

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 кукурудзи

з удосконаленням чизельного ґрунтообробного знаряддя

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу

групи ГМ-22-1

ОПП «Галузеве машинобудування»

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____Мякушко Владислав Олексійович

«__» _____ 2026

Керівник проекту

доц., канд., техн., наук

_____Віктор ДЕЙКУН

«__» _____ 2026 р.

Рецензент

доц., канд., техн., наук

_____Генадій ПОРТНОВ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Галузб знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма ОПП «Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« » 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЗДОБУВАЧА ВІЩОЇ ОСВІТИ

Мякушко Владислава Олексійовича

1. Тема роботи (проекту) Механізація вирощування кукурудзи з удосконаленням чизельного ґрунтообробного знаряддя
2. Керівник роботи (проекту) Дейкун Віктор Анатолійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Срок подання роботи до захисту _____
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту)

5. Перелік графічного матеріалу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-5	Дейкун В.А.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Дата видачі завдання

«__»_____ 2026 р.

Підпис Керівника

_____ Дейкун В.А.

Завдання прийнято до виконання

«__»_____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ Мякушко В.О.

[illegible]

АНОТАЦІЇ

Основна мета даної кваліфікаційної роботи – підвищити ефективність роботи причіпного культиватора КПК-4 шляхом інноваційної модернізації його робочого органу, а саме – пружного S-подібного стояка стрілкової лапи.

У ході роботи було проведено комплексний аналіз конструкції та функціонування культиватора, а також виконано необхідні інженерні розрахунки для нового стояка. Оцінка його працездатності включала визначення опору ґрунту, міцності, жорсткості та енергетичних параметрів. Ключовим нововведенням є встановлення додаткового пружного елемента з можливістю регулювання, що дозволяє адаптувати жорсткість стояка до різноманітних ґрунтових умов.

ANNOTATION

The main goal of this qualification work is to increase the efficiency of the KPK-4 cultivator by innovatively modernizing its working body, namely the elastic S-shaped riser of the arrow-shaped paw.

During the work, a comprehensive analysis of the design and functioning of the cultivator was carried out, as well as the necessary engineering calculations for the new riser were performed. The assessment of its performance included determining the soil resistance, strength, stiffness and energy parameters. The key innovation is the installation of an additional elastic element with the possibility of adjustment, which allows you to adapt the stiffness of the riser to various soil conditions.

ЗМІСТ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Розділ	Найменування структурних одиниць і розділів	Арк
	Анотація.....	4
1	Вступ.....	7
2	Механізація вирощування кукурудзи з удосконалення чизельного грунтообробного знаряддя.....	9
3	Опис робочого органу культиватора та його застосування.....	21
4	Конструкторська частина.....	28
	4.1 Причіпний культиватор КПК-4.....	28
	4.2 Технічна характеристика причіпного культиватора КПК-4.....	29
	4.3. Технологічні розрахунки.....	30
	4.3.1. Розрахунок тягового опору.....	32
	4.3.2. Розрахунок моменту інерції.....	33
	4.3.3. Розрахунок прогину пружного стояка.....	34
	4.3.4. Розрахунок жорсткості пружного стояка.....	36
	4.3.5. Розрахунок моменту опору перерізу пружного стояка.....	38
	4.3.6. Розрахунок напружень при згині пружного стояка.....	39

4.3.6.1. Розрахунок напруження стояка для верхнього положення кронштейна.....	40
4.3.6.2. Розрахунок напруження стояка для середнього положення кронштейна.....	41
4.3.6.3. Розрахунок напруження стояка для нижнього положення кронштейна.....	41
4.3.7. Визначення власної частоти коливань пружного стояка.....	42
4.3.8. Енергетичний розрахунок модернізованого культиватора...	43
5 Висновки.....	46
Список використаної літератури.....	48
Додатки	50

1. ВСТУП

Сучасний аграрний сектор України стикається з викликом підвищення продуктивності зернових культур, серед яких кукурудза посідає провідні позиції за обсягами посівів та врожайності. Ключовим фактором досягнення високих показників врожайності кукурудзи є якість основного ґрунтообробітку, що безпосередньо впливає на водний та повітряний режими ґрунту, його структуру та створює оптимальні умови для розвитку кореневої системи рослин.

Актуальність дослідження зумовлена нагальною потребою в удосконаленні технологій основного ґрунтообробітку з метою оптимізації енергетичних витрат, збереження родючості ґрунтів та підвищення економічної доцільності вирощування кукурудзи. Традиційні методи обробітку, зокрема оранка, характеризуються значними недоліками, такими як висока витрата пального, ущільнення ґрунту та деградація його структури. У цьому контексті чизельний обробіток, що забезпечує глибоке розпушування ґрунту без обороту пласта, набуває все більшого поширення як більш ресурсозберігаюча альтернатива.

Ступінь наукової розробленості проблеми свідчить про значний інтерес дослідників, як в Україні, так і за її межами, до питань механізації вирощування кукурудзи та застосування чизельного обробітку ґрунту. Вітчизняні наукові дослідження спрямовані на вдосконалення конструкцій ґрунтообробної техніки та оптимізацію режимів її експлуатації. Зарубіжні дослідження переважно фокусуються на впровадженні енергоефективних технологій, зниженні ресурсоемності виробництва та мінімізації негативного впливу на довкілля. Однак, незважаючи на значний обсяг наукових публікацій, питання підвищення ефективності

					КР 00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Мякушко				Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Дейкун						7	45
Н. Контр.	Артеменко							
Затверд.	Васильковський				ЦНТУ гр. ГМ-22-1			

функціонування чизельних знарядь та їх адаптації до специфічних ґрунтово-кліматичних умов України залишаються недостатньо вивченим. Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності механізованого вирощування кукурудзи шляхом розробки та наукового обґрунтування удосконаленої конструкції чизельного ґрунтообробного знаряддя.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань:

1. Провести комплексний аналіз сучасних технологій вирощування кукурудзи, виявивши їх сильні та слабкі сторони.
2. Дослідити ефективність існуючих способів основного обробітку ґрунту, визначивши їх вплив на агрофізичні показники.
3. Здійснити детальний аналіз конструктивних особливостей сучасних чизельних знарядь, виявивши потенційні шляхи їх вдосконалення.
4. Обґрунтувати напрямки модернізації робочих органів чизельного агрегату з урахуванням специфіки українських ґрунтів.
5. Виконати необхідні інженерні розрахунки для підтвердження технічної доцільності та функціональності запропонованих конструктивних рішень.
6. Провести комплексну оцінку техніко-економічної ефективності розробленої конструкції чизельного знаряддя.

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

2. МЕХАНІЗАЦІЯ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ З УДОСКОНАЛЕННЯМ ЧИЗЕЛЬНОГО ГРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ

Кукурудза посідає провідне місце серед світових зернових культур завдяки своїй універсальності: вона є джерелом харчових продуктів, кормів для худоби та сировиною для промисловості (зокрема, для виробництва біоетанолу та олії). Високий потенціал урожайності та широка адаптивність до різних кліматичних умов роблять її однією з найпоширеніших сільськогосподарських культур.

Фізіологічною особливістю кукурудзи є С4-тип фотосинтезу, що забезпечує підвищену ефективність використання сонячної енергії та формування значних врожаїв навіть за умов дефіциту азоту. Рослина є моноеційним видом, де чоловічі суцвіття (волоть) розташовані апікально, а жіночі (качан) – в пазухах листків.

Переважно перехресне запилення відіграє ключову роль у формуванні продуктивності.

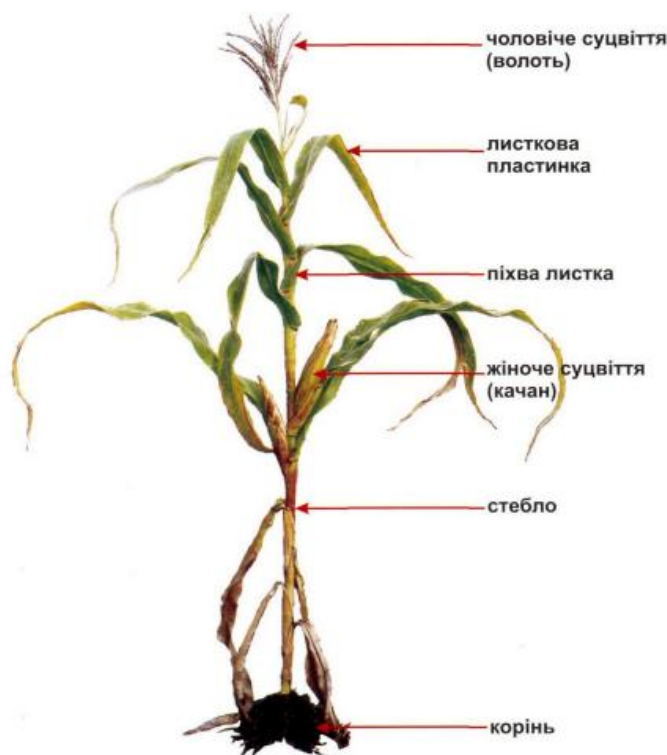


Рис. 2.1 Кукурудза

Проте, останні роки відзначаються тенденцією до зниження показників виробництва кукурудзи. Це пояснюється недовикористанням генетичного потенціалу сучасних гібридів та високою

енергоємністю застосовуваних агротехнологій. Одним із ключових обмежуючих факторів реалізації потенційної продуктивності є недостатнє наукове обґрунтування технологічних рішень у контексті зональної адаптації гібридів.

