

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”
зав. кафедрою СГМ
к.т.н., доцент
_____Сергій ЛЕЩЕНКО
“ ____ ” _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

«Удосконалення конструкції додаткових робочих органів
чизельного плуга-глибокорозпушувача»

Виконав здобувач вищої освіти __ІІ__ курсу,
групи ГМ(СМ)-21М
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
_____ Псарьов Юрій Юрійович
« ____ » _____ 20__ р.

Керівник проекту
доцент, канд.техн.наук
_____Сергій ЛЕЩЕНКО
« ____ » _____ 20__ р.
Рецензент
доцент, канд.техн.наук
_____Станіслав КАТЕРИНИЧ

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти _____
Галузь знань _____
Спеціальність _____
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЛЕЩЕНКО

«___» _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ
(МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ
ОСВІТИ**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту)

2. Керівник роботи (проекту)

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту _____

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) _____

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Дата видачі завдання

«___» _____ 20__ р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 20__ р.

Підпис здобувача

_____ (прізвище та ініціали)

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Інженерна частина	7
3. Наукова частина	39
4. Охорона праці	54
5. Економічна частина	57
6. Висновок	58
Список використаної літератури	60
Додатки	62

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

1. Вступ

В нашій аграрній державі існує постійна потреба у нарощуванні обсягів вирощування сільськогосподарської продукції. Для досягнення цієї мети потрібно інтенсифікувати технологічні процеси на кожній із ланок операційних технологій вирощування продукції рослинництва. Нарощування обсягів виробництва неминуче пов'язане не лише із підвищенням продуктивності окремих операцій, а й із поліпшенням якості проведених робіт та впровадженням в технологічні процеси ресурсозберігаючих операцій, що дозволяють скоротити витрати на вирощування готового врожаю. Варто зазначити, що крім проблеми скорочення витрат на технологічні операції досить актуальною проблемою стає питання збереження та відновлення родючості ґрунтів, що є особливо актуальним на етапі основного (першого глибокого) обробітку ґрунту.

В Україні до цих пір переважна більшість господарств основний обробіток ґрунту проводять у вигляді класичної оранки, використовуючи для цього полицеві плуги різноманітних конструкцій. Світовий досвід обробітку ґрунту доводить [2...4], що дані операції класичної оранки і є одними із найбільш затратних, а полицеві плуги, які для цього використовуються – відносяться до одних із найбільш ерозійно небезпечних знарядь. Ще однією проблемою, яка виникає під час проведення класичної оранки є поступова зміна клімату, яка у поєднанні із антропогенним фактором привела до стійкого переущільнення більшості посівних площ, утворення ущільненої підорної підшви, обезструктурення орного горизонту та загострення проявів вітрової та водної ерозій тощо.

Існують і різні технології, системне використання та впровадження яких дозволить вирішити перелічене коло проблем. Серед них – проведення основного обробітку ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур

					УЧПГ 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Псарьов			Пояснювальна записка		
Перевір.		Леценко					
Реценз.							
Н. Контр.		Мачок					
Затверд.		Леценко					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	
					ЦНТУ, гр. ГМ(СМ)-21М		

способами глибокого розпушування без обертання скиби ґрунту. Для таких операцій використовуються глибокорозпушувачі різноманітних конструкцій, чизельні знаряддя, плоскорізи, корпуси плугів із вирізними полицевими поверхнями тощо. Слід відміти, що незважаючи на значну кількість переваг безполицевих способів обробітку ґрунту та наявності широкого спектру робочих органів для реалізації таких технологій існує значна кількість недоліків і технологічних проблем, які до цих пір залишаються нерозв'язаними.

Під час роботи глибокорозпушувачів різних конструкцій, в тому числі і чизельних, складно досягти вирівняної денної поверхні поля. Існують значні складності із розстановкою та конструкцією основних робочих органів, створюють значні проблеми органічні чи мінеральні добрива та рослинні рештки, що залишаються на поверхні поля після збирання культури-попередника, а їх заробка потребує введення в конструкцію додаткових елементів. Отже, більшість існуючих досліджень та вдосконалень безполицевого обробітку направлені на вирішення переліченого кола проблем, а доцільність використання додаткових робочих органів при роботі глибокорозпушувачів, чизельних плугів та інших подібних знарядь є доведеним фактом.

Таким чином, на основі наведеної інформації можна сформулювати мету даної кваліфікаційної роботи, яка полягає в удосконаленні конструкції додаткових робочих органів чизельного плуга-глибокорозпушувача.

2. Інженерна частина

2.1. Стан питання про машину, що підлягає модернізації

Обробіток ґрунту безполицевими знаряддями знаходять все більшого поширення на полях господарств України. Для означених операцій використовуються як агрегати вітчизняного виробництва так і глибокорозпушувачі різних конструкцій закордонних виробників. Про огляд конструкцій, переваг та недоліків різних виробників піде мова в розділі 3

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

«Наукова частина» даної кваліфікаційної роботи. Загалом у фермерів нашої держави значною популярністю користується ґрунтообробний агрегат чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5. Цей плуг-глибокорозпушувач призначено для проведення глибокого безполицевого обробітку ґрунту на максимальну глибину до 40 см, при цьому загальна сумарна маса рослинних решток на поверхні поля, що обробляється не повинна перевищувати 1,0 кг/м² і максимальною довжиною цих рослинних решток до 40 см. Агрегатується плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5 із тракторами тягового класу 3...5. Такий ґрунтообробний агрегат може використовуватися в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України, а ґрунти при роботі агрегату не повинні мати питомий опір більше 6 Н/см².

Конструкція чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 потребує вдосконалення для того, щоб підвищити надійність та технологічність агрегату, універсальність основних та додаткових робочих органів, проведення адаптації конструкції розпушувача та режимів його роботи до ускладнених ґрунтово-кліматичних умов Центральної України. Основним джерелом для вдосконалення конструкції та поліпшення якісних показників роботи агрегату ПЧ-4,5 є проведення огляду та аналізу конструкцій машин аналогічного призначення, вивчення протоколів випробувань та реальних відгуків про роботу чизельних глибокорозпушувачів у дійсних ґрунтово-кліматичних умовах, та рекомендацій виробників подібної техніки – Кіровоградлітмаш Культиваторний завод ПП «Савицький М.І.», «БМ-Системс».

Основними складовими чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 (рис. 1) є V-подібна рама, механізм автонавіски, опорні колеса, механізми регулювання глибини обробітку, основні робочі органи із додатково закріпленими рушіями та додаткові робочі органи, що у переважній більшості машин виготовляються у вигляді зубчастих котків.

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

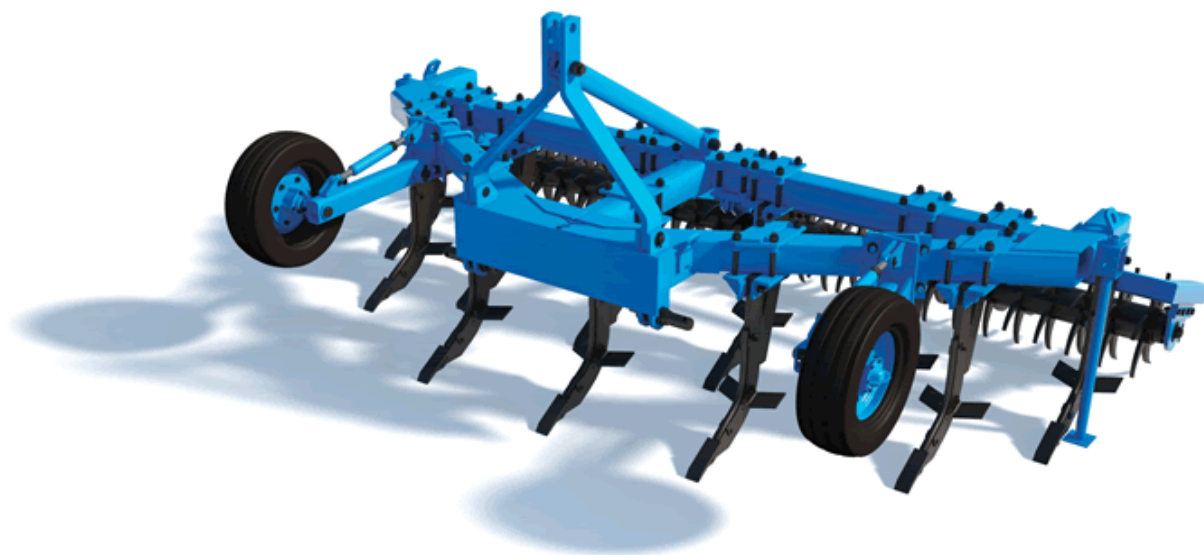


Рис. 1. Чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5

Деякі техніко-економічні показники роботи плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Технічні характеристики чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5

№	Показник	Одиниця вимірювання	Значення
1	2	3	4
1	Продуктивність за годину основного часу, не менше	т/год	4,0

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

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
2	Тип машини та клас тяги трактора	кН	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	шт	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		трьохрядне
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

Чизельна лапа на прямому стояку є основним робочим органом плуга-глибокорозпушувача, яка складається із прямого стояка, долота та ножа, що встановлюється на стояку для відведення від нього і перерізання рослинних решток. На більш пізніх версіях плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 «SVAROG» додатково на стояку закріплюються крила, що виконують функцію додаткових робочих органів, які в залежності від зони установки та конструкції можуть або ж поліпшити денний профіль поверхні на дні борозни (частково вирівняти і зрізати зубчики) або ж інтенсифікувати підрізання коріння рослин. Долото є двостороннім і фіксується на стояку за допомогою осі зі шплінтами. Вгорі стояка виготовляються отвори через які чизельні лапи болтами закріплюються до кронштейнів, що фіксують лапи на V-подібній рамі плуга-глибокорозпушувача. Саме до просторової рами кріпляться не лише основні робочі органи, а й інші елементи глибокорозпушувача. Рама має трикутну V-подібну форму і є жорстко зварною, а трикутна форма дозволяє знизити ймовірність її забивання рослинними рештками. До поздовжніх і поперечних брусів рами кріпляться чизельні лапи, колеса, механізми регулювання глибини та додаткові робочі органи (за їх потреби).

Механізм регулювання глибини обробітку забезпечує зміну глибини за рахунок зміни положення відносно поверхні ґрунту опорних коліс. Сам механізм регулювання глибини є шарнірним механізмом, що закріплено на рамі плуга-глибокорозпушувача скобами. При обертанні муфти цього механізму із правим і лівим гвинтом, та відповідно правою і лівою різьбою відбувається підймання чи опускання опорного колеса. Коліс на агрегаті встановлюється пара, а отже і механізмів регулювання глибини теж два. Колеса складаються із дисків на які встановлені шини, а сам диск кріпиться до фланцю маточини спеціальними шпильками.

Функцію приєднання плуга-глибокорозпушувача до енергетичного засобу виконує механізм навіски, який виготовляється в передній частині рами і складається із розкосів, пальців та окремих спеціальних деталей кріплення.

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

Конструкція навісного механізму зроблена таким чином, що агрегат може легко навішуватися на трактори Т-150, Т-150К, К-701, К-700А та ін, при цьому навішування відбувається в напіваавтоматичному режимі.

Робочий процес чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 відбувається наступним чином. Пересуваючись у робочому положенні по полю чизельні лапи під вагою розпушувача заглиблюються у ґрунт на глибину, яку обмежують опорні колеса. Долота під час руху в товщі ґрунту сколюють необроблені моноліти, розпушують і підіймають по своїй робочій грані частки ґрунту. Під час руйнування необробленого ґрунту чизельною лапою забезпечується утворення тріщин на всю глибину обробітку, що забезпечує утворення в орному горизонті дрібнокомкуватої структури. Стояк чизельної лапи крім функції кріплення долота забезпечує бокове розсування ґрунтових часток та додаткове кришення ґрунту. При встановленні на лапі додаткових крил відбувається вирівнювання дна борозни та покращене підрізання коріння рослин. Додаткові робочі органи, що можуть встановлюватися на задню навіску рами плуга-глибокорозпушувача додатково подрібнюють крупні грудки, що можуть виноситися на поверхню, поліпшують вирівнювання поверхні поля та забезпечують за потреби перемішування рослинних решток, добрив тощо на певній глибині.

При проведенні порівняння робочого процесу і конструкції розглянутого чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 із іншими аналогічними за призначення машинами встановлено, що агрегат забезпечує досить непогане виконання процесу глибокого розпушування, але за певних ґрунтово-кліматичних умов його робочі органи потребують вдосконалення для того, щоб забезпечити вищу якість і рівномірність обробітку та знизити енерговитрати на процес глибокого розпушування.

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

2.2. Загальна характеристика чизельного глибокого розпушування та агротехнічні вимоги до означеної операції

Чизельний обробіток ґрунту є агротехнічним прийомом основного обробітку, що реалізується з ціллю збереження родючості ґрунтів, поліпшення водно-повітряного режиму та інфільтраційних властивостей. Сьогодні чизельний обробіток є реальною альтернативою традиційним способам обробітку ґрунту.

Традиційними способами основного обробітку ґрунту вважається полицева оранка [2...4], проведення якої супроводжується утворенням ущільненої підорної підшви, руйнуванням біологічно цінних агрегатів ґрунту (ґрунтові частки, що мають усереднені геометричні розміри 0,25...10 мм.), занадто високими витратами енергії та низькою продуктивністю ґрунтообробних агрегатів тощо. В своїй сукупності перелічені фактори загострюють прояви вітрової та водної ерозій, забезпечують перевитрати пального, а отже загального здорожчення операції, переущільнення орного горизонту, погіршують водний та повітряний режим ґрунту тощо. Для зниження витрат, останнім часом, фермери почали замінювати оранку дискуванням, застосовуючи при цьому дискові знаряддя різноманітних конструкцій, такі як дискатори, важкі та середні дискові борони тощо. Доведено [5], що ці знаряддя, навіть у поєднанні із класичним полицевим плугом, є ще більш ерозійно небезпечними. Саме тому їх використання у ряді розвинених країнах є обмеженим [5, 6].

Відомим способом обробітку, що в світі поступово витісняє оранку є глибоке розпушування без повного чи часткового обертання скиби. Такі способи відносяться до ресурсозберігаючих і при вірному їх використанні можуть слугувати основами ґрунтовідновлювальних технологій. Найбільш поширеним способом глибокого розпушування є розпушування, що проводиться чизельним плугом-глибокорозпушувачем. Такі операції здатні забезпечити посмуговий обробіток, за потреби дозволяють зберегти стерню чи

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

інші рослинні рештки на поверхні поля, розпушити та зруйнувати ущільнену підорну підшову, суттєво підвищити ширину захвату агрегату, а витрати пального знизити на 30...40% у порівнянні із оранкою [5...8].

Дослідники і практики, які проводять чизельний обробіток плугами-глибокорозпушувачами відмічають, що дані знаряддя дозволяють насамперед вирішити наступне коло проблем:

- частково чи повністю зруйнувати ущільнену підорну підшову, цим самим поліпшити проникнення вологи у нижні горизонти, зокрема у осінній та зимовий період;
- забезпечує поліпшення не лише водного а й повітряного режиму ґрунту, що проявляється у відновленні і інтенсифікації розвитку біоти, мікроорганізмів, є початковим чинником, що дозволяє сповільнити деградацію ґрунтів та створити умови для започаткування технологій ґрунтовідновлення;
- створюють сприятливі умови для зниження проявів ерозій в тому числі і за рахунок реалізації посмугового обробітку та збереження рослинності на поверхні поля;
- створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи культурних рослин у період їх вегетації, цим самим забезпечує підвищення загальної врожайності сільськогосподарських культур.

