

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних
параметрів плуга загального призначення**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-23 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Гулий Дмитро Олександрович

Керівник: _____ Пономаренко Наталія

Олександрівна

Рецензент: _____

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ _____.

(назва кафедри)

доцент _____.

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Гулий Дмитро Олександрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« ____ » листопада 2024 року № _____

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих засобів для основного обробітку ґрунту. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання дослідження. 2. Теоретичне обґрунтування комбінованого ґрунтообробного робочого органу плуга. 3. Програма і методика експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність впровадження плуга загального призначення обладнаного комбінованими ґрунтообробними робочими органами. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі, об'єкт, предмет досліджень. 2. Класифікація робочих органів для основного обробітку ґрунту. 3, 4 Теоретичні дослідження комбінованого ґрунтообробного робочого органу плуга загального призначення, 5, 6. Програма та методика експериментальних досліджень. 6. Програма та методика експериментальних досліджень 7, 8. Результати досліджень. 9. Охорона праці, 10. Економічні показники, 11. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О.		
2	Пономаренко Н.О.		
3	Пономаренко Н.О.		
4	Пономаренко Н.О.		
5	Пономаренко Н.О.		
6	Пономаренко Н.О.		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 30.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.05.2024 р.	
2	Теоретичний	до 10.07.2024 р.	
3	Експериментальний	до 29.09.2024 р.	
4	Охорона праці	до 15.10.2024 р.	
5	Економічний	до 22.10.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 29.10.2024 р.	

Студент _____

(підпис)

_____ Гулий Д.О..

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

_____ Пономаренко Н.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1. Стан питання і завдання дослідження.....	10
1.1. Ґрунтово-кліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур в умовах Лісостепу.....	10
1.2. Орні та підорні горизонти та їх вплив на родючість ґрунту.....	12
1.3. Аналіз способів основного обробітку ґрунту, класифікація робочих органів.....	18
1.4. Аналіз та оцінка робочих органів для пошарового обробітку ґрунту.....	23
1.5. Огляд теорій розпушування ґрунтового пласту.....	25
1.6 Мета і завдання дослідження.....	30
2 Теоретичне обґрунтування комбінованого ґрунтообробного робочого органу плуга.....	31
2.1. Розробка комбінованого ґрунтообробного робочого органу.....	31
2.2. Обґрунтування параметрів борозни підорного горизонту при обробітку ґрунту.....	32
2.3. Обґрунтування конструкції робочого органу.....	34
2.4. Обґрунтування основних параметрів розрихлювача.....	35
2.4.1. Обґрунтування профілю робочої поверхні розрихлювача.....	36
2.4.2. Обґрунтування кута постановки ріжучої кромки розрихлювача відносно напрямлення його руху.....	41
2.5. Визначення кінематичних і силових характеристик розрихлювача.....	42
2.5.1. Визначення кінематичних і силових характеристик долота.....	42
2.5.2. Визначення кінематичних і силових характеристик розрихлювача.....	47
2.6. Визначення тягового опору експериментального розрихлювача.....	49
2.7. Визначення тягового опору орного агрегату.....	49
Висновки до розділу.....	51
3. Програма і методика експериментальних досліджень.....	52
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	52
3.2. Загальна методика досліджень.....	53
3.3. Експериментальна установка і контрольно - вимірювальні прилади.....	54

3.4. Методика визначення основних фізико - механічних характеристик оброблюваного ґрунту.....	59
3.5. Методика лабораторних і польових досліджень основних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу.....	64
3.5.1 Методика лабораторних досліджень по оптимізації основних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу.....	64
3.5.2. Методика польових досліджень енергетичної оцінки плугів із застосуванням комбінованих ґрунтообробних робочих органів.....	66
3.5.3. Вибір керованих факторів і рівнів їх варіювання.....	71
3.5.4. Планування факторного експерименту.....	73
Висновки до розділу.....	77
4. Результати експериментальних досліджень та їх аналіз.....	78
4.1. Фізико-механічні характеристики оброблюваного ґрунту.....	78
4.2. Вплив досліджуваних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу плуга на зміну тягового опору розрихлювача.....	79
4.3. Польові дослідження агрегатів із застосуванням комбінованих ґрунтообробних робочих органів.....	79
4.3.1. Умови проведення польових досліджень.....	80
4.3.2. Оцінка якості оранки.....	81
4.3.3. Аналіз енергетичних характеристик агрегатів, оснащених комбінованими ґрунтообробними робочими органами.....	83
4.4. Результати польових досліджень та їх аналіз.....	85
Висновки до розділу.....	86
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	86
5.1 Дослідження та оцінка стану з охорони праці в ПП «Ларіни».....	87
5.2 Аналіз показників виробничого травматизму та захворювань, причини їх виникнення в господарстві.....	90
5.3. Заходи по поліпшенню умов праці.....	92
5.4 Безпека праці в надзвичайних ситуаціях у разі виникнення пожежі.....	93
5.5 Рекомендації щодо забезпечення безпеки та поліпшенню умов праці в підприємстві.....	93

	7
Висновки.....	95
6. Економічна ефективність впровадження плуга загального призначення обладнаного комбінованими ґрунтообробними робочими органами.....	96
6.1. Визначення галузевої собівартості плуга загального призначення.....	96
6.2. Визначення економічної ефективності удосконалення плуга загального призначення.....	97
Загальні висновки.....	101
Список використаної літератури.....	103
Додатки.....	107

АНОТАЦІЯ

Гулий Д.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів плуга загального призначення / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки, що містить 104 сторінок друкованого тексту та 10 слайдів ілюстративної частини.

Метою роботи є зниження енерговитрат основного обробітку ґрунту використанням комбінованого робочого органу плуга загального призначення.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено наступні задачі досліджень:

- обґрунтовано і розроблено конструкцію комбінованого робочого органу плуга загального призначення, що забезпечує зниження енерговитрат під час виконання основного обробітку ґрунту.

- виконані теоретичні дослідження по обґрунтуванню основних технологічних параметрів і тягового опору розрихлювача комбінованого робочого органу плуга загального призначення.

- проведено дослідження в лабораторних умовах за оцінкою впливу основних технологічних параметрів розрихлювача комбінованого робочого органу плуга загального призначення на його тяговий опір.

- виконано в польових умовах порівняльну оцінку агротехнічних і енерготехнічних показників плугів з серійними і експериментальними робочими органами;

- визначено техніко-економічну ефективність запропонованого плуга загального призначення.

ВСТУП

Збереження і підвищення родючості ґрунтів одна з головних задач сільськогосподарського виробництва. Основний обробіток ґрунту в сучасному землеробстві не відповідає умовам енергозбереження та в зв'язку з цим його замінюють іншими видами обробітку ґрунту - дискуванням, культивацією та ін. В результаті не відбувається розпушування ґрунту на всю глибину орного горизонту і спостерігається переущільнення нижніх шарів ґрунту, що порушує повітряно-водний режим кореневого шару культурних рослин. Також погіршуються умови життєдіяльності ґрунтоутворних мікроорганізмів, відбувається зниження родючості ґрунту, зростає засміченість і, як наслідок, зменшується врожайність сільськогосподарських культур.

У зв'язку з цим заміна оранки на інші види обробітку є необґрунтованою з позиції агротехніки, що визначає необхідність забезпечення умов енергозбереження її виконання. Перспективним напрямом вирішення даного завдання є виконання основного обробітку ґрунту, при якому забезпечується закладення рослинних решток з оборотом і розпушуванням верхнього оброблюваного шару ґрунту і розпушування без виносу на поверхню нижнього орного шару, для реалізації якого пропонується застосування комбінованого робочого органу плуга. Даний вид обробітку має перевагу оранки і одночасно відповідає умовам енергозбереження.

У зв'язку з цим дослідження, що спрямовані на зниження енерговитрат основного обробітку ґрунту і зокрема, використанням комбінованого робочого органу плуга, що складається з лемішно-полицевої поверхні і розрихлювача та кріпляться на одній стійці, є актуальними і практично значущими для України.

Метою цієї роботи є зниження енерговитрат основного обробітку ґрунту використанням комбінованого робочого органу плуга.

За об'єкт дослідження прийнято процес основного обробітку ґрунту, що виконується комбінованим робочим органом плуга.

За предмет дослідження прийняті, технологічні параметри комбінованого робочого органу.

1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Ґрунтово-кліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур в умовах Лісостепу

Властивості ґрунту в різних природно-кліматичних зонах досить різноманітні, а отже, різноманітними повинні бути і прийоми його обробітку. Від правильного вибору способу основного обробітку ґрунту (з урахуванням зональних ґрунтово-кліматичних умов і навіть властивостей ґрунтів кожного поля) залежать родючість ґрунту та врожайність [28].

Клімат даної зони помірно-континентальний, але з її протяжністю із заходу на схід кліматичні показники все більше виражають збільшення континентальності, що проявляється в більш різких температурних контрастах дня і ночі, зими і літа.

Середньорічна температура повітря коливається в межах 13...14,5 °С, температура липня (найтеплішого місяця) підвищується з 25 до 34 °С, а січня з -10 до -4 °С. Тривалість безморозного періоду в середньому становить 137 днів. Середньорічна кількість опадів до випаровуваності зменшується від 1 до 0,4...0,5.

Несприятливий вплив на розвиток рослин надають високі температури в травні і червні, що супроводжуються висушувальними південно-східними вітрами.

Хотілося б відзначити той факт, що зона лісостепу знаходиться в зоні ризикованого землеробства, це обумовлюється різними несприятливими факторами: посухи (кожні 4...6 років), суховії, заморозки і т.п. [2]. Опади в межах зони розподіляються нерівномірно, що також негативно позначається на розвитку культурних рослин. Найбільша кількість опадів випадає в теплий період (до 60...70% від загальної їх кількості).

Ґрунтовий покрив зони досить різноманітний і підпорядкований загальній широтній зональності, обумовленій біокліматичними факторами з півночі на південь.

Найбільш поширеними є чорноземи і сірі лісові ґрунти.

Чорноземи відображають панування лугово-стінного дернового процесу ґрунтоутворення, який акумулює органічну речовину у формі гумусу у верхньому коренеживильному шарі. Разом з тим він має і низку якостей, обумовлених досить інтенсивним зволоженням ґрунтової товщі, що в першу чергу виражається декарбонізацією (вимивання карбонатів кальцію і магнію з верхніх гумусних горизонтів) [37].

Такий режим, зволоження обумовлюється більшою мірою зональними умовами клімату лісостепу - достатня кількість атмосферних опадів при помірно теплій температурі в поєднанні з періодичним перевищенням надходження вологи в ґрунт над її витратою:

Потужність гумусного горизонту становить в середньому близько 30 см, вміст гумусу чорноземів: у середньовимитих - 4,7%, слабовимитих - 6,8%.

Чорноземи звичайні відрізняються середньою гумусністю 6...7%, а потужність гумусного горизонту в середньому 30...33 см.

Чорноземи південні характерні для південної, найбільш посушливої частини зони. Загальний запас гумусу близько 300 т/га при вмісті його в верхньому 20-сантиметровому шарі 4...6%.

Але врожайність сільськогосподарських культур у великій мірі залежить не тільки від складу ґрунтів, а й від особливостей рельєфу, який в свою чергу викликає такий негативний фактор як ерозію.

Більше половини ріллі в країні розташовано на схилах різної крутизни та експозиції. Не виняток і зона Лісостепу.

Як показали дослідження, гумусний стан ґрунтів, розташованих на землях з крутизною понад 3°, на чорноземах звичайних знижується з 7...7,5% (не вимиті) до 4,5% і 6% в середньо- і слабовимитих ґрунтах, і запаси, гумусу відповідно зменшуються на 250...270 і 160 т/га; втрати гумусу в сильновимитих чорноземах ще більше зростають.

За даними А. П. Пухачева [37], на які спирається П. І. Макаров, на ділянках поля з ухилом більше 2° навесні втрачається до 90% вологи зимових опадів.

У зв'язку із зазначеними несприятливими умовами зони для вирощування сільськогосподарських культур, необхідно здійснювати заходи, з одного боку

спрямовані на збереження продуктивної вологи в ґрунті, а з іншого на усунення ерозійних процесів, що виникають на значних площах орних земель.

1.2. Орні та підорні горизонти та їх вплив на родючість ґрунту

Рівень врожайності всіх культур зони лісостепу визначає, перш за все, водний режим ґрунту, а саме наявність в ньому продуктивної вологи, а значить, її раціональне використання створює передумови для отримання високих врожаїв.

З іншого боку суттєву роль відіграють мікроорганізми - найбільш енергійна і рухома частина ґрунту.

Маса мікробів, що містяться на 1 га, досягає 5...7 т, а якщо врахувати, що за вегетаційний період змінюється кілька їх поколінь, то річна їх маса складе 15...20 т/га [27].

Але не слід забувати і про ущільнюючу дію рушіїв, що застосовуються при обробітку ґрунту. Так, маса тракторів загального призначення (К-701, К-700А, Т-150, Т-150К), зросла в 1,3...2,4 рази більше в порівнянні зі своїми попередниками.

Встановлено, що в орному шарі ґрунту напруга під колесами трактора К-700 в 1,5...2 рази більше, ніж під колесами просапних колісних і гусеничних тракторів загального призначення [45].

Культурні рослини дуже тонко реагують на щільність ґрунту, його відхилення на 0,1...0,3 г/см³ від оптимального значення призводить до зниження врожайності на 20...40% [28, 29].

Але, як показали дослідження [49], зі збільшенням числа одноразових проходів техніки по одному сліду від 1 до 4...5 в 2...2,3 рази призводять до недобору врожаю, а підвищення тиску на ґрунт збільшується з 150 кПа до 200 кПа (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. - Недобір урожаю різних культур через ущільнення ґрунту тракторами [49]

Трактори	Тиск (кПа) при тяговому навантаженні на гаку $P = 0$, кПа	Кратність ущільнення	Недобір урожаю, %
МТЗ, ЮМЗ	150	1	9,0
		1...3	14,1
		4...5	19,8
ДТ-75М, Т-74	150	1	8,2
		2...3	13,3
		4...5	19,2
Т-150К	180	1	13,3
		2...3	23,3
		4...5	30,3
К-700, К-700А, К-701	200	1	41,4
		1...3	29,5
		4...6	28,6

До такого ж висновку прийшли і дослідники Пупонін А.І., Матюк Н.С. [45]. У своїх дослідях на дерново-підзолистих середньосуглинистих ґрунтах до передпосівного обробітку під ярі культури (ячмінь, зерно, вико-вівсяна суміш, сіно), тракторами МТЗ-892, Т-150, Т-150К, при ущільненні в один і два сліди, незважаючи на щорічну зяблеву оранку, зниження врожайності відбулось зі збільшенням числа ущільнень ґрунту (табл. 1.2).

Ущільнення ґрунту підвищує засміченість посівів польових культур. Зростання засміченості відбувається, мабуть, руйнуванням твердих оболонок насіння бур'янів і більш тісного контакту їх з ґрунтом [45].

При зростанні щільності ґрунту знижується також його загальна пористість, але особливо різко зменшується вміст пор аерації і некапілярних волого- і повітропровідних пор.

Уже при підвищенні щільності до $1,3 \text{ г/см}^3$ (верхня межа оптимуму) кількість цих найважливіших пор знижується майже вдвічі, а при щільності $1,54...1,6 \text{ г/см}^3$ - до нуля.

Таблиця 1.2. - Вплив одноразового та сумарного багаторазового ущільнення дерново-підзолистих ґрунтів на врожайність ярих культур, ц/га

Число років після закладки досліду	Урожайність без ущільнення, ц/га	Число додаткових ущільнень під попередник і культуру	Трактори			Урожай	
			МТЗ-80	Т-150	Т-150К	ц/га	%
Ячмінь на зерно							
1	17,8	1	17,0	16,0	16,0	16,3	91,6
		2	16,7	16,9	15,2	16,3	91,6
3	37	3	30,2	36,1	31,4	32,6	88,1
		6	23,8	32,1	21,4	25,8	69,7
6	44,5	5	43,5	30,1	40,0	37,9	85,2
		10	35,9	29,8	37,6	34,4	77,3
Вико-вівсяна суміш, сіно							
1	46,0	1	37,4	36,2	45,9	39,8	86,5
		2	77,8	41,6	41,1	40,2	87,3
7	37,0	6	36,9	30,2	29,0	32,0	86,5
		12	36,9	29,1	28,8	31,6	85,4

Незважаючи на деяке збільшення польової вологості (за рахунок підвищення вмісту води в одиниці об'єму при випереджаючому зростанні кількості недоступних для рослин води), в ущільненому ґрунті значно знижується вміст продуктивної води (табл. 1.3) [49].

Таблиця 1.3. - Зміна водно-фізичних властивостей ґрунтів при їх ущільненні, % до об'єму ґрунту

Показники	Дерново-глевкий важкосуглинистий ґрунт					Дерново-підзолистий суглинистий ґрунт				
	Щільність, г/см ³									
	1,1	1,25	1,3	1,43	1,54	1,1	1,3	1,5	1,6	
Загальна пористість	58	52	50	45	41,5	59	52	44	40	
Польова вологості	33	37	38	40	41,5	30	35	37	38	
Волога в'янення	17	22	23	28	30,0	10	16	22	25	
Продуктивна вода	16	15	15	12	11,5	20	19	15	13	
Число пор:										
Аерації	25	25	23	5	0	26	26	6	2	
Некапілярних	11	7	6	2	0	15	8	1	0	

Слід зазначити, що найбільше ущільнення ґрунту відбувається навесні, коли вологість орного шару складе 25...28%.

Як зазначає А.Г. Бондарев, П.М. Сапожников, В.Ф. Уткаєв, В.Н. Щепотєв [45] найбільше ущільнення ґрунту (на прикладі сірого лісового) спостерігалось в шарі 10...30 см під впливом ходових систем тракторів Т-150К і К-701. За осінньо-зимовий період відзначено зниження щільності на початково ущільнених варіантах і деяке підвищення на початково пухких варіантах досліду. Цей процес спостерігався як в орному; так і в підорному горизонтах, що говорить про саморозущільнювальний і самоущільнювальний процеси, в результаті зволоження, замерзання і відтаювання.

З метою виявлення здатності різних ґрунтів, до саморозущільнення були проведені дослідження, і; як підтверджують І.В. Кузнецов і В.І. Данілов [45], зі зростанням здатності до саморозущільнення ґрунти розташовуються в наступному порядку: дерново-підзолисті слабоокультурені, сірі-лісові, чорноземи типові, чорноземи південні;

Так, зміна кислотності в цих умовах при ущільненні до 1,5 г/см³ після чотирьох циклів набухання - усадки (табл. 1.4) склала - 0,06; - 0,10; - 0,20; - 0,27; - 0,35 г/см³.

Таблиця 1.4. - Зміна щільності після 4...5 циклів набухання-усадки, г/см

Вихідна щільність ґрунту, г/см ³	$\Delta d = d_0 - d_4$				
	Дерново-підзолиста слабоокультурена	Дерново-підзолиста високоокультурена	Сіра лісова	Чорнозем типовий	Чорнозем південний
1,60	-0,06	-0,30	-0,16	-	-
1,50	-0,05	-0,27	-0,10	-0,20	-0,33
1,40	-0,05	-0,16	-0,07	-0,15	-0,27
1,30	-0,03	-0,13	-0,02	-0,08	-0,20
1,20	+0,01	-0,08	-0,03	-0,05	-0,14
1,10	+0,06	-0,06	+0,03	-0,03	-0,05
1	+0,12	-0,08	+0,04	-0,02	-0,02

Ця закономірність була виявлена при використанні формули для зміни щільності ґрунту:

$$\Delta d = d_0 - d_4, \quad (1.1)$$

де d_0 - вихідна щільність повітряно-сухого ґрунту, г/см³;

d_4 - щільність повітряно-сухого ґрунту після чотирьох циклів набухання-усадки, г/см³.

Ущільнення, також веде до погіршення агрохімічних показників ґрунтів (табл. 1.5).

Таблиця 1.5. - Зміни нітрифікаційної здатності каштанового зрошуваного ґрунту при його ущільненні [45]

Щільність, г/см ³	Пористість, %		Нітрифікаційна властивість після компостування ґрунту, мг/кг		
	Загальна	Аерації	N-N ₀₃	Загальна	Аерації
				N-N ₀₃	N-NH ₄
0,9	66,2	43,8	16,1	48,8	30,1
1,0	62,8	37,9	16,8	49,5	27,4
1,1	58,6	31,3	17,1	51,2	27,8
1,2	54,9	25,1	16,7	45,3	32,6
1,3	51,1	18,8	8,9	19,0	62,9
1,4	47,4	12,6	4,0	14,7	65,6
1,5	43,6	6,3	1,7	9,4	81,9
Початковий вміст у ґрунті			3,4	11,9	79,4

Отже, в ущільненому ґрунті обмежені можливості використання азоту ґрунту і внесених добрив, що і веде до зниження врожаю навіть при внесенні високих доз органічних і мінеральних добрив [45].

Результати проведених досліджень [45] багатьох науково-дослідних установ показують, що ущільнюючі деформації ґрунту залежать від його властивостей, вологості, щільності під час проходження техніки, марки трактора, характеру його ходової системи, кратності впливу. Глибини деформації варіюють від 20...30 до 50...60 см (і навіть до 1 м). Ущільнюються як орні, так і підорні горизонти (причому ущільнення ґрунту йде не тільки у вертикальному, а й в горизонтальному на 35...70 см від центру сліду трактора в обох напрямках).

Узагальнені результати досліджень показали, що по слідах тракторів щільність ґрунту в результаті руйнування структури підвищується на 0,1...0,3 г/см³, досягаючи величини 1,35...1,55 г/см³, що значно перевищує оптимальні

значення . Щоб уявити, що означає зміна щільності на $0,1 \text{ г/см}^3$, потрібно мати на увазі, що урожай зернових падає при цьому на 2...10 ц/га, в середньому на 6 ц/га. А при вирощуванні картоплі на 15...25 ц/га.

Але найбільша щільність ґрунту, що досягає $1,6...1,7 \text{ г/см}^3$ [28], виникає в підорному шарі, в результаті щорічного обробітку на одну і ту ж глибину ґрунтообробними робочими органами. Так звана плужна підошва виникає в результаті виникнення зусилля (від маси с.-г. знаряддя, їх готовності до роботи, фізико-механічних властивостей ґрунту), спрямованого перпендикулярно вниз від тильної сторони лемішів.

Товщина плужної підошви становить 12...17 см і залежить від конструкції робочих органів, маси знаряддя, числа обробок на однакову глибину, вологості і механічного складу ґрунту. Її початок можна визначити по розташуванню коренів рослин: на початку плужної підошви вони розташовуються під прямим кутом вертикалі [28].

Наявність плужної підошви має безпосередній вплив на формування врожаю, оскільки вона перешкоджає проникненню кореневої системи культурних рослин в нижні шари ґрунту, які в посушливі періоди мають найбільші запаси вологи, а значить, рециркуляція його сильно ускладнена.

З іншого боку, схиліві землі характеризуються жорсткими умовами формування врожаю сільськогосподарських культур, що пов'язано зі значним непродуктивним скиданням талих і стічних вод, змивом ґрунту, винесенням водорозчинних форм елементів мінерального живлення рослин і гумусу, неоднозначністю термічного та інсоляційного режимів елементів схилу і т.д. [93]. Все це багато в чому завдяки наявності плужної підошви. Всі ці негативні фактори підводять до застосування прийомів розуцільнення плужної підошви, так і створення робочих органів, що знижують її виникнення.

В даний час, для розуцільнення підорних горизонтів застосовують глибокий їх обробіток (на 40...45 см), з чергуванням кожні 3...4 роки.

1.3. Аналіз способів основного обробітку ґрунту, класифікація робочих органів

На даний момент в сільськогосподарському виробництві в більшій мірі застосовують два способи основного обробітку ґрунту, це полицевий і безполицевий [6]. Розглянемо кожен з них, аналізуючи переваги та недоліки.

Безполицевий спосіб (розпушування пласту ґрунту в усьому орному горизонті), найменш енергоємний в порівнянні з полицевим внаслідок відсутності обороту пласту ґрунту. За якістю ж виконання дана операція значно поступається полицевій. Більшою мірою це проявляється в кришенні ґрунту, знищенні бур'янів, впливі на мікрофлору і гумусоутворення.

В даний час все більша перевага віддається "екологічно чистому" землеробству з мінімальним використанням полицевого обробітку, мінеральних добрив і пестицидів.

У свою чергу, як показали дослідження [35], одним з головних факторів, що стримують зростання врожаю польових культур, є засміченість посівів. А кращі результати в боротьбі з бур'янами забезпечує різноглибинна оранка, в порівнянні з плоскорізальним і поверхневим обробітком ґрунту. При цьому знижується винос основних елементів харчування бур'янами.

З точки зору впливу оранки та плоскорізальний обробіток на мікрофлору ґрунту, як показали дослідження [52], нееродовані ґрунти, мають найбільш високу щільність мікробної популяції. Так, на ділянках з полицевою системою обробітку (оранка на 20...22 см) її насичення бактеріями була в 1,7 рази бацилами, актиноміцетами, грибами, олігонітрофіли - в 1,4 і *CI pasteurianum* в 20 разів вище, ніж еродованих.

Завдяки тому, що плоскорізальний обробіток в порівнянні з полицевим забезпечує більш надійний захист поверхні еродованого схилу від водної ерозії, його застосування позитивно позначається і на біологічну активність ґрунту. Отже, при полицевому обробітку ґрунтів, схильних до ерозії, відбувається зниження біологічної активності, що негативно позначається на врожайності польових культур:

Втрати, гумусу присутні при будь-яких механічних обробітках, а при безполицевому, обумовлені ще й, низькою ефективністю гуміфікації в зв'язку з локалізацією джерел, гумусу на поверхні ґрунту [42].

