

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

«Удосконалення чизельного плуга ПЧ з розробкою долота»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи ГМ(СМ)-21

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____ Бричка Андрій Олексійович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Геннадій ПОРТНОВ

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

1. Вступ.....	5
2. Стан питання про машину, яка підлягає удосконаленню.....	7
3. Конструкторська частина	15
4. Охорона праці.....	42
5. Висновок	46
Список використаної літератури	48
Додатки.....	50

					УЧПД 00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Сучасне сільське господарство в Україні постійно потребує збільшення обсягів виробництва продукції рослинництва. Досягнення цієї мети можливе лише за умови інтенсифікації технологічних процесів на всіх етапах виробництва. Підвищення обсягів виробництва пов'язане не лише зі зростанням продуктивності сільськогосподарських операцій, але й із поліпшенням якості виконання польових робіт, а також активним впровадженням ресурсозберігаючих технологій, які сприяють зниженню загальних витрат на виробництво готової агропродукції. Окрім економічних чинників, не менш актуальним залишається питання охорони та відновлення родючості ґрунтів, особливо при виконанні основного обробітку ґрунту.

На сьогоднішній день більшість місцевих господарств все ще використовують традиційну оранку, яку виконують з допомогою полицевих плугів різного типу. Проте світова практика свідчить про те, що такий спосіб обробітку є одним із найбільш енерго- та ресурсозатратних. До того ж полицеві знаряддя сприяють розвитку ерозійних процесів, зокрема водної та вітрової ерозії. Ситуацію ускладнює вплив кліматичних змін у поєднанні з інтенсивною господарською діяльністю, що призводить до ущільнення ґрунту, формування плужної підшви, деградації структури орного шару та зниження загальної продуктивності ґрунтів.

Альтернативою традиційній оранці є технології безполицевого обробітку, зокрема глибоке розпушування без перевертання скиби. Для реалізації цих технологій використовуються чизелі, плоскорізи, глибокорозпушувачі та інші сучасні знаряддя. Вони мають ряд переваг,

					<i>УЧПД 00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Бричка</i>				<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Леценко</i>						5	
<i>Реценз.</i>						<i>ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Мачок</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Васильковський</i>							

зокрема – працюють на принципах енергозбереження, забезпечують покращення водно-повітряного режиму ґрунту та зменшення ризику виникнення ерозій. Проте попри позитивні якості, безполицеві методи мають і ряд недоліків, зокрема: труднощі з досягненням рівного мікрорельєфу поля, обмеження у роботі з рослинними рештками та необхідність у більш складних конструкціях самих робочих органів.

При застосуванні глибокорозпушувачів та чизелів часто виникає потреба в удосконаленні їх конструкцій. Це пов'язано з нерівномірною роботою знарядь, необхідністю кращого загортання рослинних решток та мінеральних добрив, а також із потребою підвищити загальну якість основного обробітку поля. Як показують численні дослідження, ефективність використання глибокорозпушувачів значно зростає за умов доукомплектування їх додатковими робочими органами, які сприяють покращенню структури ґрунту та рівномірності його обробітку.

На основі вищевикладеного можна сформулювати основну мету цієї роботи – удосконалення чизельного плуга ПЧ з розробкою долота з ціллю підвищення ефективності основного обробітку ґрунту за ресурсозберігаючими технологіями.

					УЧПД 00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО МАШИНУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ УДОСКОНАЛЕННЮ

З кожним роком у сільськогосподарському виробництві України дедалі активніше впроваджуються технології обробітку ґрунту без використання полицевих знарядь. Для здійснення таких технологічних операцій застосовуються як вітчизняні машини, так і глибокорозпушувачі закордонного виробництва з різними технічними рішеннями. Порівняльний аналіз конструкцій, переваг і недоліків таких агрегатів буде детально розглянуто у нижче у даному розділі.

Серед вітчизняних фермерів широко використовується чизельний плуг моделі ПЧ-4,5. Дана машина призначена для виконання глибокого безполицевого розпушування ґрунту на глибину до 40 см. Водночас необхідно дотримуватися певних вимог: сумарна маса рослинних решток на оброблюваній площі не має перевищувати 1,0 кг/м², а їх максимальна довжина – до 40 см. Ґрунтообробний агрегат ПЧ-4,5 агрегується з тракторами тягового класу 3...5. Застосовувати даний агрегат можна у всіх агрокліматичних регіонах України за умови, що питомий опір ґрунту не перевищує 6 Н/см².

Однак конструкція цього глибокорозпушувача має потенціал для вдосконалення з метою підвищення експлуатаційної надійності, технологічної ефективності та універсальності як основних, так і допоміжних робочих органів. Особливу увагу необхідно приділити адаптації машини до складних умов центральних регіонів України. Оптимізація конструктивних елементів можлива завдяки глибокому аналізу аналогічних машин, оцінці результатів випробувань та вивченню відгуків користувачів, а також рекомендацій виробників подібної техніки, таких як Кіровоградлітмаш, ПП «Савицький М.І.» та компанія «БМ-Системс».

До основних конструктивних елементів чизельного плуга ПЧ-4,5 (рис. 1) належать V-подібна рама, механізм навішування, опорні колеса, пристрої

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

для регулювання глибини обробітку, основні робочі органи з додатковими встановленими крилами, а також допоміжні елементи, які у більшості випадків представлені зубчастими котками.

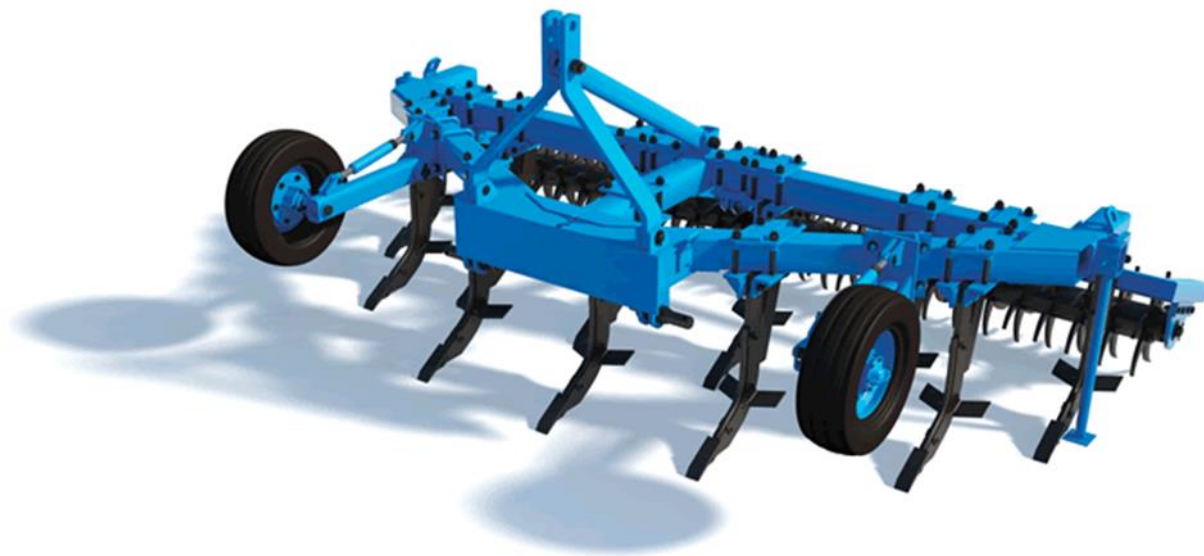


Рис. 1. Загальний вигляд чизельного плуга ПЧ-4,5

Основні технічні показники чизельного плуга ПЧ-4,5 зведені до таблиці 1.

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

Основні техніко-економічні показники плуга чизельного ПЧ-4,5

№	Показник	Одиниця вимірювання	Значення
1	Продуктивність за годину основного часу, не менше	т/год	4,0
2	Тип машини та клас тяги трактора	<u>кН</u>	навісна 30...50
3	Чисельність обслуговуючого персоналу (механізаторів)	осіб	1
4	Кількість операцій, що виконуються за один прохід агрегату		3
5	Робоча швидкість чизельного плуга-глибокорозпушувача, до	км/год	10
6	Швидкість агрегату під час транспортування	км/год	25
7	Дорожній просвіт	мм	не менше 300
8	Кількість чизельних лап	<u>шт</u>	9
9	Ширина захвату долота чизельної лапи	мм	50
10	Ширина захвату додаткових крил	мм	400
11	Максимально допустима глибина глибокого розпушування	мм	до 450
12	Рядність розташування робочих органів на рамі		<u>трёхрядне</u>
13	Габаритні розміри чизельного плуга-глибокорозпушувача: - довжина - ширина - висота	мм	2140±5 4060±5 1920±5
14	Повна маса із повним комплектом робочих органів	кг	1795±10
15	Питома конструктивна маса плуга-глибокорозпушувача	кг/м	340
16	Максимальні питомі витрати пального при роботі агрегату	кг/га	18
17	Гарантований термін служби	років	8
18	Напрацювання на відмову, не менше	год	250
19	Максимальне зусилля гвинтового механізму регулювання глибини обробітку, не більше	Н	185

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

УЧПД 00.000 ПЗ

Арк.

9

Основним елементом, який виконує функцію розпушення ґрунту в конструкції чизельного плуга, є чизельна лапа, закріплена на прямому стояку. Вона складається з вертикального стояка, долота і ножа, який монтується на стояк для відведення рослинних решток або ж їх перерізання. У пізніших модифікаціях агрегату ПЧ-4,5 «SVAROG» на стояках передбачено встановлення крил, що виконують роль додаткових робочих елементів. Залежно від конструктивного виконання та місця кріплення вони або вирівнюють дно борозни, зменшуючи нерівності, або інтенсифікують підрізання кореневої системи рослин в зоні руху цих крил. Долото виготовляється двостороннім і закріплюється на стояку за допомогою осі з фіксацією шплінтами. Верхня частина стояка має отвори, через які чизельна лапа кріпиться до кронштейнів рами за допомогою болтів.

Рама агрегату є зварною та жорсткою, має V-подібну просторову форму, що зменшує ймовірність її забивання пожнивними рештками. До елементів рами – поперечних і поздовжніх балок – кріпляться всі основні вузли: робочі органи, опорні колеса, пристрої регулювання глибини обробітку та, за потреби, додаткові робочі елементи.