Поряд з суттєвими перевагами є і недоліки, що мають місце при глибокому чизельному обробітку. Серед основних недоліків виділяють погане підрізання бур'янів та інших рослин, суттєва нерівномірність дна борозни, значні проблеми із заробкою рослинних решток та добрив, що вносяться способом поверхневого розкидання і з рештою – проблеми технічного забезпечення даних операцій, адже більшість агрегатів для глибокого безполицевого обробітку є машинами, які виготовляють закордонні виробники, а їх вартість часто є зависокою для пересічного вітчизняного фермера. Та невелика номенклатура існуючих вітчизняних знарядь для

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

глибокого розпушування досить часто не в повній мірі забезпечують виконання агротехічних вимог до подібних робіт, що ускладнює їх використання та потребує вдосконалення.

До основних агротехнічних вимог [2...5], які висуваються до безполицевих способів обробітку ґрунту є забезпечення необхідної глибини розпушування та дотримання її рівномірності з відхиленням глибини від заданої на рівні ± 2 см; за потреби – збереження стерні на поверхні поля на рівні до 85%; забезпечення прямолінійності проходження ґрунтообробного агрегату в межах ± 20 см; утворення гребенів в результаті проходження чизельного плуга-глибокорозпушувача не більше 5 см; ширина стикових міжрядь – в межах 10 см. Ґрунт повинен добре оброблятися за умови, що вологість не перевищує 60% від максимальної польової вологості ґрунту, адже за цих умов вдається забезпечити добре кришення ще й не утворюються крупні брили після проходження агрегату. Якщо потрібно проводити глибоке розпушування ґрунту на полях, що мають нахил більше 3°, то операцію слід проводити впоперек або під кутом до схилу. Рекомендується на наступний рік проводити операцію у перпендикулярному напрямку до попереднього. Допустима швидкість руху чизельних плугів-глибокорозпушувачів – до 12 км/год.

Серед показників якості, що підлягають контролю виділяються агротерміни виконання робіт, глибина операцій та їх рівномірність, відсутність пропусків та необроблених ділянок поля, повнота підрізання стерні та бур'янів.

Прототипом до вдосконалення у даній кваліфікаційній роботі є чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5, а отже перелік робіт по комплектуванню ґрунтообробного агрегату та підготовки до роботи проведемо саме для цієї машини. Під час означених робіт проводять операції із підготовки енергетичного засобу та безпосередньо самого ґрунтообробного знаряддя, їх комплектування, контрольної перевірки під час роботи,

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

проведення щозмінного технічного та технологічного обслуговування. На початковому етапі складання агрегату варто дотримуватися умови, щоб енергетичний засіб був раціонально завантажений а площа запланованих робіт була узгоджені із сумарною продуктивністю скомплектованого агрегату.

Порядок підготовки чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 до роботи наступний:

- складання чизельного плуга-глибокорозпушувача із налаштуванням за інструкцією та підготовкою до роботи робочих органів, що відбувається на спеціально підготовленому вирівняному майданчику із необхідним допоміжним обладнанням і інструментом;
- підготовка енергетичного засобу, що в більшості випадків відбувається у вигляді узгодження, а за потреби і можливості – встановлення заданої колії, підготовки та попереднього регулювання механізму навіски тощо;
- приєднання чизельного плуга-глибокорозпушувача до трактора, регулювання перекосу і горизонтальності встановлення рами та глибини обробітку;
- контрольний робочий хід у загінці із контролем якості всіх показників, додаткове проведення регулювань у конкретних умовах роботи.

2.3. Пропозиції по вдосконаленню чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5

Серед основних недоліків серійного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5, що отримані за протоколами випробувань та реальним відгукам користувачів є високий тяговий опір та незадовільні показники якості розпушування за ускладнених умов роботи, таких як підвищена твердість ґрунту, перерзволоження або ж його пересушення, значна кількість рослинних решток на поверхні поля, надто потужна ущільнена підорна підшва тощо. За таких умов часто плуг-глибокорозпушувач не забезпечує чинні агротехнічні вимоги до якості обробітку, а його використання є обмеженим. З метою часткового усунення виявлених недоліків запропоновано використання у

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

якості додаткових робочих органів крил, які мають криволінійну робочу поверхню типу дельфінячий хвіст. Попередньо така форма крил має зменшити опір, але при цьому поліпшити кришення і руйнування нижніх горизонтів необробленого ґрунту за рахунок різкого переходу від стискаючих напружень на лезі крил до напружень розтягу на їх опуклій формі. Така інтенсифікація розповсюдження тріщин у монолітах ґрунту в нижні горизонти базується на особливостях форми поверхні, яка фактично відтворює хвіст дельфіна, що при малому опорі руху на краях цієї поверхні забезпечує виконання значної роботи в місці максимальної опуклості. Для зменшення опору та інтенсифікації кришення і на початковому етапі сколювання ґрунту доцільно виконати криволінійною і поверхню долота із увігнутою поверхнею в районі його леза і опуклою поверхнею в зоні наближеній до стояка лапи.

2.4. Інженерні розрахунки чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5

2.4.1. Технологічний розрахунок плуга-глибокорозпушувача

Відомо, що на якість сколювання монолітів ґрунту і на витрати енергії на процес вирішальний вплив чинить форма та геометричні параметри основного робочого органу – стояка та долота. За класичною схемою, при моделюванні і розрахунку впливу на середовище долота, як першого елементу ґрунтообробного знаряддя, що сколює і руйнує моноліти ґрунту, його дія на ґрунтове середовище є аналогічним дії двохгранного клина [4, 5]. Для якісного обробітку ґрунту чизельною лапою із прямим стояком за умов мінімальних енерговитрат потрібно, щоб дійсна глибина глибокого рихлення не перевищувала критичної глибини обробітку $H_{кр}$ для даного знаряддя. При невиконанні наведеної умови, має місце різке зменшення зони кришення, до цього ж спостерігається зростання енерговитрат за рахунок розширення зони пластичних деформацій в місці роботи долота, що призводить до переущільнення ґрунту в місці контакту долота із монолітами. Доведено [4],

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

що існує прямий зв'язок між кутом сколювання ґрунту і критичною глибиною його кришення (рис. 2), що описується відомою формулою:

$$\psi_{ск} = 90^\circ - (\beta + \gamma),$$

де β – значення дійсного кута кришення ґрунту, що обробляється, за [4] для важкого і середнього чорнозему $\beta = 30^\circ$;

γ – значення кута тертя ґрунту, що обробляється по матеріалу робочого органу, у випадку долота – по сталі, за [5], для сталі $\gamma = 22^\circ$.

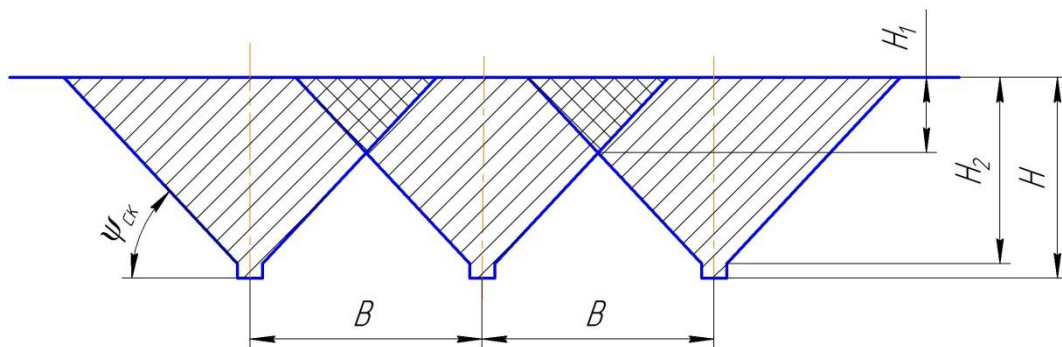


Рис. 2. Розрахункова схема роботи плуга-глибокорозпушувача із чизельними лапами з прямими стояками у товщі ґрунту

Отже, фактичне значення кута сколювання чизельними лапами становить:

$$\psi_{ск} = 90^\circ - (30 + 22) = 38^\circ.$$

Поряд із глибиною розпушування вагомим показником якості роботи чизельного плуга-глибокорозпушувача є глибина суцільного обробітку H_1 (рис. 2). Цей показник має бути узгодженим із глибиною проведення наступних операцій та фактично залежить від того, яка відстань між чизельними лапами на знарядді B та глибини руху кожної із лап H . Виходячи із агровимог до поверхневого обробітку ґрунту і посіву, мінімальна глибина суцільного обробітку чизельним плугом-глибокорозпушувачем має бути в діапазоні $H_1 = 100 \dots 150$ мм. Для розрахунку відстані між слідами чизельних лип плуга-глибокорозпушувача із врахуванням глибини суцільного обробітку та значень кута сколювання ґрунту можна скористатися співвідношенням:

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

де H – глибина обробітку ґрунту чизельною лапою, приймаємо $H = 400$ мм;

H_1 – глибина суцільного обробітку ґрунту чизельним плугом-глибокорозпушувачем, $H_1 = 140$ мм;

$\psi_{ск}$ – розрахований раніше кут сколювання ґрунту, що обробляється,

$$\psi_{ск} = 38^\circ.$$

Тоді маємо

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

За цією формулою розраховували максимальну можливу відстань між слідами чизельних лап за даних параметрів розпушування. В дійсності ж відстань може бути меншою, а тому приймаємо з конструктивної точки зору і розширення меж суцільного обробітку $B = 500$ мм.

Під час руху чизельної лапи плуга-глибокорозпушувача в товщі необробленого ґрунту в результаті дії долота на необроблені горизонти відбувається зрушення монолітів в напрямку руху чизельної лапи через розповсюдження тріщин попереду долота під кутом τ (рис. 3). З достатньою точністю для проведення розрахунків подібних робочих органів [5] можна прийняти, що кут нахилу робочої грані долота до дна борозни α та кут тертя по цьому ж долоту часток ґрунту є однаковими. З врахуванням цього, запишемо рівняння, яке визначає кут сколювання ґрунту попереду руху долота:

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

де α – кут установки долота до дна борозни, $\alpha = \varphi = 27^\circ$;

φ_1 – кут внутрішнього тертя часток ґрунту між собою, за [5] для чорнозему за інших нормальних умов $\varphi_1 = 48...50^\circ$.

Після підстановки наведених даних маємо:

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

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

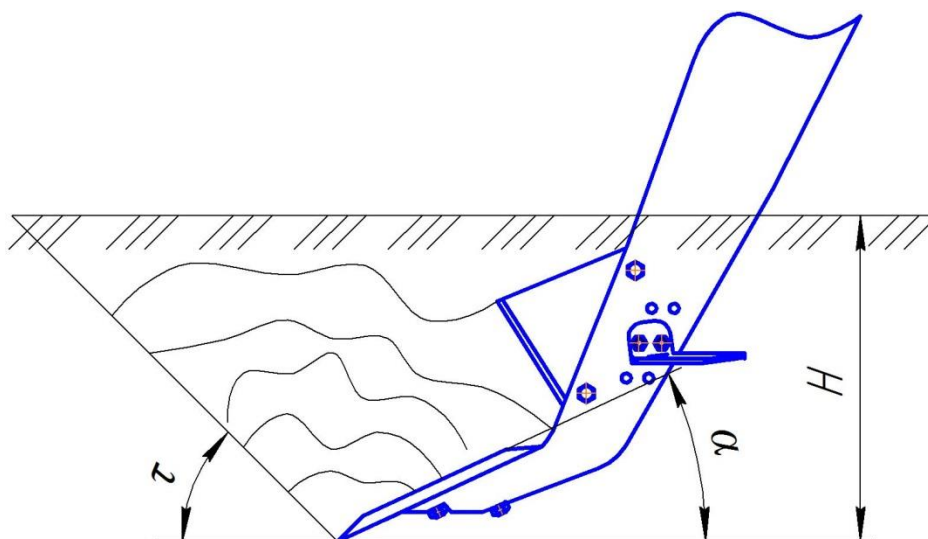


Рис. 3. Розрахункова схема роботи чизельної лапи із прямим стояком у фронтальній площині

Знайдемо відстань розповсюдження фронтальних деформацій від долота C , яка пов'язана із глибиною обробітку чизельною лапою H і кутом сколювання ґрунту перед долотом, що описується рівнянням:

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

Після проведення підстановки і розрахунку отримаємо:

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

Щоб забезпечити стабільну роботу чизельного плуга-глибокорозпушувача потрібно забезпечити умови, за яких не буде відбуватися забивання робочих органів між їх рядами на агрегаті. Ця відстань між рядами лап L теж пов'язана із глибиною обробітку, характерними кутами і розміром розповсюдження деформації попереду лапи, що у символічному вигляді описується умовою:

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

Якщо підставити отримані раніше величини отримаємо нерівність для визначення відстані між рядами чизельних лап на плугу-глибокорозпушувачі:

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

Так як у дійсних ґрунтово-кліматичних умовах чизельний плуг-глибокорозпушувач досить часто може працювати за більш складних умов роботи, коли на поверхні поля знаходиться багато рослинних решток, що можуть забиватися на стояках, підвищена вологість і твердість ґрунту, глибина обробітку є більшою за 400 мм, відстань між рядами чизельних лап збільшуємо до $L = 1100$ мм.

Таким чином, в ході проведених розрахунків отримані основні конструктивні параметри чизельного плуга-глибокорозпушувача, що працює чизельними лапами із прямим стояком. Узгодимо, виходячи із тягового зусилля енергетичного засобу із яким агрегатується чизельний плуг та питомого опору ґрунту робочу ширину захвату глибокорозпушувача, що можна описати рівнянням

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

де $B_{\text{чп}}$ – ширина захвату чизельного плуга, м;

η – коефіцієнт використання тягового зусилля енергозасобу, на операціях глибокого розпушування ґрунту, $\eta = 0,85 \dots 0,9$;

$P_{\text{тр}}$ – розрахункове значення тягового зусилля трактора, за [7] при глибокому розпушуванні ґрунту трактором тягового класу 3 за умови, що швидкість робіт знаходиться в межах 9,0 км/год тягове зусилля трактора становить $P_{\text{тр}} = 29$ кН;

$q_{\text{сп}}$ – питомий опір ґрунту на метр ширини чизельного глибокорозпушувача, враховуючи роботу агрегату із додатковими робочими органами [9], із достатньою точністю для розрахунків можемо прийняти, що $q = 5,2$ кН/м.

Підставляємо значення у останню формулу і отримаємо:

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

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

Варто зазначити, що дійсна ширина захвату ґрунтообробного агрегату із врахуванням суцільного обробітку на поверхні поля є дещо меншою і є узгодженою із розрахованою вище відстанню між слідами робочих органів та фактично складає $B_{\text{чп}} = 4,5$ м. для забезпечення можливості роботи агрегату лапи розташовуються на рамі у два ряди. Знайдемо загальну кількість чизельних лап, що забезпечує необхідну ширину захвату агрегату

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

де $n_{\text{лап}}$ – фактична кількість чизельних лап на плугу-глибокорозпушувачі, що забезпечують потрібну ширину захвату агрегату, шт;

$B_{\text{чп}}$ – фактична робоча ширина захвату чизельного плуга-глибокорозпушувача, $B_{\text{чп}} = 4500$ мм;

B – фактична ширина захвату чизельної лапи за умови заданої глибини обробітку (рис. 2), або відстань між слідами лап, мм.

Розрахуємо останню формулу, отримаємо:

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

Таким чином, встановивши на рамі плуга-глибокорозпушувача 9 лап отримаємо фактичну ширину захвату ґрунтообробного агрегату дещо більшою ніж паспортна та розрахункова. Проте враховуючи необхідність забезпечувати перекриття суміжних проходів агрегату, саме 9 лап із прямим стояком можуть забезпечити глибоке розпушування ґрунту на глибину до 40 см забезпечуючи загальну ширину захвату агрегату 4,5 м.