Загальна потреба кукурудзи у воді становить приблизно 500–800мм опадів за вегетаційний період, що варіюється залежно від кліматичних умов, сортових характеристик та інтенсивності технології вирощування.

Кукурудза демонструє найвищу чутливість до дефіциту вологи в такі ключові фази свого розвитку:

- Викидання волоті: На цьому етапі відбувається формування чоловічих суцвіть, і нестача води може негативно вплинути на їх розвиток та подальше запилення.
- Цвітіння (запилення): Це найбільш критичний період. Нестача вологи в цей час призводить до порушення процесу запилення, зниження життєздатності пилку та, як наслідок, до формування неповних або недорозвинених качанів.
- Формування та налив зерна: На цій стадії відбувається накопичення поживних речовин у зерні. Дефіцит вологи обмежує цей процес, призводячи до зменшення розміру та маси зерна, що безпосередньо впливає на кінцевий урожай.

Навіть короткочасна посуха в зазначені критичні періоди може спричинити значне зниження врожайності. Особливо небезпечною є нестача вологи під час цвітіння, оскільки вона безпосередньо впливає на репродуктивні процеси та призводить до серйозних проблем із формуванням качанів.

Переваги безвідвальних методів обробітку ґрунту є значними. Вони дозволяють досягти високої врожайності, суттєво зменшити витрати на польові роботи та

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

підвищити продуктивність у порівнянні з традиційною оранкою. Крім того, ці технології ефективно запобігають ерозії ґрунту та створюють сприятливі умови для впровадження комплексних ґрунтозахисних систем.

Проте, безвідвальні технології мають і свої обмеження, які поки що не дозволяють повністю відмовитися від оранки. Зокрема, на початкових етапах застосування чизельного обробітку може спостерігатися збільшення витрат на захист рослин від шкідників та бур'янів. Також, для повноцінної реалізації цих технологій, господарства потребують спеціалізованого парку машин, включаючи, наприклад, сівалки для прямого посіву.

Чизельний обробіток є одним із видів безвідвальних ґрунтозахисних технологій, який передбачає смугове розпушування ґрунту. Цей метод, що активно застосовується у провідних аграрних країнах, стає все більш поширеним. Його особливість полягає в тому, що робочі органи чизеля не повністю підрізають ґрунтовий шар і не формують суцільного дна борозни. Завдяки цьому руйнується ущільнений шар ґрунту під плугом «підшва», покращується доступ води та повітря, знижується ризик ерозії, корені рослин можуть глибше проникати в ґрунт, а процеси аерації та інфільтрації значно оптимізуються. (Рис.1) Основним робочим елементом чизельних агрегатів є спеціальна розпушувальна лапа. Для досягнення рівномірного розпушування ґрунту по всій глибині, на стояк лапи можуть встановлюватися змінні стрілчасті елементи або закрilки. Від глибини їх роботи та щільності розміщення залежить не тільки якість обробітку, але й енергетичні потреби процесу.

На українських полях переважно використовуються комбіновані чизельні агрегати. Більшість з них виробляються за кордоном або ж вітчизняними компаніями за ліцензіями іноземних фірм. Незважаючи на різноманіття моделей, їхня конструкція має багато спільного.

Проблеми з імпортними агрегатами та українське рішення: Багато серійних імпортних чизельних агрегатів не повністю адаптовані до специфічних ґрунтово-

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

кліматичних умов України. Додатковою проблемою є їхня висока вартість.

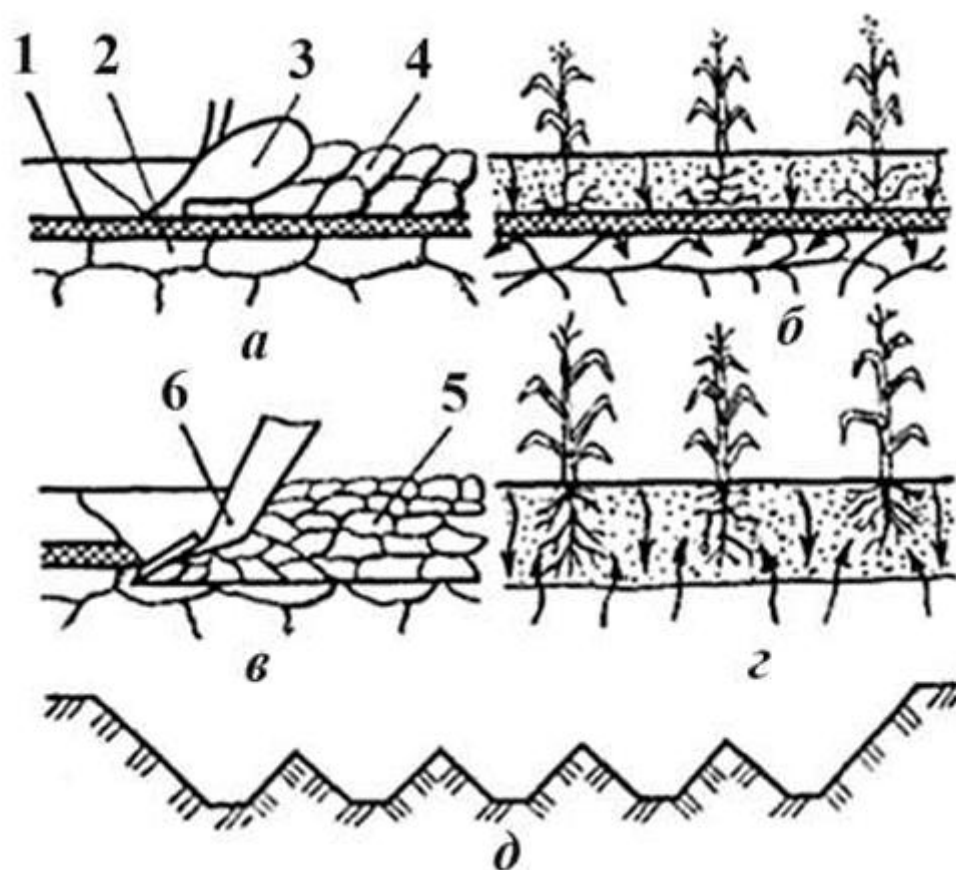


Рис. 2.2 Схема утворення плугом і руйнування чизельною лапою плужної «підшви»: а – утворення плужної підшви при роботі лемішного плуга; б – рух вологи і поведінка кореневої системи рослин до руйнування «підшви»; в – руйнування плужної «підшви» при глибокому обробітку чизельними знаряддями; г – рух вологи і поведінка кореневої системи рослин після руйнування «підшви»; д – профіль дна борозни після обробітку чизельними знаряддями; 1 – ущільнена плужна «підшва»; 2 – нижній шар; 3 – корпус плуга; 4 – орний горизонт; 5 – розпушений ґрунт після чизелювання; 6 – чизельна лапа

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР 00.000 ПЗ

Арк.

12

Зважаючи на ці недоліки, на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету було розроблено та впроваджено у виробництво серію вдосконалених комбінованих чизельних глибокорозпушувачів типу ЧН (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1

Характеристика комбінованих чизельних ґрунторозпушувачів

Марка машини	ЧН-1,5	ЧН-2,5	ЧН-3,5	ЧН-4,5
Продуктивність, га/год	до 1,2	до 2,0	до 2,8	до 3,6
Робоча ширина захвату, м	1,5	2,5	3,5	4,5
Глибина обробітку, см	до 50	до 50	до 50	до 50
Число робочих органів, шт.	3	5	7	9
Глибина обробітку котками, см	до 15	до 15	до 15	до 15
Необхідна потужність трактора, к.с.	80 - 120	120 - 180	160 - 220	250 - 340
Маса, кг	750	1200	1700	2300

Ключові відмінності в конструкції: Основні відмінності між цими машинами полягають у будові їхніх головних робочих елементів:

Чизельні лапи: Це основний компонент, який безпосередньо обробляє ґрунт.

Додаткові елементи для подрібнення грудок: Після роботи чизельних лап на поверхні ґрунту можуть утворюватися грудки. Для їх подрібнення використовуються різні допоміжні пристрої, такі як котки, диски або борони.

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

Конструкція глибокорозпушувача типу ЧН: Глибокорозпушувач типу ЧН (див. рис. 2) складається з таких основних елементів: Рама 1 це міцна просторова ферма прямокутної форми, яка слугує основою для кріплення всіх інших деталей та вузлів.