При плоскорізальному обробітку органічні добрива та залишкова біомаса рослин локалізуються в приповерхневих шарах, що впливає на розподіл гумусу в ґрунтовому профілі (табл. 1.6).

Таблиця 1.6. - Розподіл гумусу (%) при різних способах обробітку ґрунту.

Шар ґрунту, см	Оранка	Плоскорізальний обробіток	Дрібний плоскорізальний обробіток
0...2	1,37	1,43	1,49
2...4	1,37	1,34	1,46
4...6	1,33	1,36	1,43
6...11	1,44	1,23	1,38
11...16	1,38	1,21	1,18
16...21	1,40	1,12	1,06
0...21	1,38	1,28	1,33

Дані дослідження проводилися на схилі 5...6°. Ґрунт - чорнозем типовий потужний легкосуглинковий середньозмитий. Оранку і плоскорізальний обробіток в сівозміні виконували на глибину 20...22 см і 25...27 см, дрібний плоскорізальний - на 12...14 см, при одноразовому за ротацію щільованні. У всіх варіантах один раз за ротацію вносили гній 20 т/га, середня норма мінеральних добрив в сівозміні становила $N_{104}P_{79}K_{101}$.

Аналізуючи таблицю 1.6 дослідники підкреслюють, що при такому характері перерозподілу гумусу в ґрунтовій товщі, коли в нижніх шарах його вміст помітно зменшується і незначно збільшується у верхніх (при плоскорізальному і дрібному плоскорізальному обробітках), в середньому збільшення вмісту і запасів гумусу в кореневій товщі ґрунту не відбувається.

Запаси ж гумусу в шарі 0...20 см при оранці були на 1,03...4,25 т/га більше, ніж при плоскорізальному обробітку. У шарі 20...40 см на оранці вміст і запаси гумусу становили 1,32% та 37,5 т/га, при плоскорізальному обробітку - 1,16% і 32,9 т/га.

За даними інших дослідників [12] безполицевий обробіток також не сприяє утворенню і накопиченню гумусу в ґрунті.

Для обробітку схилових ґрунтів, що мають свої особливості, найбільш

важливим є не тільки боротьба з бур'янами, шкідниками, хворобами, і надання ґрунту певного фізико-механічного складу, а в більшій мірі запобіганню розвитку водної та вітрової ерозії ґрунту. З іншого боку, практично всі ґрунти при певних умовах можуть піддаватися цим негативним впливам.

Значні втрати вологи, що необхідна рослинам, а разом з нею і втрати ґрунту від ерозії відбуваються в основному навесні при таненні снігу і влітку під час зливових дощів.

Під дією утворених потоків відбувається змив родючого верхнього шару. Зі стоками води на схилових землях несуться найбільш цінні мулисті і колоїдні фракції ґрунту. Тому головними завданнями обробітку є надання ґрунту структурного дрібно-пухкого грудкуватого стану для поліпшення його водопроникності і поглинання вологи; створення на ріллі певного мікрорельєфу (лунок, щілин), що зменшує змив ґрунту, поверхневе стікання води і накопичення її в ґрунті; поглиблення орного шару, розуцільнення плужної підшви [4].

Здійснення агротехнічних протиерозійних заходів в зоні недостатнього атмосферного зволоження має зводитися до скорочення стоку води за рахунок її максимального поглинання ґрунтом. Таке регулювання стоку є не тільки протиерозійними заходами, але одночасно і важливим засобом боротьби з посухою, заходом, що сприяє накопиченню додаткової вологи в ґрунті, збільшенню його вологозбереження [50].

Тож який спосіб основного обробітку доцільніший: полицевий або безполицевий? Над цим питанням б'ються багато вчених, як в нашій країні, так і за кордоном, пропонуючи ті чи інші рішення.

Якщо за основу брати енерговитрати, які в сільському господарстві на основний обробіток ґрунту припадають головними, в порівнянні з іншими польовими роботами, то доцільніше поєднувати полицевий або безполицевий способи, отримуючи менш енергоємний спосіб. Адже збільшення глибини оранки плугом на 1 см призводить до підвищення енергоємності на 5...7%. [31].

Якщо ж розглядати, основний обробіток з точки зору агрономічного аспекту, то його також раціональніше виконувати, поєднуючи полицевий і безполицевий способи обробітку, в подальшому визначаючи його як пошарову

технологію [1]. За такою технологією родючий верхній орний шар повинен обертатися і кришитися, а нижній розпушуватися без виносу на поверхню.

Такий обробіток дозволяє зберегти переваги як полицевої оранки (знищення бур'янів, закладення добрив і поживних решток і т.д.), так і безполицевої (поліпшення структури ґрунту, боротьба з водною ерозією), а також забезпечує кращу газо-водопроникність ґрунту.

Основний обробіток ґрунту найбільш енергоємна операція в сучасній системі землеробства, але саме якісне і своєчасне її виконання безпосередньо визначає формування майбутнього врожаю.

Сучасні способи обробітку ґрунту дуже різноманітні і варіюють від полицевої оранки до прямого посіву в необроблений ґрунт. Для обробітку ґрунтів в умовах зони лісостепу, що мають свої особливості, найбільш важливим є не тільки боротьба з бур'янами, шкідниками і хворобами, надання ґрунту певного фізико-механічного складу.

Аналіз фізичної сутності явищ, що відбуваються в процесі основного обробітку ґрунту, вивчення взаємозв'язку між робочим органом і оброблюваним ґрунтом дозволяють підійти до оптимальної схеми обробітку і створення робочого органу, який забезпечує одночасно агротехнічні вимоги і зниження енергетичних витрат.

Аналізом конструкцій робочих органів для основного обробітку ґрунту, в тій чи іншій мірі, займалися багато дослідників В.П. Горячкин, [53, 54, 56] В.М. Бойко, [6] Н.І. Кленін, [27, 28] П.М. Василенко, [9] А.А. Князєв, [29] А.С. Кушнар'єв, [33] та багато інших, вказуючи їхні переваги й недоліки.

З тої їх великої кількості розглянемо основні, які отримали найбільше поширення як у вітчизняному, так і в зарубіжному виробництві (рис. 1.1).

З класифікаційної схеми випливає, що запропонований нами робочий орган виконує найбільшу кількість операцій (з основних), які покладені на даний вид обробітку.

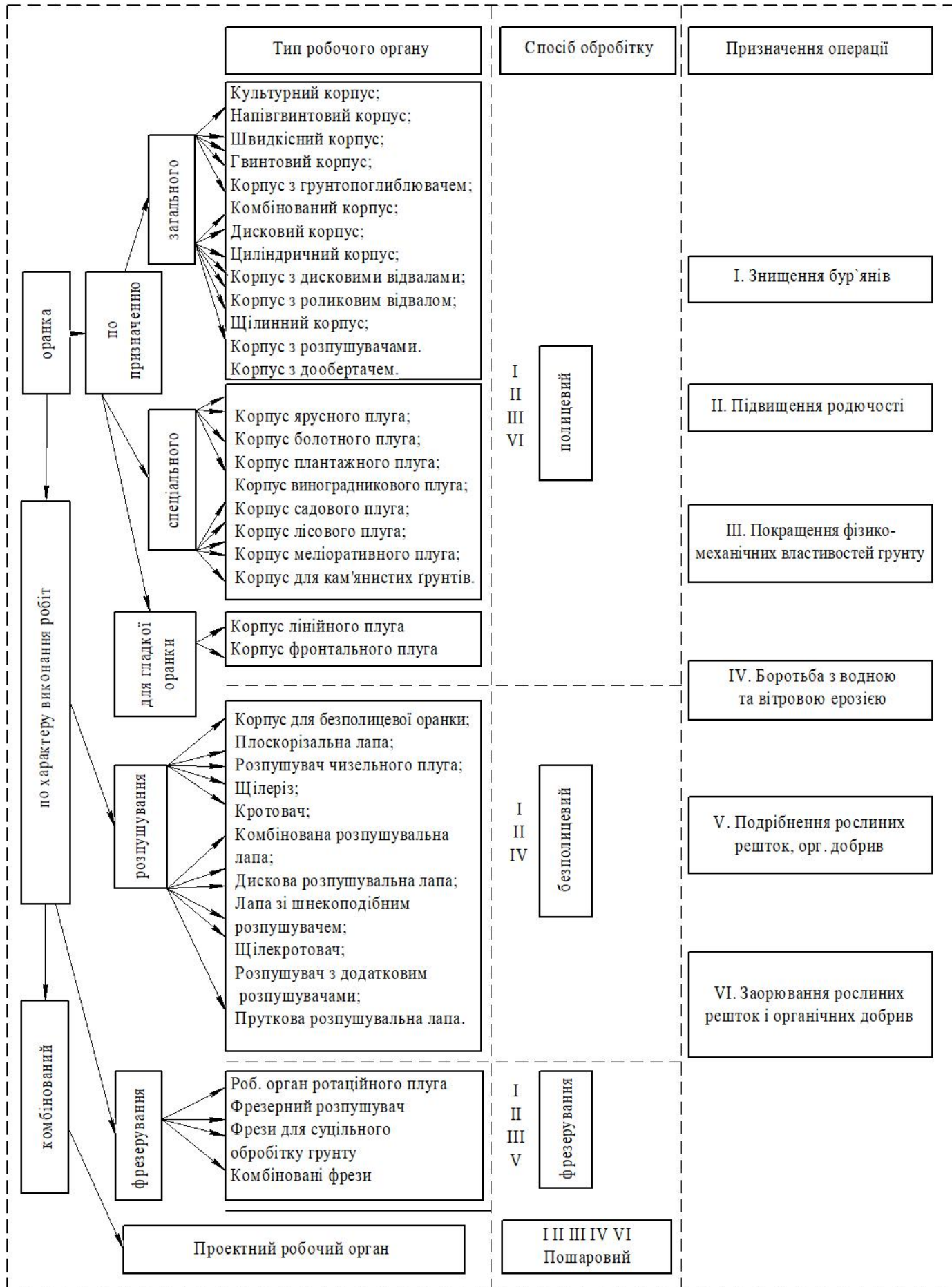
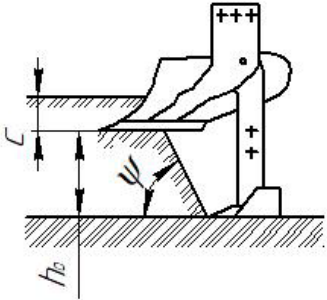
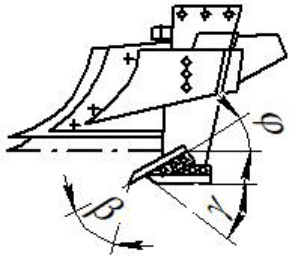
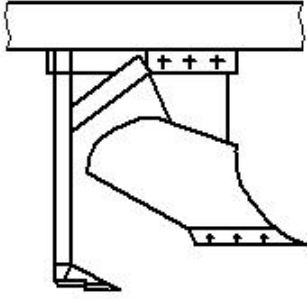


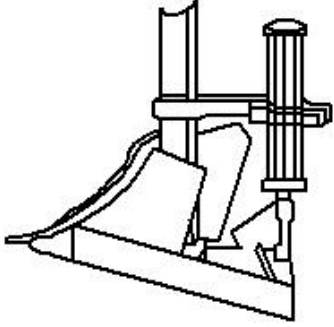
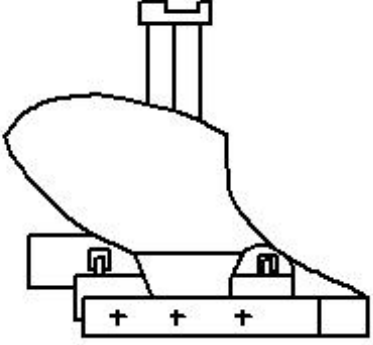
Рисунок 1.1. - Класифікація робочих органів для основного обробітку ґрунту.

1.4. Аналіз та оцінка робочих органів для пошарового обробітку ґрунту

Технологію пошарового обробітку ґрунту доцільно здійснювати єдиними ґрунтообробними знаряддями з метою універсалізації процесу. Як показав проведений нами аналіз робочих органів плугів для основного пошарового обробітку ґрунту, всі вони мають недоліки, а значить їх усунення, є пріоритетним завданням. Деякі з аналізованих робочих органів плугів представлені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8. - Робочі органи плугів для здійснення пошарової технології основного обробітку ґрунту

Варіанти	Назва робочого органу	Схема, рисунок
1	2	3
1	Комбінований ґрунтообробний робочий орган	
2	Комбінований ґрунтообробний робочий орган	
3	Плуг-розрихлювач-розущільнювач	

4	Плуг для ступеневої оранки на схилах	
5	Плуг для ярусної оранки	

Перераховані вище робочі органи плугів (див. табл. 1.8) здатні обробляти полицевим способом верхній коренезаселений шар ґрунту, а нижній шар при цьому розпушувати без обороту. Але вони мають низку недоліків, до яких можна віднести достатню енергоємність процесу пошарового обробітку ґрунту, нераціональне їх компоновання.

В першому варіанті на робочий орган кріпляться лемішно-полицева поверхня і розрихлювач на різних стійках, при цьому розташування польової дошки дозволяє збільшувати її лобовий опір за рахунок концентрації ґрунту на лобовій поверхні.

Другий варіант знаряддя для пошарового обробітку ґрунту має більш раціональну компоновальну схему, але при цьому форма розрихлювача не дозволяє здійснювати розпушування ґрунту на належному рівні, в результаті чого енергоємність процесу зростає.

Третій варіант також має недоліки, по'язані з більшою металоємністю і нераціональною компоновальною схемою.

Застосування четвертого варіанту робочого органу більш раціональне на схилах, за рахунок підвищення його стійкості ходу і за рахунок установки

грунтопоглиблювача з нахилом в горизонтальній площині в бік плугового корпусу. Але ускладнене окультурення нижніх шарів, знову ж таки, за рахунок недосконалості стійки розрихлювача.

П'ятий варіант робочого органу має більшу енергоємністю процесу обробітку ґрунту, але при цьому в наявності спрощення конструкції і, як наслідок, зменшення габаритів.

Як видно, наведені робочі органи плугів для основного пошарового (комбінованого) обробітку ґрунту мають ряд недоліків і вимагають їх усунення.

На закінчення можна зробити висновок, що необхідно розробляти принципово нові конструкції робочих органів плугів для основного обробітку ґрунту, які відповідають як агротехнічним вимогам, так і раціональності з точки зору компоувальних схем (спрощення конструкції) в поєднанні декількох технологічних операцій при найменших енергетичних витратах.

1.5. Огляд теорій розпушування ґрунтового пласту

Будь який технологічний процес механічного обробітку є процес взаємодії робочого органу з ґрунтом. Отже, характер цього процесу залежить від геометричної форми робочого органу і властивостей оброблюваного матеріалу [80].

Розкриттю питань, пов'язаних з процесами взаємодії робочих органів з ґрунтом присвячені роботи: В.П. Горячкіна [13, 14, 15], Н.І. Кленина [28], Л.В. Гячева [16], Г.Н. Сінеокова [52]; В.А. Желіговського [21] і В. А. Мілюткіна [40], І.М. Панова [43], А.Г. Кушнарьова [33] та багато інших.

Ґрунт, як об'єкт взаємодії; з робочими органами, можна представити у вигляді сипучого, пружного, суцільного деформованого твердого деформованої середовища, що і визначає подальший розвиток процесу його обробітку.

В якості аналітичного апарату в даному випадку використовуються теорії пружності і пластичності, теорії подібності, методи механіки твердого тіла, механіки ґрунтів, механіки суцільних середовищ.

Під дією робочого органу в ґрунті, як сипучого середовища, відбувається утворення поверхні ковзання [32].

При цьому умови руйнування визначаються законом Кулона-Мора, а сколений «блок ґрунту» розглядається як абсолютно тверде тіло (рис. 1.2) [32].

При цьому було отримано вираз для визначення прикладеної (осьової) напруги σ_1 :

$$\sigma_1 = \sigma_3 \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{1}{2}\varphi\right) + 2\operatorname{ctg}\left(45^\circ + \frac{1}{2}\varphi\right), \quad (1.2)$$

де σ_3 - радіальне напруження, МПа;

φ - кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

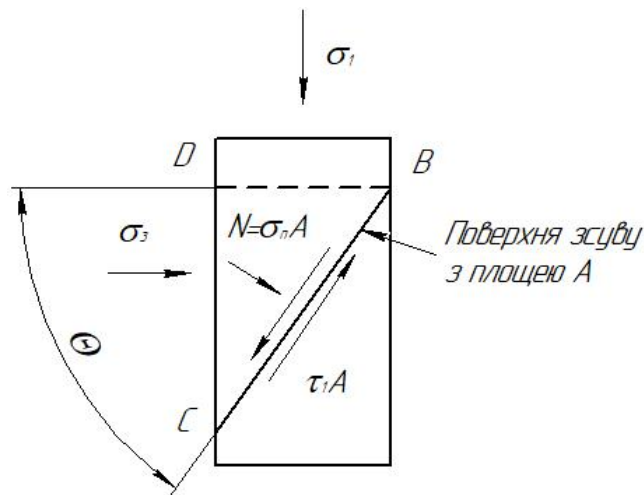


Рисунок 1.2. - Модель Кулона-Мора до визначення руйнування при зсуві:

τ_f - необхідна напруга зсуву; σ_n - нормальне напруження на площині руйнування.

За теорією граничної рівноваги вирішується завдання, пов'язане тільки з визначенням поверхні руйнування. Питання переміщення частинок усередині сколотого блоку і деформації (кришення) ґрунту не розкриваються.

Застосування пружної моделі при вирішенні завдань механічного обробітку ґрунту засноване на теорії пружності з наступними припущеннями: ґрунт представляється як суцільне середовище з пружними оборотними властивостями [13, 14].

Модель оброблюваного шару ґрунту у вигляді пружного середовища розглядалася багатьма вченими [13, 14].

Основоположник землеробської механіки академік В.П. Горячкин велике значення надавав дослідженню руху пласту по поверхні корпусу плуга [13, 14].

В.П. Горячкин вважав, що для розрахунку гранично-напруженого стану ґрунту найбільш прийнятна теорія міцності О. Мора [44]. Однак експериментальні дослідження показали, що зусилля на зрушення пласта, обумовлені рівнянням О. Мора, тільки частина повного опору різання.

У 1776 р. Кулон сформулював модель, яка широко застосовується для фізичного опису руйнування при зсуві. Кулон встановив, що для руйнування потрібно, щоб зусилля зсуву, по-перше, долало зчеплення ґрунтових частинок в площині руйнування і, по-друге, силу тертя між поверхнями при їх переміщенні:

$$\tau_f = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.3)$$

де τ_f - необхідне напруження зсуву ґрунту, МПа;

c - сила зчеплення, яка припадає на одиницю площі, МПа;

σ_n - нормальне напруження на площині розриву, МПа;

φ - кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

Синєоков Г.М. в свою чергу встановив, що опір руйнуванню пласту залежить від розмірів відрізуваної стружки, геометрії робочого органу і швидкості обробітку ґрунту [44, 52].

Виноградов В.І., Мілюткін В.А., Подскребко М.Д. [11], які розглядають ґрунт у вигляді пружного середовища, припускають, що процес руйнування пласту складається з двох стадій:

- утворення в площині дна борозни горизонтальної тріщини відриву, в результаті поздовжнього стиснення пласту;

- виникнення викривленої тріщини від дії згинальних моментів.

На думку авторів [11], основну роль в процесі руйнування пласту відіграє утворення випереджаючої тріщини, а її появі передують пластичні деформації, швидкість поширення яких є важливим показником.

Мацепура М.Є. [38] також приймає ґрунт як суцільне пружне середовище, але передбачає ударний характер руйнування ґрунту. З безлічі деформацій пласту виділяє пружні деформації, хоча і не заперечує виникнення залишкових деформацій.

У своїх роботах [21] академік Желіговський В.А. аналізує фізичні процеси, що відбуваються при оранці ґрунту, висуваючи теорію кришіння ґрунту і встановлюючи залежність кришальної дії лемішно-полицевої поверхні від напрямку сил, прикладених до пласту з боку самої поверхні. При цьому теорія кришіння ґрунту базується на перетворенні пружної потенційної енергії стиснення ґрунтового повітря в роботу розтягування (кришіння) пласту.

При цьому, модель ґрунту у вигляді суцільного пружного середовища не дозволяє розкрити і пояснити багато моментів в процесі його обробітку.

Припущення про переважно пружні деформації, що виникають при механічному обробітку ґрунту, не дає пояснення того, що відбувається при цьому кришінні ґрунту і зниженні його щільності. Побудова траєкторій руху ґрунтових частинок за наявними диференціальними рівняннями ускладнена, а часто і неможлива.

Властивості ґрунту як суцільного деформованого середовища характеризуються співвідношенням між тензорами напруг, деформацій і часом [22, 33]. Що можна простежити за моделями напруга - деформація (рис. 1.3).

Виноградов В.І. і Подскребко М.Д. [11, 46] встановили, що зі зростанням швидкості деформації підвищується опір руйнуванню ґрунту:

$$\sigma_{\epsilon} = \sigma_{\epsilon_0} + K \ln \frac{v}{v_0}, \quad (1.4)$$

де σ_{ϵ_0} - тимчасовий опір при швидкості деформації v_0 , МПа;

K - коефіцієнт пропорційності;

v - максимальна швидкість деформації, м/с;

v_0 - початкова швидкість деформації, м/с.

Це явище деякі дослідники пояснюють опором рідкої і газоподібної фаз, що переміщуються по міжагрегатних проміжках і капілярах всередині ґрунту. Але більшість вчених пов'язують це зі збільшенням витрат енергії на передачу кінетичної енергії ґрунтовим частинкам і на внутрішні зміни міжагрегатних станів. Фізичну сутність останнього фактору можна виявити на реологічних моделях ґрунтів.

Все реологічні моделі складаються на основі рівняння Максвелла:

$$\sigma = \dot{\varepsilon}ET + (\sigma_0 - \dot{\varepsilon}ET)e^{\frac{t}{T}}, \quad (1.5)$$

де $T = \eta/E$ - час релаксації, с;

σ_0 - початкова напруга, показує: чим більша швидкість навантаження і час релаксації, тим швидше зростає напруга, МПа;

ε - швидкість деформації, м/с.

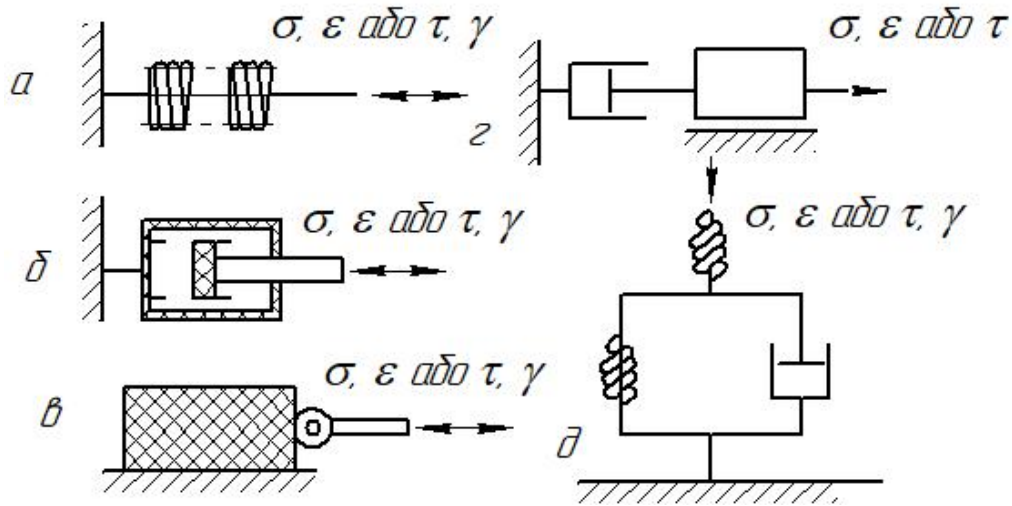


Рисунок 1.3. Моделі напруга - деформації:

а, б, в - механічні моделі (спрощені); г - модель тіло Бінгена; д - модель Сіткея.

Реологічні моделі, при всьому їх різноманітті, все ж таки не відображають реальних властивостей ґрунтів [22]. Причиною, що істотно обмежує діапазон застосування реологічних моделей, є той факт, що більшість їх рівнянь зводяться до експоненціальних кривих повзучості, а це створює певні складності.

При вивченні процесів переміщення і деформації ґрунту широко використовуються положення теорії розмірностей [20], що ставить умови, які повинні дотримуватися при математичному, аналоговому і фізичному моделюванні технологічних процесів.

Елементи теорії подібності стосовно до моделювання технологічних процесів сільськогосподарських машин розглядалися академіком Горячкиним В.П. [13, 14].

Казаков В.С. в свою чергу використовував метод гідромеханічної

подібності потоку рідини і ґрунтових частинок стосовно до процесів взаємодії клину з ґрунтом [25]. Цей метод заснований на формальній аналогії рівняння Бернуллі для потокової і раціональної формули В.П. Горячкіна для визначення тягового опору плугів.

Можливість використання законів гідраеродинаміки для опису і аналізу таких операцій як: подрібнення (руйнування), ущільнення, різання, обороту пласту і сепарації грудок ґрунту, як твердих тіл запропонував Іофінов А.П.

1.6 Мета і завдання дослідження

Метою роботи є зниження енерговитрат основного обробітку ґрунту використанням комбінованого робочого органу плуга.

На підставі вищевикладеного та відповідно до мети в роботі поставлені наступні завдання досліджень:

1. Обґрунтувати і розробити конструкцію комбінованого робочого органу плуга, що забезпечує зниження енерговитрат при виконанні основного обробітку ґрунту.

2. Виконати теоретичні дослідження по обґрунтуванню основних технологічних параметрів і тягового опору розрихлювача комбінованого робочого органу плуга.