2.4.2. Розрахунок опорного колеса чизельного плуга-глибокорозпушувача

Питання ущільнення ґрунту рушіями є одним із актуальних питань, оскільки ущільнення полів, зокрема колесами сільськогосподарських машин і знарядь призводить до обезструктурення родючого горизонту і як наслідок – забезпечує стрімке зниження родючості. Важливою інженерною задачею сьогодні стало на етапі проектування чи вдосконалення

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

сільськогосподарських машин, зокрема ґрунтообробних, у яких використовуються колеса максимально знизити тиск цих коліс на поверхню ґрунту. Тенденції сьогодення підтверджують, що використання пневматичних шин частково збільшує площу контакту рушія із ґрунтом, а також такі шини сприяють зниженню тягового опору за рахунок того, що при роботі пневматичної шини за аналогічних інших умов забезпечується менша глибина колії. Відомим є і той факт, що використання пневматичних шин суттєво знижує динамічні навантаження на агрегат в цілому, а тому використання у якості опорних коліс ґрунтообробного агрегату ПЧ-4,5 пневматичних шин є повністю обґрунтованим.

Під час роботи сільськогосподарської техніки в полі глибину колії, що утворюється в результаті перекочування по полю колеса намагаються зменшити за рахунок збільшення ширини $B_{ш}$ та діаметра $D_{ш}$ шини. Можна відмітити, що чим більший діаметр колеса і його ширина тим і його вага є більшою, а отже підбираючи робочі параметри колеса варто вирішувати компромісну задачу забезпечення мінімального тиску рушія на поверхню ґрунту та досягнення мінімального опору перекочування цього ж рушія за умов мінімальної ваги та габаритів колеса. Щоб визначити тяговий опір колеса слід скористатися відомою залежністю [9]

$$Q_x = 0,86 \sqrt[3]{\frac{Q_z^4}{\rho_{zp} \cdot D_k^2 \cdot b_k}},$$

де Q_x – тяговий опір колеса, (сила, що діє на колесо у горизонтальній площині), кН;

Q_z – величина вертикального зусилля, що діє на колесо, $Q_z = 11,6$ кН;

ρ_{zp} – коефіцієнт опору деформації ґрунту, для чорнозему $\rho_{zp} = 0,12$ МПа;

D_k – фактичне значення діаметра колеса, м;

b_k – фактичне значення ширини колеса, м.

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

Для того, щоб визначитися і провести оцінку із геометричними розмірами колеса, а саме – його діаметром і шириною, та як ці параметри впливають на загальні умови роботи колеса потрібно використати коефіцієнт опору перекочування, який має наступний фізичний зміст:

$$\mu_{нк} = \frac{Q_x}{Q_z}.$$

З врахуванням виразу, що описує коефіцієнт опору перекочування, рівняння для визначення тягового опору колеса можна зобразити у вигляді:

$$\frac{Q_x}{Q_z} = 0,86 \sqrt[3]{\frac{Q_z^4}{\rho_{зр} \cdot D_{\kappa}^2 \cdot b_{\kappa}}}.$$

З достатньою точністю для розрахунків коефіцієнт опору перекочування колеса знаходиться за спрощеним виразом

$$\mu_{нк} = \sqrt[3]{\frac{Q_z}{\rho_{зр} \cdot D_{\kappa}^2 \cdot b_{\kappa}}}.$$

Ретельний аналіз останнього рівняння доводить, що найбільший вплив на опір перекочування колеса $\mu_{нк}$ має діаметр цього колеса D_{κ} , а його збільшення забезпечує зниження цього показника. У меншій степені впливає ширина колеса b_{κ} , втім і її збільшення теж призводить до зниження опору перекочування. Крім параметрів колеса на його перекочування впливає щільність ґрунту, що в наведеній залежності враховує коефіцієнт опору деформації ґрунту $\rho_{зр}$. Чим більшою є щільність ґрунту – тим краще колесо котиться по його поверхні. За довідниковими даними [3, 4], на етапі проектування коліс до ґрунтообробних машин і знарядь, потрібно забезпечити такі параметри колеса b_{κ} і D_{κ} за яких опір перекочування колеса відповідає нерівності $\mu_{нк} \leq 0,2$.

Проведемо елементарні перетворення із останньою формулою і виділимо окремо величини, що характеризують параметри колеса ґрунтообробного агрегату, отримаємо

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

$$\frac{Q_z}{\mu_{нк}^3 \cdot \rho_{зр}} = D_{к}^2 \cdot b_{к}.$$

За умов роботи чизельного плуга-глибокорозпушувача на чорноземі, для якого $\rho_{зр} = 0,12$ МПа та керуючись номограмою [5], можна встановити, що за умови коли $\mu_{нк} = 0,2$ а $Q_z = 11,6$ кН, необхідний діаметр колеса дорівнює $D_{к} = 80$ см а його ширина $b_{к} = 22$ см. За наведеними характеристиками найбільш близькою до необхідної є сільськогосподарська шина 8,25-15, що відноситься до моделі шин И-83 [9]. Ця шина характеризується наступними основними параметрами $D_{к} = 83,2$ см та $b_{к} = 22$ см.

Для перевірки вантажопідйомності обраного колеса ґрунтообробного агрегату можна скористатися формулою Хелла в такому вигляді:

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

де A та k – постійні коефіцієнти, що для несучих коліс ґрунтообробних агрегатів становлять $A \cdot k = 0,1445$;

P_b – внутрішній тиск повітря у шині агрегату, $P_b = 0,27$ МПа;

B_m – теоретична ширина профілю колеса агрегату, см;

d_o – значення номінального діаметру обода колеса, см.

Щоб визначити теоретичну ширину профілю колеса агрегату B_m можна використати наступну емпіричну залежність [9]:

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

де B – дійсна ширина профілю повністю накачаної працездатної шини для обраного обода колеса, см;

b – фактична відстань між окрайками обода обраного колеса, см.

Далі можемо застосувати табличні співвідношення [9], що пов'язують між собою конструктивні елементи сільськогосподарських шин. При роботі

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

грунтообробного агрегату приймемо, що $\frac{b}{B} = 0,65$ і $\frac{H}{B} = 1$. Враховуючи обрані параметри шини, отримаємо: відстань між окрайками обода колеса $b = 14$ см; висота шини $H = 22$ см.

Розрахуємо номінальний діаметр обода колеса ґрунтообробного агрегату

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

Після підстановки знайдених величин можна розрахувати теоретичну ширину профілю колеса

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

Отже, вантажопідйомність обраного колеса ґрунтообробного агрегату становить:

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

Знайдена вантажопідйомність є більшою за розраховане вертикальне навантаження $Q > Q_z$, у числовому вигляді $11,8 \text{ кН} > 11,6 \text{ кН}$, а отже умова роботоздатності колеса ґрунтообробного агрегату повністю виконана.

2.4.3. Кінематичний розрахунок механізму зміни глибини чизельного плуга-глибокорозпушувача

Механізм регулювання глибини чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 є багатоланковим механізмом, що включає механізм регулювального гвинта 1 (рис. 4), що під час механічного обертання цього гвинта забезпечує подовження чи скорочування цієї ланки. Одна із сторін ланки 1 приєднана шарнірно до ланки 2, яка виконана у вигляді труби квадратного перерізу, що з однієї сторони жорстко закріплена до опори B , а на кінці іншої сторони встановлюється опорне колесо 3, параметри якого були розраховані в попередньому підрозділі. При обертанні гвинтового механізму

і змінюється відстань S між рамою чизельного плуга-глибокорозпушувача та поверхнею ґрунту, що в своїй сукупності і визначає глибину обробітку.

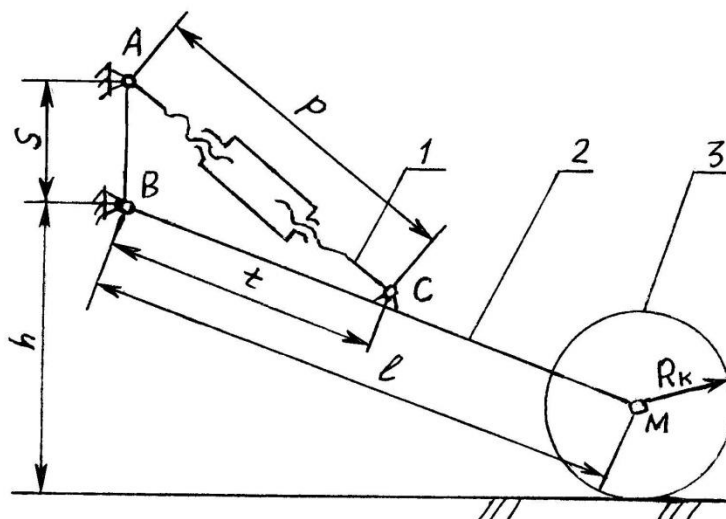


Рис. 4. Розрахункова схема механізму регулювання глибини чизельного плуга-глибокорозпушувача:

1 – гвинтовий механізм; 2 – ланка кріплення колеса (поводок); 3 – опорне колеса плуга-глибокорозпушувача

Після позначення довжини гвинтового механізму P (рис. 4), ланки кріплення колеса (поводка) l використовуючи загальновідомі побудови на основі геометрії отримаємо наступне. Після того, як спроектувати точки C і M багатоважільного механізму (рис. 4) на слід відрізка AB (його продовження) отримаємо відповідно точки K та Q (на рис. 4 не позначені). Приймемо фактичні розміри ланок чизельного плуга-глибокорозпушувача, а саме – $AB = S = 25$ см; $BM = l = 56$ см; $BC = t = 16$ см. Так як з технологічних міркувань h може змінюватися у певному діапазоні значень від $h_{\min} = 35$ см до $h_{\max} = 80$ см проведемо розрахунки і побудови, що забезпечують даний діапазон регулювань. Якщо врахувати, що регульована ланка $AC = P$, а ланка $BK = x$, то із прямокутного трикутника ACK отримаємо вираз:

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

З прямокутного трикутника BCK можна отримати іншу залежність:

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

Ліві частини наведених рівнянь однакові, отже прирівнюємо праві частини, маємо:

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

Проведемо перетворення отриманого виразу:

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

Використовуючи два подібних трикутника BCK та BMQ можемо записати наступну геометричну залежність:

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

Так як є відомим, що $h = BQ + R_k$ запишемо наступну залежність

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

Перетворимо останнє рівняння і зведемо його до виразу:

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

В отримане рівняння підставимо всі відомі величини і максимальну та мінімальну довжину ланки 1, що у числовому вигляді має наступне відображення:

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

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

Отже, можемо отримати мінімальне значення довжини гвинта механізму зміни глибини обробітку за наступною залежністю:

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

Таким чином, проведений підбір параметрів механізму регулювання глибини обробітку чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5.

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

2.4.4. Силовий аналіз плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5

Під час проведення розрахунку тягового опору плуга-глибокорозпушувача при блокованому різанні враховують сили лобового опору R_l і сил опору бокового розрізу $R_{бок}$. Так як сили, що витрачаються на розрізання боковин незначні, у даному випадку ними можемо знехтувати. Тоді тяговий опір чизельного плуга-глибокорозпушувача описується рівнянням:

$$R_{ол} = R_{бок} + R_l.$$

Опір ґрунту, що виникає в бокових розширеннях прорізів, що утворюються від роботи лап є пропорційним площі перерізу, що можна виразити рівнянням:

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

де $P_{бок}$ – значення питомої сили розрізання ґрунту під час різання бокових розширень, для роботи на чорноземах [7] $P_{бок} = 25 \text{ кН/м}^2$;

$K_{бок}$ – коефіцієнт, що визначається відношенням глибини зони сколювання ґрунту чизельною лапою до загальної глибини глибокого розпушування

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

Розрахуємо опір ґрунту, що виникає в бокових розширеннях прорізів

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

Варто врахувати, що за умов блокованого різання, тобто такого різання при якому відсутні вільні стінки по бокам робочого органу, працюють лише чизельні лапи переднього ряду. Лапи ж кожного наступного рядів працюють за умов напіввільного чи вільного різання. За таких умов роботи опір ґрунту знижується пропорційно до площі зон, які перекриваються зонами деформації лап, які працювали попереду. Розрахуємо опір лапи, що працює за умов напіввільного різання:

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

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

де $m_{бок}$ – питома сила розрізання ґрунтового моноліту в тих частинах, де є розширення профілю зрізання, $m_{бок} = 8 \text{ кН/м}^2$;

H – глибина обробітку чизельним плугом-глибокорозпушувачем,
 $H = 0,4 \text{ м}$;

B – відстань між робочими органами, $B = 0,5 \text{ м}$;

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

$\lambda_{ск}$ – кут сколювання ґрунту по боках від стояка чизельної лапи, $\lambda_{ск} \approx 45^\circ$.

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

Для розрахунку опору вільного різання скористаємося формулою:

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

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

Чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5 працює відразу дев'ятьма чизельними лапами, із них три лапи, що стоять в першому ряду працюють за умов блокованого різання, чотири лапи другого ряду – працюють в умовах напіввільного різання та дві лапи – в умовах вільного різання. Враховуючи це, загальний опір чизельного плуга-глибокорозпушувача дорівнює:

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

Розраховуючи тяговий опір чизельного плуга-глибокорозпушувача було знайдено горизонтальну складову сили опору R_x (рис. 5), максимальне значення цієї сили фактично є рівним силі опору ґрунту при блокованому різанні робочим органом, що у символічному вигляді має вигляд:

$$R_x = R_{ол}.$$

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

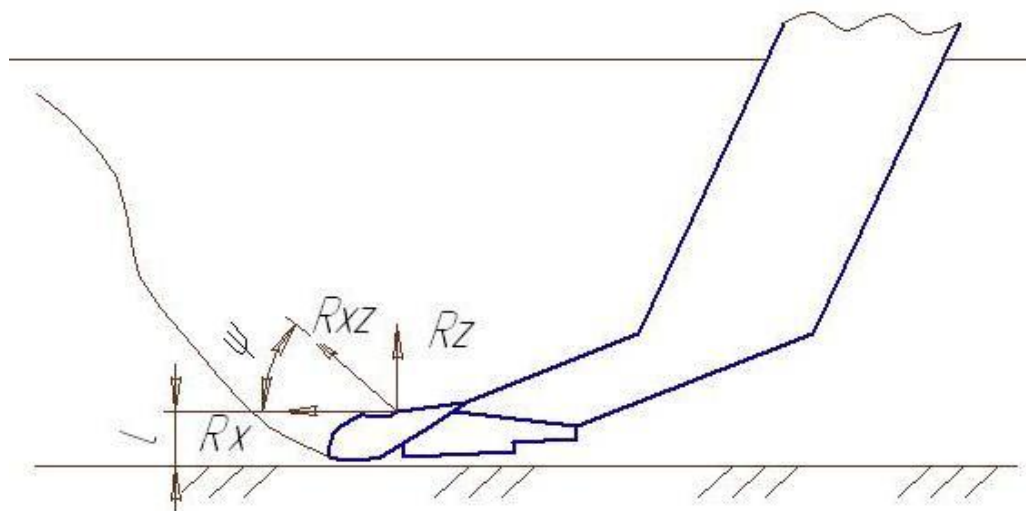


Рис. 5. Розрахункова схема силових навантажень, що виникають при роботі чизельної лапи в товщі ґрунту

Виходячи із наведеного трикутника сил (рис. 5), результуюча сила R_{xz} , що діє на робочий орган є відхиленою від дна борозни на кут фронтального сколювання ґрунту ψ . Варто зазначити, що точка прикладання сил знаходиться на відстані l від леза долота, а практичні дані дозволять встановити, що якщо глибина обробітку чизельною лапою $H = 0,4$ м, кут фронтального сколювання монолітів ґрунту $\psi = 17...19^\circ$ то точка прикладання сил зміщена від носка долота на відстань $l = 140$ мм.