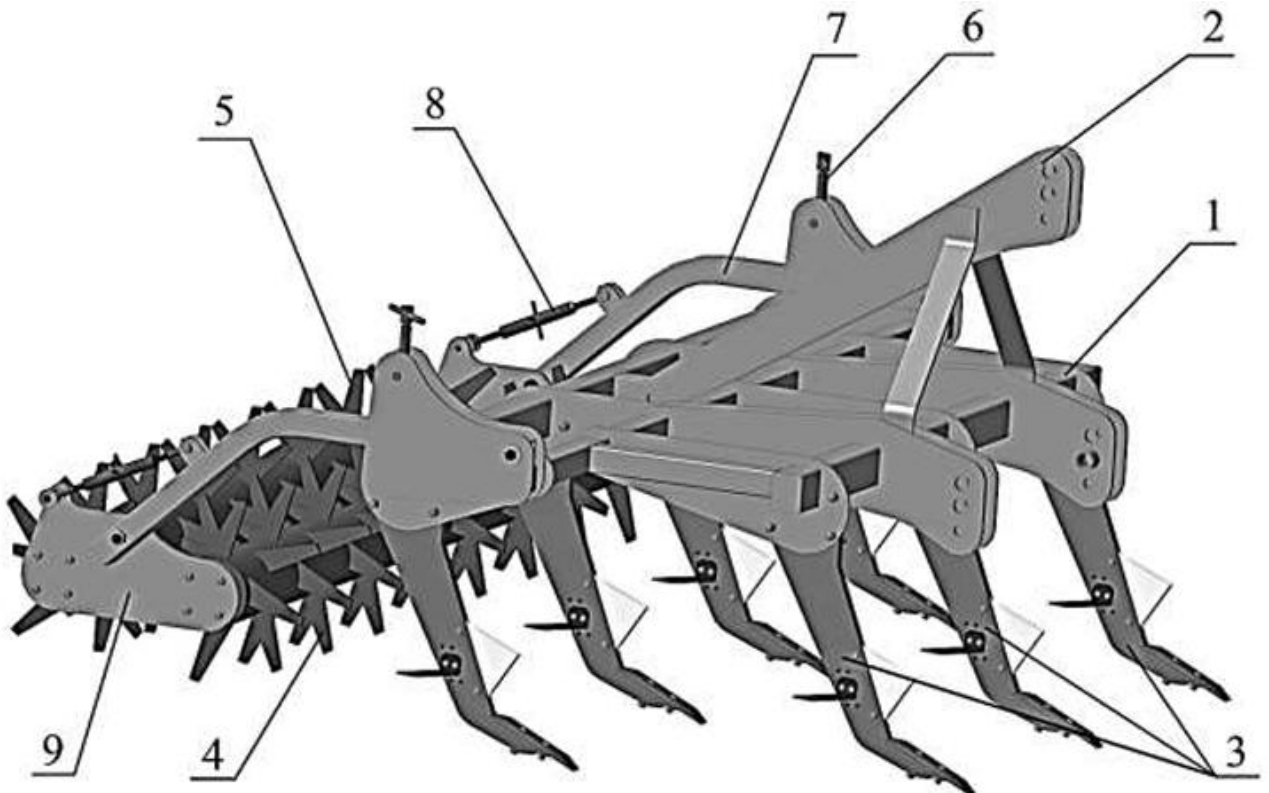


Рис. 2.3 Схема та загальний вигляд комбінованого чизеля ЧН: 1 – рама; 2 – верхня ланка начіпного пристрою; 3 – чизельна лапа; 4 – зубчастий коток передній; 5 – зубчастий коток задній; 6 – гвинтовий механізм регулювання глибини обробітку ґрунту; 7 – кронштейни навішування котків на раму чизеля; 8 – гвинтова тяга регулювання положення котків; 9 – бокова пластина кріплення котків

Верхня ланка начіпного пристрою 2 елемент для приєднання до трактора. Чизельна лапа 3 основний робочий орган (рис. 3).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР 00.000 ПЗ

Арк.

14

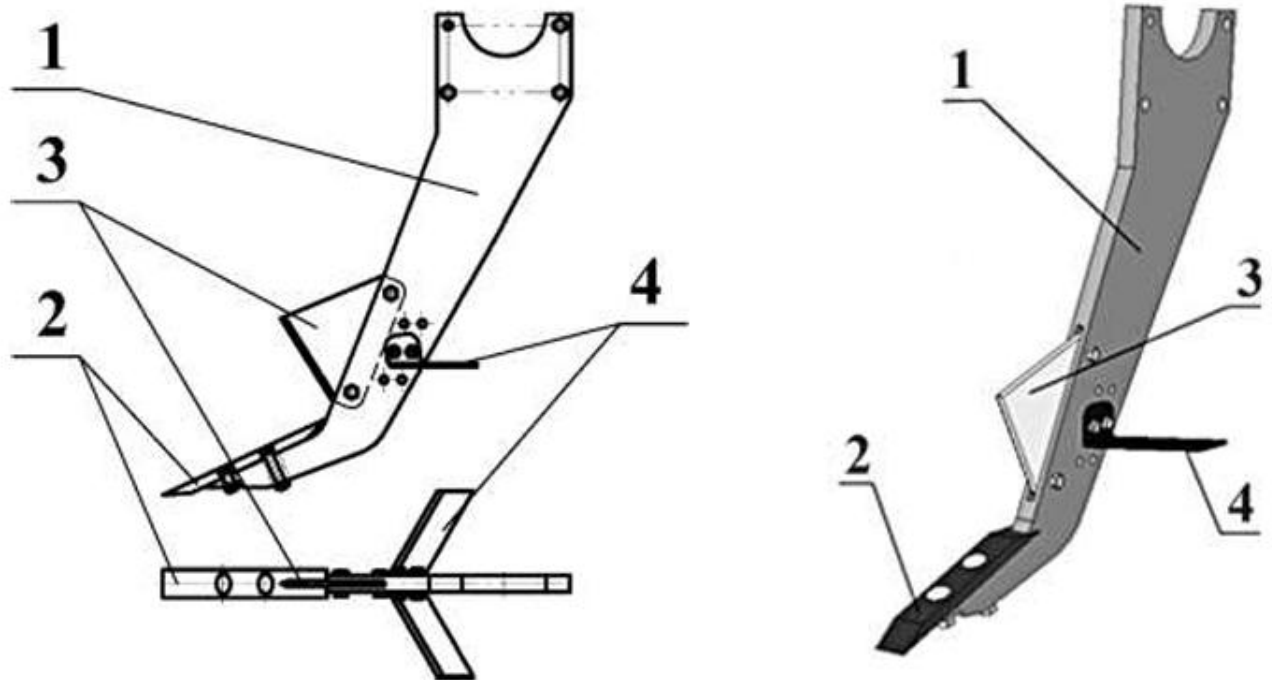


Рис. 2.4.

Чизельна лапа: 1 – стояк; 2 – долото; 3 – ніж; 4 – крила

Передній 4 та задній 5 зубчасті котки призначені для додаткового подрібнення ґрунту. Гвинтовий механізм регулювання глибини обробітку 6 дозволяє точно налаштувати глибину роботи машини. Кронштейн кріплення котків 7 тримає котки. Гвинтова тяга регулювання положення котків 8 дозволяє регулювати положення котків. Бокова пластина котків 9 додатковий елемент кріплення котків.

Комбінований чизель є навісною машиною і приєднується до трактора за допомогою триточкової схеми. Для стабільної роботи важливо, щоб обмежувальні ланцюги навісної системи трактора були натягнуті, щоб запобігти горизонтальним зміщенням нижніх тяг.

Перекуси рами чизеля в горизонтальній площині регулюються шляхом зміни довжини розкосів нижніх тяг трактора. Верхня центральна телескопічна тяга встановлюється в один із отворів верхньої ланки начіпного пристрою (2) таким чином, щоб вона була злегка піднятою до рами чизеля, і фіксується пальцем.

Під час роботи гідравлічна система трактора повинна бути встановлена в плаваюче положення. Переведення чизеля з транспортного положення в робоче і навпаки здійснюється за допомогою гідросистеми трактора.

Основний робочий орган, чизельна лапа (рис. 3), складається зі стояка 1, що являється вертикальною частиною лапи, до якої кріпляться інші елементи. Долота 2, яке кріпиться до стояка двома гвинтами. Його функція-розпушування, сколювання та підняття шару ґрунту. Ножа 3, як додатковий елемент для обробки ґрунту і крил 4 які розширюють зону обробки ґрунту. У верхній частині стояка 1 розташовані отвори для болтового кріплення лапи до рами машини. Особливу увагу в конструкції чизельної лапи приділено її функціональності. Долото, як основний елемент, що безпосередньо контактує з ґрунтом, виконує комплексне завдання: воно не лише розпушує ґрунт, але й ефективно його сколює та піднімає. Це забезпечує якісне розпушення навіть щільних шарів ґрунту. Ніж та крила, що входять до складу лапи, доповнюють її роботу, забезпечуючи більш повне подрібнення та обробку ґрунту на ширшу площу. Розробка вдосконалених комбінованих чизельних глибокорозпушувачів типу ЧН Кіровоградським національним технічним університетом є значним кроком у напрямку адаптації сільськогосподарської техніки до специфічних потреб українських аграріїв. Зокрема, ці машини враховують особливості ґрунтів та кліматичних умов України, що забезпечує їхню ефективнішу роботу порівняно з багатьма імпортними аналогами. Крім того, вітчизняне виробництво сприяє зниженню вартості техніки, роблячи її більш доступною для українських господарств. Це дозволяє підвищити продуктивність сільськогосподарських робіт та покращити стан ґрунтів, що є ключовим для сталого розвитку аграрного сектору країни.

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

Що таке чизелювання ґрунту?

Чизелювання – це сучасний метод обробки ґрунту, який передбачає його глибоке розпушування за допомогою спеціального обладнання, такого як чизельні плуги або глибокорозпушувачі. Основна мета цієї процедури – руйнування ущільненого шару землі, що часто утворюється внаслідок тривалого використання традиційних плугів. Найкращий час для проведення чизелювання – осінь, адже це допомагає зберегти вологу в ґрунті, що є критично важливим для майбутніх посівів та забезпечення оптимальних умов для росту рослин.

Все більше аграріїв обирають чизельний обробіток, оскільки він значно покращує структуру ґрунту, сприяє кращому проникненню повітря та поживних речовин до кореневої системи. Цей метод особливо ефективний у посушливих регіонах України, зокрема на півдні та сході країни.

Переваги Чизелювання:

- **Покращена Аерація:** Забезпечує насичення ґрунту киснем, що є життєво важливим для розвитку коренів.
- **Боротьба з Бур'янами:** Допомагає ефективно видаляти залишки бур'янів після збору врожаю.
- **Запобігання Утворенню Кірки:** Перешкоджає формуванню щільної сухої кірки на поверхні ґрунту.
- **Оптимізація Теплового та Повітряного Режиму:** Створює сприятливіші умови для росту рослин.