3. Провести дослідження в лабораторних умовах за оцінкою впливу основних технологічних параметрів розрихлювача комбінованого робочого органу плуга на його тяговий опір.

4. Виконати в польових умовах порівняльну оцінку агротехнічних і енерготехнічних показників плугів з серійними і експериментальними робочими органами, визначити економічну ефективність від застосування плугів в експериментальній комплектації.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ПЛУГА

2.1. Розробка комбінованого ґрунтообробного робочого органу

Вивчення та аналіз стану питання показали, що вибір способу основного обробітку ґрунту залежить від безлічі факторів, що визначають:

- кількість і час випадання атмосферних опадів;
- тип і рельєф ґрунту;
- потужність гумусового горизонту.

Виходячи з вищевикладеного, найбільш ефективними є способи, що враховують ґрунтово-кліматичні умови і відповідають ґрунтозахисним технологіям.

Не вирішена проблема одночасного збереження родючості, накопичення і розподілу вологи по ґрунтовим горизонтах при використанні вітчизняних плугів. Велика різноманітність конструкцій робочих органів для основного обробітку ґрунту говорить про те, що оптимальної форми їх не знайдено.

Отже, є необхідність в розробці таких робочих органів, які поряд з оранкою забезпечують більш якісний обробіток ґрунту з одночасним розпушуванням нижніх ґрунтових шарів, а також мають менші витрати енергії на весь технологічний процес основного обробітку ґрунту.

Аналіз структурного зв'язку факторів, що впливають на якість оранки, показав, що вона визначається конструкцією робочого органу, його технологічними регулюваннями і режимами роботи.

З огляду на вище викладені передумови створення нових робочих органів і необхідність пошуку їх раціональних параметрів, була розроблена нова конструкція комбінованого ґрунтообробного робочого органу.

Комбінований ґрунтообробний робочий орган (рис. 2.1) містить лемішно-полицеву поверхню 1 і розрихлювач 2, встановлені на стійці 3. Лемішно-полицева поверхня 1 кріпиться до стійки 3 пластинами 4 і 5 і виконана з можливістю зміни положення по висоті відносно стійки 3. Розрихлювач 2

закріпленій на стійці 3 за допомогою грейдерів 7 і 8, встановлених з протилежних бічних сторін стійки 3. У нижній частині стійки 3 з боку, протилежного напрямку обороту пласта, закріплена польова дошка 9.

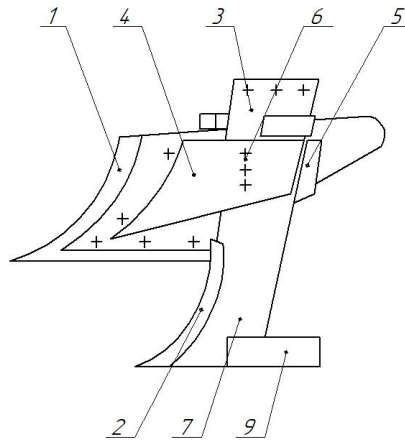


Рисунок 2.1.- Експериментальний комбінований ґрунтообробний робочий орган (вид збоку):

1 - лемішно-полицева поверхня; 2 - розрихлювач; 3 - стійка; 4, 5 - ліва і права пластини; 6 - регулювальні отвори; 7, 8 - лівий і правий (не показано) грейдери; 9 - польова дошка.

Таким чином, запропонована конструкція комбінованого ґрунтообробного робочого органу сприятиме покращенню техніко-економічних показників процесу основного обробітку ґрунту.

2.2. Обґрунтування параметрів борозни підорного горизонту при обробітку ґрунту

В даний час в сфері сільського господарства використовуються в основному, два принципово різних способи основного обробітку ґрунту: полицевий (оранка) і безполицевий [26].

Полицевий (класичний) обробіток ґрунту, на період до 2020 р. буде проводиться на 55...60% всіх орних площах країни. Переваги цього виду обробітку полягають в якісному закладенні рослинних решток, органічних добрив, екологічно чистій боротьбі з хворобами і бур'янами. Також вона ще довго буде застосовуватися для обробітку дуже твердих або швидко ущільнюваних ґрунтів [43]. Також полицева оранка має свої недоліки.

Недоліки полицевого обробітку в основному пов'язані з великими енерговитратами, в зв'язку з чим раціональним буде поєднання полицевого і безполицевого обробітку - пошаровий (рис. 2.2).

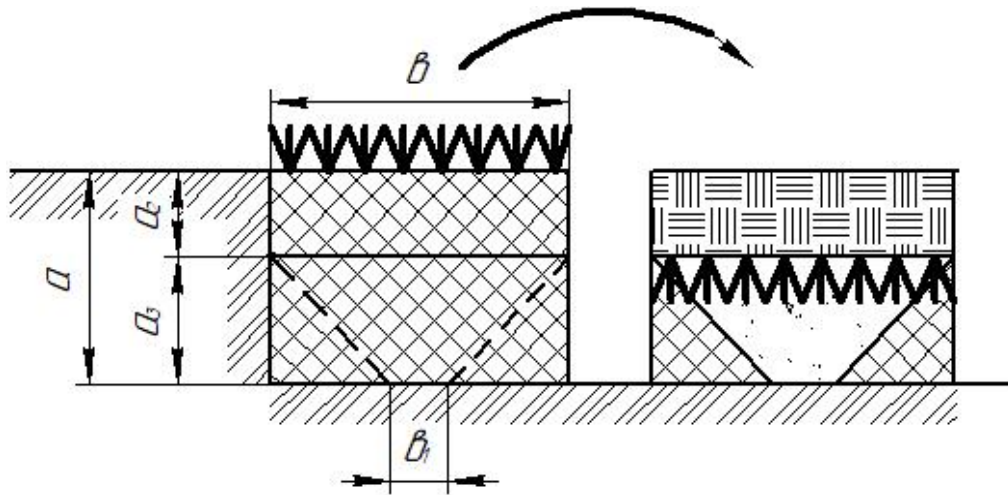


Рисунок 2.2. - Схема основного пошарового обробітку ґрунту.

За такою технологією верхній шар орного горизонту ($a_1 = 0,10 \dots 0,16$ м), повинен добре кришитися, і обертатися, тобто піддаватися полицевому обробітку, а нижній ($a_2 = 0,14 \dots 0,2$ м) - розпушуватися.

Такий обробіток, зберігаючи властивості полицевої оранки (проводиться на ту ж глибину - a), менш енергоємний, і забезпечує кращу водопроникність ґрунту.

Він забезпечує найбільш сприятливі умови для зростання культурних рослин, накопичення гумусу, а також, ерозійну стійкість поверхні поля.

З іншого боку, за такою технологією розподіл вологи здійснюється більш «комфортно» як на вирівняних, так і на схилених ділянках поля. Як видно з рисунку 2.3, опади з орного горизонту (I) концентруються безпосередньо в розпушеному шарі (II), звідки походить внутрішньогрунтовий її розподіл (III). При цьому, як наслідок, поліпшуються водопроникні властивості ґрунту, знижується її розмивання, що підвищує загальні запаси вологи в ґрунті [36].

Оранка з одночасним розпушуванням підорного горизонту - один з перспективних напрямків вдосконалення технологій основного обробітку ґрунту [34].

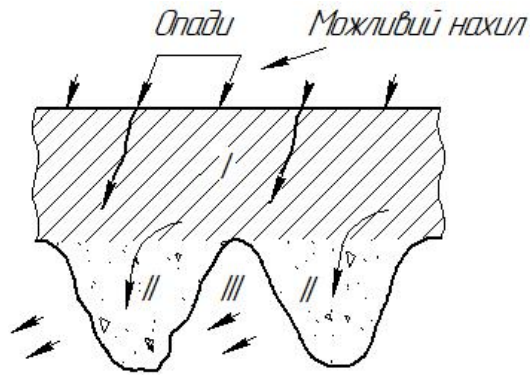


Рисунок 2.3. - Схема розподілу вологи при пошаровому обробітку ґрунту.

Виходячи з вищевикладеного, для подальших розрахунків приймемо запропоновані параметри борозни підорного горизонту при пошаровому обробітку ґрунту.

2.3. Обґрунтування конструкції робочого органу

При обґрунтуванні конструктивної схеми запропонованого робочого органу, в першу чергу, необхідно визначити відстань між носками леміша основного корпусу і розрихлювача. Отже, зона деформації ґрунту L у напрямку руху повинна бути менше відстані між носками леміша основного корпусу і розрихлювача, що визначається за формулою [28]:

$$L \geq l_0 + l_1 = l_0 + a_2 \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1), \quad (2.1)$$

де l_0 - довжина вільоту носка розрихлювача, $l_0 = 0,1$ м;

l_1 - довжина поширення зони деформації ґрунту від носка розрихлювача, м;

α - кут кришення, град;

φ_1 - кут тертя ґрунту по матеріалу (сталь) розрихлювача ($\varphi_1 = 25^\circ$), град.

У поперечному напрямку:

$$b = b_1 + \frac{2a_2 \operatorname{tg}(\theta_2 / 2)}{\cos(\alpha + \varphi_1)}, \quad (2.2)$$

де b - ширина деформації ґрунту в поперечному напрямку (0,35 м);

b_1 - ширина захвату розрихлювача, м;

θ_2 - кут поширення деформації ґрунту в поперечному напрямку ($\theta_2 = 40 \dots 50^\circ$), град.

Звідки можна знайти ширину захвату розрихлювача:

$$b_1 = b - \frac{2a_2 \operatorname{tg}(\theta_2/2)}{\cos(\alpha + \varphi_1)}. \quad (2.3)$$

Зони деформації ґрунту клином в поздовжньому і поперечному напрямках показані на рисунку 2.4.

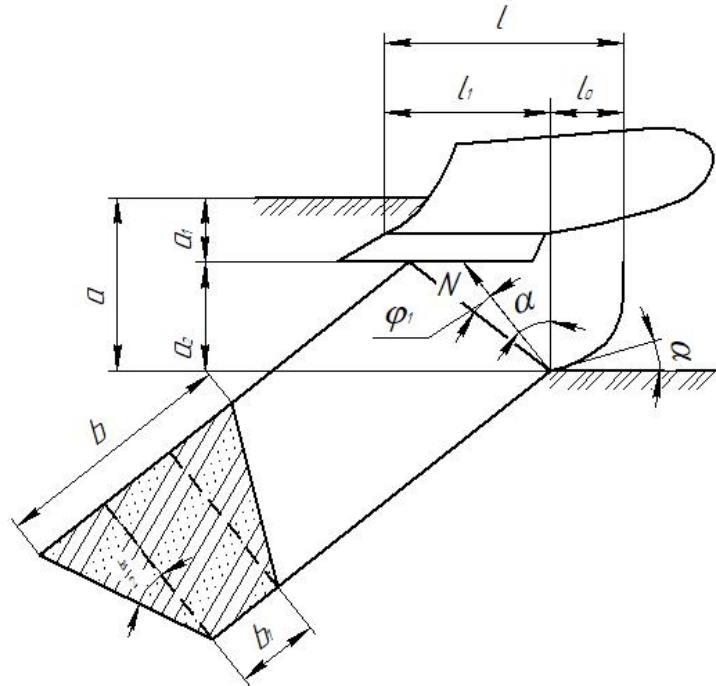


Рисунок 2.4. - Зони деформації ґрунту клином в поздовжньому і поперечному напрямках.

Підставивши відомі значення у вирази (2.1) і (2.3), отримаємо зону деформації ґрунту у напрямку руху $L > 0,35$ м, а ширину захвату розрихлювача, при найменшій глибині розпушування $b_1 = 0,12$ м.

2.4. Обґрунтування основних параметрів розрихлювача

Для виготовлення дослідного зразка розрихлювача і його подальшого випробування, необхідно визначити його основні конструктивні параметри, відповідно до умов роботи. Розрихлювач (рис. 2.5) спроектований як тригранний клин з радіусом R , розташований під кутом γ до лінії його руху (кут атаки розрихлювача).

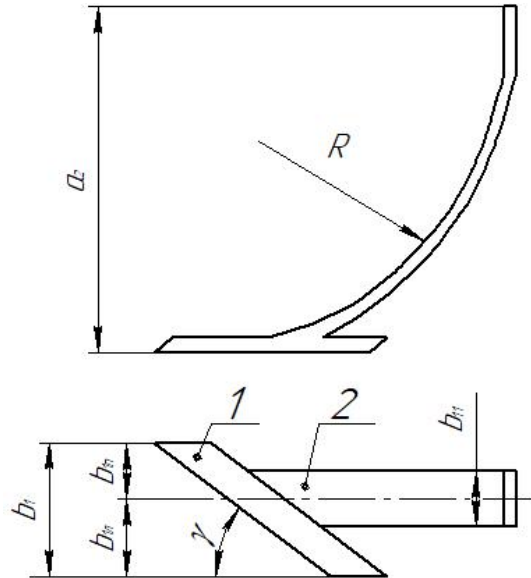


Рисунок 2.5. - Схема розрихлювача підорного горизонту:

1 - долото; 2 - розпушувальний елемент.

- b_1 - ширина захвату розрихлювача, м;

- $b_{1л}$ - ширина захвату лівої частини розрихлювача, відносно центру його симетрії (м), яку можна визначити по залежності [52]:

$$b_{1л} = 0,6b_1; \quad (2.4)$$

- $b_{1п}$ - ширина захвату правої частини розрихлювача, відносно центру його симетрії, м:

$$b_{1п} = 0,4b_1; \quad (2.5)$$

- $b_{1ц}$ - ширина захвату центральної частини розрихлювача, яка формується конструктивними параметрами робочого органу, $b_{1ц} = 0,06$ м;

- R - радіус бічного профілю розрихлювача, м;

- γ - кут постановки розрихлювача, відносно лінії його руху (кут атаки розрихлювача), град.

2.4.1. Обґрунтування профілю робочої поверхні розрихлювача

Припустимо, що розрихлювач 1 (рис. 2.6) криволінійної форми рухається в ґрунтовому середовищі 2 на певній глибині. Виділимо на його робочій поверхні елементарну ділянку площею ds_i , з огляду на те, що на його робочу грань буде діяти питомий тиск q , то на будь-яку його елементарну ділянку dst буде діяти сила qds_i . Дану силу можна розкласти на горизонтальну складову $qds_i \cos \gamma \sin \phi$ і вертикальну

складову $qds_i \cos \gamma \cos \varphi$. У напрямку дотичної до поверхні бічного профілю розрихлювача на даній ділянці буде діяти сила тертя, що дорівнює $f_1 qds_i \cos \gamma ds_i$, яку також можна розкласти на дві взаємно перпендикулярні сили: $f_1 qds_i \cos \gamma \cos \varphi$, спрямовану вздовж осі x , і $f_1 qds_i \cos \gamma \sin \varphi$, спрямовану вздовж осі y .

Для подолання перелічених вище сил необхідно прикласти силу P , спрямовану під кутом α відносно горизонту. За систему відліку приймаємо декартову прямокутну систему координат (точка відліку O збігається з віссю обертання правого колеса лабораторної установки).

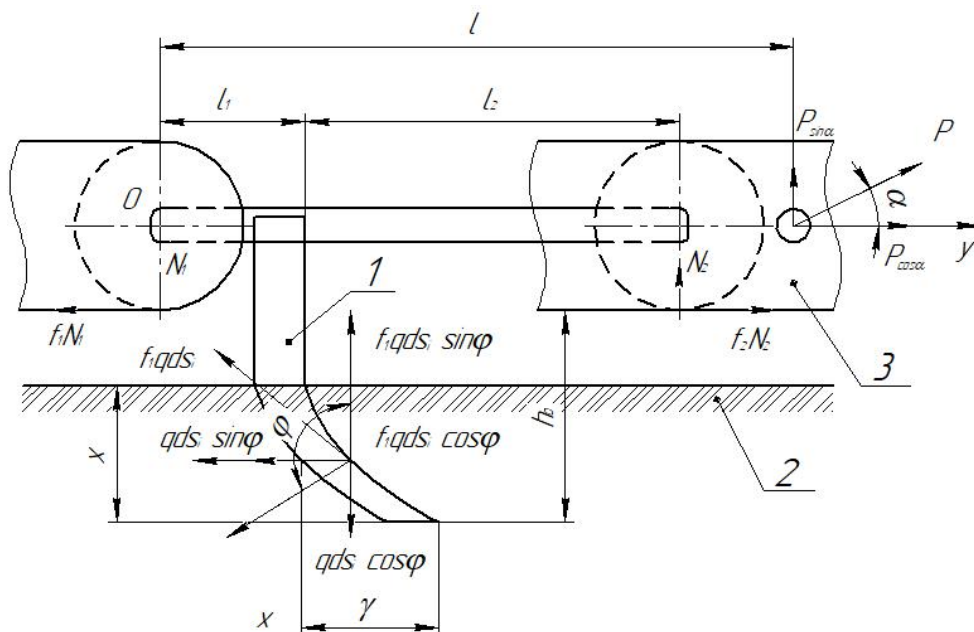


Рисунок 2.6. - Схема сил, що діють на розрихлювач :

1 - розрихлювач ; 2 - ґрунтова середовище; 3 - лабораторна установка;
 L_1, L_2 - відстань від центру лівого і правого колеса установки до робочої поверхні розрихлювача; L - відстань між центрами коліс установки;
 N_1, N_2 - реакція на ободі правого і лівого колеса установки; f_1 - коефіцієнт тертя ґрунту по матеріалу розрихлювача; f_2 - коефіцієнт перекочування коліс;
 φ - кут тертя ґрунту по матеріалу розрихлювача; q - питомий тиск ґрунту на поверхню розрихлювача; P - зусилля, що необхідне для переміщення розрихлювача; α - кут між силою P і горизонтом.

$$\Sigma x = \Sigma qds_i \cos \varphi \cos \gamma - P \sin \alpha - f_1 \Sigma qds_i \sin \varphi \cos \gamma - N_1 - N_2 = 0. \quad (2.6)$$

$$\Sigma y = P \cos \alpha - f_2 N_2 - f_2 N_1 - \Sigma qds_i \sin \varphi \cos \gamma - f_1 \Sigma qds_i \cos \varphi \cos \gamma = 0. \quad (2.7)$$

Складемо рівняння проєкцій сил на осі x і y , а також рівняння моментів відносно точки O :

$$\begin{aligned} \Sigma M_0 = PL \sin \alpha + N_2 (L_1 + L_2) + f_1 \Sigma q ds_i (L_1 + Y_{dsi}) \sin \varphi \cos \gamma - f_2 (N_1 - N_2) h_0 \\ - \Sigma q ds_i \cos \varphi \cos \gamma (L_1 + Y_{dsi}) - \Sigma q ds_i \sin \varphi \cos \gamma X_{dsi} - f_1 \Sigma q ds_i \cos \varphi \cos \gamma Y_{dsi} = 0. \end{aligned} \quad (2.8)$$

де X_{dsi} і Y_{dsi} - координати точки прикладання рівнодіючої питомого тиску ґрунту на i -у елементарну ділянку робочої грані розрихлювача, м.

Отримуючи з рівняння (2.8) значення N_1 , і підставляючи його в рівняння (2.7), вирішуємо відносно P .

При вирішенні цього завдання ми скористаємося методами варіаційного обчислення [8]. Опір розрихлювача в загальному вигляді можна записати [9]:

$$P = C \int_{X_0}^{X_1} q_c (a + bU) dx, \quad (2.9)$$

де $a = 1 + f_1 f_2$; $b = f_1 + f_2$; $C = \cos \gamma / (\cos \alpha + f_2 \sin \alpha)$;

X_0, X_1 - верхня і нижня координата оброблюваного шару ґрунту;

$U = dx/dy$ - приріст координати y до приросту координати x .

Звідки можна сказати, що питомий опір q залежить як від глибини обробітку, так і від форми самого розрихлювача.

$$q_c = f(X, Y, U).$$

У загальному випадку рівняння (2.9) можемо записати так:

$$P = C \int_{X_0}^{X_1} f(X, Y, U) (a + bU) dx, \quad (2.10)$$

де X - глибина обробітку ($X = X_1 - X_0$), м;

Y - довжина вильоту робочої поверхні розрихлювача, м.

З принципу варіаційного обчислення функція $F = f(X)$ повинна задовольняти рівняння Ейлера:

$$\frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial U} - \frac{\partial F}{\partial U} = 0, \quad (2.11)$$

в розгорнутому вигляді дане рівняння:

$$F_Y - F_{XU} - F_{YU} \cdot U - F_{UU} \cdot U' = 0, \quad (2.12)$$

де F - підінтегральна функція.

$$F = f(X, Y, U) \cdot (a + bU).$$

В роботі [9] показано, що для староорних ґрунтів тиск на передню грань в залежності від глибини ходу ножа в межах орного шару може бути прийнята прямопропорційною глибині обробітку. У нашому випадку дана залежність набуде вигляду:

$$q_c \sin \varphi \cos \gamma = kX, \quad (2.13)$$

звідси:

$$q_c = \frac{kX}{\sin \varphi \cos \gamma} = \frac{kX \sqrt{1+U^2}}{\cos \gamma}. \quad (2.14)$$

Підставивши дане значення q_c в рівняння (2.9), отримаємо:

$$P = \frac{k}{\cos \alpha + f_2 \sin \alpha} \int_{x_0}^{x_1} [(1 - f_1 f_2) + (f_1 + f_2)U] X \sqrt{1+U^2} dx. \quad (2.15)$$

Дане нерівність показує, що підінтегральна функція явно не залежить від Y :

$$F = X[(1 - f_1 f_2) + (f_1 + f_2)U] \sqrt{1+U^2}. \quad (2.16)$$

Рівняння Ейлера при цьому прийме вигляд:

$$\frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial U} = 0. \quad (2.17)$$

Звідки:

$$\frac{\partial F}{\partial U} = C, \quad (2.18)$$

де C - довільна стала.

Взявши похідну від підінтегральної функції, отримуємо:

$$XU[(1 - f_1 f_2) + (f_1 + f_2)U] + X(f_1 + f_2) + (1+U^2) = C\sqrt{1+U^2}. \quad (2.19)$$

Початкові умови такі: $X = X_0 = h_0$, $Y = Y_0 = 0$, $Y' = 0$.

З початкових умов визначаємо значення довільної сталої. Отримаємо:

$$C = h_0 \cdot (f_1 + f_2). \quad (2.20)$$

Підставляючи рівняння (2.18) в (2.19) і перетворюючи його, отримаємо:

$$X^2 \{ 2(f_1 + f_2)^2 U^4 + 2(f_1 + f_2)(1 - f_1 f_2) U^3 + [2(f_1 + f_2) + (1 - f_1 f_2) U^2 + (f_1 + f_2)] \} = h_0^2 (f_1 + f_2)^2 (1 + U^2). \quad (2.21)$$

З даного рівності отримаємо залежність:

$$X = \sqrt{\frac{h_0^2 (f_1 + f_2)^2 (1 + U^2)}{2(f_1 + f_2)^2 U^4 + 2(f_1 + f_2)^2 U^3 + [2(f_1 + f_2)^2 + (1 - f_1 f_2)^2] U^2 + (f_1 + f_2)^2}}. \quad (2.22)$$

Розв'язуючи (2.22) і прийнявши $f_1 = 0,52$; $f_2 = 0,15$ і $h_0 = 15$ см, отримаємо графік 1 (рис. 2.7), що дозволяє побудувати профіль робочої поверхні розрихлювача комбінованого робочого органу.

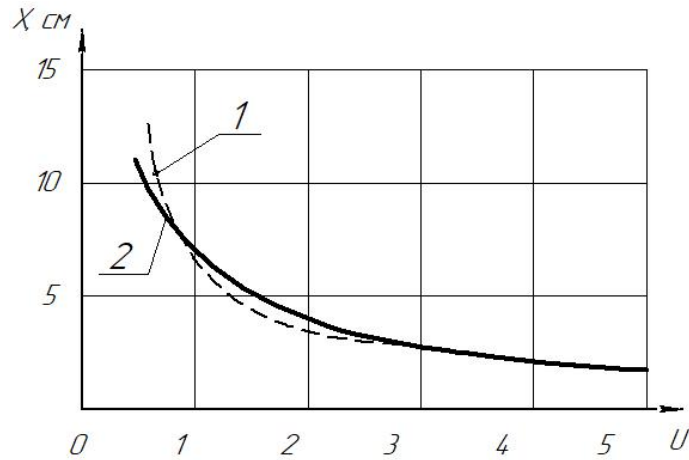


Рисунок 2.7. - Графік функції $X = f(U)$:

1 - залежність визначена за формулою (2.22); 2 - залежність аналітично наближена за формулою (2.23).

На практиці визначення форми робочої поверхні розрихлювача по формулі (2.22) викличе труднощі через велику кількість розрахунків, в зв'язку з цим прийнято рівняння, що описує дану залежність в першому наближенні з високою точністю (див. рис. 2.7):

$$X = \frac{Z + Z_1 U}{U} = \frac{5,5 + U}{U} = \frac{5,5 + \frac{dy}{dx}}{\frac{dy}{dx}}. \quad (2.23)$$

де Z та Z_1 - постійні коефіцієнти прийнятого рівняння наближення.

З рівняння (2.23) маємо:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Z}{X - Z_1}, \text{ або } dy = \frac{Z dx}{X - Z_1}.$$

звідки

$$Y = Z \ln (X - Z_1) + C_1, \quad (2.24)$$

де C_1 - довільна стала.

Довільну сталу визначимо виходячи з умов: $X = h_0$, $Y_0 = 0$.