Проведемо розрахунок результуючої сили, за трикутником сил видно, що результуюча сила дорівнює:

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

Знайдемо і реакцію R_z за формулою:

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

Оцінивши силові навантаження, що діють на робочі органи чизельного плуга-глибокорозпушувача можна провести вибір енергетичного засобу, із яким ґрунтообробний агрегат буде працювати із раціональним завантаженням двигуна. Відомо, що при роботі подібних агрегатів для ефективного комплектування машини із трактором має виконуватися рівність:

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

де P_{mp} – сила тяги трактора при виконання сільськогосподарських робіт, кН;

$P_{чп}$ – тяговий опір чизельного плуга-глибокорозпушувача, кН.

Підставимо знайдене значення тягового опору чизельного плуга-глибокорозпушувача і маємо:

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

Отже, враховуючи, що на робочій швидкості, яка дорівнює $V_{mp} = 8,98$ км/год, трактор Т-150К розвиває силу тяги на рівні $P_{mp} = 32$ кН, то й найбільш доцільно чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5 комплектувати саме з цим трактором.

2.4.5. Розрахунок на міцність окремих елементів конструкції чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5

Важливим елементом конструкції, що визначає можливість проведення регулювань глибина обробітку агрегатом є механізм регулювання глибини, що у даному випадку виконується у вигляді класичного гвинтового механізму із гвинтами з лівою та правою різьбою та центральної муфти. Для забезпечення роботоздатності і довговічності роботи механізму регулювання глибини достатньо розрахувати і забезпечити працездатність однієї гвинтової пари. Враховуючи значні навантаження, що виникають при проведенні регулювань, обираємо трапецієвидну форму різьби, а матеріалом для виготовлення деталей гвинта та гайки, у яких дана різьба нарізана приймається Сталь 35.

Знайдемо значення внутрішнього діаметру гвинта. Наведемо загальновідому залежність [11], що визначає напруження в матеріалі гвинта, враховуючи те, що на цей гвинт діє крутний момент і осьове навантаження, що виникає під час обертання гайки

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

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

де F – фактичне значення осевого зусилля, що виникає в гвинті, за результатами силового аналізу встановлено, що в механізмі регулювання глибини обробітку плуга-глибокорозпушувача $F = 16000$ Н;

d_1 – внутрішній діаметр різьби механізму регулювання глибини, м;

$[\sigma_p]$ – максимально допустиме напруження, що враховує матеріал із якого виготовляється гвинт, для матеріалу Сталь 35, $[\sigma_p] = 70$ МПа.

Виходячи із наведеної умови міцності можемо знайти розрахункове значення мінімального діаметру різьби механізму регулювання глибини

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

Враховуючи необхідність використовувати для такого механізму трапецієвидну різьбу за ГОСТ 24738-81 [11] приймаємо різьбу, яка має наступні параметри: $d_1 = 21$ мм; $d_2 = 23,5$ мм; $P = 5$ мм; $d = 26$ мм; $\alpha = 30^\circ$.

Для забезпечення умови зносостійкості визначимо тиск, що створюється на поверхні регулювального гвинта

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

де F – осеве зусилля в гвинтовому механізмі, його розмір наведено вище, Н;

d – зовнішній діаметр різьби гвинтового механізму регулювання глибини, мм;

z – сумарна кількість повних витків різьби на гайці регулювального механізму, шт;

$[g]$ – максимально допустимий тиск у різьбі механізму регулювання, МПа.

Розрахуємо потрібну кількість витків різьби у гайки механізму регулювання глибини:

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

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

Розрахована кількість витків є більшою за допустиму зі сторони нерівномірності розподілу осьових навантажень, а тому для забезпечення заданої зносостійкості потрібно збільшити діаметр різьби механізму регулювання глибини. Приймаємо за [11] наступну більшу різьбу, яка має такі параметри: $d_1 = 24$ мм; $d_2 = 27$ мм; $P = 6$ мм; $d = 30$ мм; $\alpha = 30^\circ$.

Проведемо перевірку необхідної кількості витків різьби механізму регулювання глибини зі збільшеним діаметром, маємо:

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

Знайдена кількість витків різьби механізму регулювання глибини знаходиться в допустимих межах, а отже розрахункова висота гайки дорівнює:

$$H_z = z \cdot P,$$

де z – розрахована вище кількість витків різьби механізму регулювання глибини, шт;

P – крок різьби, що використовується в механізмі регулювання глибини, мм.

$$H_z = 8 \cdot 6 = 48 \text{ мм.}$$

Виходячи із умови забезпечення необхідної міцності на розтяг гайки гвинтового механізму регулювання глибини обробітку розрахуємо зовнішній діаметр цієї гайки, який дорівнює:

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

Розрахуємо і момент тертя у різьбі механізму регулювання глибини за формулою:

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

де χ – значення кута підйому середньої гвинтової лінії механізму регулювання глибини, град;

ρ' – значення приведенного кута тертя, град.

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

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

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

де f – коефіцієнт тертя у різьбі механізму регулювання глибини, $f = 0,15$;

α – кут нахилу робочої сторони профіля різьби, $\alpha = 30^\circ$.

Після підстановки отримаємо:

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

Отже, момент тертя у різьбі складає:

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

За знайденим моментом тертя розрахуємо потрібну довжину рукоятки для комфортної роботи механізму регулювання глибини обробітку. Довжина рукоятки знаходиться із моментом тертя у різьбі та зусиллям в наступній залежності:

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

де T_p – момент тертя у різьбі механізму регулювання глибини, Н·м;

F_p – зусилля, що передає на рукоятку механізму регулювання глибини один робітник, Н.

У числовому значенні маємо:

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

Приймаємо, що довжина рукоятки механізму регулювання глибини для комфортної роботи дорівнює $l = 160 \text{ мм}$.

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

Визначимо діаметр рукоятки механізму регулювання глибини чизельного плуга-глибокорозпушувача керуючись умовою міцності на згин, що має вигляд:

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

де $[\sigma_n]$ – допустиме напруження рукоятки на згин, що враховує матеріал, з якого дану рукоятку виготовлено. Враховуючи, що матеріалом для виготовлення рукоятки є сталь 3, $[\sigma_n] = 120$ МПа.

Тоді маємо розрахунковий діаметр

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

Приймаємо для комфортної роботи рукоятку діаметром $d_p = 16$ мм.

Таким чином, в ході проведених розрахунків отримані параметри гвинтового механізму регулювання глибини обробітку чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5.

Одним із найбільш відповідальних елементів конструкції чизельного глибокорозпушувача, що безпосередньо виконує роботу є чизельна лапа. Тому, з метою забезпечення її працездатності проведемо розрахунок стояка чизельної лапи на міцність. Для цього проведемо перевірку стояка чизельної лапи на можливість витримувати момент згину в небезпечному перерізі. Очевидно, що максимальний момент згину буде діяти від носка стояка до кріплення стояка на рамі (фактична висота чизельної лапи) (рис. 6).

Виходячи із наведеної схеми знайдемо висоту лапи і плече прикладання моменту, $H' = 0,75$ м та $h = 0,85$ м відповідно. Найбільш значний згинальний момент діє в перерізі А-А (рис. 6) від результуючої сили $R_{xz} = 3,23$ кН, розмір якої було знайдено вище, а сам момент дорівнює:

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

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

Знайдемо момент опору небезпечного перерізу стояка лапи А-А (рис. 7). Щоб визначити момент інерції перерізу стояка, що фактично є прямокутником відносно його осі Z_1 , за умови, що ця вісь проходить через центр тяжіння цього прямокутника скористаємося формулою:

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

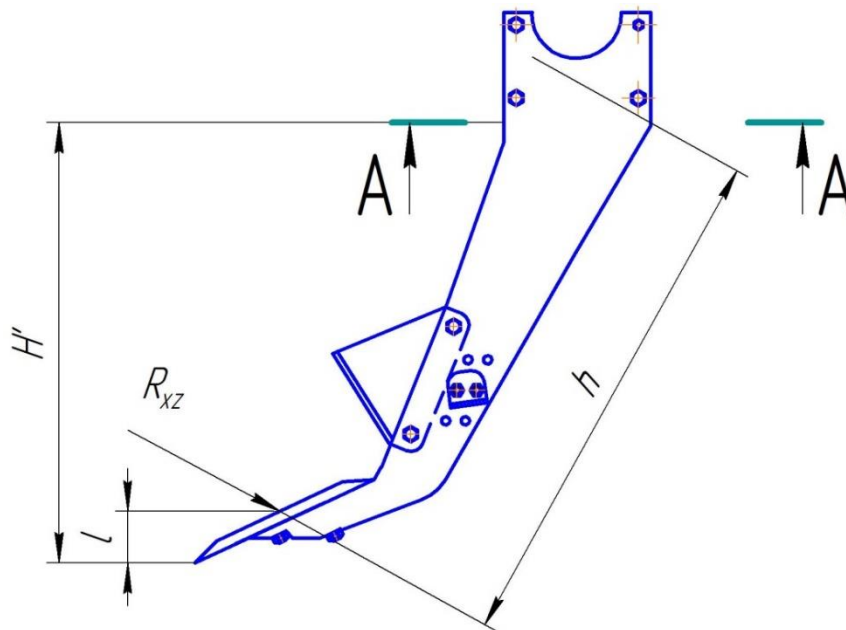


Рис. 6. Схема до розрахунку на міцність стояка чизельної лапи плуга-глибокорозпущувача

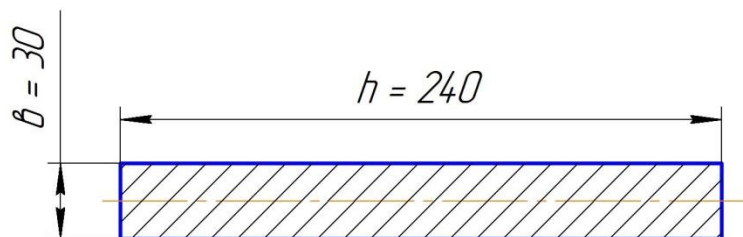


Рис. 7. Геометричні розміри стояка чизельної лапи по перерізу А-А

Знайдемо сумарну площу поперечного перерізу стояка (рис. 7):

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

Розрахуємо статичний момент, що виникає в перерізу у системі координат XZ_1 за формулою:

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

Розрахуємо значення абсциси центру тяжіння небезпечного перерізу

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

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

Варто зазначити, що нейтральна вісь стояка Z в даному випадку проходить через центр тяжіння небезпечного перерізу. Проведемо розрахунок головного моменту інерції, що діє в небезпечному перерізі відносно цієї осі Z за формулою:

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

Знайдемо і абсциси крайніх точок небезпечного перерізу стояка чизельної лапи:

$$x_A = \frac{h}{2} + a_1 = 12 + 1,21 = 13,21 \text{ см;}$$

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

У наведених вище формулах розміри прийняті із рис. 7.

Так як має місце нерівність $x_B > x_A$ можемо розраховувати осьовий момент опору по максимальному значенні, а отже $x_{\max} = x_B = 13,79 \text{ см.}$

Тоді за відомою формулою [12] знайдемо:

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

Розрахуємо і нормальне напруження в крайній точці B небезпечного перерізу за формулою [12]

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

За довідниковими даними [12] приймаємо для матеріалу, з якого виготовляється стояк – Сталь 45 під час згину і пульсуючому навантаженні допустиме напруження $[\sigma] = 125 \text{ МПа.}$

Якщо порівняти допустиме напруження із розрахованим у небезпечному перерізі отримаємо нерівність $\sigma_{\max} < [\sigma]$. Ця нерівність підтверджує те, що необхідна міцність стояка чизельної лапи забезпечена.

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

3. Наукова частина

3.1. Загальна характеристика запланованих досліджень

Відомо [2...10], що загальна ефективність рослинництва, яка виражається у врожайності сільськогосподарських культур, залежить від ряду факторів, серед яких виділяються фактор підготовки ґрунту під посів. Фактор підготовки ґрунту під посів є комплексним фактором, адже операції, які для цього реалізуються включають ряд робіт такі як основний і кількарязовий поверхневий обробіток ґрунту. Основний обробіток є першим і найбільш енергозатратним та низькопродуктивним обробітком, проте ефективність реалізації основного обробітку є визначальною з точки зору загострення проявів ерозій, обезструктурення ґрунту, стійкого зниження родючості тощо. Закордонні виробники [5, 6] у якості альтернативи основного обробітку у вигляді полицевої оранки пропонують проводити глибоке розпушування ґрунту без обертання скиби. Такий спосіб основного обробітку крім зниження витрат енергії дозволяє поліпшити інфільтраційні властивості, зруйнувати підорну підшову, поліпшити водний та повітряний режими ґрунту. Для реалізації безполицевих способів обробітку ґрунту використовують різноманітні глибокорозпушувачі. Серед подібних машин досить поширеним ґрунтообробним агрегатом є чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5.

На основі результатів протоколів випробувань та відгуків користувачів чизельних плугів-глибокорозпушувачів типу ПЧ [12, 13, 14] можна зробити висновок, що дані агрегати зазвичай не дуже ефективно та ретельно комплектуються із енергетичними засобами, при роботі їх на глибину 40 і більше сантиметрів досить часто різко зростають енергевитрати, та як наслідок – витрати пального, а якість розпушування та нерівномірність дна борозни, як і глибина суцільного розпушування стають досить неурегульованими параметрами, що змінюються без певних закономірностей.

Отже, для поліпшення комплектування ґрунтообробних агрегатів типу ЧН та поліпшення якості проведення обробітку ґрунту за умов стабілізації і

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

зниження енерговитрат варто вдосконалювати конструкцію робочих органів та вводити додаткові елементи, які здатні позитивно вплинути на процес глибокого безполицевого розпушування.

Виходячи із наведеного, **метою запланованих наукових досліджень** є інтенсифікація глибокого розпушування ґрунту чизельним плугом-глибокорозпушувачем шляхом вдосконалення конструкції додаткових робочих органів розпушувача.

Задачами досліджень чизельного плуга-глибокорозпушувача є:

- огляд і аналіз сучасного технічного забезпечення глибокого розпушування ґрунту та вивчення робочих органів, що використовуються для подібних операцій;
- експериментальні дослідження форми додаткових робочих органів на якісні показники обробітку ґрунту.

Об'єкт досліджень – процес глибокого безполицевого обробітку ґрунту чизельними робочими органами плуга глибокорозпушувача.

Предмет досліджень – вплив форми і параметрів додаткових робочих органів чизельного плуга-глибокорозпушувача на ефективність основного обробітку ґрунту.

3.2. Огляд та аналіз основних робочих органів, параметрів та конструкцій чизельних глибокорозпушувачів

Для основного безполицевого обробітку ґрунту використовуються ґрунтообробні агрегати, серед яких можна виділити за конструкцією та технологічним режимом роботи чизельні плуги та плуги-глибокорозпушувачі. Такі агрегати призначено для першого глибокого основного обробітку ґрунту із поглибленням орного горизонту без обертання скиби і вони ж можуть бути альтернативою класичному основному обробітку, що проводиться у вигляді полицевої оранки.