Глибина обробітку регулюється за рахунок положення опорних коліс, які змінюють своє положення за допомогою шарнірного механізму. Обертання спеціальної муфти, що має гвинти з правою та лівою різьбою, забезпечує опускання або підймання коліс. Усього на агрегаті встановлено два колеса, тому механізмів регулювання глибини також два. Колеса складаються з металевих дисків і шин, кріплення здійснюється через фланець маточини шпильками.

З'єднання глибокорозпушувача з трактором виконується через механізм навіски, розташований у передній частині агрегату. Цей вузол включає пальці, розкоси та інші деталі, що дозволяють виконувати навішування в напівавтоматичному режимі. Агрегат сумісний із тракторами типу Т-150, Т-150К, К-700А та подібними.

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

У процесі роботи чизельні лапи під дією власної ваги агрегату заглиблюються в ґрунт на задану глибину, яка обмежується положенням опорних коліс. Долото зрушує та піднімає частки ґрунту, забезпечуючи його розпушення та створення тріщин по всій глибині, що сприяє формуванню дрібнокомкуватої структури оброблюваного горизонту. Стояк додатково розсовує ґрунтові частки в боки, а при встановленні крил покращується профіль дна борозни та зрізання кореневої системи бур'янів. Додаткові робочі органи, які монтуються на задній частині рами ґрунтообробного агрегату, сприяють подрібненню великих грудок, вирівнюванню поверхні поля і перемішуванню добрив та залишків рослин.

Порівняння конструкції та функціонування чизельного плуга ПЧ-4,5 з аналогічними моделями показує, що він ефективно виконує глибоке розпушування. Однак у складних ґрунтово-кліматичних умовах його робочі елементи потребують конструктивного удосконалення для підвищення рівномірності обробки і зменшення енергозатрат.

Характеристика чизельного безполицевого обробітку ґрунту та вимоги до означеної технологічної операції

Чизельний обробіток ґрунту як альтернатива традиційній оранці. Чизельна технологія обробітку ґрунту є ефективним агротехнічним методом основного обробітку, спрямованим на збереження родючості, покращення аерації та водопроникності, а також оптимізацію інфільтраційних характеристик ґрунту. На сьогоднішній день цей спосіб розглядається як сучасна альтернатива традиційним методам обробітку.

До класичних способів основного обробітку належить полицева оранка [2...4], що має низку суттєвих недоліків: утворення ущільненого шару під плужною подошвою, руйнування цінних агрегатів ґрунту (структурних часток діаметром від 0,25 до 10 мм), значне споживання палива та енергоресурсів, а також низьку продуктивність машин. У сукупності ці фактори сприяють

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

інтенсифікації водної й вітрової ерозії, підвищенню витрат на обробку, ущільненню орного шару, погіршенню повітряного й водного режиму.

З метою зменшення витрат деякі аграрії поступово відмовляються від оранки на користь дискування, використовуючи важкі та середні дискові агрегати: дискатори, борони тощо. Однак, як підтверджено дослідженнями [5], такі знаряддя, навіть у поєднанні з традиційними плугами, можуть мати ще гірші ерозійні наслідки. Саме тому в низці країн світу їх використання обмежене або навіть заборонене [5, 6].

Однією з найперспективніших альтернатив є глибоке розпушування без обороту скиби, що належить до технологій ресурсозберігаючого землеробства. За умов правильного використання ці методи можуть слугувати базисом відновлення родючості. Серед таких прийомів найпоширенішим є глибокий обробіток чизельними агрегатами, що дозволяє здійснювати смугову обробку з мінімальним втручанням у поверхню поля. Застосування чизельних глибокорозпушувачів сприяє руйнуванню ущільненої підшви, збереженню стерні, підвищенню ширини захвату та зниженню витрат пального на 30–40% у порівнянні з оранкою [5-8].

Аграрії, які впроваджують чизельний обробіток, зазначають низку його переваг:

- **Розрихлення ущільненого шару ґрунту**, що сприяє кращому накопиченню вологи в глибших горизонтах, особливо восени та взимку;
- **Поліпшення водно-повітряного балансу**, що сприяє активізації мікробіологічної діяльності, розвитку ґрунтової біоти та загальному оздоровленню агроєкосистем;
- **Зменшення ерозійних процесів**, завдяки смуговому обробітку та збереженню органічних решток на поверхні поля;
- **Покращення умов для розвитку кореневої системи культур**, що позитивно впливає на ріст рослин і врожайність.

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

Попри значні переваги, чизельне глибоке розпушування має й ряд недоліків. До основних з них належать неефективне знищення бур'янів, нерівномірне формування борозни, труднощі із заробкою рослинних залишків і поверхнево внесених добрив. Крім того, виникають труднощі з технічним забезпеченням цих операцій, оскільки більшість агрегатів для глибокого безполицевого обробітку є імпортними й коштують надто дорого для середньостатистичного українського сільгоспвиробника. Наявні ж вітчизняні моделі часто не забезпечують повного дотримання агротехнічних вимог, що ускладнює їх ефективне використання й вимагає подальшого вдосконалення.

Серед головних агротехнічних вимог [2–5] до безполицевих методів обробітку ґрунту слід зазначити забезпечення заданої глибини розпушування з допустимим відхиленням не більше ± 2 см; за необхідності – збереження до 85% стерні на поверхні поля; прямолінійність руху агрегату в межах ± 20 см; висота гребенів після проходу чизеля – не більше 5 см; допустима ширина незайманої смуги між проходами – до 10 см. Оптимальні умови для обробки досягаються при вологості ґрунту до 60% від його максимальної польової вологоємності, що сприяє кращому подрібненню та запобігає утворенню великих грудок. Якщо поле має ухил понад 3° , операцію слід здійснювати впоперек або під кутом до напрямку схилу. Рекомендується, щоб на наступний рік розпушування виконувалося у напрямку, перпендикулярному до попереднього. Допустима швидкість роботи плуга чизельного – до 12 км/год.

До основних показників якості обробітку, що підлягають контролю, належать дотримання агротермінів, відповідність глибини та її рівномірність, відсутність пропусків, повне підрізання стерні та бур'янів.

У межах цієї кваліфікаційної роботи прототипом для удосконалення вибрано плуг чизельний ПЧ-4,5. Саме для нього описується процес комплектування агрегату та підготовки його до роботи. На цьому етапі проводяться необхідні операції з підготовки енергозасобу й ґрунтообробного знаряддя, їх узгодження, контрольна перевірка під час експлуатації, а також

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

щозмінне технічне і технологічне обслуговування. На початку важливо забезпечити раціональне завантаження енергетичного засобу та відповідність площі обробки продуктивності агрегату.

Підготовка чизельного плуга ПЧ-4,5 до роботи передбачає наступні етапи:

- збирання конструкції плуга та налаштування його робочих органів відповідно до інструкції на спеціально вирівняному майданчику з необхідними інструментами та пристроями;
- підготовка трактора, що передбачає регулювання колії, налаштування навіски та інші відповідні операції;
- агрегування знаряддя з трактором, вирівнювання рами, встановлення потрібної глибини обробітку та усунення перекосу;
- виконання контрольного проходу з подальшим оцінюванням якості роботи агрегату та здійсненням остаточних регулювань з урахуванням конкретних польових умов.

Пропозиції по вдосконаленню плуга чизельного ПЧ-4,5

Серед основних недоліків серійної моделі плуга чизельного ПЧ-4,5, виявлених під час випробувань та за відгуками користувачів, виділяють значний рівень тягового опору та незадовільну якість розпушування в складних умовах експлуатації. Зокрема, труднощі виникають при підвищеній щільності ґрунту, його перезволоженні або, навпаки, пересушенні, при наявності великої кількості рослинних залишків на поверхні поля, а також за наявності явно вираженого ущільненого шару ґрунту (підорної подошви). За таких обставин даний агрегат не завжди відповідає встановленим агротехнічним вимогам щодо якості обробітку, що суттєво обмежує сферу його застосування.

Для часткового вирішення виявлених недоліків запропоновано оснастити плуг додатковими робочими елементами – крилами зі спеціальною криволінійною формою, подібною до хвоста дельфіна. Така конструкція

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

спрямована на зниження тягового опору при одночасному покращенні процесу руйнування ґрунтових монолітів у нижніх шарах. Це досягається завдяки різкій зміні типу напружень у ґрунті: від стиснення на ріжучій частині крила до розтягуючих напружень – на його опуклій поверхні. Така зміна сприяє ефективнішому формуванню тріщин у ґрунтовому моноліті на глибших рівнях, завдяки чому забезпечується більш інтенсивне розпушування всього горизонту ґрунту.

З огляду на це, для ще більшої ефективності доцільно надати долоту також криволінійну форму: з увігнутим профілем у ділянці леза та опуклою поверхнею у зоні, що прилягає до стояка робочого органу. Це сприяє як зменшенню опору при заглибленні, так і покращенню процесу руйнування ґрунту на початковій стадії його обробки.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Технологічний розрахунок плуга чизельного ПЧ-4,5

Встановлено, що ключовим чинником, який впливає як на ефективність процесу сколювання ґрунтових монолітів, так і на рівень енергоспоживання при обробітку, є конструкція та геометрія основних робочих елементів, зокрема стояка і долота. Згідно з класичними уявленнями, при аналізі та моделюванні взаємодії долота з ґрунтовим середовищем – як першої частини робочого органу, що здійснює первинне руйнування ґрунту, – його дія подібна до впливу двогранного клина [4, 5].