Тоді:

$$Y = Z \ln (X - Z_1) - Z \ln (h_0 - Z_1) = Z \ln ((X - Z_1) / (h_0 - Z_1)). \quad (2.25)$$

Мінімальна тягове зусилля має місце при $Z = 5,5$ і $h_0 - Z = 1$, отже:

$$Y = 5,5 \ln(X - 1). \quad (2.26)$$

Оскільки тиск на поверхню розрихлювача зростає пропорційно глибині обробітку, то раціональною формою розрихлювача є крива, описана рівнянням (2.26). Рішення даного рівняння для заданих умов (максимальна глибина розпушування до 15 см) представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. - Рішення рівняння $Y = 5,5 \ln(X - 1)$, см

Y	0	3,8	6,04	7,6	8,85	9,9	10,7	11,4	12,1	12,7	13,2	13,7	14,1	14,5
X	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	18

Представлені дані дозволяють графічно створити лекало робочої поверхні запропонованого розрихлювача комбінованого робочого органу плуга за умовою мінімізації його тягового опору [24].

2.4.2. Обґрунтування кута постановки ріжучої кромки розрихлювача відносно напрямлення його руху.

Завдання по визначенню постановки кута розрихлювача відносно стінки борозни (рис. 2.4), зводиться до того, що необхідно підібрати такий кут γ , при якому не відбувається обв'язування леза корінням бур'янів. Дослідники даного питання [27, 28, 52] обґрунтовують його з ковзаючими здібностями бур'янів уздовж леза і описують цю умову залежністю:

$$\gamma < 90^\circ - \varphi_{\text{бур.}}, \quad (2.27)$$

де φ - кут тертя бур'яну на лезі, град.

Якщо ця умова не виконується, то відбувається налипання бур'яну на робочий орган, тим самим в рази збільшуючи його опір.

Синєоков Г.М. в своїх дослідженнях [52] визначив кут $\varphi = 45^\circ$, що відповідає куту $\gamma = 45^\circ$. У реальних умовах на робочі органи діють різні фактори: налипання, вид ґрунту та ін. Для нормальної роботи необхідно забезпечити умову [53]:

$$\gamma < 90^\circ - (\varphi_{\text{бур.}} + \Delta\varphi_{\text{бур.}}), \quad (2.28)$$

де $\Delta\varphi_{\text{бур.}}$ - приріст кута $\varphi_{\text{бур.}}$ в результаті дії сил інерції, град.

Таким чином, дійсний кут γ , знаходиться в діапазоні $27,5...40^\circ$ і якщо порівнювати його з кутом на культиваторах вітчизняного виробництва, то $2\gamma = 30...32,5^\circ$. Досліджуваний ж нами розрихлювач з одного боку схожий на плоскоріжучі робочі органи за своїми функціями, з іншого боку має суттєві відмінності в своїй конструкції. З метою перевірки даного припущення необхідно в реальних умовах виготовити експериментальні зразки розрихлювачів, що відрізняються лише кутом постановки його відносно стінки борозни.

2.5. Визначення кінематичних і силових характеристик розрихлювача

Як показано на рисунку 2.4 розрихлювач складається з двох частин: 1 - долотоподібної частини (долота), роль якої підрізати ґрунтовий пласт, розпушити його на глибину a_2 і частину ґрунту, шириною b_{i1} направити на поверхню самого розрихлювача; 2 - поверхня розрихлювача, що служить для більш якісного розпушування ґрунту з найменшими витратами і прикриття гряділей агрегату від лобового зминання ними ґрунту. При цьому частина ґрунту з нижніх шарів по розрихлювач і піднімається в зону дії лемішно-полицевої поверхні, що призводить до перемішування родючого верхнього шару ґрунту з ґрунтом з меншим вмістом гумусу.

Виходячи з вищевикладеного раціонально розглядати процес взаємодії ґрунту і розрихлювача (рис. 2.4) в дві фази:

1. Взаємодія ґрунту і долота, як косопоставленого тригранного клину.
2. Взаємодія ґрунту і розпушувального елемента, як косопоставленого тригранного клину заданої кривизни (див. п. 2.4.1).

2.5.1. Визначення кінематичних і силових характеристик долота.

При здійсненні робочого процесу, пласт ґрунту деформується, рухаючись по долоту, тільки в початковій своїй стадії (при підйомі), потім його переміщення відбувається без деформації.

Долото, як показано на рисунку 2.8, розташовується на дні борозни під деяким кутом кришіння α , який визначає його здатність заглиблюватися.

Кут кришіння дорівнює сумі кутів [52]:

$$a = i + \varepsilon, \quad (2.29)$$

де i - кут загострення леза, град, $i = 10 \dots 15^\circ$;

ε - задній кут різання, град, $\varepsilon > 10$.

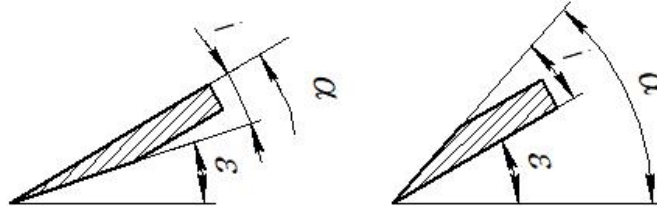


Рисунок 2.8. - Переріз долота:

i - кут загострення леза, град; ε - задній кут різання, град; α - кут кришіння, град.

При переміщенні шару ґрунту на нього діють деякі сили (рис. 2.9): G - вага пласта, Н; F - сила динамічного тиску, Н; Q - сила підпору, Н; P - результуюча елементарних сил нормального тиску і тертя на робочій поверхні долота.

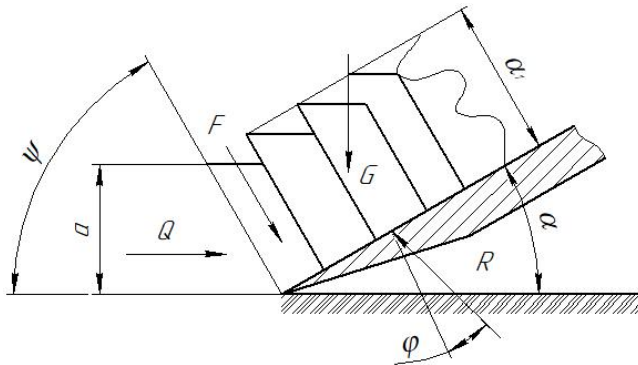


Рисунок 2.9. - Схема сил, що діють на пласт ґрунту.

Долото впливає на пласт ґрунту глибиною a_2 аналогічно тригранному клину, при цьому відбувається відокремлення від ґрунту призматичної брили заввишки a'_2 . У випадку, коли не відбуваються нові деформації, ця брила рухається по поверхні долота зі швидкістю v_0 (відносна швидкість пласта) і одночасно ковзає по ньому під дією деякого кута γ зі швидкістю v_a (абсолютна швидкість пласта), перераховані швидкості утворюються завдяки поступальній швидкості v самого долота.

При підйомі на робочу поверхню тригранного клину траєкторія пласта і швидкість його руху збігаються з напрямком вектору S , що проходить через вершину A , і що характеризується деякими кутами (рис. 2.10): γ - кут постановки тригранного клину відносно лінії руху; ε - кут між дном борозни і дотичною площиною; α_k - кут між віссю Ox та вектором S .

Кут α_k знаходять із співвідношення [5, 16]:

$$\sin \alpha_k = \sin \varepsilon \cdot \sin \gamma. \quad (2.30)$$

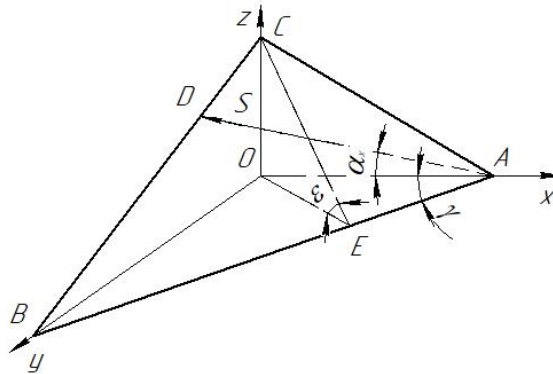


Рисунок 2.10. - Схема до визначення кутів, що характеризують напрямок руху пласта по тригранному клину.

З трикутника швидкостей (рис. 2.11) можна визначити відносну швидкість пласта (частки):

$$v_0 = v(\cos \alpha_k - f \sin \alpha_k) \quad (2.31)$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання ґрунту по матеріалу долота по сталі.

У свою чергу коефіцієнт f знаходимо зі співвідношення:

$$f = \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.32)$$

де φ - кут тертя ґрунту по сталі, град.

Для забезпечення ковзання частинки ґрунту по поверхні долота, необхідне виконання умови [15, 27, 28]:

$$\alpha < 90^\circ - \varphi. \quad (2.33)$$

При недотриманні цієї умови ковзання ґрунту по робочій поверхні долота не відбудеться, а напрямок руху частинки співпаде з напрямком швидкості самого долота v , в результаті буде відбуватися зминання ґрунту перед долотом, що спричинить порушення робочого процесу.

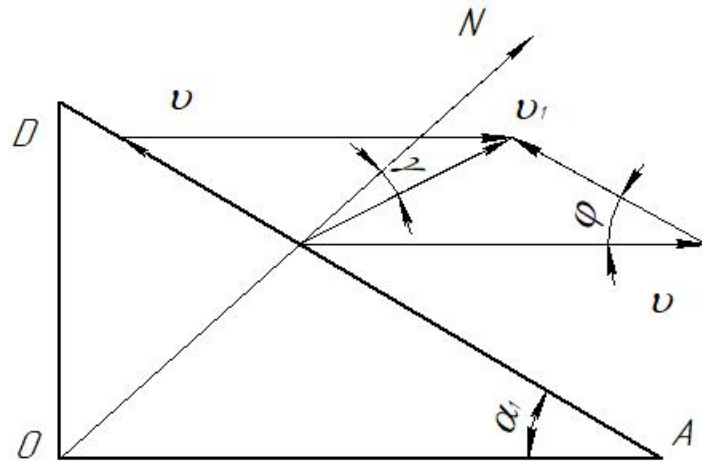


Рисунок 2.11. - Схема до визначення відносної швидкості пласта.

Як показано в роботі [16] між поступальною v і відносною швидкістю пласта v_0 існує взаємозв'язок, що визначає його ступінь стиснення, який оцінюється коефіцієнтом:

$$\psi_1 = \frac{v_a}{v}. \quad (2.34)$$

При цьому абсолютна швидкість v_a визначається [16]:

$$v_a = v \sqrt{1 + \psi_1^2 - 2\psi_1 \cos \alpha_k}. \quad (2.35)$$

Підставивши значення v_0 з формули (2.34) в формулі (2.35), а результат у вираз (2.36), в результаті отримаємо рівняння [16]:

$$v_a = v \sin \alpha_k \sqrt{1 + f^2} = v \frac{\sin \gamma \sin \varepsilon}{\cos \varphi}. \quad (2.36)$$

Ґрунт як об'єкт механічного обробітку, значно впливає на конструктивні параметри ґрунтообробних знарядь [9].

Деформацію ґрунту долотом в цілому можна розкласти на деформацію ріжучої кромки і «крилом» долота.

Рівнодіючу елементарних нормальних сил опору ґрунту можна записати як:

$$N_{кр} = \frac{qh^2 b_1}{2 \sin \varepsilon}, \quad (2.37)$$

де q - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/м³;

h - товщина фаски, м;

ε - кут поверхні фаски з горизонтом, град.

Опір ґрунту руху всієї кромки (рис. 2.12) з урахуванням товщини самої кромки можна визначити за виразом [52]:

$$P_{кр} = \frac{qh^2b_1}{2 \sin \varepsilon \cos \varphi \sin \gamma}. \quad (2.38)$$

При роботі клина, яким є досліджуване долото, його тяговий опір можна визначити як [51]:

$$P_{кр} = \frac{qh^2b_1}{2 \sin \varepsilon \cos \varphi \sin \gamma}. \quad (2.39)$$

$$P_{G_{22}} = G \frac{\sin \gamma \sin \alpha_1 + f(\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cos \alpha_1)}{\cos \alpha_1 - f \sin \gamma \sin \alpha_1}. \quad (2.40)$$

де G_{22} - вага шару ґрунту, Н;

α_1 - початковий кут кришення долота, град.

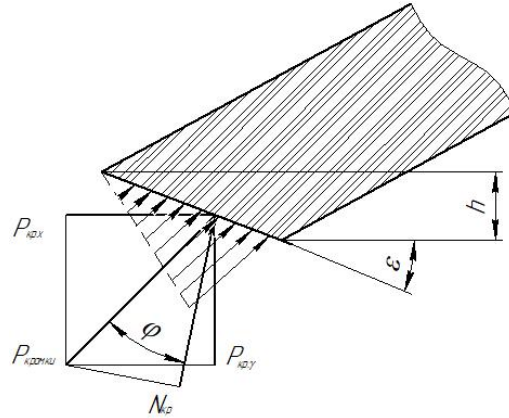


Рисунок 2.12. - Схема до визначення навантаження ґрунту кромкою долота.

Вагу пласта, що знаходиться над долотом, можна визначити [52]:

$$G_{22} = \frac{a_2 b_1 l_1 \gamma_{заг}}{\sin \gamma}. \quad (2.41)$$

де l_1 - довжина робочої поверхні долота, м;

$\gamma_{заг}$ - об'ємна вага ґрунту, Н/м³.

Підставляючи значення G в формулу (2.41), отримаємо:

$$P_{22} = \frac{a_2 b_1 l_1 \gamma_{заг} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi)}{\sin \gamma}. \quad (2.42)$$

$$P_{заг22} = a_2 b_1 l_1 \gamma_{заг} \frac{\sin \alpha_1 + f(\cos \gamma \operatorname{tg} \gamma + \sin \gamma \cos \alpha_1)}{\cos \alpha_1 - f \sin \gamma \sin \alpha_1}. \quad (2.43)$$

Загальна тяговий опір при роботі долота:

$$P_{загр} = \frac{gh^2 b_1}{2 \sin \varepsilon \cos \varphi \sin \gamma} + \frac{a_2 b_1 l_1 \gamma_{заг} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi)}{\sin \gamma}. \quad (2.44)$$

Аналізуючи отриманий вираз (2.44), видно, що загальний тяговий опір долота залежить від глибини розпушування і швидкості руху знаряддя, причому характер зміни цієї величини $P_{заг.гр}$ відноситься до лінійної залежності.

2.5.2. Визначення кінематичних і силових характеристик розрихлювача.

При здійсненні робочого процесу розпушувальним елементом (рис. 2.5), характер деформації ґрунту відповідає тим же законам, що і при розрахунку долота. Слід враховувати лише кривизну його поверхні, форму якої можна описати рівнянням (2.26). Швидкість руху пласта ґрунту по поверхні розрихлювача можна описати, використовуючи рівняння (2.34...2.36).

Для визначення тягового опору розрихлювача, скористаємося формулами (2.39...2.44), при цьому:

$$P_{роз} = a_2 b_{i1} l_{i1} \gamma_{заг} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (2.45)$$

де l_{i1} - довжина (рис. 2.13) робочої поверхні розрихлювача, м;

b_{i1} - ширина захвату центральної частини розрихлювача, м.

Необхідно враховувати кривизну розрихлювача, описана рівнянням (2.26). Виходячи з чого, визначимо складові рівняння (2.46). Зміна кута α може бути виражена в першому наближенні через функцію (рис. 2.13):

$$f(x) = e^{ax}, \quad (2.46)$$

тоді після інтегрування отримаємо:

$$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \frac{f'(x) + k}{1 - f'(x)k} dx, \quad (2.47)$$

де k - коефіцієнт, що визначає кут тертя.

Після підстановки рівняння (2.46) в рівняння (2.47), і інтегрування отримаємо:

$$\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{ae^{ax} + k}{1 - ae^{ax}k} dx. \quad (2.48)$$

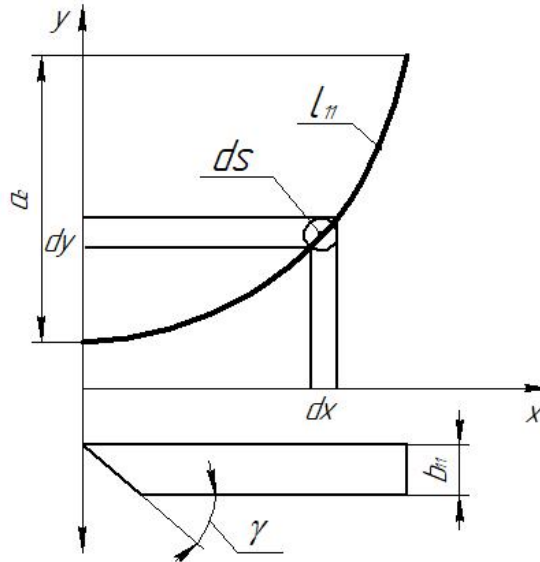


Рисунок 2.13. - Схема розпушувальними елемента в просторі.

Довжина робочої поверхні розрихлювача знаходиться аналогічно:

$$l_{il} = \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx = \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \alpha^2 e^{2\alpha x}}. \quad (2.49)$$

Остаточний тяговий опір розрихлювача з урахуванням формул (2.48) і (2.49) може бути визначена аналітично через вираз:

$$P_{роз} = a_2 d_{il} \gamma_{заг} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \alpha^2 e^{2\alpha x}} \cdot \frac{ae^{\alpha x} + k}{1 - ae^{\alpha x} k} dx. \quad (2.50)$$

Динамічний тиск пласта ґрунту на робочу поверхню клину обумовлюється інерцією пласта ґрунту, яку можна розглядати, як безперервний удар частинок ґрунту по робочій площині розрихлювача. Причому прикладена результуюча інерційних сил біля леза розрихлювача, оскільки саме на початку надходження ґрунту, сам розрихлювач передає їй ударний імпульс, в результаті якого ґрунт починає рухатися з постійною швидкістю по поверхні розрихлювача.

Величину інерційних сил розрихлювача в цілому враховують залежністю [52]:

$$P_{ин} = \frac{a_2 b_1 \gamma_{заг} v^2}{g} \sin \alpha_1 \cdot \text{tg}(\alpha_1 + \varphi), \quad (2.51)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с²;

v - швидкість розрихлювача, м/с.

2.6. Визначення тягового опору експериментального розрихлювача

Загальний тяговий опір при роботі розрихлювача визначається з урахуванням виразів (2.44, 2.50, 2.51):

$$R_{\text{роз}} = \left(\frac{qh^2 b_1}{2 \sin \varepsilon \cos \varphi \sin \gamma} + \frac{a_2 b_1 l_1 \gamma_{\text{заг}} \operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi)}{\sin \gamma} \right) + \left(a_2 b_{11} \gamma_{\text{заг}} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \alpha^2 e^{2\alpha x}} \cdot \frac{e^{\alpha x} + k}{1 - e^{\alpha x} k} dx \right) + \left(\frac{a_2 b_1 \gamma_{\text{заг}} v^2}{g} \sin \alpha_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 + \varphi) \right). \quad (2.52)$$

З аналізу цього виразу можна зробити висновок, що тяговий опір розрихлювача в цілому буде залежати від таких складових, як коефіцієнт тертя, стан ґрунту, напруження на поверхні розрихлювача і його конструктивно-технологічних параметрів (ширина, висота, кут атаки, довжина робочої поверхні).

2.7. Визначення тягового опору орного агрегату

При роботі запропонованого робочого органу, його тяговий опір визначається, як сума тягових опорів лемішно-полицевих поверхонь і розрихлювачів:

$$R_{\text{заг}} = n \cdot (R_{\text{лпн}} + R_p), \quad (2.53)$$

де $R_{\text{заг}}$ - загальний тяговий опір плуга з експериментальними робочими органами, кН;

$R_{\text{лпн}}$ - тяговий опір лемішно-полицевої поверхні, кН;

R_p - тяговий опір розрихлювача, кН;

n - кількість комбінованих ґрунтообробних робочих органів, шт.

В реальних умовах поверхня поля має ухил, з його урахуванням виразу (2.29) набуде вигляду:

$$R_{\text{заг.сх}} = n \cdot (R_{\text{заг}} \pm R_{\text{сх}}), \quad (2.54)$$

де $R_{\text{заг.сх}}$ - загальний тяговий опір експериментального робочого органу з урахуванням схилу, кН;

$R_{\text{сх}}$ - приріст тягового опору лемішно-полицевої поверхні на схилі, «-» - на спуску, «+» на підйомі, що визначається за формулою:

$$R_{cx} = G_{nl}^1 \cdot c_p \cdot \sin \alpha_{cx}, \quad (2.55)$$

де G_{nl}^1 - питома вага плуга, що припадає на одну лемішно-полицеву поверхню, кН;

c_p - приріст питомого тягового опору плуга для заданого агрофону, %;

α_{cx} - схил поля, град.

Тяговий опір агрегату визначаємо за формулою:

$$R_{agr} = R_{заг. cx} + G_{nl} (l_{\delta} f_{коч} + \sin \alpha_{cx}), \quad (2.56)$$

де G_{nl} – вага плуга, кН;

l_{δ} - коефіцієнт, що враховує перерозподільну частину маси знаряддя на трактор;

$f_{коч}$ - коефіцієнт опору коченню трактора.

З урахуванням вищевикладеного, зусилля на гаку трактора можна визначити як:

$$P_{кр} = \frac{n \cdot ((R_{лнн} + R_p) + G_{nl}(l_{\delta} f_{коч} + \sin \alpha_{cx}) \pm G_{тр} \sin \alpha_{cx})}{\eta_{вик}}, \quad (2.57)$$

де $G_{тр}$ - вага використовуваного трактора, кН;

$\eta_{вик}$ - коефіцієнт використання номінальної сили тяги трактора.

Для знаходження зусилля на гаку залишається визначити складові безпосередньо тягового опору плуга.

Висновки

З метою теоретичного обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів комбінованого робочого органу плуга і його тягового опору проведені теоретичні дослідження, в результаті яких можна відзначити наступні висновки:

1. Обґрунтовано і розроблено конструкцію комбінованого робочого органу плуга, основними елементами якого є лемішно-полицева поверхня і розрихлювач .

2. Під час виконання основного обробітку ґрунту, запропонованим робочим органом забезпечується закладення рослинних решток з оборотом і розпушуванням верхнього оброблюваного шару ґрунту і розпушування без

виносу на поверхню нижнього орного шару. В результаті забезпечується зниження енерговитрат на основний обробіток ґрунту, що виконується комбінованим робочим органом в порівнянні з серійними робочими органами плуга, оскільки в запропонованому варіанті передбачається оборот ґрунту не на всю глибину оброблюваного горизонту, а тільки його верхнього шару (основний кореневмісний шар).

3. Виходячи з агротехнічних вимог, були прийняті наступні технологічні параметри комбінованого робочого органу плуга:

- максимальна глибина обробітку 0,3 м;
- глибина верхнього шару ґрунту змінюється від 0,1 до 0,16 м (регульований параметр), відповідно глибина розпушування нижнього орного шару ґрунту становить від 0,2 до 0,14 м.

4. Отримані математичні залежності дозволяють обґрунтувати основні технологічні параметри комбінованого робочого органу, зокрема, кут атаки і форму робочої поверхні розрихлювача, за умовою мінімізації тягового опору. Встановлено, що умовою зниження тягового опору робочого органу відповідає форма робочої поверхні розрихлювача близька до кривої описуваної рівнянням логарифмічного виду ($S = 5,5 \ln (X - 1)$).

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Для підтвердження теоретичних передумов і висновків, а також для визначення точності методики оптимізації конструктивних і експлуатаційних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу у дослідженнях прийнята наступна програма, представлена на рисунку 3.1.

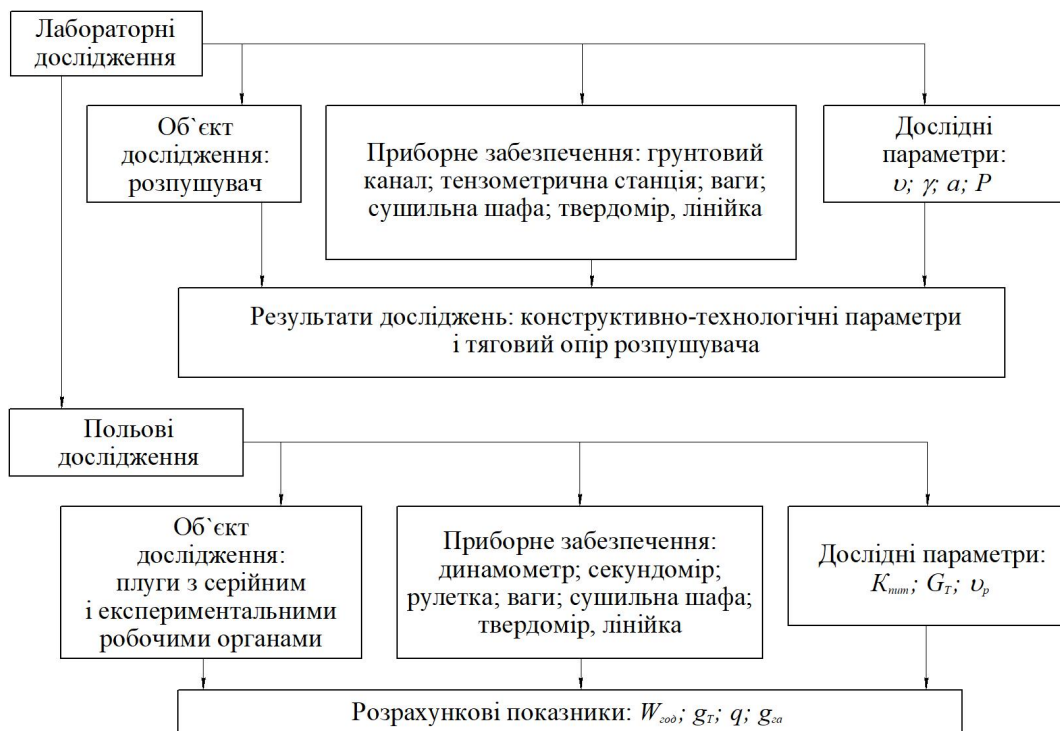


Рисунок 3.1. - Програма досліджень:

KPO - комбінований робочий орган; v , v_p - швидкість руху розрихлювача і агрегату; γ - кут атаки розрихлювача; a - глибина обробітку розрихлювача, K_{nut} - питомий опір; G_T - годинна витрата палива; W - годинна продуктивність; g_T - питома витрата палива; q - питомі енерговитрати; g_{ca} - погектарна витрата палива; P - тяговий опір розрихлювача.