За своєю конструкцією плуги-розпушувачі можуть використовуватися для обробітку пасовищ та луків, оскільки такі машини значно менше,

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

порівняно із іншими агрегатами, пошкоджують поверхневий рослинний покрив. Як чизельний плуг так і плуг-глибокорозпушувач добре працює на глибинах від 25 до 45 см. Основним робочим органом чизельних плугів та глибокорозпушувачів є чизельна лапа, яка в більшості випадків складається зі стояка, який деформує і розрізає ґрунт у вертикальній площині та закріпленими на ньому долота, який сколює ґрунт у вертикальній площині та виконує основну роботу по руйнуванню необроблених монолітів. Додатково на стояку можуть закріплюватися різні конструктивні елементи, що прийнято називати додатковими робочими органами, які виконуються у вигляді крил, закрилок, обтікачів, інших за конструкцією активаторів, що можуть поліпшити процес кришення та розпушування ґрунту, впливають на підрізання коріння бур'янів, дозволяють частково розпушити гребені на денній поверхні поля тощо [2-8, 12-14]. Окремо позаду ґрунтообробного агрегату після проходження чизельних лап часто встановлюють додаткові робочі органи. Такими робочими органами можуть бути котки різних конструкцій, диски та ін. Досить часто в конструкціях сучасних глибокорозпушувачів роль додаткового робочого органу виконують спарені зубчасті котки, які залежно від їх установки можуть ефективно перемішувати та частково подрібнювати рослинні рештки або ж якісно розбивати крупні грудки, які залишилися після проходження лап на поверхні поля та вирівнюють поверхню.

Сьогодні немає чіткого визначення чизельні плуги та чизельні глибокорозпушувачі з якими лапами і за яких ґрунтово-кліматичних умов слід використовувати. Варто зазначити, що виготовляються чизельні лапи як із прямим так і з вигнутим стояком типу «Пароплау», а їх використання залежить від конкретних виробників і зважаючи на більш просте виготовлення чизельних робочих органів із прямим стояком, саме вони знайшли більшого розповсюдження в серійних машинах, причому така тенденція є справжньою

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

як для вітчизняних так і закордонних виробників сільськогосподарської техніки.

Досить важливим показником, що визначає працездатність глибокорозпушувачів, та їх можливість забезпечувати обробіток ґрунту за умови виконання агротехнічних вимог до таких робіт є компоновка агрегату і розміщення робочих органів на рамі знаряддя. Найпоширеніші схеми розстановки робочих органів чизельних плугів-глибокорозпушувачів [12] наведено на рис. 8.

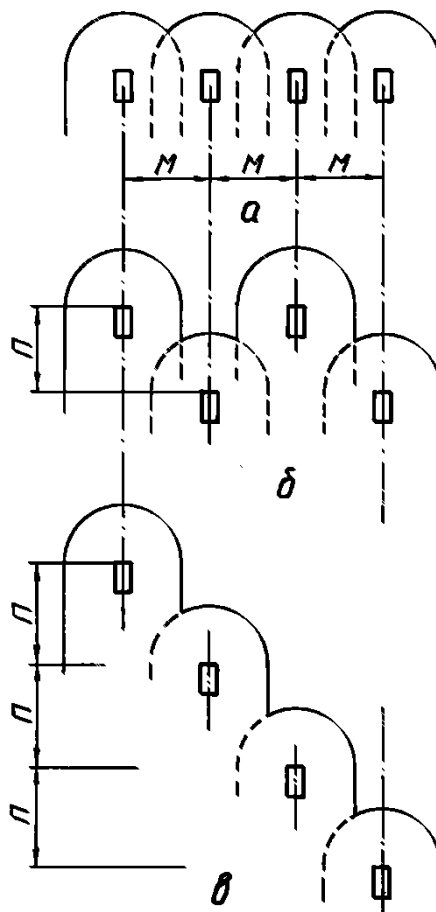


Рис. 8. Схеми розстановки чизельних лап на чизельних глибокорозпушувачах:

a – розміщення робочих органів в один ряд; *б* – розміщення робочих органів в два чи більше рядів; *в* – клиновидна схема розміщення робочих органів

Незалежно від схеми розстановки робочих органів (рис. 8) на рамі глибокорозпушувача є два характерні розміри, що визначають будову знарядь, а саме – M – відстань між слідами чизельних лап (міжсліддя) та поздовжній

зсув чизельних лап *П*. Варто зазначити, що який тип розстановки робочих органів вибирати залежить від надійності і якості виконання технологічного процесу, енерговитрат на обробіток ґрунту та є похідним від фізичної будови, ваги, інших конструктивних особливостей самого ґрунтообробного агрегату.

Ґрунтообробних агрегатів, у яких сьогодні реалізується однорядне розташування робочих органів або ж двохрядне із незначним поздовжнім зміщенням рядів промисловістю сьогодні випускається дуже мало (рис. 9). Така схема розміщення чизельних лап є дієвою за умови, що під час обробітку не потрібно перекриття зон розпушування чизельними лапами або ж відбувається робота агрегатів в режимі щелиноріза. Окремі виробники реалізують рядне розміщення робочих органів на розпушувачах, що проводять суцільне або ж смугове розпушування із використанням криволінійних стояків Paraplow.

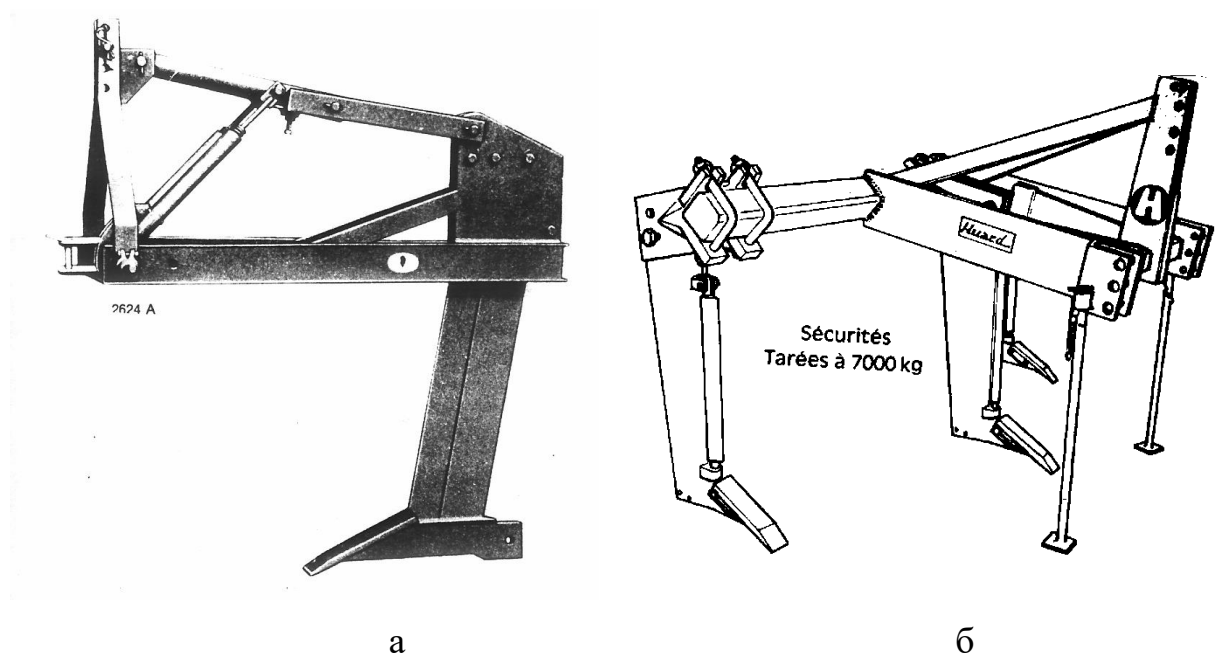


Рис. 9. Чизельні глибокорозпушувачі із рядним розміщенням робочих органів:

а – чизельний агрегат виробника «Rabewerk»; б – чизельний агрегат виробництва «Huard»

Обмеження фронтального рядного розміщення робочих органів на чизельних агрегатах обумовлюється тим фактором, що за умов роботи таких

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

агрегатів в полі у випадку зменшення міжсліdda між сусідньо розміщеними лапами зростають вплив зон розпушування цих суміжних лап. Це забезпечує так зване забивання між робочими органами крупними грудками ґрунту та порушення стабільної роботи глибокорозпушувача і різке підвищення енерговитрат на процес. Поряд з цим є і переваги однорядного розміщення лап на ґрунтообробному агрегаті, серед яких виділяється простота самого знаряддя і допоміжних елементів глибокорозпушувачів.

Для того, щоб забезпечити задану якість робіт, насамперед це відноситься до глибини суцільного обробітку, що вимагає забезпечення перекриття між зонами деформації чизельних робочих органів більш доцільно реалізовувати дво- чи кількорядову розстановку чизельних лап, переважно у шаховому порядку. Така схема знайшла найбільшого розповсюдження і майже всі виробники виготовляють ґрунтообробні агрегати, що працюють із такою схемою розстановки робочих органів [2-7, 12-14]. За такою ж схемою розстановки робочих органів випускається цілий ряд ґрунтообробних агрегатів, наприклад чизельний плуг «SPROSSER» виробника «RABE» (Німеччина) (рис. 10), серії чизельних глибокорозпушувачів «PINOCCHIO», «ATTILA», «ARTIGLIO» (рис. 11), «DIABLO» від виробника «MASCHIO GASPARD» (Італія) та ряд інших іменитих виробників.



Рис. 10. Загальний вигляд чизельного глибокорозпушувача «SPROSSER» виробника «RABE» (Німеччина)

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



Рис. 11. Чизельний глибокорозпушувач «ARTIGLIO» виробника «MASCHIO GASPARDO» (Італія)

Перелічені вище агрегати є досить надійними в експлуатації, мають відносно досконалу, з точки зору реалізації технологічного процесу обробки ґрунту конструкцію і є поширеними у великих господарствах України. Проте, для них характерна занадто висока ціна, причому не лише на глибокорозпушувачі, а й на запасні частини, ще одним суттєвим недоліком є те, що вони можуть агрегуватися лише із потужними закордонними тракторами із високопродуктивною гідравлічною системою, що теж є фактором який ускладнює використання таких машин середніми фермерами.

Вітчизняні виробники сьогодні знаходяться в пошуку раціональної конструкції чизельних глибокорозпушувачів, причому в цьому напрямку працюють як великі підприємства, такі як ВО «Одесаґрунтмаш», Уманьфермаш, Білоцерківмаш, Велос-Агро так і дрібніші, серед яких Культиваторний завод ПП «Савицький», «Деметра», БМ-Системз тощо.

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

Більшість із перелічених виробників займалися випуском чизельних плугів-глибокорозпушувачів типу ПЧ (рис. 12). В більшості варіантів виконання плуги-глибокорозпушувачі типу ПЧ комплектувалися прямим стояками і виготовлялися як в навісному так і в причіпному виконанні. Лапи при цьому розставлялися на рамі в два чи три ряди, залежно від ширини захвату агрегату.



Рис. 12. Чизельний плуг-глибокорозпушувач типу ПЧ виробництва України

Отже, підсумовуючи проведений огляд існуючого стану техніки для безполицевого обробітку ґрунту можна зробити висновок, що чизельні глибокорозпушувачі та чизельні плуги-глибокорозпушувачі знаходять все більшого практичного використання в господарських умовах. Незважаючи на певні конструктивні відмінності в конструкціях сьогодні домінують чизельні лапи із прямим стояком та дво- чи кількярядовою компоновкою робочих органів. Проте варто наголосити, що використання лише класичної чизельної лапи із прямим стояком та долотом не здатні забезпечити заданих якісних показників обробітку ґрунту, а тому використання різних додаткових робочих

органів у вигляді різних за конструкцією крил, закрилків, обтікачів, різних біонічних конструкцій є обґрунтованим і доцільним. На основі проведеного аналізу та проведених у розділі 2 розрахунків і пропозицій по вдосконаленню запропоновано у чизельному плугі-глибокорозпушувачі ПЧ-4,5 використовувати долото увігнуто-опуклої форми та крила обтікаємої форми типу хвіст дельфіна. Проведемо експериментальне дослідження запропонованих вдосконалень та розробимо практичні рекомендації щодо використання вдосконалених елементів конструкції.

3.3. Експериментальні дослідження чизельного плуга-глибокорозпушувача

Для проведення експериментальних досліджень впливу параметрів вдосконаленої чизельної лапи на ефективність обробітку ґрунту було виготовлено робочі органи із крилами обтікаємої форми (рис. 13). Такі крила було виготовлено різної кривизни поверхні. Далі на серійний плуг-глибокорозпушувач встановлювали чизельні лапи із вдосконаленими крилами та керуючись методикою планування багатофакторного експерименту проводили експериментальні дослідження впливу ряду факторів на якість обробітку ґрунту.



Рис. 13. Загальний вигляд вдосконалених крил типу хвіст дельфіна

Досліди проводилися у трикратній повторності, в ході яких досліджували вплив конструкції та окремих технологічних параметрів роботи на коефіцієнт кришення ґрунту, який визначали за виразом:

$$k = \frac{M - P}{M},$$

де M – вага всього ґрунту, що обрано для оцінки якості обробітку, гр;

P – вага часток ґрунту у навісці, розміри яких перевищують 50 мм., гр.

Навіску ґрунту обирали після проходження агрегату методом відбору середніх проб без пошкодження структури обробленого ґрунту. Для розділення ґрунтових часток на фракції та зважування кожної із них застосовували класичний решітний класифікатор (рис. 14).



Рис. 14. Загальний вигляд решітного класифікатора для розділення обробленого ґрунту на фракції за розміром

На основі класичної методики планування факторного експерименту [15, 16] використовуючи програму STATISTICA вивчали вплив факторів на коефіцієнт кришення ґрунту. Серед факторів, вплив яких на критерій оптимізації вивчали обрано: швидкість руху чизельного плуга-глибокорозпушувача V , км/год; глибина розпушування, H , см; та

усереднений радіус кривизни зовнішньої частини крила обтікаємої форми, R , мм.

Фактичні значення обраних факторів, їх інтервали варіювання та порядок кодування наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Фактори та рівні їх варіювання для експериментальної оцінки якості роботи чизельного плуга-глибокорозпушувача

№	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Найменування	Позначення	Верхній (+)	Нижній (-)	
1	Швидкість руху чизельного плуга-глибокорозпушувача V , км/год	x_1	10,0	5,0	2,5
2	Глибина розпушування H , см	x_2	45	25	10
3	Радіус кривизни зовнішньої частини крила R , мм.	x_3	200	120	40

Так як досліджували вплив трьох факторів на критерій оптимізації, то в програмі STATISTICA реалізували класичну статистичну модель вигляду $n = 2^3 = 8$. Загальний вигляд вікна планування експерименту та його реалізація в даній програмі наведена на рис. 15, рис. 16.