Для досягнення ефективного глибокого розпушування ґрунту чизельною лапою з прямим стояком при оптимальних енергетичних витратах, глибина обробітку повинна залишатися в межах критичного значення для конкретної конструкції знаряддя. Якщо ця умова не дотримується, зона інтенсивного кришення суттєво зменшується, а також збільшується обсяг енерговитрат через розширення області пластичних деформацій у зоні дії

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

чизельного агрегату B та глибиною заглиблення кожної з чизельних лап у ґрунт H . Виходячи з вимог до поверхневого обробітку та посівних робіт, мінімальна допустима глибина суцільного рихлення, що має забезпечуватися чизельним агрегатом, повинна знаходитися в межах $H_1 = 100 \dots 150$ мм. Для визначення відстані між борознами, утвореними лапами чизельного плуга, з урахуванням необхідної глибини суцільного рихлення та значення кута сколювання ґрунтових необроблених монолітів, доцільно використовувати наступне співвідношення:

$$B = 2 \cdot (H - H_1) \cdot \operatorname{ctg} \psi_{\text{ск}},$$

де H – значення фактичної глибини роботи чизельних лап, для розрахунків приймемо $H = 400$ мм;

H_1 – дійсна глибина суцільного розпушування ґрунту чизельним плугом, приймемо $H_1 = 140$ мм;

$\psi_{\text{ск}}$ – кут сколювання ґрунту чизельними лапами, який обґрунтовано вище, $\psi_{\text{ск}} = 38^\circ$.

Враховуючи наведені цифрові значення можемо розрахувати:

$$B = 2(400 - 140) \operatorname{ctg} 38 = 2 \cdot 260 \cdot 1,28 = 521 \text{ мм.}$$

Використовуючи наведену формулу, було визначено максимально допустиму відстань між слідами чизельних лап за заданими параметрами глибокого безполицевого обробітку ґрунту. На практиці ця відстань може бути меншою, тому для забезпечення більш якісного суцільного обробітку ґрунту, з урахуванням конструктивних особливостей ґрунтообробного агрегату, доцільно прийняти її на рівні $B = 500$ мм.

У процесі переміщення робочого органу чизельного плуга крізь шар необробленого ґрунту, внаслідок взаємодії долота з нижніми горизонтами, відбувається зсув ґрунтових мас у напрямку руху лапи. Це зумовлено утворення тріщин в товщі ґрунту перед долотом, які розповсюджуються під певним кутом τ (рис. 3). Для інженерних розрахунків подібних робочих

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

органів, згідно з [5], можна приймати припущення, що кут нахилу робочої поверхні долота відносно дна борозни та кут внутрішнього тертя ґрунту по цій поверхні є рівнозначними. З огляду на це, можемо записати рівняння, яке дозволяє визначити кут сколювання ґрунту в зоні дії долота чизельної лапи:

$$\tau = 90^\circ - (\alpha + \varphi + \varphi_1)/2 = 90^\circ - \left(\alpha + \frac{\varphi_1}{2} \right),$$

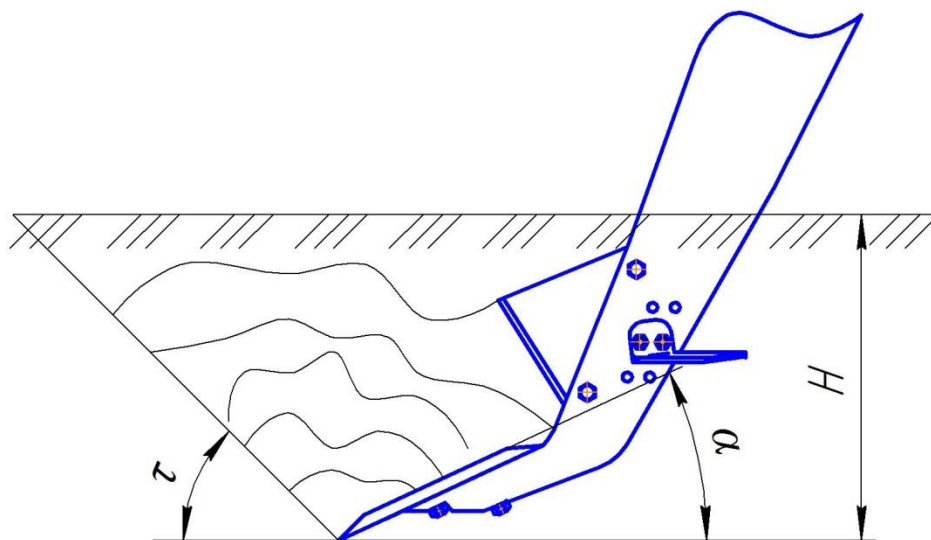


Рис. 3. Схема до визначення параметрів чизельної лапи у фронтальній площині її роботи

де α – кут із яким встановлюється долото чизельної лапи по відношенню до дна борозни, прийmemo $\alpha = \varphi = 27^\circ$;

φ_1 – кут внутрішнього тертя ґрунту, враховуючи те, що відбувається безполицевий обробіток чизельним плугом чорнозему, прийmemo $\varphi_1 = 48...50^\circ$.

Підставивши приведені числові значення в останню залежність розрахуємо кут сколювання ґрунту перед долотом, отримаємо:

$$\tau = 90^\circ - \left(27^\circ + \frac{48^\circ}{2} \right) = 39^\circ.$$

Знаючи кут сколювання можемо розрахувати ту відстань, на яку відбувається поширення фронтальних деформацій від долота робочого органу С. Ця відстань є функцією глибини роботи чизельної лапи H

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

грунтообробного агрегату та кута, на який сколюється ґрунт перед долотом лапи τ . Наведений взаємозв'язок описується такою формулою:

$$C = H \cdot ctg\tau \approx H \cdot tg\left(\alpha + \frac{\varphi_1}{2}\right).$$

Підставивши наведені вище величини маємо:

$$C = 400 \cdot tg\left(27^\circ + \frac{48^\circ}{2}\right) = 400 \cdot 1,235 = 494 \text{ мм.}$$

Для надійного функціонування чизельного плуга необхідно створити такі умови, за яких виключається ймовірність забивання ґрунтом чи рослинними рештками простору між робочими органами, розташованими в різних рядах машини. Відстань між цими рядами L має бути узгоджена з глибиною розпушування та залежить від геометричних параметрів, зокрема кута атаки і зони деформації ґрунту, яка виникає перед робочим органом. У загальному вигляді ця вимога може бути виражена таким чином:

$$L > H \cdot tg(\alpha + \varphi) + C.$$

Після підстановки наведених вище значень отримаємо таку нерівність, що дозволяє встановити раціональну відстань між рядами чизельних лап агрегату для безполицевого обробітку, маємо:

$$L > 400 \cdot tg(27^\circ + 27^\circ) + 494 = 400 \cdot 1,376 + 494 = 1044,4 \text{ мм.}$$

Оскільки в реальних ґрунтово-кліматичних умовах експлуатація чизельного плуга часто відбувається за ускладнених обставин – наприклад, при великій кількості рослинних решток попередника на поверхні поля, що можуть намотуватися на стояки, підвищеній вологості та щільності ґрунту, а також при глибині обробітку, що перевищує 400 мм – доцільно збільшити міжрядну відстань між лапами ґрунтообробного агрегату до $L = 1100$ мм.

У результаті проведених розрахунків були визначені ключові конструктивні характеристики чизельного плуга, робочі органи якого оснащені прямими стояками. З урахуванням тягових можливостей трактора, з яким агрегатується знаряддя, та питомого опору оброблюваного ґрунту,

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

робочу ширину захвату глибокорозпушувача можна обґрунтувати за допомогою наступного співвідношення:

$$B_{\text{чп}} = \frac{\eta \cdot P_{\text{тр}}}{q_{\text{сп}}},$$

де $B_{\text{чп}}$ – розрахункова ширина захвату ґрунтообробного агрегату, в даному випадку – чизельного плуга, м;

η – зведений коефіцієнт, що визначає на скільки ефективно використовується тягове зусилля трактора, враховуючи операцію глибокого безполицевого обробітку ґрунту, прийmemo $\eta = 0,85 \dots 0,9$;

$P_{\text{тр}}$ – тягове зусилля трактора, що враховуючи інформацію [7] під час чизельного обробітку ґрунту енергозасобом, що відноситься до тягового класу 3 і його швидкість роботи є не більшою за 9,0 км/год, тягове зусилля трактора рівне $P_{\text{тр}} = 29$ кН;

$q_{\text{сп}}$ – величина питомого опору ґрунту, що припадає на метр ширини захвату чизельного плуга за умови врахування опору і додаткових робочих органів, керуючись [9] для подібного чизельного плуга із достатньою для розрахунків точністю прийmemo $q = 5,2$ кН/м.

Знову після підстановки наведених цифрових значень, проведемо розрахунок і отримаємо розрахункову ширину захвату чизельного плуга, що дорівнює:

$$B_{\text{чп}} = \frac{0,9 \cdot 29}{5,2} = \frac{26,1}{5,2} = 5,02 \text{ м.}$$

Слід відзначити, що реальна робоча ширина захвату ґрунтообробного агрегату, яка забезпечує суцільний обробіток поверхні поля, дещо менша за номінальну. Її значення узгоджується з раніше визначеною відстанню між слідами робочих органів і становить приблизно $B_{\text{чп}} = 4,5$ м. Для забезпечення ефективного функціонування агрегату робочі органи (чизельні лапи) слід розміщувати на рамі в кілька рядів, в нашому випадку – в два ряди. Далі

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

виконаємо розрахунок загальної кількості чизельних лап, які необхідні для досягнення заданої ширини захвату агрегату. Для цього скористаємося формулою:

$$n_{\text{лап}} = \frac{B_{\text{чп}}}{B},$$

де $n_{\text{лап}}$ – загальна кількість чизельних лап на агрегаті для безполицевого обробітку ґрунту, виходячи із необхідної ширини захвату чизельного плуга, шт;

$B_{\text{чп}}$ – паспортна ширина захвату агрегату для безполицевого обробітку ґрунту, для чизельного плуга ПЧ-4,5 – $B_{\text{чп}} = 4500$ мм;

B – робоча ширина захвату основного робочого органу (рис. 2), в даному випадку – чизельної лапи, виходячи із умови забезпечення необхідної глибини рихлення ґрунту, мм.

Підставивши наведені величини і провівши розрахунки отримаємо:

$$n_{\text{лап}} = \frac{4500}{500} = 9 \text{ шт.}$$

Отже, встановлення на рамі чизельного плуга 9 лап призведе до фактичного збільшення ширини захвату ґрунтообробного агрегату порівняно з паспортними та розрахунковими даними. Однак, зважаючи на необхідність забезпечення перекриття між сусідніми проходами агрегату, саме 9 лап з прямим стояком здатні забезпечити глибоке розпушування ґрунту на глибину до 40 см і повністю забезпечать паспортну ширину захвату чизельного плуга на рівні 4,5 м.