Метою експериментальних досліджень є підтвердження аналітичних залежностей, а також визначення раціональних конструктивних і режимних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу, при яких якість обробітку ґрунту могла поєднуватися з мінімальною його енергоємністю, що забезпечувало б в свою чергу високу продуктивність.

3.2. Загальна методика досліджень

Загальна методика дослідження включає комплексне вивчення впливу основних параметрів і режимів розрихлювача підорного горизонту на тяговий опір комбінованого ґрунтообробного робочого органу, а так само визначення фізико-механічних характеристик оброблюваного при цьому ґрунту. З урахуванням поставлених завдань, після вивчення стану питання, накопичення та аналізу відповідної інформації, основні етапи досліджень проводилися в наступній послідовності:

- розробка і виготовлення лабораторної моделі комбінованого ґрунтообробного робочого органу і експериментальних зразків розрихлювачів, що відрізняються лише формою бічного профілю;
- планування експерименту і розробка методик експериментальних досліджень;
- вибір засобів вимірювань, підготовку лабораторного обладнання та приладів до роботи;
- проведення лабораторних експериментів і аналіз отриманих результатів;
- проведення польових дослідів з метою підтвердження як теоретичних передумов, так і лабораторних результатів.

При розробці методик проведення досліджень за основу приймалися методи, регламентовані Державним стандартом.

У випадку їх відсутності використовувалися і розроблялися оригінальні методики. При цьому враховувалися попередні досліди проведення подібних досліджень.

Обробка результатів експериментальних досліджень проводилась із застосуванням методів математичної статистики на ПЕОМ за допомогою програм «Microsoft Office Excel», «Statistica - 6».

При цьому особлива увага зверталася на критерії, що підтверджують достовірність і значимість результатів дослідів, а також адекватність отриманих математичних моделей.

3.3. Експериментальна установка і контрольно - вимірювальні

прилади

Для здійснення програми досліджень і перевірки теоретичних передумов, викладених в 2 розділі, нами була розроблена і виготовлена лабораторна установка, на базі наявного ґрунтового каналу кафедри.

Лабораторна установка (рис. 3.2) включала ґрунтовий канал 1, зверху над ним монтувалися напрямні 2, що представляють собою металевий швелер, всередині якого переміщався візок 3. Візок являє собою раму, що опирається на чотири колеса, що здійснюють рух по напрямних 2. На візку із можливістю поперечного та поздовжнього переміщення, кріпиться випробовувальний ґрунтообробний робочий орган 4.

Візок 3 переміщали за допомогою троса 5 і приводної станції 6 (рис. 3.3) по напрямних 2, що забезпечувало прямолінійність руху і відсутність поперечних коливань.

Управління електродвигуном 7 виконувалося з пульта керування 8 (рис. 3.4) за рахунок магнітних пускатів ПМЕ ПА - 3229 і пускових кнопок.

Регулювання швидкості переміщення візка 3 виконувалося за рахунок зміни опору ротора електродвигуна - приводу лабораторної установки (з фазним ротором тип 311 - 6, потужністю 11 кВт) за допомогою рідинного реостата 9 (рис. 3.5).

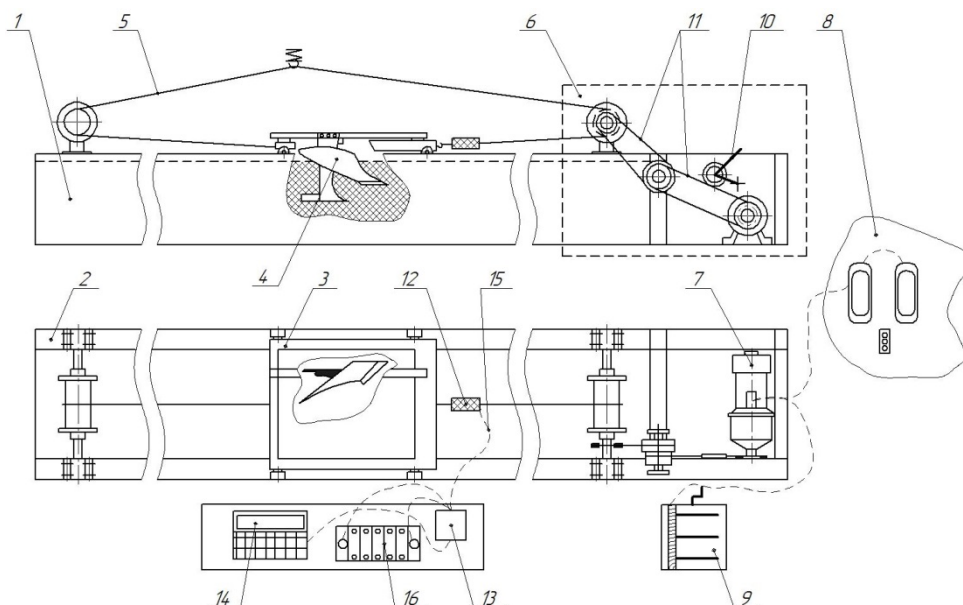


Рисунок 3.2. - Схема лабораторної установки.



Рисунок 3.3. - Загальний вигляд приводної станції (вигляд збоку):

1 - барабан; 2 - проміжний шків; 3 - клинопасова передача; 4 - важільний механізм; 5 – електродвигун.

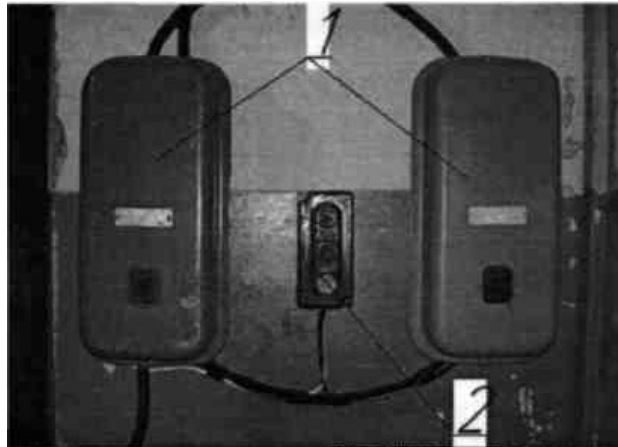


Рисунок 3.4. - Загальний вигляд пульта управління:

1 - магнітні пускачі ПМЕ ПА - 3229; 2 - пускові кнопки.

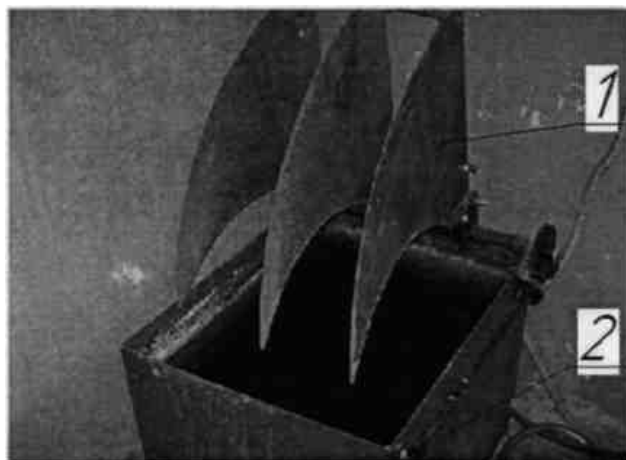


Рисунок 3.6. - Загальний вигляд рідинного реостату:

1 – пластини; 2 – ємкість.

Плавність включення лабораторної установки, щоб уникнути виникнення ривків, які можуть привести до поломки лабораторної установки і збільшення похибок при проведенні замірів, забезпечувалася важільним механізмом 10, що приводиться в дію за допомогою клинопасової передачі 11.

При здійсненні вимірів тягових зусиль використовувалася тензометрична ланка 12 (рис. 3.6), виготовлена з сталі 30ХГСА, з наклеєними тензорезисторами ПКБ - 10 - 100Ш (ТУ 01 - 17 - 66) по електричній схемі, представленій на рисунку 3.7 [30].

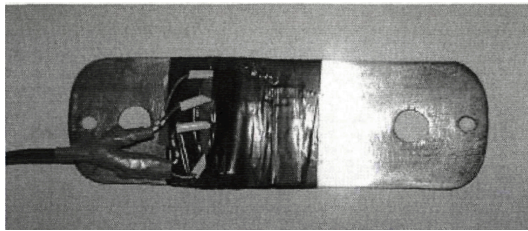


Рисунок 3.6. - Загальний вигляд тензометричної ланки

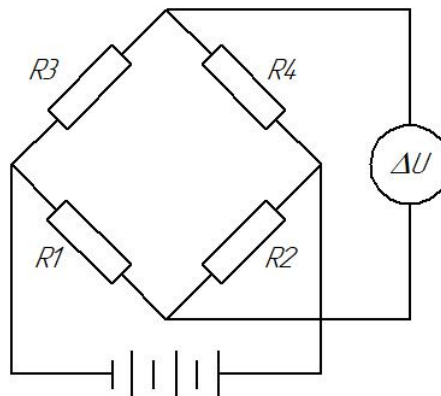


Рисунок 3.7. - Електрична схема тензометричної ланки:

R_1, R_2, R_3, R_4 - опір тензорезисторів; ΔU - зміна вихідної напруги (сигнал).

Оскільки резистори з'єднані в мостову схему, досягається рівність опорів діагоналей моста:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 . \quad (3.1)$$

При цьому балансування мостів здійснюється по активному опору R_4 . Вихідним сигналом датчика є зміна напруги, яка в даному випадку визначається:

$$\Delta U = U \Delta R / R, \quad (3.2)$$

де $\Delta R / R$ - відносний опір тензорезистора.

У свою чергу тензорезистор характеризується коефіцієнтом

тензочутливості:

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}, \quad (3.3)$$

де $\Delta l / l$ - відносна деформація перетворювача.

Передача сигналу з тензорезисторів проводилася на вимірювальній апаратурі (рис. 3.8), що складається з підсилювача ТОПАЗ-2-АПС 13 і комп'ютерного осцилографа 14, зв'язок здійснювався через екранований провід 15, живлення ТОПАЗ-2-АПС відбувалось від акумуляторної батареї 6СТ - 60 16.

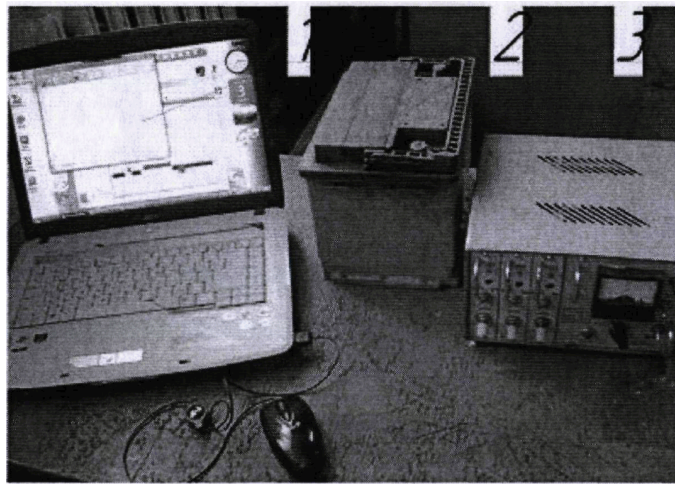


Рисунок 3.8. - Вимірювальна апаратура:

1 - комп'ютерний осцилограф; 2 - акумуляторна батарея 6СТ-60;
3 - ТОПАЗ - 2 – АПС.

Для перевірки працездатності запропонованого робочого органу і його конструктивних і технологічних параметрів, визначених в розділі 2 цієї роботи, нами була створена лабораторна модель, загальний вигляд якої представлений на рисунку 3.9. Комбінований ґрунтообробний робочий орган містить лемішно-полицеву поверхню 1 і розрихлювач 2, що встановлені на стійці 3. Лемішно-полицева поверхня кріпиться до стійки пластинами 4 і виконана з можливістю зміни положення по висоті відносно стійки 3 за допомогою отворів 6. Розрихлювач 2 закріплений на стійці 3 за допомогою грейдерів 7, встановлених з протилежних бічних сторін стійки 3. У нижній частині стійки 3 з боку, протилежного напрямку обороту пласта, закріплена польова дошка 9.

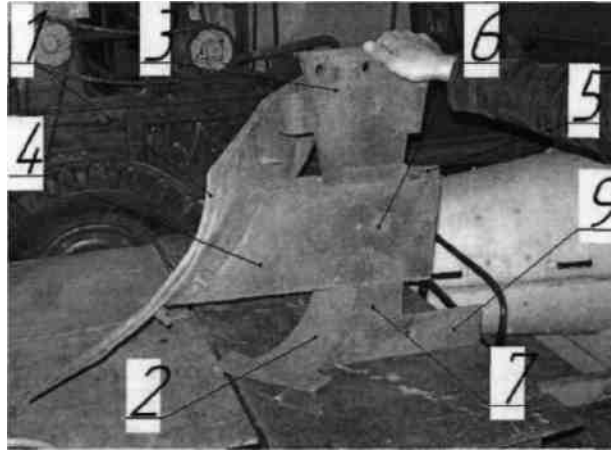


Рисунок 3.9. - Схема лабораторної моделі комбінованого ґрунтообробного робочого органу:

1 – лемішно-полицева поверхня; 2 - розрихлювач ; 3 - стійка; 4, 5 - ліва і права пластини; 6 - регулювальні отвори; 7, 8 - лівий і правий (не показано) грейдери; 9 - польова дошка.

Для обґрунтування форми бічного профілю розрихлювача підорного горизонту були виготовлені експериментальні зразки розрихлювачів у вигляді пластин, що відрізняються лише формою бічного профілю. Після чого була прийнята форма бічного профілю, описаного рівнянням (2.26) і виготовлені експериментальні зразки (рис. 3.10) для проведення подальших досліджень.

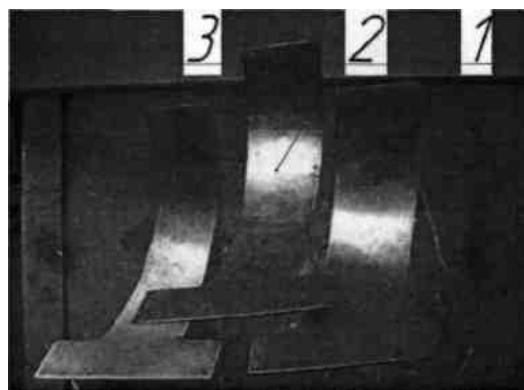


Рисунок 3.10. - Експериментальні зразки розрихлювачів:

1, 2, 3 - розрихлювач і з кутом атаки відповідно 30°, 40°, 50°.

Для підтвердження працездатності запропонованого робочого органу, а також для визначення в польових умовах тягового опору експериментальних плугів, використовувався роботомір РТТК-АФІ, представлений на рисунку 3.11.



Рисунок 3.11. - Роботомір РТТК - АФІ:

1 – корпус роботоміра; 2 – тумблер.

3.4. Методика визначення основних фізико - механічних характеристик оброблюваного ґрунту

За основні параметри, що характеризують стан оброблюваного ґрунту, були прийняті наступні: твердість ґрунту, вологість ґрунту, рівномірність глибини обробітку, повнота закладання рослинних решток, подрібнення, вирівнюваність поверхні поля і коефіцієнт тертя ковзання «сталь – ґрунт».

Твердість ґрунту визначалася твёрдоміром Ревякіна (рис. 3.12) в триразовій повторності.

Обробка даних твёрдограмм проводилася за відомими методиками [28]. Середня твердість, згідно ГОСТ 20915 - 75 (ОСТ 70.4.1 - 80) визначалася як:

$$p = \frac{hk}{S_{\text{плунж}}}, \quad (3.4)$$

де h - середня ордината діаграми твёрдоміра, см;

k - калібр пружини, Н/см;

$S_{\text{плунж}}$ - площа поперечного перерізу плунжера, см².

Вологість ґрунту визначали, використавши бюкси (кількість бюкс - 20 шт.), які попередньо нумерувались і зважувались окремо в незаповненому стані. При визначенні початкової вологості бюкси заповнювалися ґрунтом, потім їх зважували на контрольних вагах і записували вагу кожного бюкса з пробєю під своїм номером.



Рисунок 3.12. - Визначення твердості ґрунту твердоміром Рев'якіна в польових умовах.

Пробу сушили в сушильній шафі (рис. 3.13) до постійної маси при 100...105° С. Тривалість першої сушки 3 год., Після чого охолоджували 30 хвилин і зважували, через 1 год. Проводилася контрольна сушка протягом 1 год. Після сушіння проби охолоджували 30 хвилин і потім зважували. Розбіжності в масі після повторної сушки при високій вологості допускаються не більше 0,05 м, при середній і низькій вологості, а також в піщаних ґрунтах 0,03 г.; при зважуванні на аналітичних вагах не більше 0,003 г, категорично не допускається зважування на наступний день.

Вміст води (абсолютна вологість) в ґрунті $W, \%$, визначали за виразом:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} 100\%, \quad (3.5)$$

де m_1 - маса бюкса з вологою пробою ґрунту, г;

m_2 - маса бюкса з сухою пробою ґрунту, г;

m_0 - маса порожнього бюкса з кришкою, м.



Рисунок 3.13. - Сушильна шафа.

Після обчислення процентного вмісту вологості ґрунту для кожного бюкса обчислювали середнє значення початкової вологості (W).

Оптимальне значення вологості ґрунту (W_{on}), для проведення лабораторних досліджень повинно знаходитися в діапазоні 20...22% [7].

Необхідна кількість води V_v (м), яку потрібно внести в ґрунт, в ґрунтового каналі визначається за формулою:

$$V_v = V_{вих} \frac{W_{on} W_{cp}}{1 - W_{cp}}, \quad (3.6)$$

де $V_{вих}$ - об'єм вихідного ґрунту, м³.

Об'єм вихідного ґрунту обчислюється за формулою:

$$V_{вих} = ab_{гк}l_{гк}, \quad (3.7)$$

де a - максимальна глибина обробітку, м;

$b_{гк}$ - ширина ґрунтового каналу, м;

$l_{гк}$ - довжина ґрунтового каналу, м.

Після внесення в ґрунтовой канал розрахованої кількості води знову вимірювалася вологість в послідовності, описаній вище.

В роботі [23] рекомендується застосовувати величину відхилення від глибини обробітку не більше $\pm 5\%$ від встановленої глибини обробітку. В роботі [19] рекомендується відхилення глибини оранки від середнього прийнятого значення ± 2 см.

Заводські паспорта на машини для основного обробітку ґрунту зазвичай вказують відхилення від глибини обробітку ± 2 см від встановленої глибини, в зв'язку з чим, нами прийнята саме ця величина.

Чисельне значення повноти закладення рослинних решток визначалося за формулою:

$$z_{po} = \frac{M - M_1}{M}, \quad (3.8)$$

де M - маса рослинних решток на дослідній ділянці поля до проходу агрегату, кг;

M_1 - маса рослинних решток на дослідній ділянці поля після проходу агрегату.

Кришіння ґрунту є важливою характеристикою основного обробітку ґрунту. Погане подрібнення ґрунту, призводить до збільшення непродуктивної витрати вологи, зниження якості посівних робіт, польової схожості насіння і в кінцевому підсумку до зниження врожайності. В короткий термін, в розпал жнив великі площі повинні бути оброблені з заданою якістю (при кришеним фракції ґрунту менше 2,5 см повинні становити не менше 80%). За вимогами ГОСТу здатність ґрунту до кришіння виражається відношенням маси грудок розміром менше 50 мм до маси ґрунту в пробі (%). Агротехнічно цінними вважаються фракції розміром 0,25...10 мм. Також вважається, що при механічному обробітку ґрунту не можна допускати руйнування його до частинок менше 0,25 мм, оскільки це призводить до руйнування структурних агрегатів.

Кришіння ґрунту визначали по пробах, що відбираються в чотирьох точках ділянки (дві по ходу руху агрегату, дві в зворотному напрямку) з майданчиків 0,5 м² на глибину обробітку. Відібрані проби розділяли на фракції за допомогою лабораторного сита У1-ЕСЛ-К), потім кожен фракцію зважували. За результатами зважування обчислюємо масову частку кожної фракції грудок у відсотках за формулою:

$$N_i = 10^2 m_i / m, \quad (3.9)$$

де m_i - маса i -ої фракції в пробі, кг;

m - загальна маса проби, кг.

В даний час вирівнюваність поверхні поля найчастіше оцінюють висотою гребенів, після проходження машини. Для цього на поверхню гребенів перпендикулярно руху машини кладуть рейку і вимірюють відстань від нижньої точки борозни до рейки. Висота гребенів не повинна перевищувати 4 см. За методикою [50] вирівнюваність вимірюється за допомогою накладення гнучкого шнура на поверхню поля поперек руху агрегату, так щоб він якомога повніше копіював рельєф. Коефіцієнт вирівнюваності дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l}{l_0} 100\%, \quad (3.10)$$

де l_0 - початкова довжина шнура, 10 м;

l - відстань між кінцями шнура після накладення, м.

При цьому вимірювання проводилися не менше 20 разів, після чого підраховується середнє їх значення, за якими і визначався даний коефіцієнт. Вирівнюваність зораного поля вважають позитивною при $\varepsilon < 7\%$.

Відомий метод визначення коефіцієнта тертя ґрунту по сталі [21] приладом В. А. Желіговського (рис. 3.14). Методика визначення коефіцієнтів тертя полягає в наступному. Один із зразків випробуваних матеріалів закріплюється уздовж рельсшини (металева пластина), а інший (ґрунт) - на вертикальному майданчику каретки. При цьому рельсшина встановлюється під деяким кутом на креслярській дошці, на якій закріплюється папір для запису результатів дослідження. Кут установки рейсшини до дошки береться довільним, але так, щоб він був більше передбачуваного кута тертя випробовуваних матеріалів. При повільному переміщенні вздовж кромки креслярської дошки каретка буде переміщатися по деякій траєкторії. При переміщенні рельсшини потрібно стежити, щоб вертикальні площини рельсшини і каретки стикалися тими ділянками, на яких закріплені випробовувані матеріали. При встановленому куті нахилу рельсшини і при її переміщенні олівцем приладу підкреслюватиметься лінія.

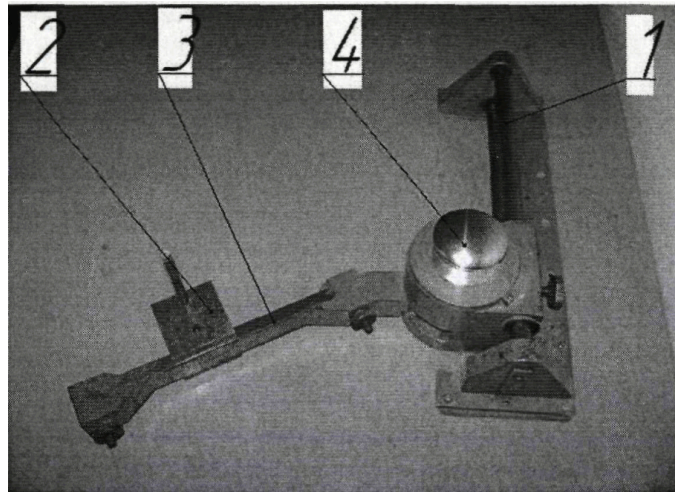


Рисунок 3.14. - Визначення коефіцієнта тертя ґрунту по сталі:

1 - прилад В. А. Желіговського; 2 - каретка; 3 - рельсшина; 4 - маховик ручного регулювання рельсшини.

Коефіцієнт тертя визначався при вологості ґрунту 21%, в кількості 25 замірів, після чого підраховувалося його середнє значення.

3.5. Методика лабораторних і польових досліджень основних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу

В процесі проведення лабораторних і польових досліджень, виходячи з програми експериментальних досліджень вирішувалися такі завдання:

- дослідження основних фізико - механічних властивостей ґрунту;
- оптимізація основних технологічних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу;
- визначення енергетичної оцінки комбінованого ґрунтообробного робочого органу.

3.5.1 Методика лабораторних досліджень по оптимізації основних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу.

З метою вивчення енергетичних і якісних показників розрихлювача підорного горизонту, а також пропонованого робочого органу (рис. 3.15), був спроектований і виготовлений експериментальний робочий орган, а також набір розрихлювачів (див. рис. 3.9, 3.10). Лабораторні випробування, проводилися на лабораторній установці (рис. 3.2). Підготовка ґрунту і визначення умов випробувань проводилися згідно ГОСТ 20915 - 75. Перед кожною серією дослідів визначалася характеристика ґрунту: твердість і вологість. При цьому твердість в ґрунтовому каналі доводилася до необхідної, шляхом її примусового ущільнення за допомогою вдавлення дерев'яних щитів.



Рисунок 3.15. - Визначення працездатності запропонованого робочого органу в ґрунтовому каналі.

Перед початком робіт проводилася підготовка вимірювальної апаратури і обладнання, підготовка лабораторного комплексу.

Підготовка вимірювальної апаратури полягала в проведенні тарування тензометричної ланки і калібрування комп'ютерного осцилографа (п. 3.2).

Тарування тензометричної ланки (рис. 3.16) проводилася на ручному тарувальному стенді (тарувальний графік представлений на рис. 3.17).