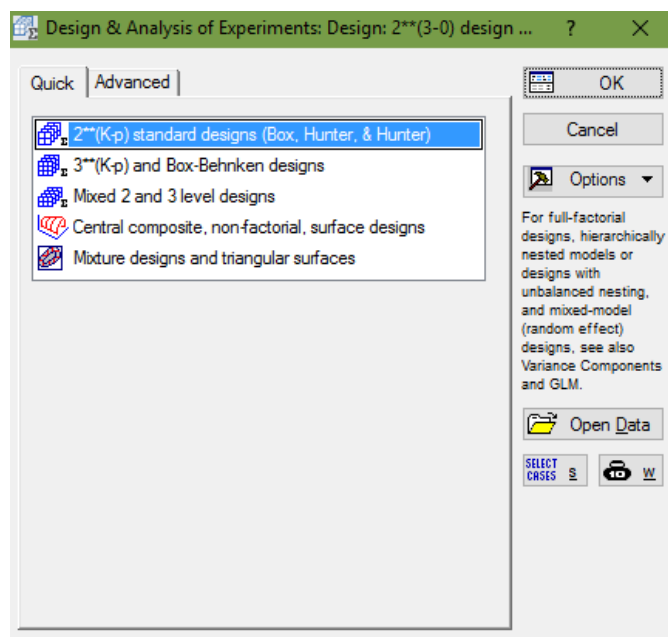


Рис. 15. Вибір виду статистичної моделі в системі STATISTICA

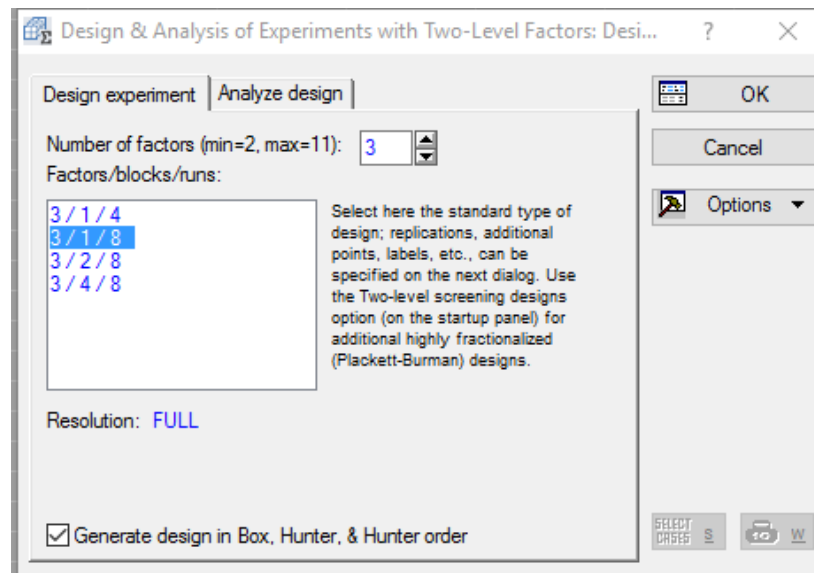


Рис. 16. Вибір кількості факторів та порядку проведення експериментальних досліджень

Далі у виринаючому вікні програми STATISTICA після реалізації всіх вище перелічених процедур, слід ввести обрані фактори, які наведені в таблиці 2. Це дозволить отримати матрицю планування експерименту та порядок проведених дослідів, а додавання четвертої колонки до таблиці, в яку потрібно ввести середнє значення за трикратною повторюваністю отриманого критерію оптимізації дозволить отримати кінцеву таблицю реалізованого багатофакторного експерименту (рис. 17).

	1	2	3	4
	V, км/год	H, см	R, мм	Y, %
1	5	25	120	52
2	10	25	120	60
3	5	45	120	61
4	10	45	120	64
5	5	25	200	54
6	10	25	200	55
7	5	45	200	66
8	10	45	200	70

Рис. 17. Табличний результат факторного експерименту вивчення впливу параметрів і режимів роботи чизельного плуга-глибокорозпушувача на кришення ґрунту

Пакет програм статистика в автоматичному режимі дозволяє розрахувати коефіцієнти статистичної математичної моделі та ряд інших показників, що представлені на рис. 18.

Effect Estimates; Var.:Y, %; R-sqr=,97117; Adj.:7982 (Spreadsheet5) 2**(3-0) design; MS Residual=8, DV: Y, %										
Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	60,25000	1,000000	60,25000	0,010565	47,5438	72,95620	60,25000	1,000000	47,5438	72,95620
(1)V, км/год	4,00000	2,000000	2,00000	0,295167	-21,4124	29,41241	2,00000	1,000000	-10,7062	14,70620
(2)H, см	10,00000	2,000000	5,00000	0,125666	-15,4124	35,41241	5,00000	1,000000	-7,7062	17,70620
(3)R, мм	2,00000	2,000000	1,00000	0,500000	-23,4124	27,41241	1,00000	1,000000	-11,7062	13,70620
1 by 2	-0,50000	2,000000	-0,25000	0,844042	-25,9124	24,91241	-0,25000	1,000000	-12,9562	12,45620
1 by 3	-1,50000	2,000000	-0,75000	0,590334	-26,9124	23,91241	-0,75000	1,000000	-13,4562	11,95620
2 by 3	3,50000	2,000000	1,75000	0,330499	-21,9124	28,91241	1,75000	1,000000	-10,9562	14,45620

Рис. 18. Результат реалізації багатфакторного експерименту із визначення якості роботи чизельного плуга-глибокорозпушувача

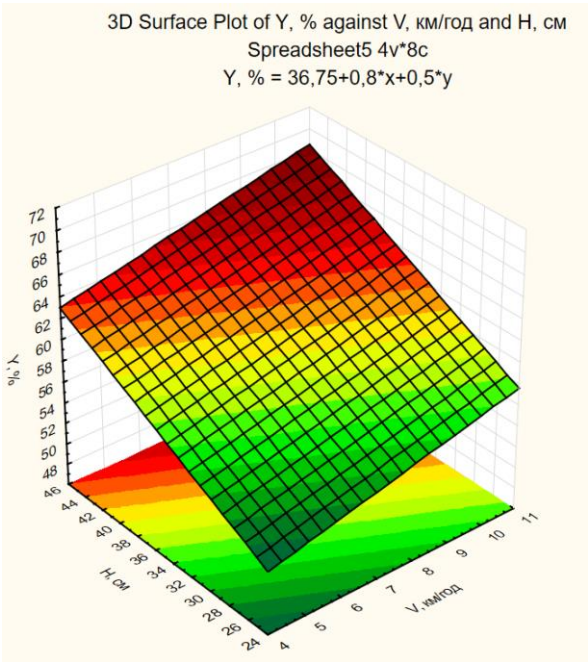
Із наведеного результату (рис. 18) можна отримати статистичну модель наступного виду:

$$Y = 60,25 + 2x_1 + 5x_2 + 1x_3 - 0,25x_1x_2 - 0,75x_1x_3 + 1,75x_2x_3.$$

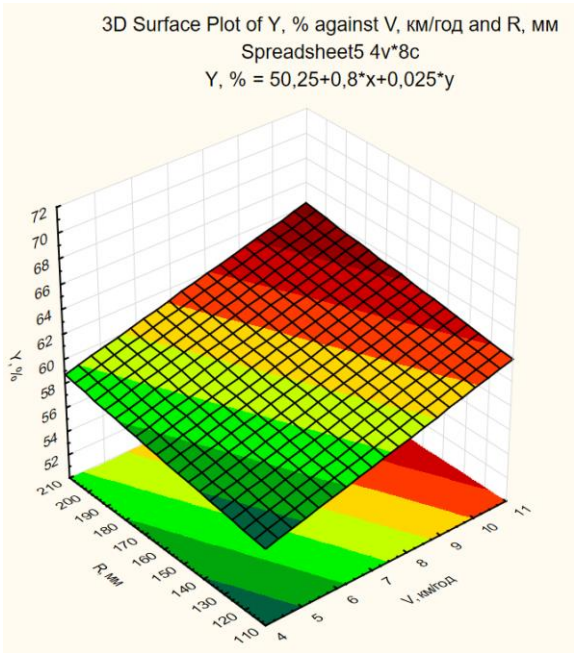
Система STATISTICA провела всі стандартні процедури із оцінки значимості коефіцієнтів, відтворюваності та адекватності наведеної статистичної математичної моделі. Нижче наведено тривимірні графіки попарного впливу факторів на критерій оптимізації (рис. 19).

Аналіз побудованої статистичної математичної моделі та графіків впливу дозволяє зробити висновок, що в обраному діапазоні значень збільшення швидкості V та глибини обробітку H забезпечує поліпшення якості обробітку. Те ж саме відноситься і до радіусу кривизни зовнішньої частини крила R , проте попарний вплив швидкості із глибиною та швидкості із радіусом кривизни крил чинить негативний вплив на критерій оптимізації. Цілком очевидно, що підвищення швидкості в реальних польових умовах є досить проблемним, оскільки це пов'язане із швидкісними параметрами трактора і його маневровими властивостями, а тому швидкість слід обирати виходячи із рекомендованих діапазонів для даних робіт. Виходячи з цього, та з врахуванням, що чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5 в господарстві

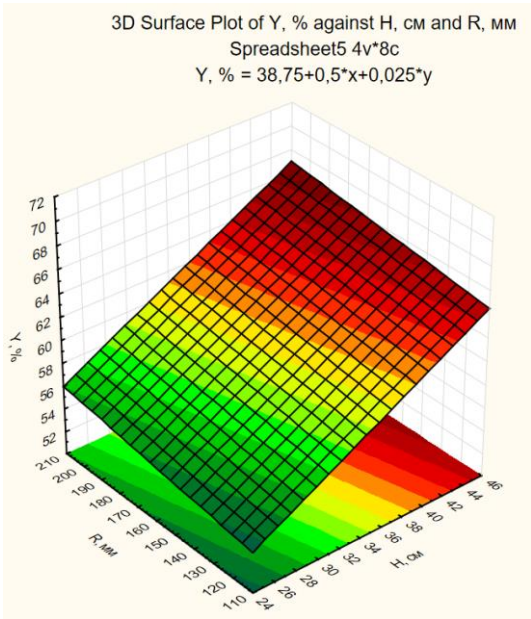
експлуатується із трактором Т-150К, робоча швидкість при обробітку ґрунту складає близько 10 км/год.



а



б



в

Рис. 19. Графіки попарного впливу факторів на ефективність роботи чизельного плуга-глибокорозпушувача

Якщо проаналізувати глибину обробітку, то цей параметр взаємопов’язаний із зростанням загального тягового опору агрегату. Враховуючи проведені в попередньому розділі розрахунки та дані

експерименти, найбільш доцільно за даних умов, щоб плуг-глибокорозпушувач працював в діапазоні глибин 35...40 см. Відносно радіусу кривизни зовнішньої частини крила, проведені дослідження дозволяють констатувати, що усереднений радіус крила на рівні 150...160 мм дозволяє досягти якості розпушування ґрунту на рівні 70...75%, що повністю вкладається в агротехнічні вимоги і є на 7...10% краще якщо плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5 працюватиме без крил і на 5...6%, якщо крила будуть звичайні прямолінійні.

4. Охорона праці

Під час експлуатації агрегату ПЧ-4,5 на механізатора може діяти ряд шкідливих та небезпечних виробничих факторів [17]. До фізичних відносять:

- рухомі елементи агрегату, в тому числі й рух самого агрегату в полі;
- підвищений рівень запиленості робочої зони;
- відхилення від нормативної температури повітря робочої зони;
- вищі за нормативний рівень вібрації та шуму при експлуатації чизельного плуга-глибокорозпушувача;
- занадто висока чи низька вологість повітря в зоні використання глибокорозпушувача, надто висока швидкість руху повітряних мас тощо;
- невідповідна до нормативного освітленість робочої зони, відсутність чи нестача природнього світла, невірна робота освітлювальних приладів під час роботи плуга-глибокорозпушувача в нічний час;
- гострі чи виступаючі частини агрегату, наявність задирок, підвищена шорсткість поверхні машини чи окремих елементів конструкції;
- розміщення робочого місця механізатора та місць обслуговування агрегату на великій висоті відносно поверхні поля;
- підвищена пожежонебезпека.

До хімічних шкідливих та небезпечних виробничих факторів відносять:

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

- контакт при роботі на агрегаті із подразнюючими чи такими, що впливають на репродуктивну функцію елементами, серед яких можна виділити будь-які агрохімікати, відпрацьовані гази двигуна трактора, підвищена концентрація хімічних речовин у пилу тощо.

Серед психофізіологічних шкідливих та небезпечних виробничих факторів виділяються:

- нервово-психічні перевантаження, наприклад монотонність та циклічність виконуваних робіт;
- фізичні перевантаження, що в даному випадку при роботі із чизельним плугом-глибокорозпушувачем можуть бути динамічними та статичними.

При роботі із чизельним глибокорозпушувачем використовується гідропривід, який має відповідати вимогам ДСТУ 2189-93. При з'єднанні чизельного плуга-глибокорозпушувача з трактором гідросистема повинна обов'язково під'єднуватися тільки розривними муфтами, які запобігають потраплянню мастила при під'єднанні-від'єднанні та в процесі подальшої роботи. При роботі агрегату в полі будь-які регулювання повинні відбуватися з кабіни трактора. Під час роботи скомплектованим плугом-глибокорозпушувачем сам агрегат і його системи не повинні заважати вільному огляду із місця керування, що зокрема відноситься до тих елементів, які мають бути під постійним наглядом. Для забезпечення вільного доступу механізатора до механізмів регулювання та під час обслуговування глибокорозпушувача у конструкції передбачено спеціальні поручні та підніжки.

Агрегат для основного безполицевого обробітку повинен бути додатково укомплектованим всім необхідним додатковим обладнанням і інструментом, яке дозволяє провести очищення робочих органів і інших елементів глибокорозпушувача від налиплого ґрунту, рослин та ін. Конструкція чизельного плуга-глибокорозпушувача має бути такою, яка б

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

дозволяла проводити комплектування одним механізатором, без додаткової участі помічників, а зусилля на поручні, ручки, механізми регулювання глибини тощо не мають перевищувати 200 Н. Працюючи із ґрунтообробним агрегатом механізатор на своєму робочому місці має бути захищеним від бруду, пилу, вібрацій, шуму та інших небезпечних і шкідливих виробничих чинників, що можуть супроводжувати процес обробітку ґрунту.

На етапі виробництва при фарбуванні ґрунтообробного агрегату колір має бути вибраний таким, який би був контрастним до загального фону використання агрегату, причому елементи конструкцій та механізмів передач, робочі органи та ін. елементи, що можуть нести додаткову загрозу працівнику повинні фарбуватися іншим кольором та обладнані додатковими загородженнями, щитками тощо. На елементах конструкцій чизельних плугів-глибокорозпушувачів, що є найбільш відповідальними для інформування про загрози і приховані небезпеки, перелік деяких регулювань і технологічних обслуговувань наносяться спеціальні знаки та інформаційні таблички.

Загалом скомплектований агрегат повинен повністю відповідати чинним вимогам до охорони праці, техніки безпеки та пожежної безпеки, що висуваються до сільськогосподарських машин загального призначення.

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

5. Економічна частина

Проведені в роботі вдосконалення дозволять забезпечити роботу чизельного плуга-глибокорозпушувача в комплекті з трактором Т-150К, що досягається за рахунок зниження тягового опору агрегату. Якщо серійний ґрунтообробний агрегат працює із трактором К-700, а витрати пального на гектар площі при глибині обробітку 40 см складають близько 30 кг/га, то працюючи із трактором Т-150К витрати пального знижуються до 25 кг/га. Отже, лише на пальному обробивши 100 га площі споживач вдосконаленого чизельного плуга-глибокорозпушувача може зекономити 500 кг, що в сучасних цінах на дизельне пальне становить 22750 грн.

Досить проблемно розрахувати економічну ефективність від реалізації технології глибокого розпушування ґрунту чизельним плугом-глибокорозпушувачем, що досягається за рахунок поліпшення водно-повітряного режиму ґрунту та започаткування основ ґрунтозахисного землеробства. Так, доведено [4, 14], що в результаті систематичної реалізації таких операцій забезпечується підвищення врожайності зернових на 10-15%, по технічних культурах – до 18%.

Щодо економічного ефекту виробника, то станом на 2022 рік вартість виготовлення крил звичайної пласкої форми складає приблизно 275 грн на одну лапу. При цьому, якщо виготовляти крила опуклої форми типу хвіст дельфіна їх вартість на лапу зростає до 380 грн, але при цьому напрацювання вдосконалених крил, за даними споживачів, перевищує час роботи серійних в два рази.