Визначення параметрів опорного колеса чизельного плуга ПЧ-4,5

Відомо, що питання ущільнення ґрунту колесами сільськогосподарської техніки і енергозасобів є важливим і актуальним, оскільки дія рушіїв машин і знарядь на землю призводить до порушення структури родючого шару, що сприяє значному зниженню природної родючості ґрунту. Одним із ключових аспектів проектування та

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

удосконалення сільськогосподарських машин є мінімізація тиску, який здійснюють колеса сільськогосподарської техніки на поверхню ґрунту. Сучасні тенденції свідчать, що використання пневматичних шин дозволяє збільшити площу контакту колеса з ґрунтом, що, у свою чергу, знижує тяговий опір, оскільки пневматичні шини забезпечують меншу глибину колії при тих самих інших умовах роботи. Відомо також, що пневматичні шини значно зменшують динамічні навантаження на весь агрегат, що робить їх використання в якості опорних коліс ґрунтообробних машин, таких як плуг чизельний ПЧ-4,5, цілком обґрунтованим.

Під час експлуатації сільськогосподарської техніки в полі важливим завданням є зменшення глибини колії, яка утворюється внаслідок перекочування колеса по поверхні поля. Це досягається шляхом збільшення ширини $B_{ш}$ та діаметра шини $D_{ш}$. Важливо зазначити, що більший діаметр і ширина колеса ведуть до збільшення його ваги, тому при виборі параметрів колеса слід знаходити оптимальний баланс між мінімізацією тиску на ґрунт, зниженням опору перекочування та забезпеченням максимальної ефективності за мінімальної ваги та розмірів самого колеса. Для визначення тягового опору колеса можна скористатися відомою математичною моделлю [9].

$$Q_x = 0,863 \sqrt{\frac{Q_z^4}{\rho_{zp} \cdot D_k^2 \cdot b_k}},$$

де Q_x – розрахунковий тяговий опір рушія, а фактично – сила, яка діє на колесо плуга у горизонтальній площині, кН;

Q_z – значення вертикальної сили, що діє на колесо агрегата, $Q_z = 11,6$ кН;

ρ_{zp} – коефіцієнт, що відображає опір деформації ґрунту, для обробітку чорнозему значення цього коефіцієнту складає $\rho_{zp} = 0,12$ МПа;

D_k – дійсний діаметр колеса ґрунтообробного агрегату, м;

b_k – ширина колеса чизельного плуга, м.

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

Для визначення та оцінки геометричних параметрів колеса, зокрема його діаметра і ширини, а також для дослідження того, як ці характеристики впливають на загальні умови функціонування колеса, необхідно застосувати коефіцієнт опору перекочування, що відображає фізичний зміст наступним чином:

$$\mu_{нк} = \frac{Q_x}{Q_z}.$$

Враховуючи відомий вираз, який відображає коефіцієнт опору перекочування колеса, формулу, що описує тяговий опір рушія можна записати у наступному виді:

$$\frac{Q_x}{Q_z} = 0,863 \sqrt[3]{\frac{Q_z^4}{\rho_{zp} \cdot D_k^2 \cdot b_k}}.$$

Крім цього, відомо, що коефіцієнт опору перекочування колеса сільськогосподарського агрегату може з достатньою для цього точністю визначитися із спрощеного рівняння, яке має наступний вигляд:

$$\mu_{нк} = \sqrt[3]{\frac{Q_z}{\rho_{zp} \cdot D_k^2 \cdot b_k}}.$$

Докладний аналіз представленого вище рівняння дозволяє підтвердити, що найбільший вплив на опір перекочування колеса $\mu_{нк}$ має його діаметр D_k , і його збільшення сприяє зменшенню цього опору. Ширина колеса b_k має менший вплив, хоча її збільшення також допомагає знижувати опір перекочування. Окрім параметрів колеса, на його рух по поверхні ґрунту впливає і щільність ґрунту, що враховується через коефіцієнт опору деформації ґрунту ρ_{zp} в наведеній формулі. Чим більша щільність ґрунту, тим легше колесо рухається по його поверхні. Згідно з попередніми дослідженнями [3, 4], при проектуванні коліс для ґрунтообробних машин і знарядь важливо встановити такі параметри колеса D_k та b_k , які забезпечують відповідність опору перекочування заданій нерівності $\mu_{нк} \leq 0,2$.

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

Проведемо прості математичні перетворення останньої наведеної формули і подамо роздільно параметри, які характеризують колесо чизельного плуга, отримаємо:

$$\frac{Q_z}{\mu_{нк}^3 \cdot \rho_{зр}} = D_k^2 \cdot b_k.$$

Якщо прийняти, що чизельний плуг працює на ґрунті, що є чорноземом, який характеризується коефіцієнтом опору деформації ґрунту на рівні $\rho_{зр} = 0,12$ МПа і використовуючи номограму, яка наведена в [5] є підтвердженням, що якщо коефіцієнт опору перекочування $\mu_{нк} = 0,2$ та величина вертикального зусилля, що діє на колесо складає $Q_z = 11,6$ кН, діаметр колеса для його якісної роботи повинен складати $D_k = 80$ см при ширині колеса $b_k = 22$ см. Використовуючи довідникові дані [9] такі характеристики є найближчими до шини сільськогосподарської типу 8,25-15, яка належить до моделі И-83. Зазначена сільськогосподарська шина має наступні характеристики: $b_k = 22$ см та $D_k = 83,2$ см.

Щоб комплексно перевірити вантажопідйомність обраного колеса для чизельного плуга, можемо застосувати формулу Хелла, яка в нашому випадку буде мати вигляд:

$$Q = A \cdot k \cdot P_b^{0,585} \cdot B_m^{1,39} (d_o + B_m),$$

де A і k – коефіцієнти, які є сталими і у випадку роботи опорних коліс агрегатів для безполицевого обробітку ґрунту складають $A \cdot k = 0,1445$;

P_b – величина внутрішнього тиску повітря шини ґрунтообробного агрегату, $P_b = 0,27$ МПа;

B_m – величина профілю шини сільськогосподарського агрегату (теоретична), см;

d_o – фактичний номінальний діаметр ободу рушія чизельного плуга, см.

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

З метою пошуку теоретичної ширини профілю рушія чизельного плуга B_m найбільш доцільно скористатися відомою [9] залежністю, що має вигляд:

$$B_m = \frac{B - 0,46 \cdot b}{0,713},$$

де B – ширина профілю опорного рушія чизельного плуга, за умови, що шина є повністю накачана і перебуває в працездатному стані, см;

b – значення дійсної відстані між краями обода опорного колеса плуга, см.

За аналогією як проводили вище можемо використати таблиці [9], що дозволяють комплексно пов'язувати між собою всі основні параметри шин сільськогосподарського призначення. Таким чином, у випадку роботи агрегату

для безполицевого обробітку ґрунту маємо обрати $\frac{b}{B} = 0,65$ та, відповідно

$\frac{H}{B} = 1$. Отже, з врахуванням відповідних параметрів обраної для роботи

чизельного плуга шини, відстань між краями обода колеса має становити $b = 14$ см, а висота цієї шини відповідно $H = 22$ см.

Далі можемо визначити діаметр обода опорного колеса чизельного плуга за наступною формулою:

$$d_o = D - 2H = 83,2 - 2 \cdot 22 = 39,2 \text{ см.}$$

Таким чином, підстановка всіх описаних та розрахованих величин дозволяє розрахувати теоретичну ширину профілю колеса, яке обрали для роботи ґрунтообробного агрегату. Маємо:

$$B_m = \frac{22 - 0,46 \cdot 14}{0,713} = 21,3 \text{ см.}$$

Після проведених розрахунків і обґрунтувань можемо визначити вантажопідйомність ораного нами опорного колеса чизельного плуга, яка складає:

$$Q = 0,1445 \cdot 2,7^{0,585} \cdot 21,3^{1,39} (39,2 + 21,3) = 11800 \text{ кН.}$$

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

Це значить, що розрахована вантажопідйомність колеса перевищує розраховане вертикальне навантаження $Q > Q_z$, або ж $11,8 \text{ кН} > 11,6 \text{ кН}$. Виконання цієї нерівності підтверджує, що умова, яка визначає роботоздатність опорного колеса ґрунтообробного агрегату для основного безполицевого обробітку ґрунту виконується.

Визначення кінематичних параметрів механізму регулювання глибини обробітку чизельного плуга

Механізм регулювання глибини обробітку чизельного плуга ПЧ-4,5 є багатоланковим і включає регулювальний гвинт 1 (рис. 4), обертання якого дозволяє подовжити або скоротити цю ланку. Одна зі сторін ланки 1 з'єднана шарнірно з ланкою 2, яка має форму труби квадратного перерізу. Одна її сторона надійно закріплена до опори В, а на іншій стороні встановлюється опорне колесо 3, параметри і режими роботи якого були визначені вище. Під час обертання гвинтового механізму 1 змінюється відстань S (рис. 4) між рамою чизельного плуга і поверхнею ґрунту, що й буде повністю визначати глибину обробки ґрунту агрегатом.