Загалом, чизельна обробка сприяє підвищенню врожайності, оскільки рослини отримують кращий доступ до необхідних для їх розвитку елементів.

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

Чизелювання здійснюється за допомогою чизельного плуга, який агрегатується з трактором. Його конструкція включає міцні долотоподібні робочі органи, закріплені на металевій рамі. При контакті з ґрунтом ці лапи інтенсивно його розпушують. Залежно від необхідної глибини обробки, можуть використовуватися культиватори, плуги або глибокорозпушувачі. Останні здатні проникати в ґрунт на глибину до 60 сантиметрів.

Конструкція чизельних плугів є універсальною. Вони можуть відрізнятися за шириною захвату та кількістю робочих лап, що дозволяє адаптувати їх для обробки різних площ. Багато моделей оснащені додатковим катком, який розбиває великі грудки землі та вирівнює поверхню. Якщо каток відсутній, його можна придбати окремо.

Для роботи з чизельним плугом потрібен трактор потужністю від 80 кінських сил. Обладнання сумісне з тракторами як вітчизняного, так і іноземного виробництва. При виборі чизельного плуга важливо визначитися з необхідною глибиною обробки, оскільки різні моделі призначені для роботи на глибині від 25 до 60 см, залежно від поставлених завдань.

Цей метод обробки ґрунту є ефективним засобом боротьби з ерозією, оскільки він зберігає структуру ґрунту та зменшує його розпилення вітром і водою. Крім того, чизелювання сприяє кращому проникненню дощової води вглиб ґрунту, що особливо важливо в умовах недостатнього зволоження.

Застосування чизелювання дозволяє зменшити витрати на подальшу обробку ґрунту, оскільки після нього часто не потрібне додаткове боронування чи культивація. Це призводить до економії палива та часу, що є значною перевагою для сільгоспвиробників.

Важливою перевагою чизелювання є його здатність покращувати дренаж ґрунту, запобігаючи застою води та створюючи оптимальні умови для розвитку кореневої системи рослин. Це особливо актуально для важких глинистих ґрунтів.

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

Вибір глибини чизелювання залежить від типу ґрунту, його щільності та потреб конкретної культури. Для легких ґрунтів може бути достатньо глибини 25-30 см, тоді як для щільних і переущільнених ґрунтів може знадобитися глибше розпушування до 60 см.

Чизелювання також сприяє кращому розподілу органічних добрив та рослинних решток у ґрунті, що прискорює їх розкладання та покращує родючість. Це створює більш сприятливе середовище для життєдіяльності корисних ґрунтових мікроорганізмів.

Застосування чизельного обробітку є частиною сучасних агротехнологій, спрямованих на стале сільське господарство та підвищення продуктивності земельних угідь. Це інвестиція в здоров'я ґрунту та майбутній врожай.

Технологія чизелювання ґрунту

Якісне розпушування ґрунту вимагає комплексного підходу, що включає як вибір надійної техніки, так і застосування правильних методів обробітку. Одним з таких методів є чизелювання, яке може бути ефективно поєднане з внесенням добрив, що значно економить час та ресурси. Процес чизелювання відбувається за наступним алгоритмом:

1. Підготовчий етап: Спочатку ділянка очищається від великих бур'янів та густої рослинності за допомогою дискової насадки.
2. Вибір та встановлення обладнання: На трактор встановлюється чизельний плуг (глибокорозпушувач), який відповідає необхідним розмірам та глибині проникнення в ґрунт.
3. Безпосередньо обробіток: Трактор з чизельним плугом здійснює один або кілька проходів по полю.

Для досягнення найкращих результатів, процедуру чизелювання рекомендується проводити через кілька днів після дощу. У цей період верхній шар

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

грунту накопичує максимальну кількість вологи, що створює сприятливі умови для глибокого розпушування та ефективного видалення кореневої системи бур'янів. Оптимальним часом для проведення робіт є рання осінь, одразу після завершення збору попереднього врожаю.

Перед початком чизелювання, необхідно провести вимірювання глибини борозни за допомогою звичайної лінійки, традиційним способом. Чизельний обробіток стає все більш популярним серед аграріїв, поступово замінюючи класичну оранку. Це зумовлено його значними екологічними перевагами. На відміну від оранки, чизелювання не призводить до надмірного висушування та ущільнення ґрунту. Земля, оброблена таким чином, зберігає свою родючість протягом тривалого часу, що, в свою чергу, забезпечує отримання вищих та якісніших врожаїв.

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

3. ОПИС РОБОЧОГО ОРГАНУ КУЛЬТИВАТОРА ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Робочий елемент культиватора складається з вигнутої S-подібної стійки, наконечника у формі стріли (стрілчастої лапи) та кронштейна для її кріплення до рами машини. У верхній передній частині S-подібної стійки розташований пружний механізм. Один його кінець прикріплений до рами, а інший з'єднаний з верхньою частиною стійки за допомогою спеціального кронштейна, який включає ексцентриковий затискач для регулювання пружності.

Ця розробка належить до сфери сільського господарства та виробництва сільськогосподарської техніки, зокрема до пристроїв для обробки ґрунту. Вона може бути застосована в конструкціях культиваторів та інших подібних сільськогосподарських машинах для обробки ґрунту.

Аналіз існуючих рішень:

Існуючі конструкції робочих органів культиваторів зазвичай включають S- або С-подібну стійку, стрілчасту лапу та кронштейн для кріплення стійки до рами. Пружні стійки лап, занурюючись у ґрунт на певну глибину, викликають автоколивання. Ці коливання сприяють більш ефективній обробці ґрунту, зменшують опір, а також допомагають очищати робочі органи від налипання ґрунтових частинок та рослинних залишків. Частота та амплітуда цих коливань залежать від жорсткості стійки та характеристик ґрунту.

Недоліки існуючих рішень:

Основний недолік таких конструкцій полягає в їхній незмінній жорсткості. Вона не може бути адаптована до мінливих умов роботи. Залежно від типу ґрунту, його вологості, наявності каміння та рослинних залишків, може виникнути потреба у стійці з іншим рівнем жорсткості. Використання широкого асортименту стійок

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

різної жорсткості призводить до значних фінансових витрат для користувачів та знижує загальну економічну ефективність машини.

Відоме покращене рішення:

Існує конструкція робочого органу культиватора, яка включає стрілчасту лапу та гнучку стійку з вузлом кріплення до рами машини. Ця стійка є комбінованою, складаючись з пружної та жорсткої секцій. Ці секції з'єднані пристроєм, який має регульований упор у вигляді болта. Цей болт може періодично контактувати з рамою культиватора і фіксується контргайкою.

Переваги запропонованої корисної моделі:

Запропонована корисна модель вирішує проблему неможливості адаптації жорсткості робочого органу до різних ґрунтових умов. Завдяки наявності пружного елемента з ексцентриковим затискним елементом, оператор може легко і швидко регулювати ступінь пружності стояка. Це дозволяє оптимізувати роботу культиватора в залежності від типу ґрунту, його вологості, засміченості та інших факторів. Така гнучкість забезпечує:

- Підвищення ефективності обробітку ґрунту: Оптимальна жорсткість стояка дозволяє досягти кращого розпушення, вирівнювання та знищення бур'янів.
- Зниження питомого опору: Адаптація пружності зменшує навантаження на тяговий агрегат, що призводить до економії палива.
- Покращене самоочищення робочих органів: Коливання з оптимальною амплітудою та частотою ефективніше видаляють налиплі ґрунтові частки та рослинні рештки.
- Зменшення витрат: Відсутня необхідність у придбанні та зберіганні великої кількості стояків різної жорсткості, що суттєво знижує фінансові витрати споживачів.

- Збільшення терміну служби машини: Зменшення навантажень на компоненти культиватора завдяки оптимізації його роботи сприяє подовженню терміну експлуатації.

Принцип роботи та регулювання:

Пружний елемент, з'єднаний з рамою та верхньою частиною S-подібного стояка, забезпечує певну ступінь гнучкості. Ексцентриковий затискний елемент, розташований на кронштейні, дозволяє змінювати ступінь стиснення або розтягнення пружного елемента. Повертаючи ексцентрик, оператор може збільшувати або зменшувати жорсткість стояка. Наприклад, при роботі на щільних ґрунтах з камінням може знадобитися більша жорсткість для запобігання надмірним коливанням та можливим пошкодженням. На легких, пухких ґрунтах, навпаки, можна зменшити жорсткість для досягнення кращого ефекту розпушення та самоочищення.

Порівняння з відомими рішеннями:

На відміну від відомих конструкцій з незмінною жорсткістю стояка, запропонована модель забезпечує динамічне регулювання. Комбінований стояк з регулювальним упором у вигляді болта, хоч і дозволяє певною мірою змінювати жорсткість, вимагає більш складного та тривалого процесу налаштування, а також може бути менш ефективним у забезпеченні плавного та точного регулювання пружності. Ексцентриковий затискний елемент у запропонованій моделі забезпечує швидке та точне налаштування, що є значною перевагою в умовах польових робіт.

Існуючі робочі органи культиваторів, що мають S-подібний пружинний стояк, стикаються з певними недоліками. Одним з них є складна конструкція, яка часто призводить до частіших поломок з'єднувальних елементів та регулювальних упорів.