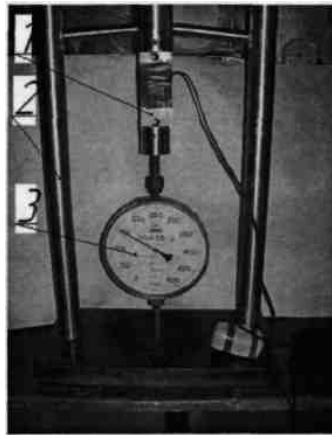


Рисунок 3.16. - Тарування тензометричної ланки:

1 - тензометрична ланка; 2 - ручний тарувальний стенд; 3 - динамометр ДПУ-01-02.

На основі статистичної обробки осцилограм, отриманих при триразовій повторності дослідження (п. 3.2), значення сили $P_{роз}$ визначалося при різних режимах роботи. Досліди проводилися в ґрунтовому каналі. Конструкція ґрунтового каналу відноситься до типу нерухомих, з прямолінійним рухом робочих органів. Ґрунт застосовувався природній - чорнозем звичайний середньосуглинистий.

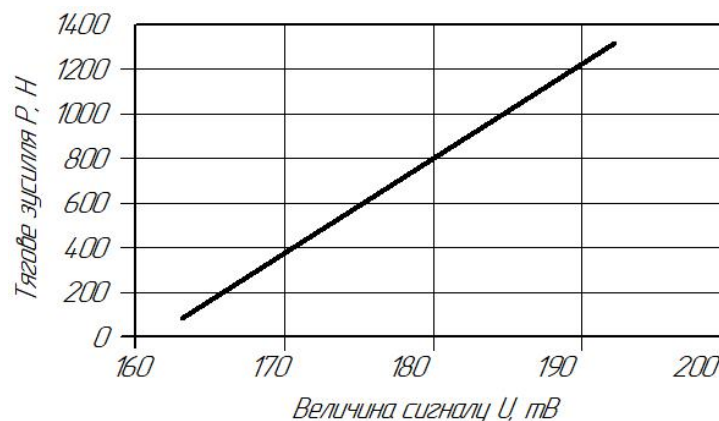


Рисунок 3.17. - Графік тарування тензометричної ланки.

Достовірність отриманих результатів в основному залежить від точності вимірювань, а також і від вибору методів обробки результатів. Тяговий опір досліджуваних розрихлювачів $P_{роз}$ визначали як різницю:

$$P_{роз} = P_1 - P_2, \quad (3.11)$$

де P_1 і P_2 - відповідно опір переміщенню експериментальної установки при робочому і холостому ході, Н.

Вираз (3.11) можна розв'язати як похідну різниці ординат на обраний масштаб сили опору:

$$P_{роз} = K_{мар} \cdot (h^1_{cp} + h^2_{cp}), \quad (3.12)$$

де $K_{мар}$ - масштаб сили опору;

h^1_{cp} , h^2_{cp} - середні величини осцилограми при робочому і холостому ходах, виміряні через кожні 0,05 с.

Тоді на підставі попередньо складеного тарувального графіка визначається масштаб сили опору по формулі:

$$K_{мар} = \frac{F_{дин}}{H_{орд}}, \quad (3.13)$$

де $F_{дин}$ - величина максимального навантаження по динамометру, Н;

$H_{орд}$ - величина різниці максимальної та мінімальної висоти ординати на графіку, мВ.

3.5.2. Методика польових досліджень енергетичної оцінки плугів із застосуванням комбінованих ґрунтообробних робочих органів.

Для проведення польових випробувань з метою вивчення енергетичних і якісних показників знарядь із запропонованими робочими органами створені експериментальні знаряддя (три- і чотирикорпусні) на базі агрегатів в складі трактора МТЗ - 892 і ДТ - 75М. Порівняння проводилося з плугами загального призначення ПЛН-3,35 і ПЛН-4-35.

При оцінці експериментальних знарядь, з метою визначення основних агротехнічних показників, визначалися: твердість ґрунту, її вологість, рівномірність глибини обробітку, повнота закладення рослинних решток, подрібнення, вирівнюваність поверхні, по методикам, викладеним в підрозділі 3.5.

Для визначення створюваних ґрунтообробними машинами зусиль використовувалася реєструвальна апаратура (рис. 3.18), що складається з роботоміра РТЖ - АФІ, акумуляторної батареї 6СТ - 90 і витратоміра палива об'ємного типу (рис. 3.19), все розміщувалося на тракторі досліджуваного агрегату (рис. 3.20, 3.21).

Вибір і перевірку основних параметрів комбінованого робочого органу проводили згідно з програмою і методам випробувань [48].



Рисунок 3.18. - Кріплення роботоміра РТТК - А ФМ до веденого трактора: 1 - трактор; 2 - роботомір РТТК - АФІ; 3 - виоране поле; 4 - незоране поле.

При цьому орний агрегат агрегатувався іншим трактором, що дозволяло навісному знаряддю виконувати роль причіпного. Після проведення етапу динамометрування, орний агрегат, протягувався в нейтральному положенні коробки передач з виглибленим знаряддям, що дозволяло виключити похибку вимірювань, пов'язаних з виникаючими зусиллями від трактора.

Земельні ділянки для досліджень, довжина яких згідно ГОСТ - 7057 - 2001 «Трактори сільськогосподарські, методи випробувань» повинна бути не менше 60 м (рис. 3.22), повинні забезпечувати проведення повної серії дослідів і однорідність по попереднього обробітку, фізико-механічними властивостями, кількістю, видовим складом і положенню рослинних решток.

З метою зниження впливу тимчасового дрейфу серії польових випробувань проводилися, як правило, протягом одного дня, порівняльні випробування - протягом одного тижня, чим забезпечувалася порівняння отриманих результатів.

Для виключення похибок, викликаних впливом ухилу місцевості,

експерименти виконували при русі в прямому і зворотному напрямку.



Рисунок 3.19. - Витратомір палива об'ємного типу (на тракторі МТЗ-892).



Рисунок 3.20. - Плуг ПЛН-3,35 з експериментальними робочими органами:

1 - лемішно-полицева поверхня; 2 - розрихлювач.



Рисунок 3.21. - Плуг ПЛН-4-35 з експериментальними робочими органами:

1 – лемішно-полицева поверхня; 2 - розрихлювач.

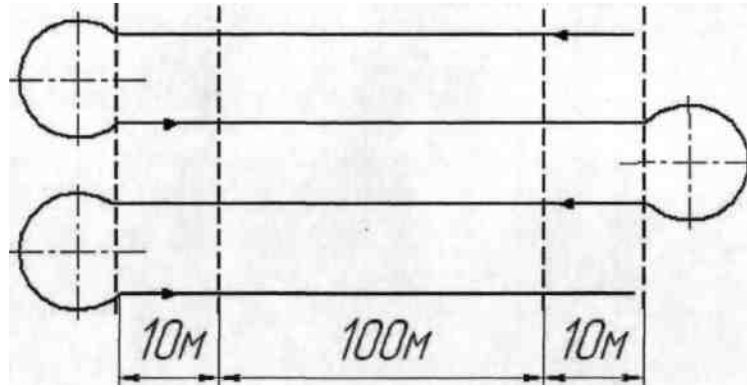


Рисунок 3.22. - Ділянка для проведення польових досліджень.

Перед початком польових робіт проводилася підготовка вимірювальної апаратури і досліджуваних знарядь.

Підготовка досліджуваних знарядь до роботи полягала в установці лемішно - полицевої поверхні і розрихлювача на певну глибину обробітку, яка контролювалася в процесі проведення випробувань.

Підготовка вимірювальної апаратури полягала в проведенні тарування роботоміра РТТК - АФІ. Похибка використовуваного витратоміра палива об'ємного типу не перевищувала допустимих значень (3%).

Тарування роботоміра РТТК-АФІ (рис. 3.23) проводилося на динамометрі ДО-2-5 за методикою, викладеною в роботі [39], на початку і кінці польових випробувань (Додаток А).

Для цього необхідно врівноважити динамометр ДО-2-5 для усунення похибки від ваги тарувального приладу. Після чого аретуємо динамометр і встановлюємо перший ступінь навантаження - 5 кН. Розаретувавши його, проводимо навантаження динамометра РТТК - АФІ, до вирівнювання стрілок показчиків динамометра. Важелем, встановленим на квадрат валика лічильника числа вимірювань, повертаємо валик на 100 обертів, значення лічильника числа вимірювань при цьому збільшується на 100. У такій послідовності виконуємо навантаження тарувального приладу, число навантажень не менше 3, з перевантаженням на 1...2 кН. Розвантаження проводиться в послідовності зворотного навантаження.

Трактор, підготовлений до динамометрування, повинен бути повністю заправлений паливом, мастилом і водою. До початку динамометрування трактор

повинен пропрацювати з початковим навантаженням не менше однієї години для встановлення нормального стану до початку динамометрування. Лінія тяги основного і допоміжного тракторів в процесі випробувань повинна бути паралельною поверхні шляху і повинна збігатися з їх поздовжньої віссю.

Агрегат з встановленим роботоміром підводиться до початку гону, після чого записуються показники лічильника. Важіль включення роботоміра ставиться в положення «Ввімкнено». При цьому важіль ввімкнення передач основного трактора знаходиться в нейтральному положенні. Закінчивши дослідження, агрегат зупиняють, важіль ставлять в положення «Виключено», знову записуються показники лічильника. За різницям показників до початку випробувань і після випробування обчислюють роботу, виконану трактором.



Рисунок 3.23. - Тарування роботоміра РТТК - АФІ:

1 - динамометр ДО-2-5; 2 - роботомір РТТК - АФІ.

При цьому середнє тягове зусилля враховувалося як різниця при опущеному в робоче положення і піднятому знарядді (холостий хід). Після чого підраховувалися такі показники, як:

Годинна витрата палива за формулою:

$$G = 3,6 \frac{V \cdot \gamma}{t_{\text{доc}}}, \quad (3.14)$$

де V_T - об'єм витраченого палива, см;

γ_T - питома вага дизельного палива, кг/см;

$t_{\text{доc}}$ - тривалість дослідження, с.

Питома витрата палива на гаку:

$$g_T = \frac{G_T \cdot 1000}{N_{cp}}, \text{ г / кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.15)$$

де N - середня потужність, кВт.

Середня потужність на гаку підраховується як:

$$N_{cp} = P_{cp} \cdot v_{cp}, \text{ кВт}, \quad (3.16)$$

де P_{cp} - середнє тягове зусилля за дослід, кН;

v_{cp} - середня швидкість за дослід, м/с.

Погектарна витрата палива:

$$g_{га} = \frac{G_T}{W}, \text{ кг / га}, \quad (3.17)$$

де W - обсяг робіт за годину основного часу, га.

Середнє тягове зусилля:

$$P_{cp} = P_{cp1} - P_{cp2}, \text{ Н}, \quad (3.18)$$

де P_{cp1} і P_{cp2} - відповідно середній опір переміщенню знаряддя при робочому і холостому ході, кН.

Середня швидкість:

$$v_{cp} = \frac{S}{t_{дос}}, \text{ м / с}, \quad (3.19)$$

де S - довжина дослідної ділянки поля, м;

Також розраховувався питомий тяговий опір за формулою:

$$K_{yд} = \frac{P_{cp}}{ab}, \text{ Н / см}^2, \quad (3.20)$$

де a, b - відповідно середня глибина і ширина обробітку, см.

Обсяг робіт за годину основного часу W можна визначити за формулою:

$$W = 0,1 \cdot B \cdot v_{cp}, \text{ га/год}, \quad (3.21)$$

де B - ширина захвату знаряддя, м.

3.5.3. Вибір керованих факторів і рівнів їх варіювання.

Проведене в даній роботі дослідження факторів, що впливають на вихідні параметри процесу обробітку ґрунту запропонованим розрихлювач ем, дозволяє виділити з усіх розглянутих лише три керованих і контрольованих фактори:

швидкість обробітку v_p , глибина обробітку a і кут атаки розрихлювача γ . При цьому, в лабораторних умовах швидкість досліджуваних розрихлювачів змінювалася від 1,4 до 2,2 м/с, глибина обробітку від 0,05 до 0,15 м, кут γ від 30 до 50°, при 3-х різних радіусах його кривизни (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. - Досліджувані розрихлювач і при різних бічних профілях

Номер розрихлювача	Профіль розрихлювача
№1	Прямолінійний (металева пластина) $R = 0$
№2	По радіусу, $R = 300$ мм
№3	По рівнянню: $Y = 5,5 \ln(X - 1)$

На підставі раніше виконаних досліджень процесу основного обробітку ґрунту, результатів пошукових дослідів, а також виходячи з конструктивних міркувань, нами прийняті рівні варіювання обраними факторами, наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. - Рівні варіювання керованими і контрольованими факторами

Рівні варіювання	Фактори варіювання		
	Робоча швидкість v_p , м/с	Глибина обробітку ґрунту, м	Кут атаки розрихлювача γ , град
верхній (+1)	2,2	0,15	50
основний (0)	1,8	0,10	40
нижній (- 1)	1,4	0,05	30
інтервал варіювання, Δx_i	0,4	0,05	10
кодові позначення	X_1	X_2	X_3

В якості критерію оптимізації при цьому було прийнято тяговий опір розрихлювача $P_{роз}$.

3.5.4. Планування факторного експерименту.

При вивченні складних явищ або процесів, на які впливає безліч факторів при умовах, що змінюються, завдання оптимізації цих процесів стає багатofакторним. Вирішувати таке завдання доводиться при неповному знанні самого механізму розглянутих явищ, які не піддаються опису аналітичними методами.

Проблемою раціонального планування експерименту займалися багато авторів [3, 10, 18, 41]. Формально основним завданням планування експерименту є отримання статичної математичної моделі об'єкта дослідження у вигляді полінома (рівняння регресії), зазвичай першого або другого ступеня. Загальний хід побудови і подальшого використання математичної моделі зводиться до наступного:

- проводиться попереднє вивчення об'єкта;
- вибирається параметр оптимізації, виявляються діючі фактори і за результатами дослідів будується модель;
- проводиться оцінка адекватності моделі і інтерпретація, тобто розпізнавання її геометричного вигляду;
- проводиться використання моделі в ході розробки рекомендацій стосовно оптимізації досліджуваного процесу, тобто обґрунтування його технологічних режимів або конструктивних параметрів.

При постановці факторних експериментів обробка їх результатів ґрунтується на законах математичної статистики, тому велике значення має варіаційний, дисперсійний і регресійний аналізи [41].

До числа найбільш простих в обробці планів експерименту належать композиційні плани другого порядку. У цих планах кожен фактор варіюється на п'яти рівнях: верхньому (+1), нижньому (-1), нульовому (0) і, так званих, "зіркових" ($+\alpha$) і ($-\alpha$) при $\alpha > 1$.

При використанні некомпозиційних планів (Бокса-Бенкіна, Хартпі та ін.) Варіювання керованими факторами проводиться на трьох рівнях: верхньому (+1), нижньому (-1) і нульовому (0), в зв'язку з чим вибираємо некомпозиційне планування експерименту.

При цьому використовуючи плани експерименту другого порядку можливо побудувати повне квадратичне рівняння регресії виду:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (3.22)$$

де $x_i (i = 1, 2 \dots n)$ - значення факторів, що впливають на параметр оптимізації γ ,

b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти регресії.

Кількість членів рівняння регресії N виражається формулою:

$$N = [(n + 1) (n + 2)] / 2. \quad (3.23)$$

Виконуємо нормалізацію факторів, при якій здійснюється лінійне перетворення факторного простору з перенесенням початку координат в центр експерименту і вибір масштабу по осях в одиницях варіювання факторів за формулою:

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (3.24)$$

де x_i - нормалізоване значення фактору;

x_{i0} - натуральне значення фактору на основному рівні;

x_i - натуральне значення фактору;

Δx_i - натуральне значення інтервалу варіювання фактору.

Значення Δx_i при цьому знаходиться із залежності:

$$\Delta x_i = \frac{x_i^g - x_i^h}{2}, \quad (3.25)$$

де x_i^g, x_i^h - відповідно значення фактору на верхньому і нижньому рівнях.

Отримана математична модель в кодованих значеннях факторів дозволить оцінити ступінь впливу на параметр оптимізації як кожного з них, так і творів факторів (при суттєвості коефіцієнтів рівняння регресії).

Наступним етапом обробітку експерименту повинна бути статистична обробка з встановленням значущості коефіцієнтів регресії. Метою її є з'ясування, з яким ступенем достовірності набутих значень коефіцієнтів відрізняються від нуля, тобто статистична перевірка встановлює, чи робить даний фактор помітний вплив на змінну. Якщо цього впливу немає, то значення коефіцієнта регресії буде

відрізнятися незначно від нуля. У зв'язку з цим для проведення статичного аналізу отриманих результатів необхідно знайти дисперсію відтворюваності результатів дослідження. Умова відтворюваності передбачає приблизно однаковий вплив помилок і випадкових перешкод по всіх точках плану.

Оскільки кожен дослід в матриці ставився в декількох повтореннях і число їх в будь - якому вигляді дослідження однакове, то повний статистичний аналіз проводився за наступною схемою.

Построкові дисперсії підраховувалися за формулою:

$$S_v^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (\bar{y}_v - y_{v,j})^2}{m-1}, \quad (3.26)$$

де S_v^2 - дисперсія в v -ій точці;

J - порядковий номер паралельного дослідження в даній точці плану матриці;

y_v - середнє арифметичне значення параметра оптимізації в паралельних дослідах в точці v ;

$y_{v,j}$ - значення параметра оптимізації в v -ій точці;

$(m - 1)$ - число паралельних спостережень в точках плану матриці.

З метою встановлення можливостей використання узагальнених даних перевірялася однорідність дисперсією відповідного ряду нормальної сукупності, тобто визначалося - чи істотна розбіжність між середніми блоками і загальною середньою всієї сукупності спостережень. Перевірка здійснювалася критерієм Кохрена, що порівнював максимальну емпіричну дисперсію з сумою всіх дисперсій:

$$G = \frac{S_{v \max}^2}{\sum_{v=1}^N S_v^2}, \quad (3.27)$$

де $S_{v \max}^2$ - максимальна дисперсія в v -ій точці;

$\sum_{v=1}^N S_v^2$ - сума всіх дисперсій;

N - загальне число точок плану матриці.

Далі визначалися середні значення дисперсії по всій матриці, дисперсії

критерію оптимізації і коефіцієнтів регресії:

$$S^2 = S^2\{\gamma\} = \frac{\sum_{r=1}^N S_r^2}{N}, \quad (3.28)$$

де $S^2\{\gamma\}$ - середнє арифметичне дисперсій всіх різних точок плану матриці або дисперсія параметра оптимізації.

Значимість коефіцієнтів регресії перевірялася за допомогою t - критерію Стюдента, який порівнює абсолютну величину коефіцієнта з помилкою його визначення:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}, \quad (3.29)$$

де t_i - критерій Стюдента для конкретного коефіцієнта рівняння регресії;
 $|b_i|$ - розраховані коефіцієнти регресії.

Значення t - критерію залежить від числа дослідів і від прийнятого рівня значущості, воно знаходиться за спеціальними таблицями.

Значимість множинної кореляції оцінюється критерієм Фішера (F - критерій) [17]:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \left(\frac{n - k}{k - 1} \right), \quad (3.30)$$

де R^2 - квадрат коефіцієнта множинної кореляції (коефіцієнт множинної детермінації);

n - об'єм вибірки;

k - число ознак (в нашому випадку $k = 3$).

Коефіцієнт детермінації D показує частку тих змін, які залежать від досліджуваного фактору. Він є більш безпосереднім і прямим способом вираження залежності однієї величини від іншої, і в цьому відношенні він краще коефіцієнта кореляції.

Вважається, що при $R < 0,3$ кореляційний залежність між ознаками слабка, $R > 0,3 \dots 0,7$ - середня, а при $R > 0,7$ - сильна.

Для оцінки надійності вибіркового коефіцієнта кореляції обчислюють його помилку і критерій суттєвості.

Стандартну помилку коефіцієнта кореляції визначають за формулою:

$$S_r = \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}, \quad (3.31)$$

де n - чисельність вибірки, тобто число пар значень, за якими обчислений вибірковий коефіцієнт кореляції.

З формули випливає, що коефіцієнти кореляції, близькі до одиниці, виявляються завжди точніше коефіцієнтів кореляції, близьких до нуля. Зі збільшенням числа об'єктів дослідження S_r також буде завжди зменшуватися, а точність у визначенні R - зростає.

Висновки

1. Розроблено загальну програму досліджень, яка включає лабораторні (дослідження розрихлювача комбінованого робочого органу плуга) і польові (дослідження плугів з серійними і експериментальними робочими органами) дослідження, підібрано необхідне обладнання.

2. Для вивчення процесу розпушування спроектовані і виготовлені розрихлювач і підорного горизонту, що відрізняються лише бічними профілями робочої поверхні, а також комбінований ґрунтообробний робочий орган, що дозволяє розуцілювати підорний шар ґрунту з одночасним розпушуванням і оборотом верхнього шару ґрунту.

3. З безлічі незалежних керованих і контрольованих чинників, за допомогою проведеного аналізу апріорної інформації дозволило виділити три основні: швидкість обробітку v_p , глибина обробітку a і кут постановки ріжучої кромки розрихлювача відносно напрямлення його руху γ (кут атаки розрихлювача).

4. Визначено межі області експерименту по вищевказаним чинникам і призначені рівні їх варіювання, при цьому обробка даних експерименту прийнята за методом некомпозиційних планів.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

У другому розділі була обґрунтована форма бічного профілю розрихлювача підорного горизонту. Відповідно до цього нами розглядалися кілька видів розрихлювачів, критерії відбору яких за геометричними характеристиками наведені в таблиці 4.2.

З таблиці видно, що при різних бічних профілях робочого органу необхідно встановлювати найбільш раціональний з точки зору як енергозбереження, так і агротехнічних вимог.

4.1. Фізико-механічні характеристики оброблюваного ґрунту

В процесі проведення лабораторних досліджень розрихлювачів підорного горизонту в ґрунтовому каналі підтримувалася певна вологість ґрунту і її твердість по методикам, викладеним в підрозділі 3.5. При цьому вологість ґрунту підтримувалася в районі 21,0%, а твердість - 0,71...0,85 МПа. Коефіцієнт тертя ґрунту по матеріалу розрихлювачів в середньому склав 0,52 (табл. 4.1). Конструкція ґрунтового каналу дозволяла підтримувати відхилення від заданої глибини ходу розрихлювачів не більше ± 1 см, що відповідає висунутим агротехнічним вимогам [28].

Таблиця 4.1. - Розрахунок кута тертя ґрунту ґрунтового каналу по матеріалу розрихлювачів при вологості $W = 21,0\%$

Повторюваність	Кут тертя, град	Коефіцієнт тертя
1	27	0,51
2	28	0,53
3	27	0,51
4	27	0,51
5	28	0,53
Сума	137	2,59
Середнє	27,4	0,518

4.2. Вплив досліджуваних параметрів комбінованого ґрунтообробного робочого органу плуга на зміну тягового опору розрихлювача

Тягове зусилля в процесі роботи розрихлювача є однією з найважливіших складових. На початку лабораторних досліджень були здійснені пошукові досліди з метою визначення найбільш раціонального профілю розрихлювача (див. табл. 4.2). Для цих цілей були виготовлені металеві пластини однакової ширини рівної 0,15 м, при цьому глибина ходу пластин при їх дослідженні становила 0,15 м, а швидкість руху 1,8 м/с, пластини відрізнялися лише формою робочої поверхні.

Таблиця 4.2. - Результати пошукових дослідів

Профіль розрихлювача	Тяговий опір, Р	
	кН	Відхилення, %
Прямолінійний	1,463	100
По радіусу 300 мм	1,302	88,99
По рівнянню $Y = 5,5 \ln(X - 1)$	1,074	73,41

Примітка: * - форма робочої поверхні серійних розрихлювачів.

Аналізуючи таблицю 4.2 можна стверджувати, що найбільш раціонально використовувати розрихлювач, описаний рівнянням $Y = 5,5 \ln(X - 1)$, як найменш енергоємний в процесі роботи.

Після проведення пошукових дослідів нами були виготовлені робочі зразки експериментальних розрихлювачів (рис. 3.11).

При цьому загальна ширина захвату кожного розрихлювача, становила $b_1 = 0,12$ м, при максимальній глибині обробітку $a_2 = 0,15$ м.

4.3. Польові дослідження агрегатів із застосуванням комбінованих ґрунтообробних робочих органів

Польові дослідження комбінованого ґрунтообробного робочого органу є основним методом перевірки виконаних теоретичних і лабораторних досліджень, що проводилися при полицевому обробітку ґрунту на дослідного полях.

Виробничі дослідження комбінованого ґрунтообробного робочого органу для основного пошарового обробітку ґрунту, проводились на базі плугів ПЛН-3-35 і ПЛН-4-35.

Було встановлено, що плуги з експериментальними робочими органами є працездатними і задовольняють агротехнічні вимоги, що пред'являються до основного обробітку ґрунту. Відмов і поломок за час експлуатації даних плугів не спостерігалось.

Метою досліджень була перевірка результатів експериментальних досліджень у виробничих умовах. Завдання досліджень полягали в наступному:

- підтвердження працездатності комбінованого ґрунтообробного робочого органу плуга у виробничих умовах;
- оцінка якості оранки в залежності до агротехнічних вимог для основного обробітку ґрунту;
- визначення основних енергетичних характеристик агрегату оснащеного комбінованими ґрунтообробними робочими органами і порівняння їх з показниками серійних машин.

Об'єктом дослідження був зразок комбінованого ґрунтообробного робочого органу для основного пошарового обробітку ґрунту, виготовленого на базі плугів загального призначення (ПЛН-3-35 і ПЛН-4-35), за оптимальними параметрами, що були отримані в результаті теоретичних досліджень (див. розділ 2).

4.3.1. Умови проведення польових досліджень.