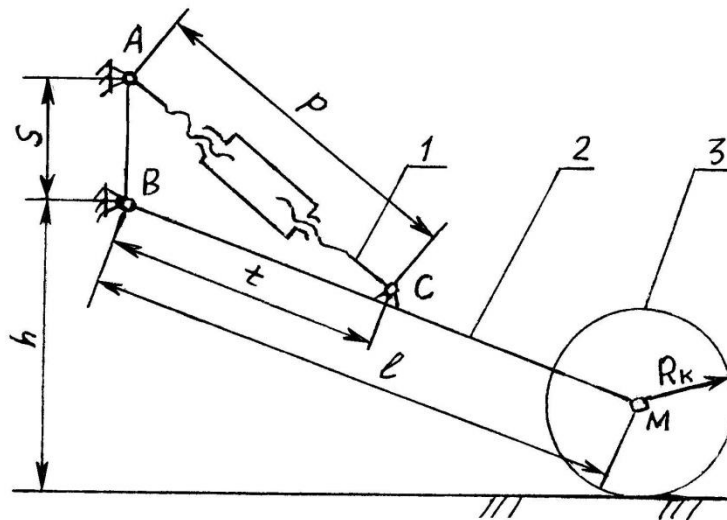


Рис. 4. Кінематична схема механізму регулювання глибини обробітку чизельним плугом:

1 – механізм гвинтовий; 2 – поводок опорного колеса агрегату; 3 – опорне колесо чизельного плуга

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

Наступний етап роботи – виведення геометричних залежностей після введення відповідних позначок окремих ланок механізму регулювання глибини обробітку чизельного плуга. Так, за рис. 4 позначимо довжину гвинтового механізму P а поводок опорного колеса позначимо через l . Далі проведемо проектування точок C і M механізму багатоважільного (рис. 4) на продовження відрізка AB , що дозволяє отримати точки Q і K , які не показані на рис. 4. Виходячи із наведених побудов можна визначити дійсні розміри зазначених ланок чизельного плуга, а саме – $AB = S = 25$ см; $BC = t = 16$ см та $BM = l = 56$ см. Зважаючи на необхідність зміни відрізка h в діапазоні значень $h_{\max} = 80$ см та $h_{\min} = 35$ см потрібно на етапі проектування забезпечити зазначений діапазон регулювань положення опорного колеса відносно поверхні поля. Отже, враховуючи той факт, що ланка механізму регулювань $AC = P$, що безпосередньо забезпечує зміну положення всієї системи та інша ланка $BK = x$ з отриманого прямокутного трикутника ACK можемо записати враховуючи теорему Піфагора таке рівняння:

$$(KC)^2 = P^2 - (x + S)^2.$$

Інший прямокутний трикутник BCK дозволяє отримати залежність, яка має вигляд:

$$(KC)^2 = t^2 - x^2.$$

Далі скористаємося тією умовою, що за рівності однієї частини рівняння можемо прирівняти їх інші частини. Це дозволяє керуючись вище наведеними рівняннями отримати такий вираз:

$$P^2 - (x + S)^2 = t^2 - x^2.$$

Після перетворень останнього рівняння та його розв'язку відносно x можемо записати:

$$x = \frac{P^2 - S^2 - t^2}{2 \cdot S}.$$

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

Скориставшись парою трикутників BMQ та BCK , які з точки зору геометрії є подібними маємо можливість отримати таку залежність:

$$BQ = l \cdot \frac{x}{t} = \frac{l \cdot (p^2 - S^2 - t^2)}{2 \cdot S \cdot t}.$$

Враховуючи те, що $h = BQ + R_k$ маємо змогу перейти до рівності у вигляді:

$$h = \frac{l \cdot (p^2 - S^2 - t^2)}{2 \cdot S \cdot t} + R_k.$$

Після перетворення останнього наведеного рівняння отримаємо таку формулу:

$$P = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot t \cdot (h - R_k)}{l} + S^2 + t^2}.$$

В останню отриману формулу можемо підставити знайдені розміри враховуючи необхідні максимальні та мінімальні довжини, що мають забезпечуватися гвинтовим механізмом. Після зазначених дій отримаємо:

$$P_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 25 \cdot 16 \cdot (80 - 41,6)}{56} + 25^2 + 16^2} = 37,8 \text{ см};$$

$$P_{\min} = \sqrt{\frac{2 \cdot 25 \cdot 16 \cdot (35 - 41,6)}{56} + 25^2 + 16^2} = 28 \text{ см}.$$

Таким чином, зазначені обґрунтування і перетворення дозволили знайти зміну довжини (розмірів) гвинтового механізму регулювання глибини обробітку, що можемо описати такою залежністю:

$$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} = 37,8 - 28 = 9,8 \text{ см}.$$

Отже, зазначені розрахунки та обґрунтування дали можливість отримати геометричні розміри механізму регулювання глибини обробітку ґрунтообробним агрегатом, зокрема ряд технологічних параметрів регулювального гвинтового механізму.

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

Силовий аналіз ґрунтообробного агрегату для безпліцевого обробітку ґрунту

У процесі розрахунку тягового опору чизельного плуга за умов блокованого розрізання ґрунту враховуються сили, що виникають при лобовому опорі R_l , а також сили, пов'язані з боковим різанням ґрунту $R_{бок}$. Оскільки внесок бокових сил у загальний опір є незначним, у даному випадку їх можна не враховувати. За таких умов загальний тяговий опір чизельного агрегату можна представити у вигляді наступного рівняння:

$$R_{ол} = R_{бок} + R_l.$$

Варто зазначити, що опір ґрунту, який виникає в бокових розширеннях під час роботи чизельної лапи пропорційний площі перерізу цих розширень. Цей опір можна визначити враховуючи рівність:

$$R_{бок} = P_{бок} \cdot K_{бок}^2 \cdot H^2 \cdot ctg \lambda_{ск},$$

де $P_{бок}$ – величина питомої сили, що потрібна для різання бокових розширень ґрунтового середовища, враховуючи те, що чизельний плуг працює в умовах чорнозему, за [7] обираємо $P_{бок} = 25$ кН/м²;

$K_{бок}$ – коефіцієнт бокового сколювання, який узгоджує глибину сколювання чизельною лапою із сумарною глибиною обробітку, що описується співвідношенням:

$$K_{бок} = \frac{H_{кр}}{H} = \frac{0,35}{0,4} = 0,875.$$

Після підстановки цифрових значень проведемо визначення опору ґрунту, який виникає під час обробки чизельною лапою бокових зон розширення. Маємо:

$$R_{бок} = 25 \cdot 0,875^2 \cdot 0,4^2 \cdot ctg 45^\circ = 25 \cdot 0,766 \cdot 0,16 \cdot 1 = 3,06 \text{ кН.}$$

Слід зазначити, що за умов так званого блокованого різання, коли відсутні вільні бокові поверхні для переміщення ґрунту, на агрегаті працюють виключно чизельні лапи, розташовані в першому ряду. Лапи наступних рядів

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

функціонують уже в умовах частково вільного або повністю вільного різання. За таких обставин опір ґрунту зменшується внаслідок перекриття зон деформацій тими лапами, які вже обробили ґрунт раніше. Нижче визначимо величину опору для чизельної лапи, яка працює в режимі частково вільного різання, для цього скористаємося формулою:

$$R_{нп.ер} = R_{ол} - m_{бок} \cdot \left(H - \frac{(B - b_{ол}) \cdot \operatorname{tg} \lambda_{ск}}{2 \cdot K_{бок}} \right)^2,$$

де $m_{бок}$ – сила різання необробленого ґрунту (питома) у зонах де мають місце розширення зон деформацій, $m_{бок} = 8 \text{ кН/м}^2$;

H – фактична глибина безполицевого обробітку ґрунту чизельним плугом,
 $H = 0,4 \text{ м}$;

B – відстань, з якою сусідні робочі органи розміщені один відносно іншого,
 $B = 0,5 \text{ м}$;

$b_{ол}$ – дійсна ширина долота чизельної лапи ґрунтообробного агрегату,
 $b_{ол} = 0,06 \text{ м}$;

$\lambda_{ск}$ – кут із яким відбувається сколювання ґрунту в різні боки від стояка лапи, $\lambda_{ск} \approx 45^\circ$.

Після підстановки наведених величин отримаємо:

$$R_{нп.ер} = 3,06 - 8 \cdot \left(0,4 - \frac{(0,5 - 0,06) \cdot \operatorname{tg} 45^\circ}{2 \cdot 0,875} \right)^2 = 3,06 - 8 \cdot \left(0,4 - \frac{0,44}{1,75} \right)^2 = 2,88 \text{ кН.}$$

З метою визначення величини опору вільного різання лапою скористаємося відомою залежністю, яка має вигляд:

$$R_{ер} = R_{ол} - 2 \cdot m_{бок} \cdot \left(H - \frac{(B - b_{ол}) \cdot \operatorname{tg} \lambda_{ск}}{2 \cdot K_{бок}} \right)^2.$$

Після підстановки цифрових значень, описаних вище отримаємо:

$$R_{ер} = 3,06 - 2 \cdot 8 \cdot \left(0,4 - \frac{(0,5 - 0,06) \cdot \operatorname{tg} 45^\circ}{2 \cdot 0,875} \right)^2 = 2,7 \text{ кН.}$$

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

У конструкції чизельного плуга ПЧ-4,5 передбачено дев'ять робочих органів – чизельних лап. З них три, розташовані в передньому ряду, які функціонують в умовах блокованого різання. Чотири лапи, встановлені у другому ряду, працюють за умов напіввільного різання, а дві останні – в режимі вільного різання. Виходячи з цього, сумарний тяговий опір агрегату визначається як сукупність опорів лап, що працюють у різних режимах різання. Цей опір можна визначити за формулою:

$$R_n = 3R_{bl} + 4R_{нп.ер.} + 2R_{ер} = 3 \cdot 3,06 + 4 \cdot 2,88 + 2 \cdot 2,7 = 9,18 + 11,52 + 5,4 = 26,1 \text{ кН.}$$

У процесі визначення тягового опору чизельного плуга була розрахована горизонтальна компонента сили опору R_x (рис. 5). Її граничне значення відповідає максимальній величині опору ґрунту, що виникає під час блокованого різання чизельним робочим органом. У загальному вигляді це виражається таким чином:

$$R_x = R_{bl}.$$

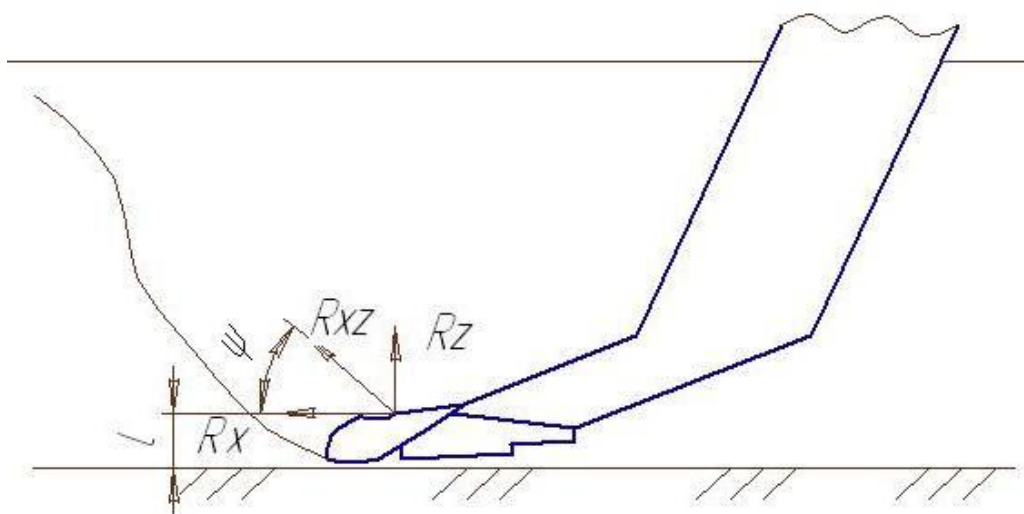


Рис. 5. Схема до визначення силових навантажень під час обробітку ґрунту чизельною лапою