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

6. Висновок

Виконана кваліфікаційна робота дозволила підтвердити доцільність проведення основного обробітку ґрунту способом глибокого безполицевого розпушування, для чого варто використовувати чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5 після внесення в його конструкцію певних вдосконалень.

До суттєвих недоліків серійного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5, які отримані за протоколами випробувань і відгукам користувачів відносять підвищений тяговий опір та низькі показники якості кришення ґрунту за ускладнених умов роботи. З метою усунення виявлених недоліків запропоновано використовувати на стояку чизельної лапи додаткові робочі органи у вигляді крил, які мають криволінійну робочу поверхню, а обриси цієї поверхні схожі на хвіст дельфіна. Встановлено, що така форма крил дозволяє зменшити опір, за умови поліпшення кришення ґрунту і руйнування нижніх горизонтів необробленого ґрунту. Це досягається за рахунок забезпечення переходу від стискаючих напружень на лезі крил (на їх початку) до напружень розтягу на опуклості крила (верхня частина, зона сходження часток ґрунту). Така інтенсифікація появи тріщин у необробленому ґрунті в нижні горизонти забезпечується за рахунок особливості форми крила, що фактично відтворює хвіст дельфіна. Це дозволяє при малому опорі руху на краях поверхні крила забезпечує виконання значної роботи в місці максимальної опуклості. Для зниження опору та інтенсифікації кришення на етапі сколювання ґрунту долотом доцільно виконати криволінійною і поверхню долота.

Запропоновані зміни дозволяють знизити енерговитрати, поліпшити кришення та забезпечити більш вирівняну денну поверхню поля. В інженерній частині проведені всі необхідні розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність вдосконаленого чизельного плуг-глибокорозпушувача ПЧ-4,5.

В науковій частині роботи проаналізовані існуючі конструкції сільськогосподарських машин і знарядь, що можуть використовуватися для аналогічних операцій. Проведений аналіз та вивчення схеми розстановки та принципів конструктивних ознак чизельних плугів-глибокорозпушувачів,

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

які забезпечать високі якісні показники роботи за умов ускладнених зовнішніх ґрунтово-кліматичних умов. Розроблені дієві рекомендації відносно напрямків вдосконалень ґрунтообробних агрегатів для глибокого безполицевого обробітку ґрунту.

Керуючись методикою планування багатофакторного експерименту проведені експериментальні дослідження оцінки впливу окремих вдосконалених параметрів і режимів роботи чизельного плуга-глибокорозпушувача на якість обробітку ґрунту. Встановлені рекомендовані параметри, а саме – швидкість руху чизельного плуга-глибокорозпушувача $V \approx 10$ км/год; глибина розпушування $H = 35...40$ см.; радіус кривизни зовнішньої частини крила $R = 150...160$ мм. За таких умов досягається якість розпушування ґрунту на рівні 70...75%, що повністю відповідає агротехнічним вимогам і є на 7...10% краще ніж при роботі плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5 без крил і на 5...6%, якщо крила будуть звичайної прямолінійної форми.

Вжиті заходи з охорони праці, що дозволяють уникнути шкідливих та небезпечних факторів, які можуть виникнути при роботі із вдосконаленим ґрунтообробним агрегатом. Проаналізовані показники економічної ефективності вдосконалень, які підтверджують доцільність практичної реалізації розробок.

					УЧПГ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Список використаної літератури

1. Методичні рекомендації до оформлення випускної кваліфікаційної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності 208 «Агроінженерія» / Васильковський О.М., Петренко Д.І., Васильковська К.В., Лещенко С.М., Мороз С.М. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 38 с.
2. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов.-К.: Урожай, 1996. – 240 с.
3. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування / Під ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.
4. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.
5. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
6. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
7. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: Підручник. – К.: Каравела, 2004. – 552 с.
8. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.
9. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. / [Бендера І. М. та ін.]; за ред. І. М. Бендери, А. В. Рудя, Я. В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. – 640 с.
10. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2-ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун-т, 2011. – 444 с.

					УЧПГ 00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
12. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.
13. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Машини для обробітку ґрунту та сівби. – МінАПК України, Дослідницьке, 2009. – 288 с.
14. Ветохин В.И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы: Дис. ... д-ра техн. наук: / В.И. Ветохин // НТУУ «Киевский политехнический институт». – К., 2010. – 284 с.
15. 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.
16. Петренко М.М. Основи наукових досліджень: Навч. посібник. – Кіровоград, 1997.– 170 с.
17. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003.– 408 с.
18. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу: підручник / В. Г. Андрійчук. – К. : КНЕУ, 2013. – 779 с.
19. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник – К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.

					УЧПГ 00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Презентація графічної частини магістерської
кваліфікаційної роботи на тему:

Удосконалення конструкції додаткових робочих органів чизельного плуга- глибокорозпушувача

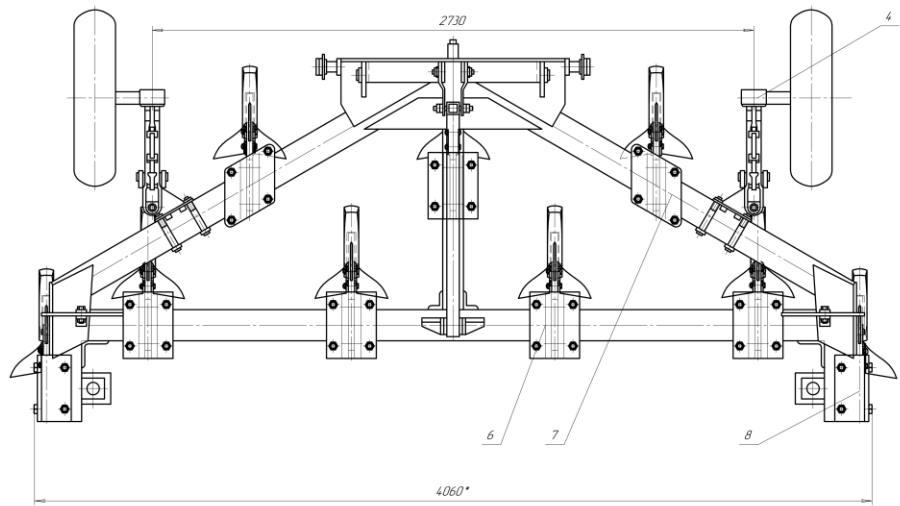
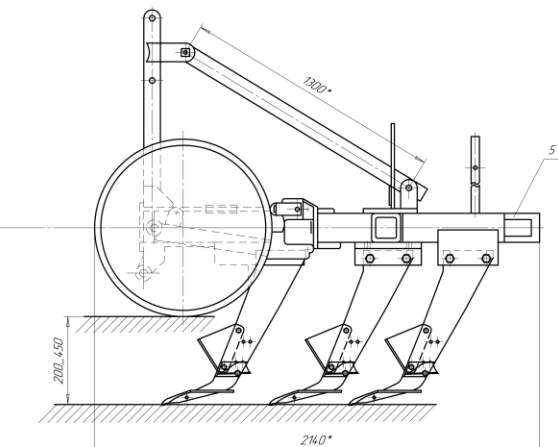
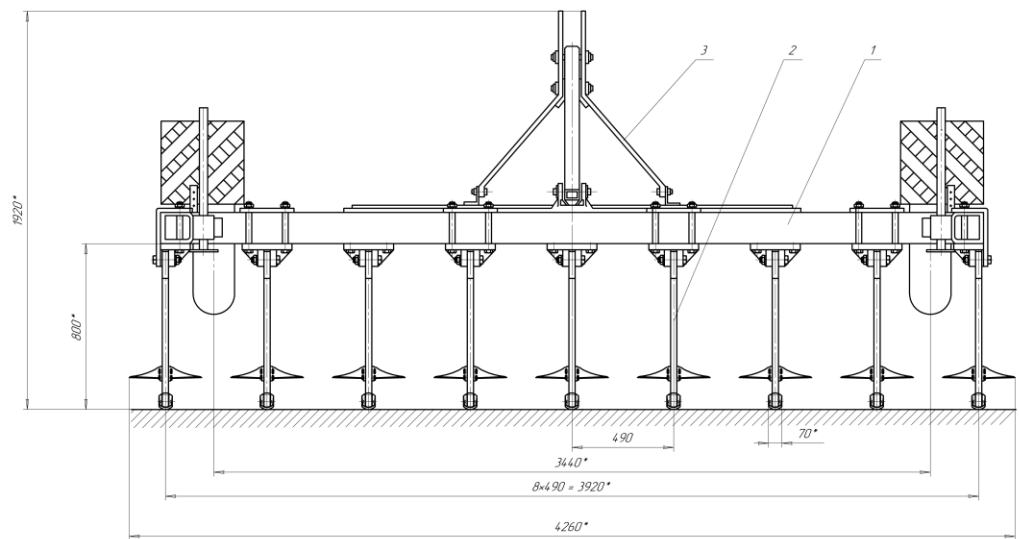
Виконав: ст. гр. ГМ(СМ)-21М Псарьов Юрій Юрійович

Керівник роботи: доц. Лещенко С.М.

Кропивницький, 2023 р.