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

Деякі конструкції намагаються вирішити цю проблему шляхом зміни підвіски стояка для досягнення необхідних коливань або використання вібраторів для створення вертикальних коливань. Однак, така надмірна складність конструкції знижує загальну надійність як самого робочого органу, так і культиватора в цілому.

Найбільш схожим до запропонованої корисної моделі є робочий орган культиватора, який складається зі стрілчастої лапи та S-подібного стояка з кріпленням до рами. У цьому рішенні стояк є комбінованим, тобто складається з пружної та жорсткої частин. Ці частини з'єднані за допомогою кронштейна, який включає пластину з отворами та скоби. Скоби охоплюють обидві частини стояка, притискаючи їх, а їхні кінці проходять через отвори пластини та фіксуються гайками.

Однак, регулювання жорсткості такого стояка є трудомістким процесом, що вимагає значних витрат часу на послаблення та затягування різьбових з'єднань.

Основна мета запропонованої корисної моделі полягає в розширенні можливостей використання робочого органу культиватора з S-подібним стояком, зробивши його ефективним незалежно від типу ґрунту та його специфічних властивостей.

Ця задача вирішується завдяки запропонованому робочому органу культиватора. Він включає S-подібний стояк, стрілчасту лапу та кронштейн для кріплення лапи до рами. Ключовою відмінністю є наявність пружного елемента, встановленого у верхній частині перед S-подібним стояком. Один кінець цього пружного елемента з'єднаний з рамою, а інший – з верхньою частиною S-подібного стояка. З'єднання здійснюється за допомогою кронштейна, який містить пружний ексцентриковий затискний елемент. Суть запропонованої корисної моделі детальніше розкривається на доданих кресленнях. На Рис 3.2 [1, с. 4] приведено загальний вигляд робочого органу, а на Рис. 3.1 [1, с. 3] - поздовжній переріз.

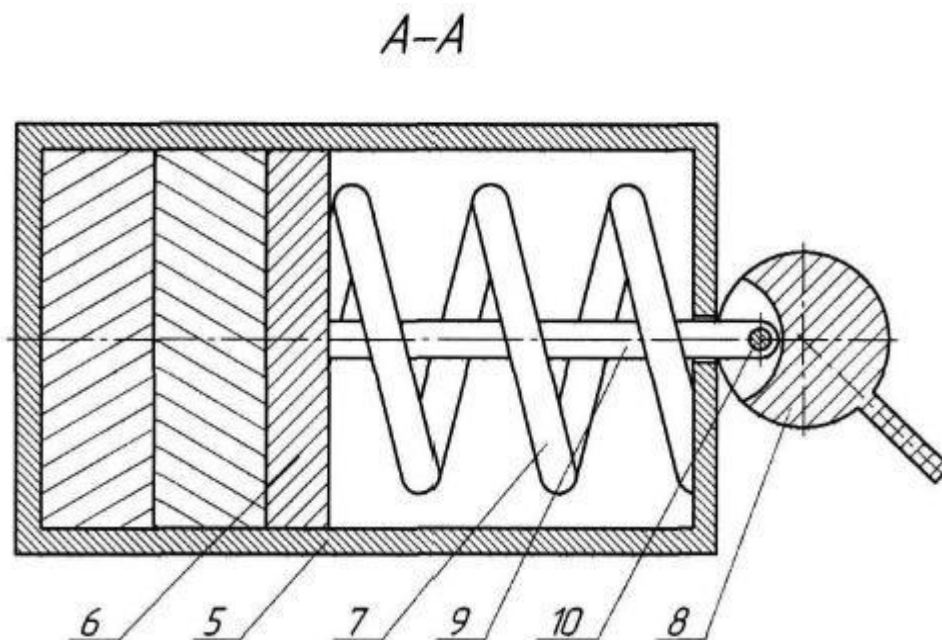


Рис 3.1

Робочий орган культиватора складається з S-подібного стояка 1, стрілкової лапи 2, пружного елемента 3 та кронштейна кріплення лапи до рами 4, який встановлено над верхньою частиною й попереду S-подібного стояка. Один його край з'єднується з рамою, а інший - з верхньою частиною S-подібного стояка за допомогою кронштейна 5. Під час руху стрілкової лапи 2 у товщі ґрунту, виникають коливання пружної частини стояка 1, при цьому амплітуда і частота коливань регулюється положенням пружного елемента 3, відносно S-подібного стояка 1. Зміна положення пружного елемента 3 відносно S-подібного стояка 1 відбувається за рахунок переміщення кронштейна 5. використовуються елементи різьбових з'єднань 11-18. Всередині корпусу кронштейна 5 розміщені стержень 9, на одному краю якого закріплено фіксатор 6, а на іншому - ексцентрик 8, що обертається в ньому навколо

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР 00.000 ПЗ

Арк.

25

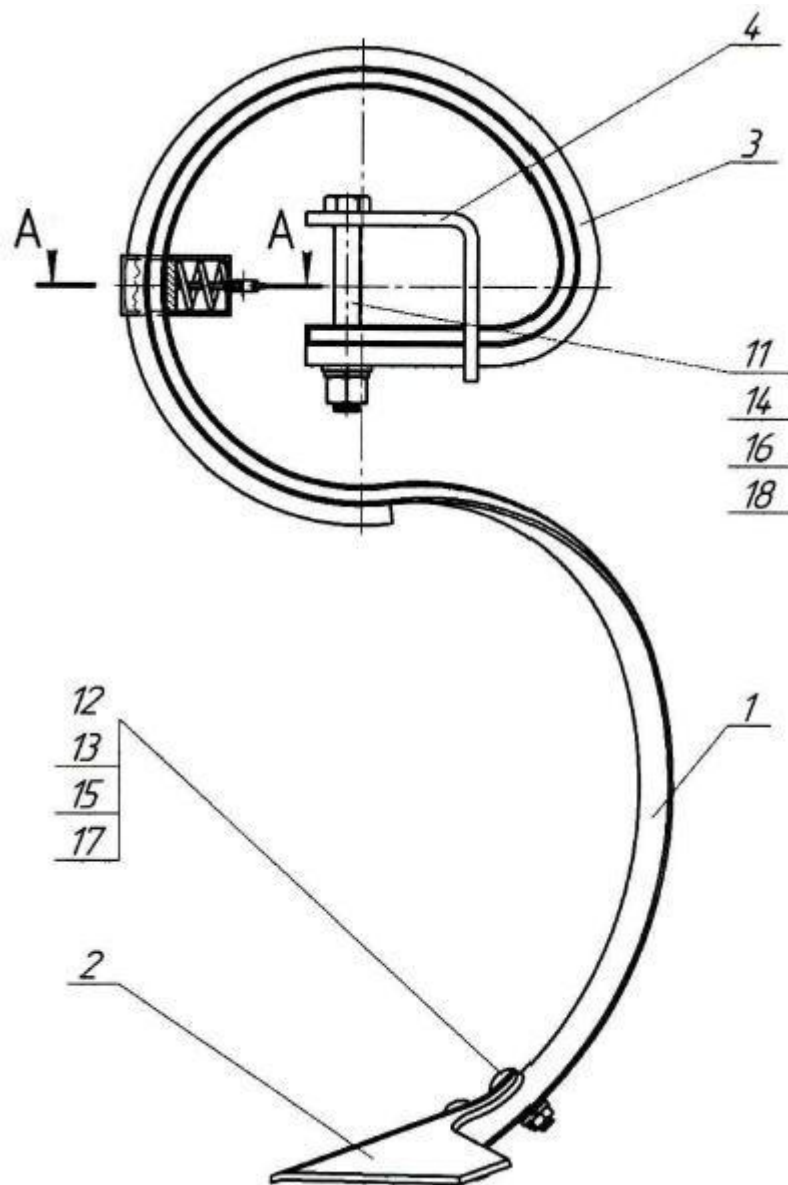


Рис 3.2

осі 10. В корпусі кронштейна 5 між ним та фіксатором 6 здовж осі стержня 9 встановлено пружину 7.

Для кріплення стояка 1 до рами культиватора та лапи до нього Регулювання жорсткості пружинного стояка 1 здійснюється переміщенням кронштейна 5 навколо його верхньої частини та пружного елемента 3. Для зміни положення кронштейна 5 необхідно перевести ексцентрик 8 в його крайнє положення. При цьому стержень 9 разом з фіксатором 6 переміщується в отворі кронштейна 5 та стискає пружину 7. Після зміни положення кронштейна 5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР 00.000 ПЗ

Арк.

26

необхідно ексцентрик 8 перевести з його крайнього положення в початкове. Це зменшить силу стиснення пружини 7, яка під впливом сили пружності повертається в початкове положення й переміщує стержень 9 з фіксатором 6 до стояка 1 та пружного елемента 3. Оскільки пружина 7 знаходиться стисненому стані, вона щільно стискає між собою стояк 1 та пружний елемент 3 за допомогою фіксатора 6. Технічний результат - підвищення якості обробки ґрунту, зниження енергоємності, розробка універсального робочого органу, що забезпечить якісну роботу незалежно від ґрунтів та їх властивостей. Конструкція робочого органу культиватора забезпечує універсальність культиваторних лап із S-подібними стояками, якісні показники роботи знаряддя незалежно від типу ґрунту та інших 10 умов роботи.

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

4. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Причіпний культиватор КПК-4

У сільському господарстві для передпосівної обробки ґрунту широко застосовуються причіпні культиватори суцільного обробітку. Модель КПК-4 є типовим представником таких агрегатів, виконуючи функції розпушування, боротьби з бур'янами, вирівнювання поверхні та підготовки ґрунту до посіву. Він ефективний на різних типах ґрунтів (легких та середніх) і забезпечує якісний обробіток на задану глибину. Його робочі органи – стрілчасті лапи на пружних стояках – ефективно підрізають бур'яни та розпушують ґрунт. Додаткове вирівнювання та подрібнення грудок досягається за допомогою спеціальних пристроїв та котків.