Ділянка під час проведення польових випробувань задовольняла наступні умови:

- ділянка являє собою слабохвильову рівнину;
- однорідна за попередніми обробітками і культурами.

Зоні розташування дослідних ділянок притаманний клімат Дніпропетровської області, що характеризується більш вираженою континентальністю, зима нехолодна (до $-5...-15^{\circ}\text{C}$), танення снігів досить швидке, жарке посушливе літо (до 32°C) з періодичними засухами.

Ґрунти представлені чорноземами (97%), а також сірими лісовими. Ґрунтотворні породи - стародавні алювіальні відкладення. Товщина суглинного шару доходить до 57...63 см.

Умови досліджень 2016 року характеризувалися вологістю ґрунту (табл. 4.3), твердість ґрунту (табл. 4.4) перебувала в межах 1,3...1,76 МПа, яка визначається відповідно до методики (підрозділ 3.5).

Таблиця 4.3. - Вологість ґрунту в період проведення польових досліджень

Горизонт, см	Вологість ґрунту, %
0...5	21,3
5,1...10	21,9
10,1...15	22,6
15,1...20	23,2
20,1...25	24,3

Виходячи з аналізу таблиці 4.3, вологість ґрунту в досліджуваних горизонтах варіювалась в межах 21,3...24,3%.

Таблиця 4.4. - Твердість ґрунту в період проведення польових досліджень

Горизонт, см	Твердість ґрунту, МПа
0...10	1,76
10,1...20	1,25
20,1...30	1,3

В якості еталонних ґрунтообробних знарядь використовувалися лемішно-полицеві плуги ПЛН-3-35 і ПЛН-4-35. Досліджувані ґрунтообробні знаряддя агрегувалися з трактором МТЗ-892, ДТ-75М. Глибина обробітку при цьому становила: $a_1 = 0,15$ м; $a_2 = 0,1$ м.

4.3.2. Оцінка якості оранки.

Для оцінки якості досліджуваних знарядь (табл. 4.5) визначалися такі показники: повнота закладення рослинних решток, подрібнення, вирівняність поверхні поля та ін., по методикам, викладеним в підрозділі 3.5.

Таблиця 4.5. - Агротехнічні показники при польових дослідженнях

Показник	Значення показника				
	По АТВ	ПЛН-3-35	ПЛН-3-35*	ПЛН-4-35	ПЛН-4-35*
Робоча швидкість руху, км/год	До 12	5,6	5,6	6,4	6,4
Фон	Стерня ярих, озимих та технічних культур	Стерня ярого жита (висота до 12 см)			
Глибина обробітку, см: a_1 a_2	20...30	25 -	15 10	25 -	15 10
Середньоквадратичне відхилення глибини, \pm см	± 2	1,4	1,9	1,5	1,7
Робоча ширина захвату, м	-	1,05 \pm 0,03	1,05 \pm 0,06	1,40 \pm 0,04	1,40 \pm 0,07
Відхилення фактичної від встановленої ширини захоплення, %	10	1,9	5,7	2,85	5
Рівність поверхні ріллі, %	-	7,3	6,1	7,7	6,8
Кришіння ґрунту, %, розмір фракцій до 50 мм	70...80	70,2	71,6	76,9	88,4
Закладення рослинних і поживних решток, %	95	75,6	95,2	79,3	97,5

Вирівняність поверхні ріллі після проходу 3-х і 4-х корпусного експериментального плуга склала 6,1% і 6,8% відповідно, якість кришіння склала 71,6% і 88,4%, закладення поживних решток 95,2% і 97,5%, (рис. 4.1) що не нижче вимог АТВ. Відхилення від рівномірності ходу робочих органів становила не більше $\pm 1,9$ см, що відповідає вимогам нормативних.

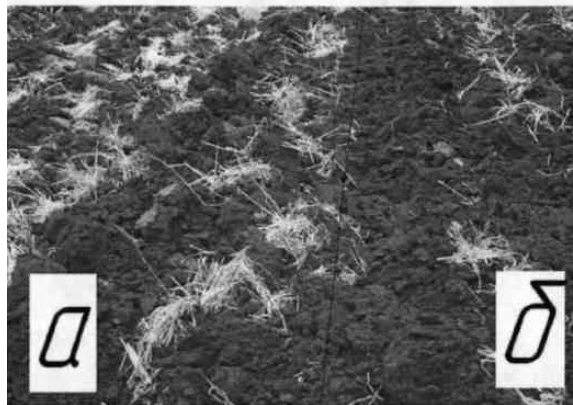


Рисунок 4.1. - Поверхня поля після проходу:

а - плугом ПЛН-3-35; б - плугом ПЛН-3-35 з експериментальними робочими органами.

Якість кришіння відповідає вимогам АТВ (70...80%) і, в залежності від твердості верхнього шару ґрунту і глибини обробітку склало величину 71,6% для 3-х корпусного і 88,4% для 4-х корпусного досліджуваного знаряддя.

4.3.3. Аналіз енергетичних характеристик агрегатів, оснащених комбінованими ґрунтообробними робочими органами.

Енергетичну оцінку проводили відповідно до вимог, з метою визначення витрат дизельного палива в порівнянні з плугами ПЛН-3-35 і ПЛН-4-35 зі стандартними і експериментальними робочими органами. Обсяг витраченого палива контролювали за допомогою витратоміра палива об'ємного типу (рис. 3.20). Регулятор потоку (рис. 4.2) складається з мірного циліндра 1, триходового крана 2 і паливопроводів 3.

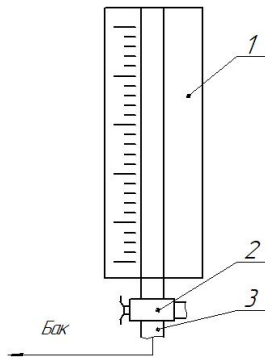


Рисунок 4.2. - Схема витратоміра палива:

1 -мірний циліндр; 2 - триходовий кран; 3 - паливопровід.

Мірний циліндр встановлювали на кабіні трактора і за допомогою паливопроводів з'єднували з паливною магістраллю трактора. Наявність триходового крана 2 дозволила здійснювати подачу палива з основного бака трактора під час його холостих переїздів, або з мірного циліндра – під час вимірювання витрати палива при сталому режимі руху орного агрегату.

Замірювання проводили в 16-ти кратній повторності, чим досягалася надійність досліду.

Середня годинна витрата дизельного (рис. 4.3) палива при роботі орного агрегату з трикорпусним плугом із серійними корпусами при швидкості від 1,4 до 1,9 м/с склала від 10,3 до 11,8 кг/год, з експериментальними корпусами при тих же умовах годинна витрата палива склала від 8,7 до 10,3 кг/год.

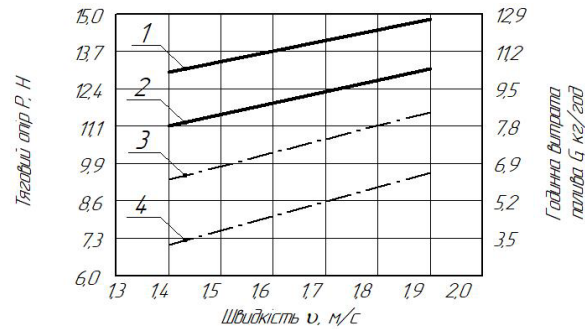


Рисунок 4.3. - Залежності тягового опору і годинної витрати палива агрегату МТЗ-892 + ПЛН-3-35 і МТЗ-892 + ПЛН-3-35*:

1 - годинна витрата палива агрегату МТЗ-892 + ПЛН-3-35; 2 - годинна витрата палива агрегату МТЗ-892 + ПЛН-3-35 *; 3 - тяговий опір агрегату МТЗ-892 + ПЛН-3-35; 4 - тяговий опір агрегату МТЗ-892 + ПЛН-3-35 *

Дослідження по визначенню тягового опору даних плугів показавши зниження тягового опору в агрегаті з експериментальними корпусами в середньому на 19...20%.

Порівняльні дослідження, проведені з агрегатом (ДТ-75М + ПЛН-4-35) зі стандартними і експериментальними робочими органами (рис. 4.4), виявили зниження годинної витрати палива на 12,8%, а зниження тягового опору на 20%.

Всі експериментальні дані, отримані в результаті досліджень, піддавалися математичному аналізу, виходячи з чого, були виведені рівняння, що дають змогу відобразити весь технологічний процес.

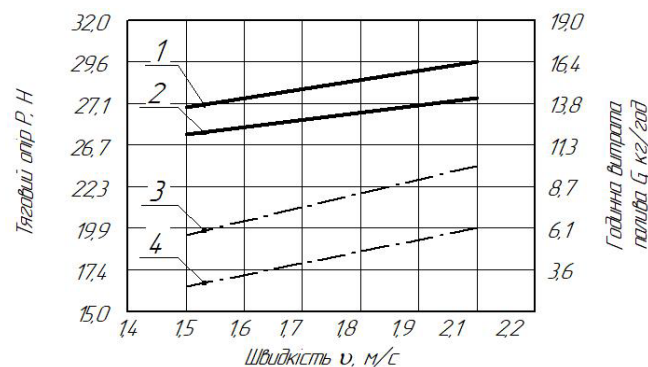


Рисунок 4.4. - Залежності тягового опору та годинної витрати палива агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35 і ДТ-75М + ПЛН-4-35*:

1 - годинна витрати паливо агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35; 2 - годинна витрати паливо агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35*; 3 - тяговий опір агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35; 4 - тяговий опір агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35*.

Виходячи з вищевикладеного можна зробити висновок, що основний обробіток ґрунту за традиційною технологією (з повним оборотом пласта) більш енергоємний, а значить менш продуктивний, що не відповідає сучасним вимогам, а значить використання пошарової технології обробітку із застосуванням розрихлювача описаного виразом $Y = 5,5 \ln (X - 1)$ краще.

4.4. Результати польових досліджень та їх аналіз

Показники порівняльної оцінки досліджуваних машин у виробничих умовах представлені в таблиці 4.6, за даними якої можна судити про доцільність застосування досліджуваних агрегатів.

Таблиця 4.6. Показники порівняльної оцінки досліджуваних машин

Показник	Значення показника			
	ПЛН-3-35	ПЛН-3-35*	ПЛН-4-35	ПЛН-4-35*
Робоча швидкість, м/с	1,9	1,9	2,1	2,1
Глибина обробітку, см: a_1 , a_2	25,0 -	15,0 10	25,0 -	15 10
Тяговий опір плуга, кН	11,6	9,4	24,4	19,5
Питомий тяговий опір плуга, Н/см ²	4,3	3,4	4,8	3,8
Годинна витрата палива, кг/год	11,8	10,3	16,4	14,3
Погектарна витрата палива, кг/га	16,4	14,3	15,5	13,5
Питома витрата палива, г/кВт год	535,39	576,70	320,1	349,21
Годинна продуктивність, га/год	0,72	0,72	1,06	1,06

Примітка: - плуг з експериментальними комбінованими ґрунтообробними робочими органами.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що за своїми енергетичними показниками плуги, обладнані експериментальними робочими органами, в порівнянні з плугами в серійній комплектації забезпечують зниження питомих енерговитрат на 9,7 кВт/га (для чотирикорпусного варіанту) і на 5,8 кВт/га (для трикорпусного варіанту).

Висновки

1. В результаті досліджень в лабораторних умовах розрихлювачів комбінованого робочого органу плуга з різною формою робочої поверхні (прямолінійна, серійна і експериментальна) встановлено, що мінімальний тяговий опір забезпечує експериментальний розрихлювач. В діапазоні робочих швидкостей, встановлених агротехнічними вимогами (від 1,4 до 2,2 м/с) застосування експериментального розрихлювача забезпечує зниження тягового опору на 27% в порівнянні з прямолінійним і на 15,5% в порівнянні з серійним.

2. Умовою забезпечення мінімального тягового опору і працездатності розрихлювача комбінованого робочого органу відповідає його кут атаки 40° .

3. Застосування чотирикорпусного плуга, обладнаного експериментальними робочими органами, в порівнянні з плугом в серійній комплектації забезпечує поліпшення кришіння ґрунту (кількість ґрунтових фракцій розміром до 50 мм зросла на 13%), кількість закладення поживних і рослинних решток збільшилася на 18,2%. Плуги, обладнані експериментальними робочими органами, забезпечують агротехнічні вимоги, що пред'являються до основного обробітку ґрунту.

4. За своїм енергетичними показниками плуги, що обладнані експериментальними робочими органами, в порівнянні з плугами в серійній комплектації забезпечують зниження питомих енерговитрат на 9,7 кВт/га (для чотирикорпусного варіанту) і на 5,8 кВт/га (для трикорпусного варіанту).

5. Результати виконаних досліджень обґрунтовують доцільність застосування плугів з експериментальними комбінованими робочими органами для основного обробітку ґрунту за агротехнічними і енергетичними показниками.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Дослідження та оцінка стану з охорони праці в ПП «Ларіни»

Науково-технічний прогрес обумовлює нові задачі, пов'язані з охороною праці. В умовах зросту механізації та автоматизації процесів зберігання та переробки зернової продукції, велике значення набуває проблема охорони праці працюючих.

Збільшення енергоозброєності та технічної оснащеності потребує своєчасного виявлення, усунення і потенційного прогнозування можливих небезпечних місць на виробничих лініях, складах та інших виробничих об'єктах. Необхідне проведення робіт профілактичного характеру, пов'язаних з попередженням нещасних випадків. Для цієї цілі відповідним службам з охорони праці необхідно керуватися:

1. Законом України «Про охорону праці», прийнятим Верховною Радою України 21 листопада 2002 року;
2. «Типовим Положенням» про навчання по питанням охорони праці;
3. «Інструкціями» – тобто нормативними актами, які містять обов'язкові для дотримання працівниками вимог з охорони праці при виконанні робіт на робочих місцях.

В ТОВ «Ларіни» за стан охорони праці відповідає директор, Черкашина Т.В. Їй підпорядковується інженер з питань охорони праці, який працює за сумісництвом і має практичний стаж роботи більше 3-х років.

До основних обов'язків директора входить:

- опрацювання ефективної цілісної системи управління ОП;
- сприяння удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожної посадової особи;

В свою чергу спеціаліст з питань охорони праці контролює:

- дотримання чинного законодавства, міжгалузевих, галузевих та інших нормативних актів, виконання працівниками посадових інструкцій з питань охорони праці;

- виконання приписів органів державного нагляду, пропозицій та подань уповноважених трудових колективів і профспілок з питань охорони праці;
- своєчасне проведення навчання та інструктажів працюючих, атестації та переатестації з питань безпеки праці посадових осіб та осіб, які виконують роботи підвищеної небезпеки, а також дотримання вимог безпеки при виконанні цих робіт.

За стан охорони праці на робочих місцях відповідають начальники цехів, майстри, бригадири. До їх обов'язків входить:

- забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування, будівель і споруд;
- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;
- професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань опрацювання ефективної цілісної системи управління охороною праці;
- вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працівників;
- професійного добору виконавців для визначених видів робіт.

Вступний інструктаж з питань охорони праці для працівників проводить спеціаліст з охорони праці підприємства.

В підприємстві погано організована пожежно-сторожова охорона, яка не оснащена зв'язком зі всіма підрозділами господарства. Графік чергувань пожежної охорони розроблено, але його не завжди дотримуються. Навчання правилам безпеки практично не ведеться.

Стан охорони праці на виробничих ділянках характеризує узагальнений коефіцієнт рівня охорони праці.

$$K_{cn} = \frac{K_{\partial} + K_{\sigma} + K_{впр}}{3} \leq 1 \quad (5.1)$$

Розраховуємо коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці:

$$K_{\partial} = \frac{C_{\partial}}{C}, \quad (5.2)$$

де K_{∂} – коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці;

C_{∂} – кількість працівників, що дотримуються правил охорони праці;

C – загальна кількість працівників.

$$K_{\partial 2015} = \frac{9}{10} = 0,9;$$

$$K_{\partial 2016} = \frac{10}{10} = 1,0;$$

$$K_{\partial 2017} = \frac{10}{10} = 1,0.$$

Як показали розрахунки, рівень дотримання правил охорони праці в господарстві за останній рік підвищився.

Розраховуємо коефіцієнт технічної безпеки обладнання:

$$K_{\sigma} = \frac{n_{\sigma}}{n}, \quad (5.3)$$

де K_{σ} – коефіцієнт технічної безпеки обладнання;

n_{σ} – кількість одиниць обладнання, що відповідає вимогам безпеки і санітарним вимогам;

n – загальна кількість обладнання.

$$K_{\sigma 2015} = \frac{20}{25} = 0,8;$$

$$K_{\sigma 2016} = \frac{20}{25} = 0,8;$$

$$K_{\sigma 2017} = \frac{23}{25} = 0,92.$$

Як показали розрахунки, рівень технічної безпеки в господарстві за останні роки підвищився.

Розраховуємо коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці:

$$K_{впр} = \frac{m_{cp}}{m}, \quad (5.4)$$

де $K_{впр}$ – коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці;

m_{cp} – кількість фактично виконаних запланованих робіт з охорони праці;

m – загальна кількість запланованих робіт за певний відрізок часу.

$$K_{\text{впр}2015} = \frac{5}{10} = 0,5;$$

$$K_{\text{впр}2016} = \frac{6}{10} = 0,6;$$

$$K_{\text{впр}2017} = \frac{6}{10} = 0,6.$$

Коефіцієнт рівня охорони праці дорівнює:

$$K_{\text{сн}2015}^{\text{ч}} = \frac{0,9 + 0,8 + 0,5}{3} = 0,73;$$

$$K_{\text{сн}2016}^{\text{ч}} = \frac{1,0 + 0,8 + 0,6}{3} = 0,8;$$

$$K_{\text{сн}2017}^{\text{ч}} = \frac{1,0 + 0,92 + 0,6}{3} = 0,84.$$

Коефіцієнт рівня охорони праці свідчить, що стан охорони праці в господарстві, як показують розрахунки даний показник за останній рік підвищився.

В господарстві стан охорони праці знаходиться на належному рівні, але маютья недоліки: не проводиться атестація робочих місць; підвищений рівень запиленості робочих місць; не проводиться інструктаж з охорони праці та надання першої медичної допомоги, для учнів і студентів, які прибувають на виробничу практику до господарства.

5.2 Аналіз показників виробничого травматизму та захворювань, причини їх виникнення в господарстві

Метою дослідження виробничого травматизму є розробка заходів по запобіганню нещасних випадків на підприємстві. Для цього необхідно систематично аналізувати і узагальнювати їх причини. Аналіз причин травматизму дозволяє поділяти їх на організаційні, технічні, психофізіологічні та санітарно-гігієнічні.

Так, як в господарстві випадків травматизму за досліджувані роки не було, проводимо розрахунок показників захворювань.

Для їх кількісної характеристики використовують такі показники:

- коефіцієнт частоти захворювань:

$$K_q = \frac{T}{P} \cdot 100 \quad (5.4)$$

- коефіцієнт важкості захворювань:

$$K_e = \frac{D}{T} \quad (5.5)$$

- коефіцієнт втрат робочого часу:

$$K_{em} = \frac{D}{P} \cdot 100 \quad (5.6)$$

де T – кількість випадків захворювань за досліджуваний період;

P – середньоспискова кількість працівників, чол.;

D – сумарна втрата днів працездатності в результаті захворювань, днів.

Отже, за звітній період отримаємо наступні дані:

- коефіцієнт частоти захворювань:

$$K_{q2015} = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10$$

- коефіцієнт важкості захворювань:

$$K_{e2015} = \frac{24}{1} = 24$$

- коефіцієнт втрат робочого часу:

$$K_{em2015} = \frac{24}{10} \cdot 100 = 240$$

Основні показники захворювань зводяться до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні показники захворювань по ПП «Ларіні»

Показники	Роки		
	2022	2023	2024
Кількість працюючих, чол.	10	10	10
Кількість захворювань, од	1	-	-
Втрати днів непрацездатності від захворювань	24	-	-
Коефіцієнт частоти	10	-	-
Коефіцієнт важкості	24	-	-
Коефіцієнт втрат робочого часу	240	-	-

5.3. Заходи по поліпшенню умов праці

Для покращення стану охорони праці на підприємстві, створення безпечних умов праці, зменшення виробничого травматизму та захворюваності, в наслідок чого підвищення рівня виробництва рекомендується:

- організувати кабінет з охорони праці;
- забезпечити кабінет необхідним обладнанням;
- закупити учбові плакати з охорони праці та розповсюдити їх по всіх виробничих підрозділах;
- систематично проводити демонстрацію фільмів про охорону праці та пожежну безпеку;
- проводити з працівниками лекції та бесіди з охорони праці;
- щомісяця проводити на підприємстві день охорони праці;
- налагодити пропаганду безпечних умов праці.
- слідкувати за чистотою площадок для зберігання техніки.
- перевірити лінії електропередач, висоту введів в приміщення. Висота ліній по нижньому проводу повинна бути не менше 6 м, а висота вводу в приміщення не менше 2,5 м.
- перевірити блискавкозахист приміщень.
- перевірити контури заземлення електрообладнання та встановити захисні щитки.
- забезпечити протипожежним інвентарем, резервуарами з водою та вогнегасниками.
- посадити зелене насадження.
- забезпечити кожний агрегат аптечкою першої медичної допомоги.
- регулярно проводити інструктажі з охорони праці.
- забезпечити всі виробничі приміщення плакатами з охорони праці.

5.4 Безпека праці в надзвичайних ситуаціях у разі виникнення пожежі

В разі виникнення пожежі на стаціонарних об'єктах викличте пожежну команду, повідомте керівництво і приступіть до ліквідації осередку загоряння згідно з вимогами інструкції про заходи з пожежної безпеки.

При виникненні пожежі на електроустановках у першу чергу необхідно повідомити про це пожежну охорону, відповідального за електрогосподарство, керівника робіт.

У випадку загоряння зерна погасіть топку, виключіть вентилятори і вивантажувальні пристрої, закрийте випускні заслінки і, не зупиняючи подачі вологого зерна, відкрийте люки дифузорів, виявивши осередок загоряння, через вікно короба спробуйте витягнути його із шахти. Якщо осередок загоряння усунути не вдається, включіть розвантаження на максимальну продуктивність, а осередки загоряння зерна гасіть водою й усувайте з основного потоку зерна. Після розвантаження всього зерна ретельно очистіть стінки камери й поверхню коробів від нагару.

При загорянні одязі постарайтесь зняти її або накрийте палаючу ділянку щільною матерією, при можливості занурте у воду.

5.5 Рекомендації щодо забезпечення безпеки та поліпшенню умов праці в підприємстві

5.5.1 Розрахунок освітлення виробничих приміщень

Специфіка обладнання підприємств зі зберігання техніки полягає в тому, що воно майже не потребує місцевого освітлення, тому розрахуємо загальне освітлення. Розрахунок проведемо для основних виробничих приміщень.

Розрахунок виконаємо за методом використання світлового потоку. Для цього знайдемо висоту підвісу світильників:

$$H_c = H - (h_p + h_r), \text{ м} \quad (5.8)$$

де H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочого місця, м;

h_r – відстань від стелі до світильника, м.

Для всіх приміщень висота підвісу буде складати:

$$H_c = 6 - (1,15 + 0,45) = 4,4 \text{ м}$$

Далі визначаємо показник приміщення:

$$\varphi = \frac{a \cdot b}{H_c (a + b)}, \quad (5.9)$$

де a і b – довжина і ширина приміщення відповідно, м.

Для виробничого відділення цей індекс складає:

$$\varphi = \frac{18 \cdot 9}{4,4 \cdot (12 + 9)} = \frac{162}{118,8} = 1,36$$

Далі визначаємо кількість світильників в цеху при умові розміщення їх один від одного на відстані три метри:

$$n = \frac{S}{l^2}, \text{ шт} \quad (5.10)$$

Звідси,

$$n = \frac{162}{9} = 18 \text{ шт}$$

Таким чином, приймаємо кількість світильників рівну 18 шт.

Далі визначаємо світловий потік однієї лампи за формулою:

$$F = \frac{E_{\min} \cdot K \cdot Z \cdot S}{n \cdot \eta} \quad (5.11)$$

де E – мінімальна освітленість, що дорівнює 150 люкс;

K – коефіцієнт запасу, що враховує запиленість світильників ($K = 1,7$);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної ($Z = 0,53$);

S – площа приміщення, м²;

n – кількість світильників, шт.;

η – коефіцієнт використання світового потоку ($\eta = 0,55$).

Розрахунковий світовий потік складає:

$$F = \frac{150 \cdot 1,7 \cdot 0,53 \cdot 162}{18 \cdot 0,55} = 2211 \text{ лм}$$

Отже,

$$E = \frac{2211 \cdot 18 \cdot 0,55}{1,7 \cdot 162 \cdot 0,53} = 150 \text{ лк}$$

Далі за визначеним мінімальним світловим потоком вибираємо лампи для світильників. Таким чином, для обраних світильників типу ОДОР приймаємо люмінесцентні газорозрядні лампи ЛДЦ потужністю 40 Вт.

5.5.2 Рекомендації щодо покращення охорони праці

1. Більше уваги приділяти навчанню робітників підрозділів, керівнику підприємства і інженеру з охорони праці.
2. Перевірити стан вентиляції в приміщеннях.
3. Обладнати належним чином місця для куріння на всіх виробничих дільницях, керівнику підприємства.
4. Звернути особливу увагу на проведення інструктажів з питань охорони праці, ознайомити працівників зі способами надання першої медичної допомоги, для учнів і студентів, які прибувають на виробничу практику до господарства, інженеру по охороні праці.
5. Провести атестацію робочих місць.