Складальне креслення чизельного плуга-глибокорозпушувача ПЧ-4,5

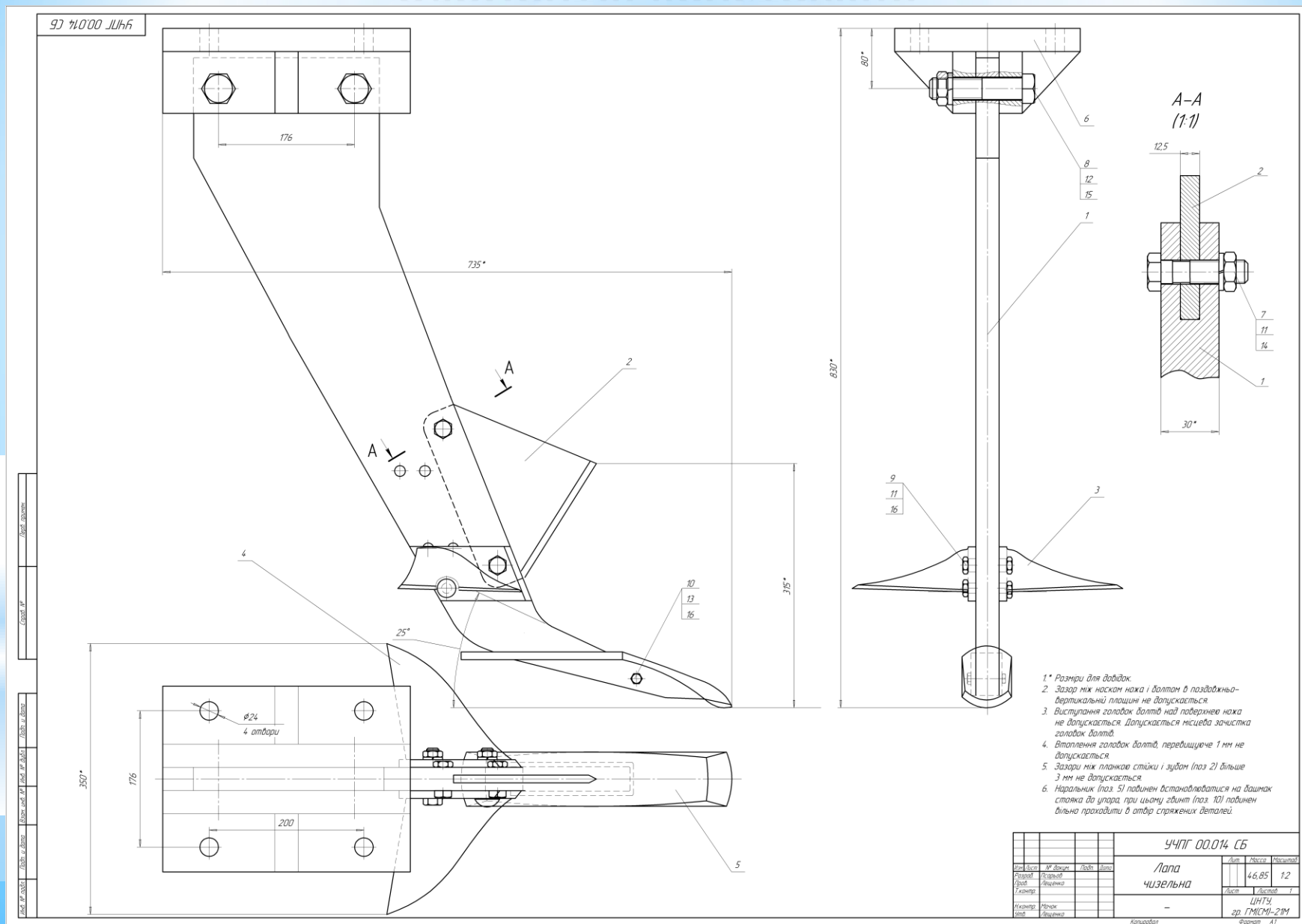
92 000'00 ЛПЧ-6



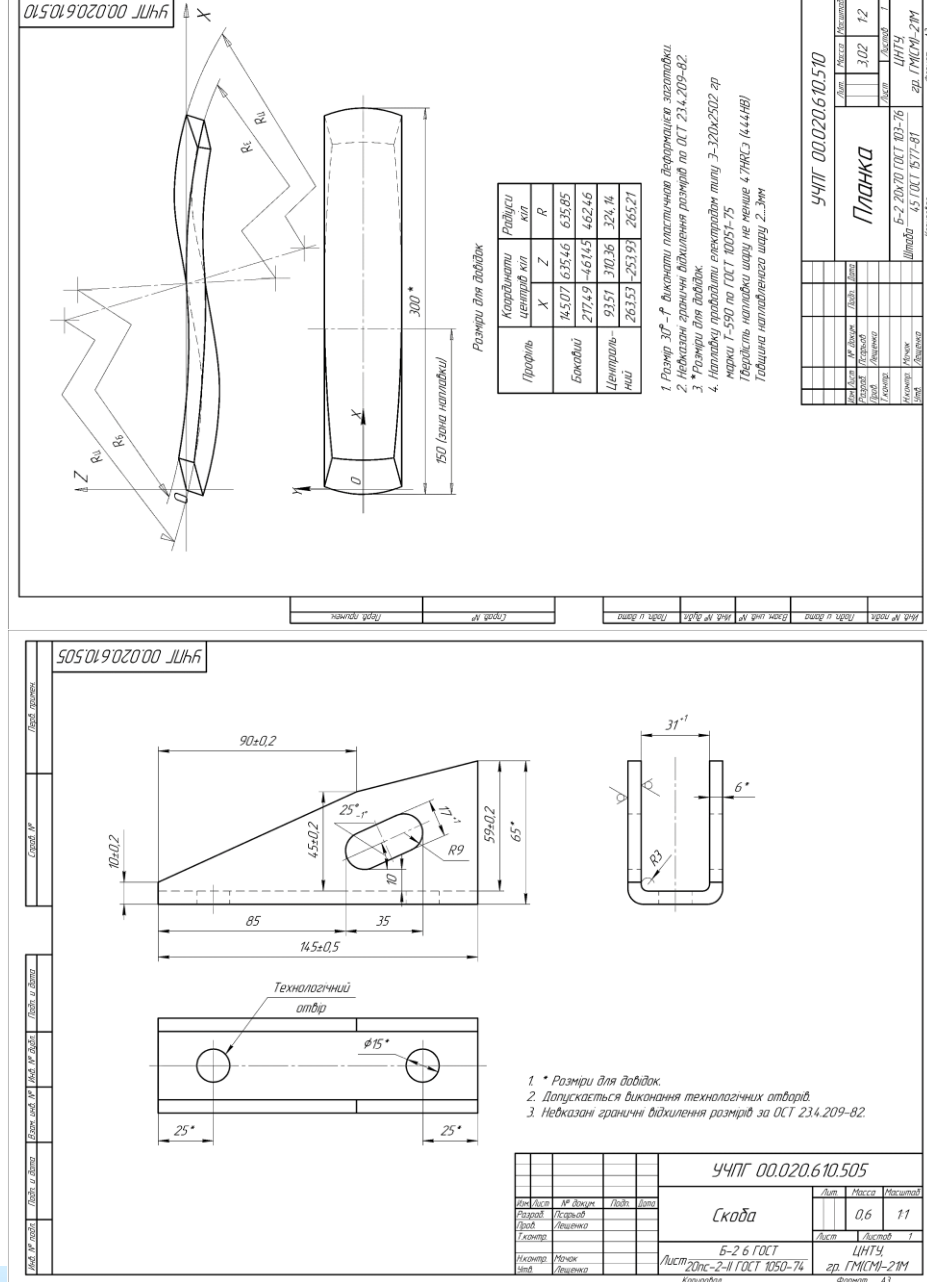
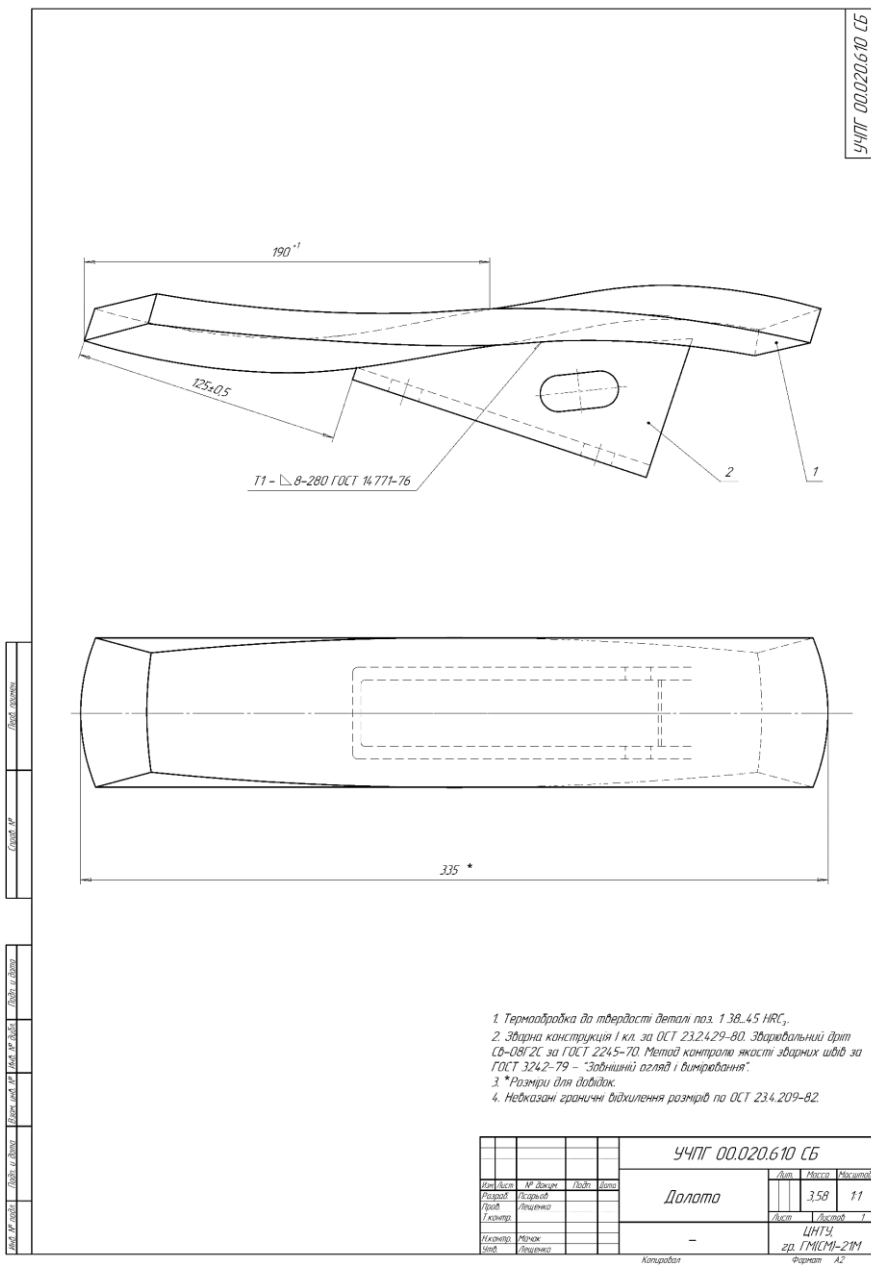
- 1. Фабрикувати "Місце строповки" трактором Т-4 ГОСТ 14.763-73.
- 2. Якість готового зібраного чизельного плуга повинна відповідати технічним умовам на плуг ПЧ-4,5.
- 3. Після збирання чизельний плуг повинен пройти обкатку.
- 4. Машина поставиться у максимально зібраному стані.
- 5. Зусилля затягування валових з'єднань на набірному пристрої $P = 24 \text{ Н/м}$, робочих органів - 16 Н/м .
- 6. Відхилення стовпів чизельних лоп у вертикальній площині до 3-х мм.
- 7* Розміри для ввідок.

УЧПГ 00.000 СБ					
Чизельний плуг-глибокорозпушувач ПЧ-4,5			Вит	Маса	Масштаб
			1795	1:10	
			Лист	Кресл	1
			ЦНТН		
			20 ГИМСН-21М		
			Формат А1		

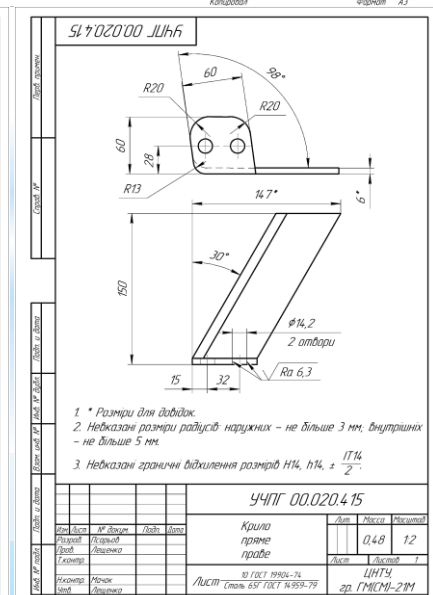
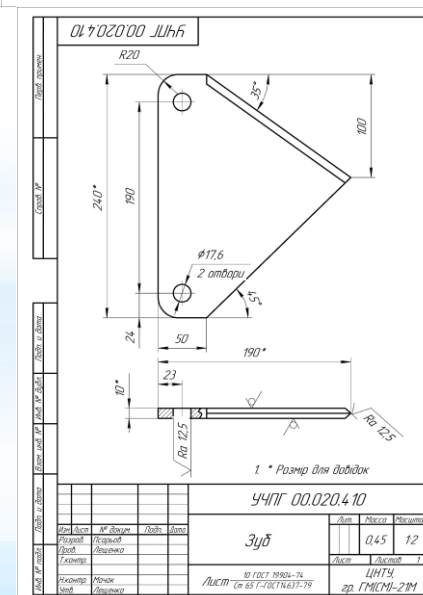
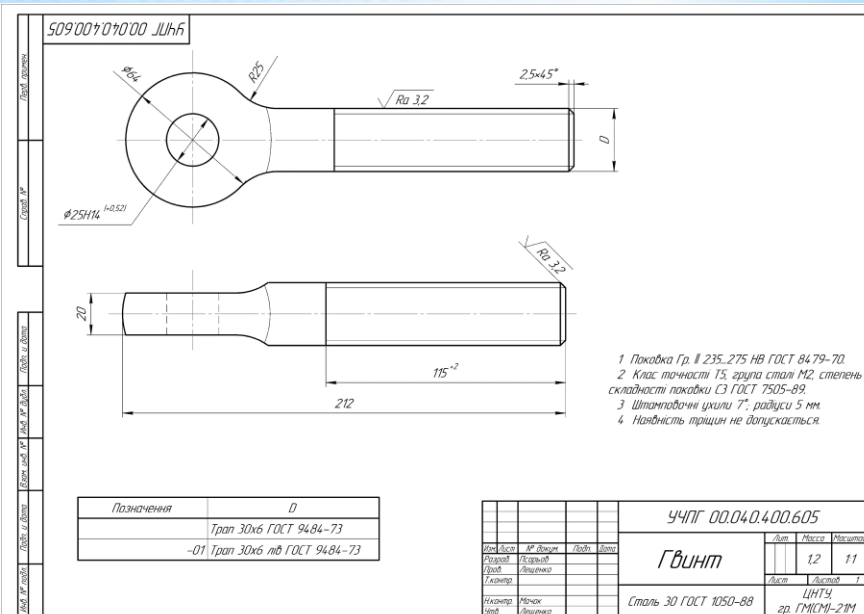
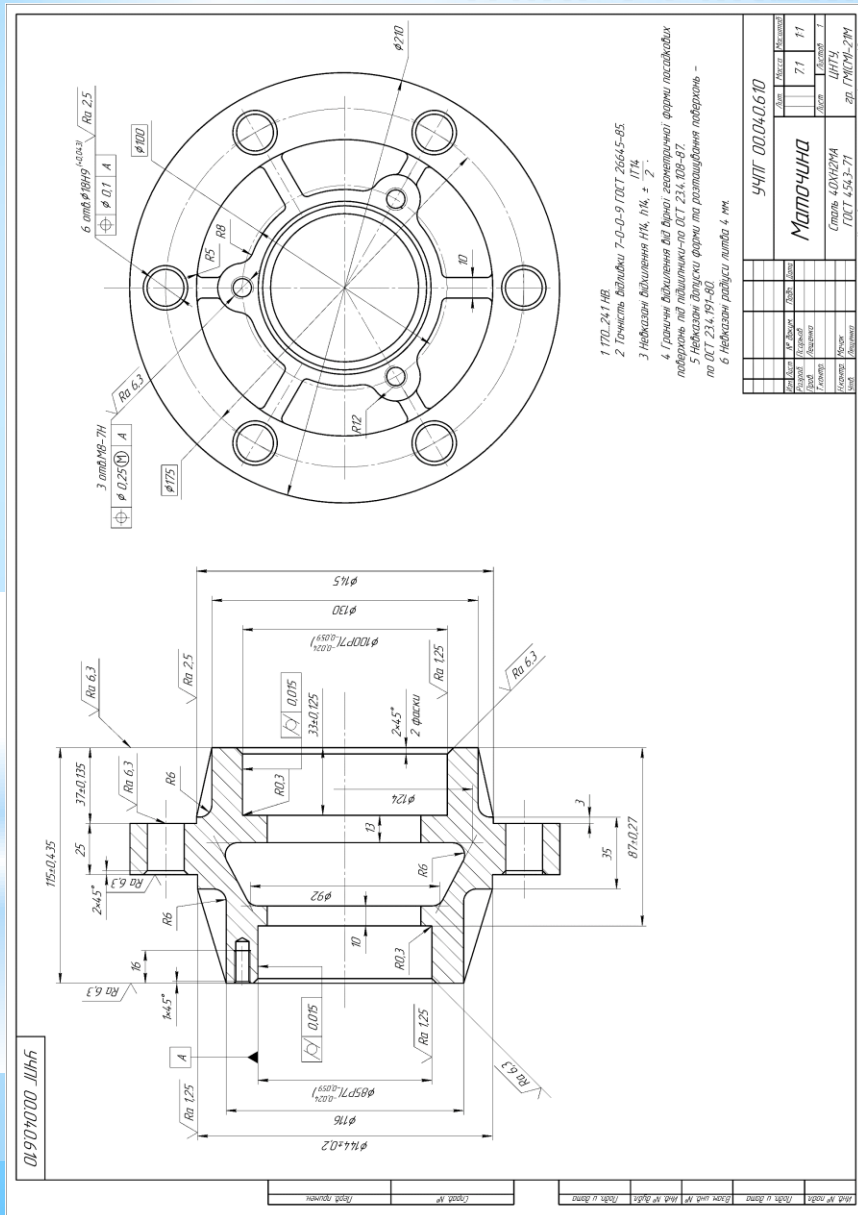
елементів конструкції



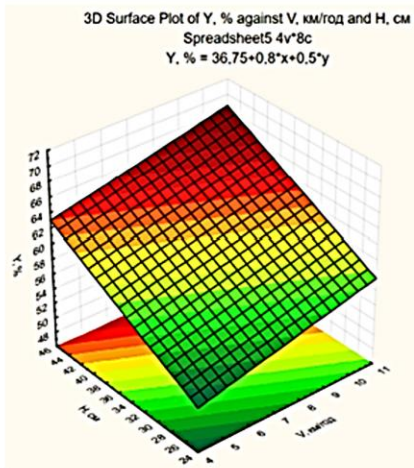
Складальне креслення та деталювання долота



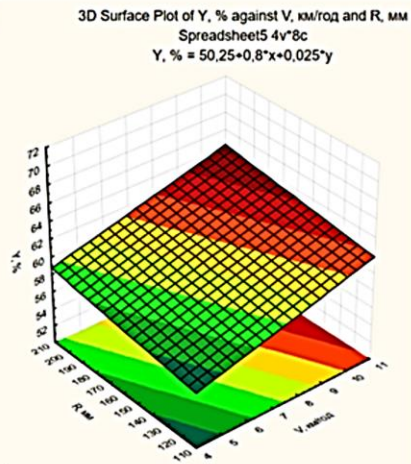
Деталювання вдосконалених елементів чизельного плуга-глибокорозпушувача



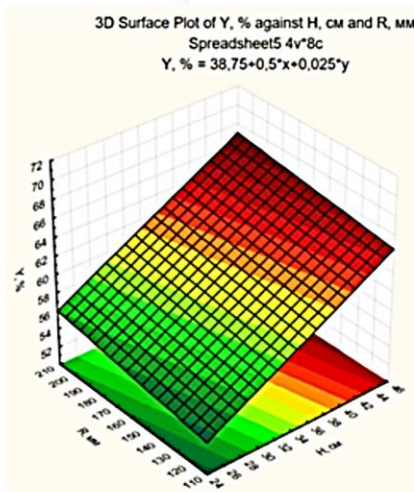
Результати експериментальних досліджень



а/



б/



в/

а) поверхня відгуку $Y=f(x_1, x_2)$
впливу швидкості руху чизельного
плуга-глибокорозпушувача та глибини
розпушування на критерій оптимізації

б) поверхня відгуку $Y=f(x_1, x_3)$
впливу швидкості руху чизельного
плуга-глибокорозпушувача та радіусу
кривизни зовнішньої частини крила
на критерій оптимізації

в) поверхня відгуку $Y=f(x_2, x_3)$
впливу глибини розпушування та
радіусу кривизни зовнішньої частини
крила на критерій оптимізації

Рівняння регресії

$$Y = 60,25 + 2x_1 + 5x_2 + 1x_3 - 0,25x_1x_2 - 0,75x_1x_3 + 1,75x_2x_3$$

УЧПГ 00.001 НЧ					
Результати експериментальних досліджень	Дат.	Вісн.	Висновок	Дат.	Вісн.
Дир.	-	-	-	-	-
Заст.	-	-	-	-	-
Викон.	-	-	-	-	-
Відп.	-	-	-	-	-
ЦНТД			до ГРІСН-2ВН		
Класифікація			Варіант 11		

Наукова частина роботи

Дякую за увагу!