На основі аналізу силового трикутника (рис. 5) можна зробити висновок, що результуюча сила R_{xz} , яка прикладена до робочого органу, нахилена відносно горизонтальної площини дна борозни на кут, що відповідає фронтальному куту сколювання ґрунту ψ . Зазначимо, що точка дії цієї сили

розташована на певній відстані l від ріжучої кромки (леза) долота. Практичні дослідження свідчать, що за глибини обробітку ґрунту чизельною лапою, що становить $H = 400$ мм, та при фронтальному куті сколювання ґрунтових монолітів $\psi = 17...19^\circ$, точка прикладання сили зміщується від переднього краю долота на величину, приблизно рівну $l = 140$ мм.

Щоб визначити величину результуючої сили, скористаємося графічним методом аналізу – за даними силового трикутника випливає, що ця сила знаходиться як:

$$R_{xz} = \frac{R_x}{\cos\psi} = \frac{3,06}{\cos 19^\circ} = \frac{3,06}{0,946} = 3,23 \text{ кН.}$$

Далі можемо визначити реакцію R_z , використовуючи залежність:

$$R_z = R_x \cdot \operatorname{tg}\psi = 3,06 \cdot \operatorname{tg} 19^\circ = 3,06 \cdot 0,344 = 1,05 \text{ кН.}$$

Проаналізувавши силові навантаження, які впливають на робочі елементи чизельного плуга, можемо здійснити обґрунтований підбір трактора, з яким ґрунтообробний агрегат функціонуватиме з оптимальним навантаженням на двигун. Відомо, що для досягнення ефективної взаємодії чизельного плуга із енергозасобом під час експлуатації подібного обладнання необхідно дотримуватися умови:

$$P_{mp} = (1,1...1,2) \cdot P_{чп},$$

де P_{mp} – сила тяги енергетичного засобу, яку він розвиває під час виконання польових робіт, кН;

$P_{чп}$ – величина тягового опору ґрунтообробного агрегату, в даному випадку – чизельного плуга, кН.

Після підстановки розрахованих раніше величин тягового опору плуга чизельного отримаємо:

$$P_{mp} = 1,2 \cdot 26,1 = 30,32 \text{ кН.}$$

Таким чином, керуючись довідниковими даними очевидно, що при робочій швидкості трактора Т-150К на рівні $V_{mp} = 8,98$ км/год енергозасіб

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

розвиває тягове зусилля, що складає $P_{mp} = 32$ кН, що й підтверджує доцільність використання саме такого агрегату та відповідного швидкісного режиму для проведення операцій безполицевого глибокого обробітку ґрунту чизельним плугом ПЧ-4,5.

Розрахунок на міцність деяких елементів чизельного плуга

Однією з головних складових конструкції, що забезпечує можливість регулювання глибини обробітку ґрунту чизельним ґрунтообробним агрегатом, є механізм налаштування глибини обробітку. У випадку чизельного плуга ПЧ-4,5 ця функція реалізована за допомогою класичного гвинтового механізму, який складається із гвинтів з лівою та правою різьбою і центральної з'єднувальної муфти. Для забезпечення стабільної роботи та тривалого строку експлуатації даного механізму достатньо виконати розрахунок міцності однієї гвинтової пари. Зважаючи на значні навантаження, що виникають під час регулювання, обирається трапецієподібний профіль різьби, а в якості матеріалу для виготовлення гвинта та гайки використовується матеріал Сталь 35.

Для визначення внутрішнього діаметра гвинта застосовується загальноприйняте співвідношення [11], яке враховує напруження в матеріалі елемента під дією осьового зусилля та крутного моменту, що виникає під час обертання гайки. Це у символічному вигляді має форму нерівності:

$$\sigma_p = \sigma_e = \frac{1,3 \cdot 4 \cdot F}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma_p],$$

де F – величина осьового зусилля, яке виникає у гвинті механізму регулювання глибини, враховуючи результати силового розрахунку, приймемо $F = 16000$ Н;

d_1 – фактичний внутрішній діаметр різьбового з'єднання механізму регулювання глибини обробітку, м;

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

$[\sigma_p]$ – максимально допустиме напруження, що обов’язково враховує матеріал виготовлення гвинта механізму регулювання, з врахуванням того, що гвинт виготовляється із Сталі 35 можемо записати, що допустиме напруження становить $[\sigma_p] = 70$ МПа.

На основні раніше наведеної умови міцності є можливість провести розрахунок мінімального діаметру різьби для забезпечення працездатності механізму регулювання глибини обробітку. Провівши перетворення умови міцності отримаємо:

$$d_1 = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4 \cdot 16000}{3,14 \cdot 70}} = \sqrt{\frac{83200}{219,8}} = 19,45 \text{ мм.}$$

Практично виконуючи умову в необхідності для подібних механізмів використовувати трапецеїдальну форму різьби за [11] оберемо стандартну різьбу, що характеризується такими параметрами: : $d = 26$ мм; $d_1 = 21$ мм; $d_2 = 23,5$ мм; $\alpha = 30^\circ$ та $P = 5$ мм.

З ціллю забезпечення зносостійкості даного механізму регулювання глибини знайдемо тиск, який виникає під час роботи на поверхні гвинта. Цей тиск можна розрахувати використовуючи формулу:

$$g = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot z} \leq [g],$$

де F – зусилля по осі, яке розраховано вище і виникає у гвинтовому механізмі регулювання глибини обробки, Н;

d – величина зовнішнього діаметру гвинта, мм;

z – загальна кількість витків різьби (повних), які виготовлено на гайці механізму регулювання глибини обробітку, од;

$[g]$ – величина максимально допустимого тиску, що може виникати у різьбовому з’єднанні, МПа.

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

Використовуючи останню нерівність розрахуємо необхідну кількість витків у гайці механізму регулювання, щоб забезпечити його працездатність. Отримаємо:

$$z = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (d^2 - d_1^2) \cdot [g]} = \frac{4 \cdot 16000}{3,14 \cdot (26^2 - 21^2) \cdot 8} = \frac{64000}{5903,2} \approx 11 \text{ витків.}$$

Знайдена кількість витків гайки виявилася більшою за допустиму з точки зору рівномірного розподілу осьових навантажень. Тому, щоб гарантувати належну зносостійкість, необхідно збільшити діаметр різьби у механізмі регулювання глибини обробітку ґрунтообробного агрегату. Відповідно до [11], обираємо наступну більшу різьбу, що характеризується наступними параметрами: $d = 30$ мм; $d_1 = 24$ мм; $d_2 = 27$ мм; $\alpha = 30^\circ$ та $P = 6$ мм.

Виконаємо перевірочний розрахунок кількості витків для обраної різьби з більшим діаметром, використовуючи наступне співвідношення:

$$z = \frac{4 \cdot 16000}{3,14 \cdot (30^2 - 24^2) \cdot 8} = \frac{64000}{8138,88} = 7,86 \approx 8.$$

Таким чином, розрахована кількість повних витків різьби даного механізму є допустимою, що підтверджує вірність її підбору. Враховуючи це маємо змогу знайти розрахункову висоту гайки механізму регулювання глибини обробітку, скориставшись для цього залежністю:

$$H_z = z \cdot P,$$

де z – знайдена за попередньою формулою сумарна кількість повних витків різьбового з'єднання механізму регулювання глибини обробітку ґрунтообробним агрегатом, од;

P – прийнятий стандартний крок різьби, із яким виготовляється механізм зміни глибини чизельного плуга, мм.

Після підстановки знайдених і обґрунтованих вище значень, отримаємо:

$$H_z = 8 \cdot 6 = 48 \text{ мм.}$$

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

З метою гарантування необхідного рівня міцності гайки на розтяг у гвинтовому механізмі, що відповідає за регулювання глибини обробітку чизельного плуга, виконується розрахунок зовнішнього діаметра гайки, який визначається за наступною формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma_p]} + d^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16000}{3,14 \cdot 70} + 30^2} = \sqrt{\frac{64000}{219,8} + 900} \approx 34 \text{ мм.}$$

Знайдемо момент тертя, який виникає в різьбі механізму регулювання глибини чизельного плуга скориставшись для цього відомою залежністю:

$$T_p = F \cdot \frac{d^2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\chi + \rho'),$$

де χ – величина кута підймання середньої гвинтової лінії різьби механізму зміни глибини чизельного плуга, град;

ρ' – приведений кут тертя для обраного різьбового з'єднання, град.

Щоб визначити наведені вище кути скористаємося відомими залежностями:

$$\chi = \operatorname{arctg}\left(\frac{P}{\pi \cdot \alpha_2}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{6}{3,14 \cdot 27}\right) = 4^\circ;$$

$$\rho' = \operatorname{arctg}\left(\frac{f}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}\right),$$

де f – коефіцієнт тертя, що виникає у різьбі механізму чизельного плуга,
 $f = 0,15$;

α – величина кута нахилу робочого профілю різьби механізму зміни глибини обробітку, $\alpha = 30^\circ$.