Основною проблемою стандартної конструкції культиватора КПК-4 є недостатня гнучкість пружних стояків. При роботі в складних умовах, таких як ущільнений ґрунт або високі швидкості, виникають значні динамічні навантаження. Це призводить до коливань робочих лап, зниження якості обробки та прискореного зносу компонентів.

Для вирішення цієї проблеми, в рамках дипломного проєкту, було розроблено вдосконалення конструкції пружного стояка. Пропонується додати додатковий пружний елемент з можливістю регулювання його жорсткості. Таке технічне рішення дозволить оптимізувати роботу стояка відповідно до конкретних умов експлуатації та фізико-механічних характеристик ґрунту.

Запропонована модернізація надасть такі переваги:

- Можливість точного налаштування жорсткості пружного стояка.
- Зменшення негативного впливу ударів та вібрацій на робочі органи.
- Забезпечення стабільного положення стрілчастих лап на заданій глибині.

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

- Підвищення загальної якості передпосівного обробітку.
- Продовження терміну служби деталей культиватора.
- Підвищення продуктивності агрегату за рахунок можливості роботи на вищих швидкостях.

4.2 Технічна характеристика причіпного культиватора КПК-4

Таблиця 4.1

Технічна характеристика

1	2
Тип машини	Причіпний культиватор суцільного обробітку ґрунту
Призначення	Передпосівний обробіток ґрунту та догляд за парами
Робоча ширина захвату	4,0 м
Робоча швидкість	7-10 км/год
Транспортна швидкість	до 15 км/год
Продуктивність	3,2–4,0 га/год
Глибина обробітку	6–12 см
Кількість робочих органів	15 шт.
Ширина захвату лапи	220 мм
Маса культиватора	1300 кг
Тяговий клас трактора	1,4–2,0
Рекомендовані трактори	МТЗ-80, МТЗ-82, ЮМЗ-6, МТЗ-100
Обслуговуючий персонал	1 тракторист



Рис 4.2 Причіпний куотиватор КПК-4

4.3 Технологічні розрахунки

Конструкторська частина дипломного проекту присвячена розробці та обґрунтуванню інноваційного рішення для робочого органу причіпного культиватора КПК-4 .Мета – досягнення високої продуктивності агрегату в умовах різномірних ґрунтів.

Обґрунтування параметрів модернізованого робочого органу базувалося на глибокому інженерному аналізі, що охоплював технологічні, силові, енергетичні та міцнісні аспекти. Теоретичною базою для розрахунків слугували фундаментальні положення теорії сільськогосподарських машин, опору матеріалів та технічної механіки.

Суть запропонованої модернізації полягає у впровадженні нового елемента – пружного елемента, інтегрованого у верхню частину S-подібного стояка. Його ключова особливість – можливість регулювання ефективної довжини пружної

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

частини, що забезпечує динамічну зміну жорсткості стояка відповідно до ґрунтових умов та режиму обробітку.

Для наукового обґрунтування параметрів модернізованої конструкції були виконані наступні інженерні розрахунки:

- Технологічний розрахунок тягового опору ґрунту.
- Розрахунок деформацій (прогину) та жорсткості пружного стояка.
- Аналіз міцності (напружень при згині).
- Визначення динамічних характеристик (власної частоти коливань).
- Енергетичний розрахунок необхідної потужності.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 4.2

1	2	3
Параметр	Позначення	Значення
Питомий опір ґрунту	k	50000 Н/м ²
Ширина лапи	b	0,22 м
Глибина обробітку	a	0,10 м
Модуль пружності сталі	E	$2 \cdot 10^{11}$ Па
Ширина стояка	b_c	0,065 м
Товщина стояка	h	0,012 м
Довжина стояка (макс.)	l_1	0,62 м

Довжина стояка (сер.)	l_2	0,54 м
Довжина стояка (мін.)	l_3	0,46 м
Кількість лап	Z	15
Робоча швидкість	V	10 км/год
Приведена маса	m	8 кг

4.3.1 Розрахунок тягового опору

Роботу культиватора можна оцінити за низкою параметрів, серед яких провідне місце займає тяговий опір ґрунту. Цей показник безпосередньо впливає на силу, що виникає на робочому органі під час обробки ґрунту, а також визначає, скільки енергії споживатиме агрегат, на скільки прогинатиметься пружний стояк і які напруження виникатимуть у його елементах.

Коли стрілчаста лапа культиватора занурюється в ґрунт, вона виконує дві основні функції: розпушує землю та підрізає бур'яни. Однак, ґрунт чинить опір процесу, створюючи навантаження на стояк. Для того, щоб провести розрахунки, пов'язані з прогином, жорсткістю та міцністю пружного стояка, вкрай важливо визначити точну величину цього навантаження.

Тяговий опір ґрунту визначали за залежністю, рекомендованою для робочих органів культиваторів [7, с. 57]

$$F = kba, \quad (4.1)$$

де: F - тяговий опір ґрунту, Н;

k - питомий опір ґрунту, приймаємо $k = 50000 \text{ Н/м}^2$;

b - ширина захвату лапи, приймаємо $b = 0,22 \text{ м}$;

a - глибина обробітку, приймаємо $a = 0,10 \text{ м}$;

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

Підставляючи значення у формулу, отримаємо:

$$F = 50000 \cdot 0.22 \cdot 0.10 = 1100 \text{ Н}$$

Приймаємо тяговий опір ґрунту $F = 1100 \text{ Н}$.

Отримане значення тягового опору ґрунту буде використовуватись у подальших розрахунках прогину, жорсткості, напружень, та енергетичних показників модернізованого робочого органу причіпного культиватора КПК-4

4.3.2 Розрахунку моменту інерції перерізу пружного стояка

Стійкість стояка до деформацій та його загальна жорсткість значною мірою залежать від моменту інерції його поперечного перерізу. Цей параметр кількісно описує, наскільки добре переріз протидіє згину, коли на стояк діє навантаження, що виникає внаслідок взаємодії лапи з ґрунтом. Простіше кажучи, чим більший момент інерції, тим жорсткішим є стояк, і тим меншим буде його прогин при однаковому навантаженні. Для пружних S-подібних стояків особливо важливо правильно визначити їхні геометричні характеристики, щоб вони могли одночасно бути достатньо гнучкими та витримувати діючі навантаження без руйнування.

Оскільки поперечний переріз стояка має прямокутну форму, для розрахунку моменту інерції використовувалася така формула [8, с. 13]

$$I = \frac{bh^3}{12}, \quad (4.2)$$

де: I - момент інерції перерізу, м^4 ;

b - ширина стояка, приймаємо $b = 0,065 \text{ м}$;

h - товщина стояка, приймаємо $h = 0,012 \text{ м}$;

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

Тоді

$$I = \frac{0,065 \cdot 0,012^3}{12} = 9,36 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Приймаємо момент інерції $I = 9,36 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

4.3.3 Розрахунок прогину пружного стояка

Ключовим показником ефективності функціонування пружного стояка культиватора є ступінь його деформації під впливом прикладеного навантаження. В процесі обробки ґрунту стрілчаста лапа створює тяговий опір, який призводить до виникнення на стояку сили, що спричиняє його прогин та подальші коливання.

Гнучка S-подібна конструкція стояка забезпечує часткове поглинання ударних навантажень, покращує адаптацію робочого органу до нерівностей ґрунту та сприяє підвищенню якості обробітку. Однак, ступінь деформації стояка має значний вплив на стабільність руху лапи, загальну жорсткість конструкції та рівень напружень, що виникають у робочому органі.

У запропонованій модернізації передбачено можливість зміни ефективної довжини пружної частини стояка шляхом переміщення регулювального кронштейна. Залежно від положення кронштейна змінюється робоча довжина стояка, а відповідно — його жорсткість та величина прогину.

Для оцінки впливу положення регулювального механізму розрахунок прогину проводили для трьох положень пружного елемента:

1. верхнього положення — максимальна довжина стояка;
2. середнього положення — середня робоча довжина;
3. нижнього положення — мінімальна довжина стояка.

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

При цьому ефективна довжина стояка становила:

- $l_1 = 0,62$ м;
- $l_2 = 0,54$ м;
- $l_3 = 0,46$ м;

Пружний стояк розглядали як консольну балку, жорстко закріплену у верхній частині та навантажену силою на кінці. Прогин стояка визначали за формулою

[9, с. 18]

$$f = \frac{Fl^3}{3EI}, \quad (4.3)$$

де: f -прогин стояка, м;

F -сила тягового опору ґрунту, приймаємо $F = 1100$ Н;

l -ефективна довжина стояка, приймаємо $l_1 = 0,62$ м, $l_2 = 0,54$ м, $l_3 = 0,46$ м;

E -модуль пружності матеріалу, приймаємо сталь 65Г $= 2 \cdot 10^{11}$ Па;

I -момент інерції стояка, приймаємо $I = 9,36 \cdot 10^{-9}$ м⁴;

Розрахунок прогину стояка для максимального положення кронштейна:

$$f_1 = \frac{1100 \cdot 0,62^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 9,36 \cdot 10^{-9}} = 0,046 \text{ м};$$

Приймаємо прогин стояка для максимального положення кронштейна

$$f_1 = 46 \text{ мм};$$

Розрахунок прогину стояка для середнього положення кронштейна:

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

$$f_2 = \frac{1100 \cdot 0,54^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 9,36 \cdot 10^{-9}} = 0,030\text{м};$$

Приймаємо прогин стояка для середнього положення кронштейна

$$f_2 = 30\text{мм};$$

Розрахунок прогину стояка для мінімального положення кронштейна:

$$f_3 = \frac{1100 \cdot 0,46^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 9,36 \cdot 10^{-9}} = 0,019\text{м};$$

Приймаємо прогин стояка для мінімального положення кронштейна

$$f_3 = 19\text{мм};$$

Аналіз отриманих даних свідчить про пряму залежність між ефективною довжиною пружного стояка та величиною його прогину: чим довше стояк, тим більший прогин. Така властивість сприяє підвищенню гнучкості та пружності роботи лапи, але призводить до зниження загальної жорсткості конструкції. Натомість, скорочення довжини стояка призводить до зменшення прогину та, як наслідок, до збільшення жорсткості системи.

