4-0-bellota/>

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

19. Уманьферммаш Ti3. URL: <https://umanfermmash.com.ua/kultyvatory/kultyvator-parovyj-prychipnyj-kpp-8-2/>
20. Bednar. Versatill Vo Profi. URL: https://www.bednar.com/uk/versatill-vo_profi/
21. Horsch. Terrano FX. URL: <https://www.horsch.com/ua/produkty/gvruntoobrobna-tekhnika/kultivatori/terrano-fx>
22. Культиватор КШУ 8. URL: <https://agro-liga.com/catalog-produkcii/kultivator-polaris-kshu-4-kshu-8-5/>
23. Артеменко Д.Ю., Настоящий В.А. Обґрунтування робочої поверхні конусного прикочуючого котка просапної сівалки. Scientific Journal «ScienceRise». №5/2(34)2017. – С. 18-22. URL: <http://journals.uran.ua/sciencerise/article/view/101960>
24. Іванюта М.В. Числове дослідження процесу взаємодії поверхні гладкого котка з ґрунтом. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 5 С. 128-133. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/780/779/779>
25. Шустік Л., Погорілий В., Нілова Н. та інш. Кільчасто-шпорові і зубчато-шпорові котки. Функційні та динамічні випробування. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Вип. 28 (42). 2021. - С. 86 – 101. URL: <http://tta.org.ua/article/view/236557>
26. Шустік Л., Степченко С., Нілова Н., Сидоренко С. Порівняльний аналіз прикочувальних котків різних конструкцій виробництва тов «Ропа-Україна» та експертне оцінювання їхньої дії на ґрунт. Сільськогосподарська техніка та обладнання: прогнозування, конструювання, випробування. Вип. 25(39). 2019. – С. 89-95. URL: [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-2-25\(39\)-9](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-2-25(39)-9)

27. Степченко С. Коткування як один із способів основного обробітку ґрунту. Техніка і технології АПК. № 5(8), 2010. - С. 15 – 19. URL: http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/TiTAPK/2010_5/5_10_s15.pdf

28. Кушнар'ов А.С. Механіко – технологічні основи обробітку ґрунту / А.С. Кушнар'ов, В.І. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.

29. Артеменко Д.Ю., Магопець О.С., Ауліна Т.М., Семенова Д.А. Результати експериментальних досліджень розподілу полів деформацій в ґрунті від дії прикочуючих котків бурякових сівалок. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / КНТУ, 2007, випуск 37, 1 – С. 286 – 290.

30. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник / Л.М. Шутенко, О.Г. Рудь, О.В. Кічаєва та ін.; за ред. Л.М. Шутенка; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. - 563 с.

31. Механіко – технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Г.А. Хайліс, А.Ю. Горбів, З.О. Гошко та ін., – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 1998. – 268 с.

32. Механіко – технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.; За ред. С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.

33. Синєоков Г.М., Панов І.М. Теорія і розрахунок ґрунтообробних машин. – М.: Машинобудування, 1977. – 330с.

34. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003. – 408с.

35. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту. http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu_7239_2011.pdf

					МВГ 00.000 ПЗВГ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

36. ДСТУ 2867-94. Державний стандарт України. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження.
https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2867-94.pdf

37. СП 4282-87. Санітарні правила по устрою тракторів та сільськогосподарських машин.
https://dnaop.com/html/57502/doc-%D0%A1%D0%9F_4282-87

38. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Київ, 1994. – 25 с.

39. ГОСТ 25942-90. Трактори і сільськогосподарські машини. Пристрої швидковідєднуючі. Вимоги до конструкції.
http://www.leonorm.lviv.ua/p/DG/CND2015_2.HTM

40. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

Додатки