Підставивши цифрові значення отримаємо:

$$\rho' = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,15}{\cos\left(\frac{30^\circ}{2}\right)}\right) = 8^\circ 48'.$$

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

Враховуючи проведені розрахунки, знайдений момент тертя у різьбі механізму регулювання глибини чизельного плуга дорівнює:

$$T_p = \frac{16000 \cdot 0,027}{2} \cdot \operatorname{tg}(4^\circ + 8^\circ 48') = 216 \cdot 0,221 = 47,74 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Враховуючи обчислений вище момент тертя у різьбі, визначимо необхідну довжину рукоятки для зручного керування механізмом регулювання глибини обробітку чизельного плуга. Розрахунок довжини ручки здійснюється за співвідношенням між моментом тертя у різьбі та прикладеним зусиллям:

$$l = \frac{T_p}{F_p},$$

де T_p – момент тертя, що виникає у різьбі механізму зміни глибини обробітку чизельним плугом, Н·м;

F_p – сила, яка прикладається робітником до ручки механізму регулювання глибини обробітку, Н.

Після підстановки цифрових значень, описаних вище отримаємо:

$$l = \frac{47,74}{300} = 0,159 \text{ м}.$$

Таким чином проведені розрахунки дозволяють для зручної роботи зазначеного механізму регулювання глибини оброти ручки, довжина якої становить $l = 160$ мм.

Проведемо розрахунок діаметру ручки регулювання механізму зміни глибини обробітку чизельним плугом виходячи із умови її міцності на згин. Ця умова міцності має вигляд:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{F_p \cdot l}{0,1 \cdot [\sigma_n]}},$$

де $[\sigma_n]$ – виходячи із матеріалу виготовлення регулювальної ручки допустиме напруження на її згин. Так як матеріал виготовлення регулювальної ручки є Сталь 3 навантаження на згин складає $[\sigma_n] = 120$ МПа.

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

Враховуючи наведені величини розрахуємо величину діаметру цієї ручки

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{300 \cdot 160}{0,1 \cdot 120}} = \sqrt[3]{\frac{48000}{12}} = \sqrt[3]{4000} = 15,87 \text{ мм.}$$

Таким чином, для нормальної роботи механізму регулювання глибини обробітку приймемо діаметр ручки $d_p = 16$ мм.

У результаті проведених інженерних розрахунків були визначені основні параметри гвинтового механізму, який відповідає за регулювання глибини обробітку чизельного плуга моделі ПЧ-4,5.

Одним із основних конструктивних елементів чизельного плуга, який безпосередньо взаємодіє з ґрунтом і виконує основну роботу є чизельна лапа агрегату. Щоб гарантувати її надійність і тривалу експлуатацію, необхідно провести розрахунок на міцність стояка цієї лапи. Зокрема, потрібно перевірити здатність стояка протистояти згинальному моменту у найкритичнішому перерізі.

Зрозуміло, що найбільше згинальне навантаження припадає на ділянку між носком стояка та місцем його кріплення до рами – тобто на всю висоту чизельної лапи (рис. 6). З урахуванням наведеної розрахункової схеми визначаємо висоту лапи та довжину плеча дії сили, які становлять відповідно $H' = 0,75$ м та $h = 0,85$ м. Найвищий згинальний момент виникає в перерізі А–А (рис. 6) під дією результуючої сили, значення якої, $R_{xz} = 3,23$ кН, було обчислено раніше. Сам згинальний момент у цьому перерізі розраховується за формулою:

$$M_a = R_{xz} \cdot h = 3,23 \cdot 0,85 = 2,75 \text{ кН} \times \text{м.}$$

Розрахуємо момент опору в найбільш навантаженому перерізі стояка чизельної лапи – перерізі А-А (рис. 7). Для визначення моменту інерції даного перерізу, що має форму прямокутника, відносно осі, яка проходить через центр ваги цього прямокутного поперечного перерізу, скористаємося наступною формулою:

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

$$I_{Z_1} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{3 \cdot 24^3}{12} = 3456 \text{ см}^4.$$

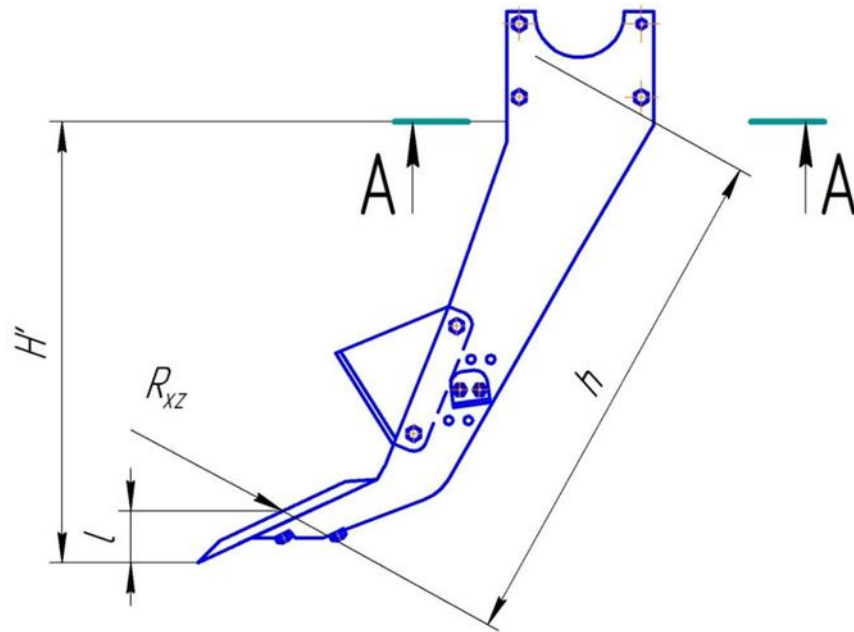


Рис. 6. Розрахункова схема до розрахунку на міцність стояка чизельної лапи

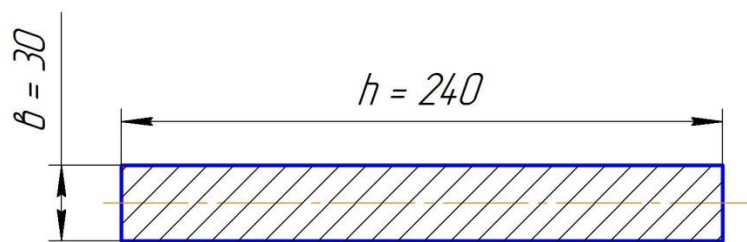


Рис. 7. Характерні розміри зрізу стояка чизельної лапи ґрунтообробного агрегату для безполицевого обробітку

Розрахуємо загальну площу перерізу стояка чизельної лапи за формулою:

$$F_{np} = b \cdot h = 3 \cdot 24 = 72 \text{ см}^2.$$

Використовуючи положення опору матеріалів визначимо статистичний момент за загальновідомою формулою, який виникає у системі координат XZ_1

$$S_{Z_1} = F_{np} \cdot x_{np} + F_{кр} \cdot x_{кр} = 72 \cdot 0 + 7,1 \cdot (12 + 1,5) = 95,8 \text{ см}^3.$$

Визначимо величину абсиси центру тяжіння зазначеного небезпечного перерізу чизельної лапи

$$x_c = a_1 = \frac{S_z}{F} = \frac{S_t}{F_{np} + F_{кр}} = \frac{95,8}{72 + 7,1} = 1,21 \text{ см.}$$

Слід зауважити, що нейтральна вісь стояка Z у даній ситуації проходить через центр ваги критичного перерізу. Для визначення головного моменту інерції, який виникає в цьому перерізі відносно зазначеної осі, скористаємося наступним аналітичним виразом:

$$I_Z = I_{Z_1} + a_1^2 \cdot F_{np} + I_{Z_2} + a_2^2 \cdot F_{кр} = \\ 3456 + 1,21^2 \cdot 72 + 4 + (12 + 1,5 - 1,21)^2 \cdot 7,1 = 4633 \text{ см}^4.$$

Розрахуємо абсциси крайніх точок на перерізу стояку чизельної лапи у небезпечному його перерізі взявши при цьому розміри керуючись рис. 7:

$$x_A = \frac{h}{2} + a_1 = 12 + 1,21 = 13,21 \text{ см}; \\ x_B = \frac{h}{2} + b - a_1 = 12 + 3 - 1,21 = 13,79 \text{ см.}$$

Оскільки після розрахунків стає очевидним, що справджується наступна нерівність $x_B > x_A$ маємо знайти осьовий момент опору враховуючи максимальне значення $x_{\max} = x_B = 13,79 \text{ см}$.

Скориставшись відомою залежністю та підставивши відповідні значення отримаємо:

$$W_{Z \min} = \frac{I_z}{x_{\max}} = \frac{4633}{13,79} = 335,97 \text{ см}^3.$$

Наступний етап роботи – визначення нормального напруження в небезпечному перерізі стояка, що виникає в крайній його точці B . Для цього розрахунку скористаємося відомою формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_a}{W_{Z \min}} = \frac{2750}{335,97 \cdot 10^{-6}} = 81,85 \cdot 10^6 \text{ Па} = 81,85 \text{ МПа.}$$

Згідно з довідковими джерелами [12], для стояка, виготовленого зі сталі марки 45, за умов згину та пульсуючого навантаження допускається напруження, що становить $[\sigma] = 125 \text{ МПа}$. Порівнявши це значення з напруженням, визначеним у найбільш небезпечному перерізі конструкції,

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

можемо сформулювати наступну нерівність: $\sigma_{\max} < [\sigma]$. Отриманий результат свідчить про те, що міцність стояка чизельної лапи задовольняє необхідним вимогам експлуатаційної надійності.

Короткі висновки по розділу

У ході виконання конструкторської частини кваліфікаційної роботи було здійснено вдосконалення конструкції чизельного плуга ПЧ-4,5 шляхом розробки його функціональної схеми, механізму регулювання глибини обробітку та нової геометрії долота, що дозволяє покращити техніко-експлуатаційні характеристики агрегату. Проведений аналіз конструкційних елементів дав змогу визначити критичні зони навантаження на робочі органи та обґрунтувати доцільність внесення змін у конструкцію чизельного плуга та долота з урахуванням напруженого стану та експлуатаційних навантажень.