4.3.4 Розрахунок жорсткості пружного стояка

Жорсткість є одним з визначальних параметрів функціонування пружного стояка культиватора. Вона кількісно характеризує опір стояка деформації під дією прикладеного навантаження. Цей параметр безпосередньо корелює з амплітудою коливань робочого органу, стабільністю траєкторії руху лапи та величиною навантажень, що передаються на елементи конструкції.

Особливо критичною жорсткість є для S-подібних стояків, оскільки вона визначає механізм взаємодії лапи з ґрунтовим середовищем. Зменшення жорсткості призводить до збільшення прогину стояка та покращення здатності до поглинання ударних навантажень. Однак, надмірне зниження жорсткості може

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

спричинити дестабілізацію роботи лапи. Збільшення жорсткості, навпаки, зменшує величину прогину та коливань, але призводить до зростання ударних навантажень на конструкцію.

У представленій конструктивній схемі передбачено механізм регулювання жорсткості стояка шляхом зміни положення регулювального кронштейна, що дозволяє модифікувати ефективну довжину пружної частини стояка. Для оцінки впливу довжини стояка на його характеристики були виконані розрахунки для трьох положень пружного елемента.

Жорсткість пружного стояка визначили за формулою [9, с. 271]

$$k = \frac{3EI}{l^3}, \quad (4.4)$$

де: k - жорсткість стояк, Н/м;

E - модуль пружності матеріалу, приймаємо сталь 65Г= $2 \cdot 10^{11}$ Па ;

I - момент інерції поперечного перерізу, приймаємо $I = 9,36 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4$;

l - ефективна довжина стояка, приймаємо $l_1 = 0,62\text{м}$; $l_2 = 0,54\text{м}$; $l_3 = 0,46\text{м}$;

Розрахунок жорсткості стояка для максимального положення кронштейна;

$$k_1 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 9,36 \cdot 10^{-9}}{0,62^3} = 23600 \text{ Н/м};$$

Приймаємо жорсткість для максимального положення кронштейна

$$k_1 = 23600 \text{ Н/м}.$$

Розрахунок жорсткості стояка для середнього положення кронштейна:

$$k_2 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 9,36 \cdot 10^{-9}}{0,54^3} = 35700 \text{ Н/м};$$

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

Приймаємо жорсткість стояка для середнього положення кронштейна
 $k_2 = 35700 \text{ Н/м}$.

Розрахунок жорсткості стояка для мінімального положення кронштейна:

$$k_3 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 9,36 \cdot 10^{-9}}{0,46^3} = 57700 \text{ Н/м};$$

Приймаємо жорсткість стояка при мінімальному положенні екранштейна
 $k_3 = 57700 \text{ Н/м}$.

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що зменшення ефективної довжини пружного стояка призводить до його підвищеної жорсткості. Найменший показник жорсткості фіксується при максимальній довжині стояка. Така конфігурація сприяє більш м'якій роботі лапи та розширенню діапазону коливань. З іншого боку, при мінімальній довжині стояка спостерігається значне зростання жорсткості, що забезпечує стабільніший рух робочого елемента та зменшує величину його прогину.

Отже, розроблена конструкція дозволяє досягти необхідного рівня жорсткості пружного стояка, враховуючи специфіку робочих умов та характеристики ґрунту.

4.3.5 Розрахунок моменту опору перерізу пружного стояка

Експлуатація культиватора призводить до значних згинальних навантажень на його пружні стійки. Для аналізу міцності стійки та розрахунку внутрішніх напружень у її поперечному перерізі є критично важливим визначення моменту опору цього перерізу.

Момент опору є показником стійкості поперечного перерізу до деформації згину. Його величина безпосередньо впливає на величину напружень, що виникають у матеріалі стійки під дією згинального моменту. Збільшення моменту

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

опору призводить до зниження рівня напружень у перерізі, що, у свою чергу, підвищує загальну міцність та надійність конструкції.

Оскільки поперечний переріз пружного стояка має прямокутну форму, момент опору визначали за формулою [10, с. 64]

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad (4.5)$$

де: W - момент опору переізу, м^3 ;

b - ширина стояка, приймаємо $b=0,065$ м;

h - товщина стояка, приймаємо $h=0,012$ м.

Тоді

$$W = \frac{0,065 \cdot 0,012^2}{6} = 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Приймаємо момент опопру перерізу $W = 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Отримане значення моменту опору буде використовуватись у подальшому розрахунку напружень при згині пружного стояка.

4.3.6 Розрахунок напружень при згині пружного стояка

В процесі функціонування культиватора пружний елемент (стояк) піддається значним силовим впливам з боку ґрунту, що призводить до виникнення в його поперечному перерізі згинальних напружень. Визначення амплітуди цих напружень є необхідним для оцінки несучої здатності конструкції та верифікації працездатності стояка при експлуатації в різних режимах.

При взаємодії робочого органу (стрілчастої лапи) з ґрунтом, сила опору тяги генерує згинальний момент, який спричиняє деформацію стояка. Максимальні

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

напруження концентруються в критичному перерізі, розташованому в зоні примикання стояка до рами культиватора.

Оскільки в модифікованій конструкції передбачена можливість варіації ефективної довжини пружної секції стояка за допомогою механізму регулювання (кронштейна), розрахунок напружень було здійснено для трьох положень регулювального елемента:

Напруження при згині визначали за формулою [10, с. 64]

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (3.6)$$

де: σ - напруження при згині, Па;

M - згинальний момент, Нм ;

W -момент опору перерізу, приймаємо $W = 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Згинальний момент визначили за залежністю [11, с. 189]

$$M = Fl, \quad (3.7)$$

де: F - сила тягового опору ґрунту, приймаємо $F = 1100 \text{ Н}$;

l - ефективна довжина стояка, приймаємо $l_1 = 0,62 \text{ м}$, $l_2 = 0,54 \text{ м}$, $l_3 = 0,46 \text{ м}$.

4.3.6.1 Розрахунок напруження стояка для верхнього положення кронштейна.

Згинальний момент для верхнього положення кронштейна:

$$M_1 = 1100 \cdot 0,62 = 682 \text{ Нм}.$$

Тоді напруження при згині

$$\sigma_1 = \frac{682}{1,56 \cdot 10^{-6}} = 4,37 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

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

Приймаємо напруження при сгині для верхнього положення $\sigma_1 = 437$ МПа.

4.3.6.2 Розрахунок напруження стояка для середнього положення кронштейна.

Згинальний момент для середнього положення кронштейна:

$$M_2 = 1100 \cdot 0,54 = 594 \text{ Нм}.$$

Тоді напруження при сгині

$$\sigma_2 = \frac{594}{1,56 \cdot 10^{-6}} = 3,80 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

Приймаємо напруження при сгині для середнього положення кронштейна $\sigma_2 = 380$ МПа.

4.3.6.3 Розрахунок напруження стояка для нижнього положення кронштейна.

Згинальний момент для нижнього положення кронштейна

$$M_3 = 1100 \cdot 0,46 = 506 \text{ Нм}.$$

Тоді напруження при сгині

$$\sigma_3 = \frac{506}{1,56 \cdot 10^{-6}} = 3,24 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

Приймаємо напруження при сгині для нижнього положення кронштейна $\sigma_3 = 3,24$ МПа.

Аналіз отриманих даних показав, що подовження пружного стояка призводить до зростання згинальних напружень у його поперечному перерізі. Найбільш значні напруження виникають тоді, коли регулювальний кронштейн знаходиться у верхньому положенні, що відповідає максимальній робочій довжині стояка та його найбільшому прогину. Натомість, при скороченні довжини стояка спостерігається зменшення напружень, що забезпечує підвищену жорсткість та стабільність роботи конструкції. Це підкреслює переваги використання

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

регульованого пружного елемента, який дозволяє ефективно адаптувати робочий орган до різних режимів обробітку ґрунту.

4.3.7 Визначення власної частоти коливань пружного стояка

Під час експлуатації культиватора гнучкий S-подібний стояк піддається коливальним рухам, спричиненим змінними навантаженнями, що виникають через взаємодію стрілкової лапи з ґрунтом. Ці коливання суттєво впливають на якість обробки ґрунту, рівень динамічних навантажень, а також забезпечують стабільність руху робочого органу.

Власна частота коливань є ключовою характеристикою будь-якої коливальної системи. Цей параметр визначає, наскільки легко пружний елемент може здійснювати вільні коливання під впливом внутрішніх пружних сил. Крім того, значення власної частоти безпосередньо впливає на амплітуду вібрацій робочого органу та визначає особливості його взаємодії з ґрунтом.

У вдосконаленій конструкції регулювання положення кронштейна супроводжується зміною жорсткості стояка, що, у свою чергу, впливає на власну частоту його коливань. Тому розрахунок проводили для трьох положень регульовального кронштейна.

Власну частоту коливань визначали за формулою [9, с. 524]

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad (4.7)$$

де: f - власна жорсткість коливань, Гц;

k - жорсткість стояка, приймаємо $k_1 = 23600$ Нм, $k_2 = 35700$ Нм, $k_3 = 57700$ Нм.

m - приведена маса стояка для лапи, приймаємо $m = 8$ кг.

Тоді частота коливань для верхнього положення кронштейна

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{23600}{8}} = 8,64 \text{ Гц.}$$

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

Приймаємо власну частоту коливань для верхнього положення кронштейна

$$f_1 = 8,6 \text{ Гц.}$$

Частота коливань для середнього положення кронштейна

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{35700}{8}} = 10,6 \text{ Гц.}$$

Приймаємо власну частоту коливань для середнього положення кронштейна

$$f_2 = 10,6 \text{ Гц.}$$

Частота коливань для нижнього положення кронштейна

$$f_3 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{57700}{8}} = 13,5 \text{ Гц.}$$

Приймаємо власну частоту коливань для нижнього положення кронштейна

$$f_3 = 13,5 \text{ Гц.}$$

Результати дослідження демонструють, що жорсткість пружного стояка безпосередньо впливає на його власну частоту коливань: зі зростанням жорсткості частота коливань також зростає. Найбільша довжина стояка, досягнута при верхньому положенні регулювального кронштейна, зумовлює найменшу жорсткість і, як наслідок, найнижчу частоту коливань. Натомість, зменшення довжини стояка призводить до збільшення його жорсткості та, відповідно, до підвищення власної частоти коливань.

Можливість змінювати частоту коливань дає змогу пристосувати роботу робочого органу до різноманітних умов обробітку ґрунту, що сприяє стабільності технологічного процесу.

4.3.8 Енергетичний розрахунок модернізованого культиватора

Одним із фундаментальних етапів, що підтверджують доцільність модернізованої конструкції культиватора, є проведення енергетичного розрахунку його робочого органу. Цей розрахунок має на меті встановити величину

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

потужності, яка необхідна для забезпечення функціонування культиватора під час обробітку ґрунту. Крім того, він дозволяє оцінити, як впровадження нової конструкції пружного стояка впливає на загальні енергетичні характеристики машини.

У процесі роботи культиватора стрілочасті лапи активно взаємодіють з ґрунтом, долаючи його опір. Ця взаємодія генерує тягове навантаження. Для того, щоб робочі органи могли переміщатися з встановленою швидкістю, трактор повинен мати достатню потужність.

Потужність, необхідна для роботи однієї лапи культиватора, визначали за формулою [12, с. 1]

$$N = Fv, \quad (4,8)$$

де: N - потужність, Вт;

F - тяговий опір ґрунту, приймаємо $F = 1100$ Н;

v - робоча швидкість руху культиватора, м/с, приймаємо робочу швидкість культиватора $V = 10$ км/год.

Оскільки у формулі швидкість повинна бути виражена в м/с, виконуємо перерахунок [13, с. 1]

$$v = \frac{V}{3,6} \text{ м/с.} \quad (4,9)$$

Тоді

$$v = \frac{10}{3,6} = 2,77 \text{ м/с.}$$

Приймаємо швидкість культиватора $v = 2,77$ м/с.

Підставляючи значення у формулу (3.8), визначимо потужність необхідну для роботи однієї лапи:

$$N = 1100 \cdot 2,77 = 3047 \text{ Вт.}$$

Приймаємо потужність необхідну для роботи однієї лапи $N = 3$ кВт.

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

Отримане значення відповідає потужності, необхідній для роботи однієї лапи культиватора.

Оскільки культиватор КПО-8 «Червонець» оснащений 65 лапами, сумарну потужність визначили за формулою [12, с. 3]

$$N_{\Sigma} = Nz, \quad (4.10)$$

де: N_{Σ} - загальна потужність культиватора, кВт;

N - потужність однієї лапи, приймаємо $N = 3$ кВт;

z - кількість лап, приймаємо $z = 15$;

Підставляючи значення у формулу (3,10), отримаємо:

$$N_{\Sigma} = 3 \cdot 15 = 45 \text{ кВт.}$$

Дослідження продемонстрували, що модернізований культиватор потребує приблизно 45 кВт потужності для ефективного виконання технологічних операцій при швидкості руху 10 км/год. Застосування пружного стояка з можливістю регулювання жорсткості сприяє зниженню пікових ударних навантажень на робочі органи, забезпечуючи тим самим більш стабільне функціонування культиватора під час високошвидкісного передпосівного обробітку ґрунту.

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

5.ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження конструкції причіпного культиватора КПК-4 з метою його подальшого удосконалення. Ключовим напрямком роботи стала модернізація робочого органу, зокрема, пружного S-подібного стояка стрілкової лапи. Розроблена конструкція передбачає інтеграцію додаткового пружного елемента, оснащеного регулювальним кронштейном. Така конфігурація дозволяє динамічно змінювати ефективну довжину пружної частини стояка, що, в свою чергу, дає можливість регулювати його жорсткість відповідно до специфічних умов експлуатації.

Для досягнення поставлених цілей було виконано низку інженерних розрахунків та аналітичних досліджень, серед яких:

- Детальний аналіз конструктивних особливостей та технологічного процесу роботи культиватора.
- Розрахунок тягового опору ґрунту з урахуванням його властивостей.
- Визначення механічних характеристик перерізу стояка, включаючи момент інерції та момент опору.
- Розрахунок прогину пружного стояка для трьох дискретних положень регулювального кронштейна.
- Визначення показника жорсткості стояка.
- Розрахунок напружень, що виникають при згині стояка.
- Визначення власної частоти коливань стояка для оцінки його динамічної стійкості.
- Енергетичний розрахунок модернізованого культиватора для оцінки ефективності його роботи.

Результати проведених розрахунків продемонстрували значний вплив зміни положення регулювального кронштейна на ключові параметри пружного стояка.

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

Зокрема, встановлено, що верхнє положення кронштейна забезпечує збільшений прогин та більш еластичну роботу лапи, що є критично важливим для ефективного поглинання ударних навантажень. На противагу цьому, нижнє положення кронштейна призводить до підвищення жорсткості стояка, мінімізації деформацій та, як наслідок, до зростання стабільності руху робочого органу.

Таким чином, запропонована конструктивна модернізація забезпечує високий ступінь адаптивності культиватора до різноманітних ґрунтових умов та режимів обробітку. Можливість регулювання жорсткості стояка дозволяє оптимізувати стабільність технологічного процесу, знизити динамічні навантаження на робочі органи та підвищити загальну надійність конструкції.

Впровадження модернізованого робочого органу сприяє суттєвому покращенню якості передпосівного обробітку ґрунту, забезпечує більш точне вирівнювання поверхні поля та стабілізацію глибини обробітку. Крім того, зменшення інтенсивності ударних навантажень позитивно впливає на ресурс елементів культиватора, знижуючи ймовірність передчасного виходу з ладу стояків та лап.

Запропонована модернізація є обґрунтованою та доцільною для впровадження в господарствах агропромислового комплексу. Вона дозволяє підвищити операційну ефективність причіпного культиватора КПК-4 при виконанні швидкісного передпосівного обробітку ґрунту, покращити експлуатаційні показники машини та забезпечити більш раціональне використання енергетичних ресурсів.

					<i>КР 00.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мякушко В.О., Васильковський О. М., Мороз С.В., Петренко Д.І., Сало В.М. Патент на КМ № 160922, 2025. 6 с.
2. Петренко Д.І., Васильковський О.М., Лещенко С.М., Мачок Ю.В., Артеменко Д.Ю., Нестеренко О.В., Мороз С.М. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня. Спец. 133 «Галузеве машинобудування», ЦНТУ, 2025. 59 с.
3. Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Лузан О.Р., Нестеренко О.В. Машини для обробки ґрунту та внесення добрив. Практичні роботи, ЦНТУ, 2023. 59 с.
4. Agriculture.Institute Вирощування кукурудзи: поширення, сорти та методи.
5. Севордор Д.Г., Опата Д., Квадро І.М., Огляд «На шляху до сталого виробництва кукурудзи: розуміння морфофізіологічних, генетичних та молекулярних механізмів, стійкості до низького вмісту азоту, фосфору та калію в ґрунті. 2022. 10 с.
6. Мороз С.М., Богатирьов Д.В., Васильковський О.М., Анісімов О.В., Нестеренко О.В. Меліоративні машини. Лабораторні роботи. ЦНТУ. 2020. 44 с.
7. Караєв О.Г., Саньков С.М., Дядя В.М., Сушко С.Л., Матковський О.І., Кольцов М.П., Чижиков І.О. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку машин для обробітку ґрунту. МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО. 2022.160 с.
8. Крючин Н.П., Андрєєв А.Н., Вдовкін С.В. Опір Матеріалів. 2020. 86 с.

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

9. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С.; За ред. Г.С. Писаренка. 2-ге вид., допов. і переробл. К.: Вища шк., 2004. 655 с.

10. Шпачук В.П., Кузнецов О. М. Конспект лекцій з дисциплін « Прикладна механіка». «Технічна механіка». Харків. ХНУМГ ім, О. М. Бекетова. 2018. 255 с.

11. Сиротюк. Фізика 7 клас. 2015. 236 с.

12. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D1%83%D0%B6%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C>

13. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D1%80_%D0%B7%D0%B0_%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BD%D0%B4%D1%83

14. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%83%D0%B6%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C

ДОДАТКИ