Під час розрахунків було обґрунтовано параметри силових дій на лапу та визначено величину згинального моменту у небезпечному перерізі стояка, що дозволило провести перевірку елементів на міцність. Матеріалом для виготовлення основних елементів конструкції було обрано Сталь 45, що відповідає необхідним показникам міцності та зносостійкості при умовах змінного навантаження. Також здійснено перевірку напружень у різьбовому механізмі регулювання глибини обробітку, проведено підбір відповідних параметрів гвинтової пари та визначено розміри рукоятки для зручного керування.

Результати розрахунків підтвердили працездатність запропонованої конструкції за критеріями міцності, функціональності та експлуатаційної надійності. Запропоноване вдосконалення дозволяє підвищити ефективність ґрунтообробних робіт за рахунок зменшення тягового опору та покращення якості обробітку ґрунту. Таким чином, оновлена конструкція долота чизельного плуга ПЧ може бути рекомендована для впровадження у серійне виробництво та подальше використання в агротехнічній практиці.

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

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Ефективна та безпечна експлуатація сільськогосподарської техніки, зокрема плуга чизельного ПЧ-4,5, є невід'ємною складовою виробничого процесу в агропромисловому комплексі. Однак, робота з такими агрегатами несе в собі значний перелік потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть впливати на механізатора та навколишнє середовище. Розуміння цих ризиків та вживання заходів по їх усуненню є основою для розробки ефективних заходів із запобігання травматизму та професійним захворюванням.

До фізичних небезпечних та шкідливих факторів, що супроводжують роботу чизельного плуга, належать:

- Рухомі частини агрегату та його переміщення. Це створює ризик затягування, ударів та наїздів, особливо під час агрегування, маневрування або обслуговування.
- Підвищений рівень шуму та вібрації. Тривалий вплив цих факторів може призвести до порушень слуху, вібраційної хвороби, втоми та зниження концентрації уваги.
- Підвищена запиленість робочої зони. Обробка ґрунту обов'язково супроводжується утворенням пилу, який містить мінеральні частинки, мікроорганізми, агрохімікати. Вдихання такого пилу може викликати захворювання дихальних шляхів.
- Неприятливі мікрокліматичні умови. Це включає відхилення від нормативних температур, надмірну чи недостатню вологість повітря, високу швидкість руху повітряних мас. Ці умови можуть призводити до перегріву, переохолодження, зневоднення та загального погіршення самопочуття механізатора.

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

- Недостатнє або невідповідне освітлення. Особливо актуально при роботі в сутінках або вночі, що підвищує ризик помилок під час роботи та травм.
- Наявність гострих кромek, виступаючих елементів, задирок та підвищена шорсткість поверхонь. Це може призвести до порізів та саден при контакті з ґрунтообробним агрегатом.
- Розташування робочого місця та зон обслуговування на значній висоті. Обслуговування або регулювання деяких частин агрегату може вимагати роботи на висоті, створюючи ризик падіння.
- Підвищена пожежонебезпека. Робота двигуна трактора, можливі витoki паливно-мастильних матеріалів, тертя рухомих частин можуть стати джерелом займання.

До хімічних небезпечних та шкідливих факторів відносять:

Контакт працюючих із агрохімікатами, відпрацьованими газами двигуна трактора та хімічними речовинами у складі пилу. Ці речовини можуть викликати подразнення шкіри та слизових оболонок, алергічні реакції, інтоксикації, а у довгостроковій перспективі – впливати на репродуктивну функцію чи спричинити інші системні захворювання.

Психофізіологічні шкідливі фактори виникають внаслідок особливостей трудової діяльності:

- Нервово-психічні перевантаження. Монотонність і циклічність виконуваних операцій, необхідність постійної концентрації уваги, швидке прийняття рішень, а також стрес від можливих аварійних ситуацій можуть призводити до психологічного виснаження.
- Фізичні перевантаження. Динамічні (пов'язані з переміщенням тіла) та статичні (пов'язані з підтримкою певної пози) навантаження під час керування трактором та обслуговування агрегату можуть призводити до втоми, болю в м'язах та опорно-руховому апараті.

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

*Заходи щодо забезпечення безпеки праці при експлуатації та удосконаленні
чизельного плуга ПЧ-4,5*

Для мінімізації впливу зазначених вище факторів, а також у контексті удосконалення чизельного плуга ПЧ-4,5, необхідно впроваджувати комплексні заходи з охорони праці.

Організаційні та технічні заходи:

Належний стан технічного обслуговування: Регулярний технічний огляд та обслуговування агрегату, своєчасна заміна зношених деталей, перевірка кріплень та налаштувань є ключовими для запобігання аваріям.

Безпека гідравлічної системи: Гідропривід повинен повністю відповідати чинним вимогам стандарту. Особлива увага має приділятися підключенню гідросистеми чизельного плуга до трактора за допомогою виключно розривних муфт, що запобігають розливу мастила при з'єднанні/роз'єднанні та під час роботи.

Керування та огляд: Усі регулювання агрегату під час роботи в полі повинні здійснюватися з кабіни трактора. Конструкція скомплектованого агрегату не повинна перешкоджати вільному огляду з місця керування, особливо щодо елементів, що потребують постійного контролю.

Доступність та ергономіка: Для забезпечення безпечного та зручного доступу механізатора до механізмів регулювання та під час обслуговування чизельного плуга, в конструкції мають бути передбачені спеціальні поручні та підніжки. Зусилля, необхідні для роботи з поручнями, ручками та механізмами регулювання глибини, не повинні перевищувати 200 Н.

Захист робочого місця механізатора: Кабіна трактора повинна забезпечувати надійний захист оператора від бруду, пилу, вібрацій, шуму та інших несприятливих виробничих чинників. Використання систем фільтрації повітря, шумо- та віброізоляції є обов'язковим.

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

Комплектація та інструмент: Агрегат повинен бути укомплектований необхідним додатковим обладнанням та інструментом для безпечного та ефективного очищення робочих органів від ґрунту та рослинних залишків.

Можливість самостійного агрегування: Конструкція чизельного плуга повинна дозволяти його комплектування одним механізатором без залучення помічників, що знижує ризик травматизму, пов'язаного з колективними діями.

Удосконалення долота та його вплив на безпеку:

Розробка нового долота для чизельного плуга ПЧ-4,5 може позитивно вплинути на безпеку праці. Наприклад, якщо удосконалене долото забезпечує:

Зменшення опору ґрунту: Це може знизити навантаження на трансмісію трактора, зменшити вібрації та шум, а також сприяти економії пального, що опосередковано впливає на зниження ризиків.

Підвищену зносостійкість: Зменшується частота заміни робочих органів, що знижує ризик травм під час обслуговування.

Покращену якість обробітку: Рівномірніший обробіток ґрунту може зменшити кількість проходів, що в свою чергу мінімізує час перебування механізатора в умовах впливу шкідливих факторів.

Спрощений монтаж/демонтаж: Якщо конструкція нового долота передбачає більш легку та безпечну процедуру його заміни, це прямо впливає на зниження травматизму під час обслуговування.

Загальні вимоги: Скомплектований агрегат для безполицевого обробітку ґрунту, що включає удосконалене долото, повинен повністю відповідати чинним вимогам до охорони праці, техніки безпеки та пожежної безпеки, що висувуються до сільськогосподарських машин загального призначення. Дотримання цих принципів гарантує створення безпечного та ефективного робочого середовища.

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

6. ВИСНОВОК

Виконання кваліфікаційної роботи підтвердило доцільність практичного впровадження глибокого безполицевого розпушування для основного обробітку ґрунту, при цьому ефективним інструментом є чизельний плуг ПЧ-4,5, особливо після внесення у його конструкцію відповідних удосконалень.

Серед основних недоліків серійної моделі плуга ПЧ-4,5, визначених на основі протоколів випробувань та відгуків користувачів, слід відзначити підвищений тяговий опір та недостатню якість подрібнення ґрунту при роботі в складних експлуатаційних умовах.

У процесі виконання конструкторської частини кваліфікаційної роботи було проведено удосконалення чизельного плуга ПЧ-4,5 шляхом розробки його функціональної схеми, механізму регулювання глибини обробітку та впровадження нової геометрії долота. Це дозволило значно покращити технічні та експлуатаційні характеристики агрегату. Детальний аналіз конструкційних елементів допоміг виявити найбільш навантажені ділянки робочих органів, що зумовило обґрунтування необхідності внесення змін до конструкції плуга та долота з урахуванням напруженого стану та реальних умов експлуатації.

Проведені розрахунки силових впливів на лапу чизельного плуга дали змогу визначити згинальний момент у критичному перерізі стояка та провести перевірку елементів на міцність. Для виготовлення основних деталей було обрано Сталь 45, що відповідає вимогам міцності та зносостійкості при дії змінних навантажень. Крім того, здійснено аналіз напружень у різьбовому механізмі регулювання глибини обробітку, підібрано оптимальні параметри гвинтової пари та розраховано розміри рукоятки для забезпечення комфортного керування механізмом.

Отримані результати підтвердили надійність запропонованої конструкції з позицій міцності, функціональності та експлуатаційної

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

придатності. Запропоновані вдосконалення сприятимуть підвищенню ефективності ґрунтообробних робіт за рахунок зменшення тягового опору та поліпшення якості обробітку ґрунту. Відповідно, оновлена конструкція долота чизельного плуга ПЧ-4,5 може бути рекомендована для серійного виробництва та подальшого впровадження у агровиробництво.

Розроблені заходи з охорони праці, які впроваджені для запобігання впливу шкідливих і небезпечних факторів під час експлуатації модернізованого ґрунтообробного агрегату.

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

10. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.
11. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машина для обробітку ґрунту та сівби. – МінАПК України, Дослідницьке, 2009. – 288 с.
12. Кочев В.І., Кушнарьов А.С., Роговий В.Д. та ін. Довідник по регулюванню сільськогосподарських машини / За ред. В.І.Кочева. – 2-е видання, перероблене і доповнене – К.: Урожай, 1993. – 264 с.
13. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
14. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. – Київ : Аграрна наука, 2012. – 416 с.
15. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалюка. – Київ: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
16. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. – Кіровоград, Х.: Мачулін, 2016. – 204 с.
17. Петренко М.М. Основи наукових досліджень: Навч. посібник. – Кіровоград, 1997.– 170 с.
18. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003.– 408 с.

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

ДОДАТКИ