Висновки

У даному розділі приведені стан охорони праці та обов'язки відповідальних осіб з охорони праці на підприємстві, проаналізований стан охорони праці в цеху. У частині інженерних розрахунків для покращення умов праці та підвищення безпеки виробництва був проведений розрахунок системи освітлення приміщень. Також був розроблений план дій виробництва при вибуху, як найбільш ймовірній надзвичайній ситуації.

На підставі проведеного аналізу стану охорони праці на підприємстві був розроблений план заходів і засобів спрямованих на покращення умов та безпеки праці, підвищення культури виробництва та зниження травматизму робітників.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЛУГА ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ОБЛАДНАНОГО КОМБІНОВАНИМИ ГРУНТООБРОБНИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Підсумком науково-дослідницької роботи є оцінка її економічної ефективності, яку визначають відповідно до існуючих методик [39]. При цьому передбачається порівняння запропонованої і серійної сільськогосподарської машини.

При визначенні економічної ефективності необхідно провести порівняння показників базової і вихідної машини. Для орних агрегатів найбільш важливими є такі показники як змінна продуктивність, витрата палива на оранку одного гектара, прями експлуатаційні витрати.

6.1. Визначення галузевої собівартості плуга загального призначення

З урахуванням методики [23] галузева собівартість проектного плуга загального призначення визначиться з виразу

$$C_o = P \cdot (\Pi \cdot H \cdot K_m + M) + D, \text{ грн}, \quad (6.1)$$

де $P = \Sigma P_i$ – чиста вага плуга, $P = 480$ кг;

Π – коефіцієнт конструктивної складності в порівнянні із серійними знаряддями, $\Pi = 1,4$;

H – витрати на виробництво 1 кг чистої маси однотипної продукції, $H = 15,4$ грн/кг;

K_m – коефіцієнт зміни витрат на виробництво, $K_m = 1,5$;

M – вартість 1 кг чистого матеріалу, що входить у знаряддя, $M = 27,7$ грн/кг;

D – вартість витрат, зв'язаних із транспортними витратами, $D = 2300$ грн.

$$C_o = 480 \cdot (1,4 \cdot 15,4 \cdot 1,5 + 27,7) + 2300 = 41119,2 \approx 41120 \text{ грн.}$$

Нижню межу ціни розраховуємо за формулою:

$$Ц_{нп} = C_o + \Pi_n, \text{ грн.} \quad (6.2)$$

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_n = \frac{P_c \cdot C_o}{100}, \text{ грн.} \quad (6.4)$$

де P_c – галузева нормативна рентабельність, $P_c = 7\%$.

$$P_n = \frac{7 \cdot 31120}{100} = 2178,4 \text{ грн.}$$

тоді: $C_{nn} = 41120 + 2178,4 = 43298,4 \text{ грн.}$

Звідси лімітна галузева ціна визначиться:

$$C_{л} = C_{nn} \cdot k_n, \text{ грн,} \quad (6.4)$$

де k_n – коефіцієнт подорожчання, пов'язаний з підвищенням виробництва продукції через її несерійність, $k_n = 1,05$.

$$C_{л} = 43298,4 \cdot 1,05 = 44963,32 \text{ грн.}$$

Отже, приймаємо вартість проектного плуга загального призначення рівною 45000 грн.

6.2. Визначення економічної ефективності удосконалення плуга загального призначення

Плуги із запропонованими робочими органами зарекомендували себе і дозволяють виконати технологічний процес основної обробки ґрунту у відповідності з усіма агровимогами, а також зменшити тяговий опір, внаслідок чого знижується витрата ПММ.

Таблиця 6.1. - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності.

№ пп.	Показники	Позначення	Розмірність	Плуг загального призначення	
				Базовий	Проектний
1	2	3	4	5	6
1.	Марки трактора	-	-	МТЗ-892	МТЗ-892
2.	Оптова ціна трактора	B_m	грн.	320000	320000
3.	Марка с.-г. машини	-	-	ПЛН-3-35	ПЛН-3-35У
4.	Вартість с.-г. машини	B_m	грн.	41700	45000
5.	Продуктивність	$W_{год}$	га/год	0,72	0,62
6.	Витрата палива	g_m	кг/га	14,3	15,5
7.	Нормативне завантаження:				
	- трактора	$T_{гт}$	дні	300	300
	- с.-г. машини	$T_{гм}$	дні	30	30

Продовження таблиці 6.1.

1	2	3	4	5	6
8.	Кількість обслуговуючого персоналу	n	чол.	1	1
9.	Тарифна ставка тракториста	f_m	грн.	62	62
10.	Відрахування по трактору на:				
	- реновацію	Q_{pm}	%	15	15
	- ремонт і ТО	Q_{km}	%	12	12
11.	Відрахування по с-г. машині на:				
	- реновацію	Q_{pm}	%	12	12
	- ремонт і ТО	Q_{km}	%	5	5
12.	Ціна 1 кг палива	$Ц$	грн.	50	50

Даний розрахунок приводимо в порівнянні з проектним плугом загального призначення і базовим:

- визначимо заробітну плату механізатора [23]:

$$z_n = \frac{f_m}{W_{год}}, \text{ грн/га.} \quad (6.5)$$

По базовому плугу ПЛН-3-35:

$$z_{n.n.} = \frac{62}{0,62} = 100 \text{ грн/га.}$$

По проектному плугу ПЛН-3-35У:

$$z_{n.б.} = \frac{62}{0,72} = 86,11 \text{ грн/га.}$$

- визначимо відрахування на ремонт і амортизацію по трактору [23]:

$$S_{om} = \frac{1,1 \cdot B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{km})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_{год}}, \text{ грн/га.} \quad (6.6)$$

По базовому плугу ПЛН-3-35:

$$S_{om.б.} = \frac{1,1 \cdot 320000 \cdot (15 + 12)}{100 \cdot 300 \cdot 0,62} = 555,64 \text{ грн/га.}$$

По проектному плугу ПЛН-3-35У:

$$S_{om.n.} = \frac{1,1 \cdot 320000 \cdot (15 + 12)}{100 \cdot 300 \cdot 0,72} = 449,02 \text{ грн/га.}$$

- визначимо відрахування на ремонт та амортизацію по сільськогосподарському знаряддю [23]:

$$S_{om} = \frac{1,1 \cdot B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{pm})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_{zod}}, \text{ грн/га.} \quad (6.7)$$

По базовому плугу ПЛН-3-35:

$$S_{om.n.} = \frac{1,1 \cdot 41700 \cdot (12 + 5)}{100 \cdot 30 \cdot 0,62} = 398,70 \text{ грн/га.}$$

По проектному плугу ПЛН-3-35У:

$$S_{om.n.} = \frac{1,1 \cdot 45000 \cdot (12 + 5)}{100 \cdot 30 \cdot 0,72} = 353,00 \text{ грн/га.}$$

- визначимо витрати коштів на паливо [23]:

$$G_m = C_m \cdot g_m, \text{ грн./га.} \quad (6.8)$$

По базовому плугу ПЛН-3-35:

$$G_{m.б.} = 50 \cdot 14,3 = 715 \text{ грн./га.}$$

По проектному плугу ПЛН-3-35У:

$$G_{m.n.} = 50 \cdot 15,5 = 775 \text{ грн./га.}$$

Разом витрат будемо мати:

$$B = Z_n + S_{on} + S_{on} + G_m, \text{ грн./га.} \quad (6.9)$$

По базовому плугу ПЛН-3-35:

$$B_{б.} = 50,32 + 335,64 + 318,70 + 715 = 1515,68 \text{ грн./га.}$$

По проектному плугу ПЛН-3-35У:

$$B_n = 43,33 + 289,02 + 303,00 + 775 = 1402,47 \text{ грн./га.}$$

- визначимо питомі капітальні витрати:

$$S_n = \frac{1,1 \cdot B_m}{W_{zod} \cdot T_{zm}} + \frac{1,1 \cdot B_m}{W_{zod} \cdot T_{zm}}, \text{ грн / га.} \quad (6.10)$$

По базовому плугу ПЛН-3-35:

$$S_{n.б.} = \frac{1,1 \cdot 420000}{0,62 \cdot 300} + \frac{1,1 \cdot 41700}{0,62 \cdot 30} = 4117,84 \text{ грн/га.}$$

По проектному плугу ПЛН-3-35У:

$$S_{n.n.} = \frac{1,1 \cdot 420000}{0,72 \cdot 300} + \frac{1,1 \cdot 45000}{0,72 \cdot 30} = 3852,87 \text{ грн/га.}$$

- визначимо річний економічний ефект [23]:

$$E_p = [(B_{\delta} + E_{\delta} \cdot S_{n\delta}) - (B_n + E_n \cdot S_{n.n.})] \cdot T_{zm} \cdot W_{zod}, \text{ грн./га.} \quad (6.11)$$

$$E_p = [(1515,68 + 0,15 \cdot 3117,84) - (1402,47 + 0,15 \cdot 2852,87)] \cdot 30 \cdot 0,72 = 12791,83 \text{ грн./га.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2. - Техніко-економічні показники проекту

Показники	Одиниці виміру	Агрегат		Різниця, + / -
		Базовий	Проектний	
Вартість плуга	грн.	41700	45000	+3300
Загальні експлуатаційні витрат:	грн/га	1515,68	1402,47	-113,21
- заробітна плата	грн/га	100	86,11	-13,89
- витрати по трактору	грн/га	210	210	-
- витрати по с.-г. машині	грн/га	398,70	353,00	-45,7
- витрати на ПММ	грн/га	715	775	+26,1
Питомі капітальні витрати	грн/га	4117,84	3852,87	-1264,97
Річний економічний ефект	грн/га		2791,83	-

Отже, техніко-економічними розрахунками встановлено, що річний економічний ефект складе 2791,83 грн/га, що дозволяє судити про доцільність даного рішення по розробці плуга загального призначення обладнаного комбінованими ґрунтообробними робочими органами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Обґрунтовано і розроблено конструкцію комбінованого робочого органу плуга, основними елементами якого є лемішно-полицева поверхня і розрихлювач .

При виконанні основного обробітку ґрунту, запропонованим робочим органом забезпечується закладення рослинних решток з оборотом і розпушуванням верхнього оброблюваного шару ґрунту і розпушування без виносу на поверхню нижнього орного шару.

В результаті забезпечується зниження енерговитрат на основний обробіток ґрунту, що виконується комбінованим робочим органом в порівнянні з серійними робочими органами плуга, оскільки в запропонованому варіанті передбачається оборот ґрунту не на всю глибину оброблюваного горизонту, а тільки її верхнього шару (основний кореневмісний шар).

Виходячи з агротехнічних вимог, були прийняті наступні технологічні параметри комбінованого робочого органу плуга:

- максимальна глибина обробітку 0,3 м;
- глибина верхнього шару ґрунту змінюється від 0,1 до 0,16 м (регульований параметр), відповідно глибина розпушування нижнього орного шару ґрунту становить від 0,2 до 0,14 м.

Отримані математичні залежності дозволяють обґрунтувати основні технологічні параметри комбінованого робочого органу, зокрема, кут атаки і форму робочої поверхні розрихлювача, по умові мінімізації тягового опору. Встановлено, що умовою зниження тягового опору робочого органу відповідає форма робочої поверхні розрихлювача близька до кривої описуваної рівнянням логарифмічного виду ($Y = 5,5 \ln(X - 1)$).

В результаті досліджень в лабораторних умовах розрихлювачів комбінованого робочого органу плуга з різною формою робочої поверхні (прямолінійна, серійна і експериментальна) встановлено, що мінімальний тяговий опір забезпечує експериментальний розрихлювач . В діапазоні робочих швидкостей, встановленому агротехнічними вимогами (від 1,4 до 2,2 м/с)

застосування експериментального розрихлювача забезпечує зниження тягового опору на 27% в порівнянні з прямолінійним і на 15,5% в порівнянні з серійним.

Умовою забезпечення мінімального тягового опору і працездатності розрихлювача комбінованого робочого органу відповідає його кут атаки 40° .

Застосування чотирикорпусного плуга, обладнаного експериментальними робочими органами, в порівнянні з плугом в серійній комплектації забезпечує поліпшення кришіння ґрунту (кількість ґрунтових фракцій розміром до 50 мм зросла на 13%), кількість закладення пожнивних і рослинних решток збільшилася на 18,2%. Плуги, які обладнані експериментальними робочими органами, забезпечують агротехнічні вимоги, що пред'являються до основного обробітку ґрунту.

За своїм енергетичним показниками плуги, обладнані експериментальними робочими органами, в порівнянні з плугами в серійній комплектації забезпечують зниження питомих енерговитрат на 9,7 кВт/га (для чотирикорпусного варіанту) і на 5,8 кВт/га (для трикорпусного варіанту).

Результати виконаних досліджень обґрунтовують доцільність застосування плугів з експериментальними комбінованими робочими органами для основного обробітку ґрунту по агротехнічним і енергетичним показникам.

Отже, техніко-економічними розрахунками встановлено, що річний економічний ефект складе 2791,83 грн/га, що дозволяє судити про доцільність даного рішення по розробці плуга загального призначення обладнаного комбінованими ґрунтообробними робочими органами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авер'янов, Г.Д. Обробіток ґрунту в зайнятому пару / Г.Д. Авер'янов, М.С. Матюшин // Землеробство. - 1983. - №6. - С. 24-25.
2. Агрокліматичні ресурси зони Лісостепу / Відп. ред. Н. І. Биков. - Л .: Гідрометеовидат. - 1988. - 208 с.
3. Адлер, Ю.П. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановський. - М.: Наука.-1976.-280 с.
4. Баздирєв, Г.І. Землеробство / Г.І. Баздирєв, В.Г. Лошань, А.І. Пупонін. - М.: Колос. - 2000. - 552 с.
5. Блідих, В.В. Основні закономірності процесу руху ґрунту по тригранному клину // Праці ІМЕСГ / Динаміка ґрунтообробних агрегатів і робочі органи для обробки ґрунту. Глеваха, 1982. - С. 4-14.
6. Бурченко, П.Н. Стан і перспективи машинного обробітку ґрунту / П.М. Бурченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 1999. - № 12 - С. 7-8.
7. Вадюніна, А.Ф. Методи дослідження фізичних властивостей ґрунтів / А.Ф. Вадюніна, З.А. Корчагіна - 3-є изд., Перероб. і доп. - М.: Агропромвидат. - 1986. - 416 с.
8. Василенко, П.М. Застосування методів варіаційного розрахунку до вирішення деяких завдань землеробської механіки / П.М. Василенко // Праці КСГІ. - т. 6. - Київ - 1953.
9. Василенко, П.М. Про вплив форми бічного профілю ріжучих робочих органів і швидкості руху на їх тяговий опір / П.М. Василенко, П.С. Короткевич // «Трактори і сільгоспмашини». - 1965. - №8 - 25 с.
10. Веденяпин, Г.В. Загальна методика експериментального дослідження і обробітку дослідних даних / Г.В. Веденяпин. - М.: Колос. -1973.-199 с.
11. Виноградов, В. І. Опір робочих органів плуга і методи зниження енергоємності оранки: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - М.: 1969.-45 с.
12. Вітер, А.Ф. Основні закономірності руху ґрунту по сталі / А.Ф. Вітер, А.М. Новичихин // Вісник с.-г. науки. - 1984. -№1. С. - 77-85.
13. Горячкин, В.П. Зібрання творів / В.П. Горячкин - М.: Колос. - 1968. - Т. 1. - 720 с.

14. Горячкин, В.П. Зібрання творів / В.П. Горячкин - М.: Колос. - 1968. - Т. 2. - 480 с.
15. Горячкин, В.П. Теорія маси і швидкостей сільськогосподарських машин і знарядь. В.П. Горячкин - М.: Колос. - 1965. - т. 1.
16. Гячев, Л.В. Теорія лемішно-полицеїної поверхні / Л.В. Гячев // Праці Азово-Чорномор. ІМСГ. - зерноград. - 1961. Вип. 13. - 317 с.
17. Обладунків, Б.А. Методика польового дослідження / Б.А. Обладунків - М.; Агропромвидат. - 1985. - 351 с.
18. Обладунків, Б.А. Методика польового дослідження / Б.А. Обладунків - М.: Агропром-іздат. - 1985. - 350 с.
19. Еайметов, Р.І. Обґрунтування агротехнологічного допуску на стійкість робочих органів ґрунтообробних машин / Р.І. Еайметов, К.К. Нурієв // Зб. Наук. пр. ВІМ. - М.: - 2002. - Т. 141. - С. 25-37.
20. Ємцев, Б.Т. Технічна гідромеханіка / Б.Т. Ємцев - М.: Машиноб-ня. - 1978. - 463 с.
21. Желіговський, В.А. Теоретичні основи технологічного процесу оранки / В.А. Желіговський // Пр. ВІСГОМ. - 1969. - Вип. 5. - С. 23-30.
22. Зеленін, А.Н. Машини для земляних робіт. Навчальний посібник для вузів / О.М. Зеленін та ін. - М.: Машинобудування. - 1975. - 424 с.
23. Ільченко В.Ю. Машиновикористання в землеробстві [Текст] : підручник для викладачів і студ. інж.-технічних спец. с.-г. вузів III-IV рівнів акредитації та як навч. посібник для закладів освіти I-II рівнів акредитації. / За ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. - К. : Урожай, 1996. - 384 с.
24. Ісаєв, Ю.М. Вплив форми розпушувача підорного горизонту на тяговий опір / Ю.М. Ісаєв, В.А. Багате /Механізація та електрифікації. - 2008. - №5. - С. 16-17.
25. Казаков, В.С. Гідромеханічна подоба потоків рідини / В.С. Казаков // Техніка в сільському господарстві. - 1989. - № 3. - С. 22-25.
26. Каштанов, А.Н. Наукові основи сучасних систем землеробства / О.М. Каштанов та ін. - М.: Агропромвидат. - 1988. - 255 с.
27. Кленін, Н. І. Сільськогосподарські машини: елементи теорії робочих процесів, розрахунок регулювальних параметрів і режимів роботи. / Н. І. Кленін, В.А. Саун - 2-е изд., Перероб. і доп. - М.: Колос. 1980. - 671 с.
28. Кльонін, Н.І. Сільськогосподарські і меліоративні машини / Н.І. Кльонін, В.А.

- Саун - М.: Колос. - 1994 - 751 с.
- 29.Князев, А. А. Фізико-механічні та технологічні властивості ґрунту в процесі обробітку зябу / А. А. Князев. 1975. - 166 с.
- 30.Колчин, А.В. Датчики засобів діагностування машин / А.В. Колчин. - М.: Машинобудування. - 1984. - 120 с.
- 31.Кочетов, І.С. Енергозберігаючі технології обробітку ґрунту І.С. Кочетов, А.М. Гордєєв, СМ. Вьюгин - М: Моск. Робочий. -1990. - 165 с.
- 32.Кулен, А. Сучасна землеробська механіка. / А. Кулен, Х. Куйперс // Переклад з англ. А.Е. Габріелян. Під ред. Ю.А. Смирнова. - М.: Агропромвидат. - 1986. - 349 с.
- 33.Кушнар'єв, А.С. Механіко-технологічні основи обробітку ґрунту / А.С. Кушнар'єв, В.І. Кочев - Київ .: Урожай. - 1989. - 144 с.
- 34.Листопад, Г.Є. Розрахунок тягового опору ґрунтопоглиблювачів з похилою стійкою / Г.Є. Листопад, Ф.М. Маматов, І.Т. Іргашев // Техніка в сільському господарстві. - 1991. - № 6. - 36 с.
- 35.Лисенко, А.К. Основний обробіток ґрунту і забур'яненість посівів / А.К. Лисенко, А.М. Малієнко, Є.І. Дорошенко // Землеробство. -1988.-№9. -З. 37-39.
- 36.Любимов, А.І. Ефективність плоскорізів-щілювачів / А.І. Любимов, Р.С. Рахімов, З.С. Рахімов // Землеробство. - 198. - № 6 -С. 56-58.
- 37.Макаров, П.І. Обробіток ґрунтів схильних до ерозії / П.І. Макаров // агрохімічний вісник. - 2001. - № 6. - С. 17-18.
- 38.Мацепура, М.Є. Питання землеробської механіки / М.Є. Мацепура - Мінськ: Державне вид-во БССР. - 1959. - 388 с.
- 39.Мілюткін, В. А. Експериментально-теоретичне обґрунтування форми і параметрів ґрунтообробного робочого органу для глибокого розпушування В.А.. Мілюткін // Праці ВІМ НТБ випуск 79. - М.: -1991. - С. 10-11.
- 40.Мілюткін, В. А. Експериментально-теоретичне обґрунтування форми і параметрів ґрунтообробного робочого органу для глибокого розпушування В.А.. Мілюткін // Праці ВІМ НТБ випуск 79. - М.: -1991. - С. 10-11.
- 41.Налімов, В.В. Теорія експерименту. Фізико-математична бібліотека інженера /

В.В. Налімов - М.: Наука. - 1971. - 208 с.

42. Никифороенко, Л.І. Передпосівна підготовка і гумусовий стан еродованого чорнозему / Л.І. Никифороенко // Землеробство. -1989. -№3.- С. 27-29.
43. Панов, А.І. Проблеми сучасних технологій обробітку ґрунту / А.І. Панов // Механізація та електрифікація сільського господарства. -1999.-№ 1.-С. 12-14.
44. Панов, І.М. Питання розвитку теорії руйнування ґрунтів / І.М. Панов // Трактори і с.-г. машини. - 1988. - №11. - С. 18-20.
45. Переуцільнення орних ґрунтів: причини, наслідки, шляхи зменшення. М.: Наука. - 1987. - 216 с.
46. Подскребко, М.Д. Зміна складових опор корпусу плуга від швидкості руху і кутів встановлення лемішів до дна борозни / М.Д. Подскребко, В.І. Виноградов // Пр. ЧІМЕСГ. - 1964. - Вип. 14.-С. 161-168.
47. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин / Шмат К.І., Сисолін П. В., Карманов В. В., Іванов Г. І. - Херсон, ОЛДІ-плюс, 2004. - 308 с.
48. РОД 10.4.1-89 «Машини і знаряддя для основного обробітку ґрунту». Програма і методи випробувань. Держагропрому СРСР. - 1988. - 98 с.
49. Русанов, В.А. Проблема впливу рушіїв на ґрунт і ефективний напрямок її вирішення / В.А. Русанов, Н. М. Антишев, В. П. Кузнєцов і ін. // Трактори і с / г машини - 1994. - №5. - С. 12-15.
50. Саакян, Д.Н. Контроль якості механізованих робіт в рільництві / Д.М. Саакян - М.: Колос. - 1973. - 271 с.
51. Саблик, М.В. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і технологічного розрахунку / М.В. Саблик - М.: Колос. -1968. - Ч. 2. - 296 с.
52. Синьооков, Г.Н. Теорія і розрахунок ґрунтообробних машин / Г.Н. Синьооку, І.М. Панов. - М.: Машинобудування. - 1977. - 184 с.
53. Торжевський, В.І. Вплив обробітку ґрунту на мікрофлору / В.І. Торжевський // Землеробство. 1983. -№11. - С. 16-17.
54. Чочія С.І. Вдосконалений робочий орган для обробітку міжрядь цитрусових культур / С.І. Чочія, А.Ш. Чіковані //МЕСГ. - 1967. - №7. С. 18-20.

Додатки

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО -
ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра ТСГМ

**Об'єднання конструктивно-
технологічних параметрів плуга загального
призначення**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав: студент 2го курсу, групи МГАН-24
Гулий Дмитро Олександрович
Керівник: к.т.н
Пономаренко Наталя Олександрівна**

Дніпро 2024

Метою роботи є зниження енерговитрат основного обробітку ґрунту використанням комбінованого робочого органу плуга загального призначення.

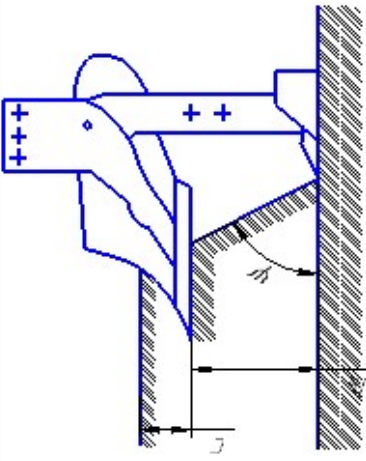
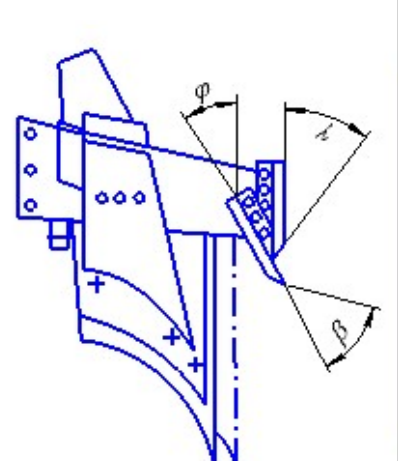
Задачі дослідження

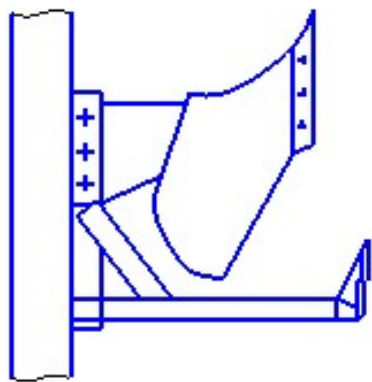
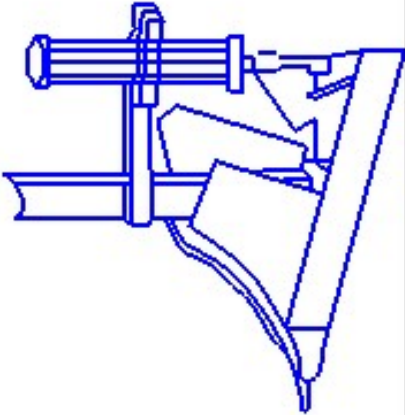
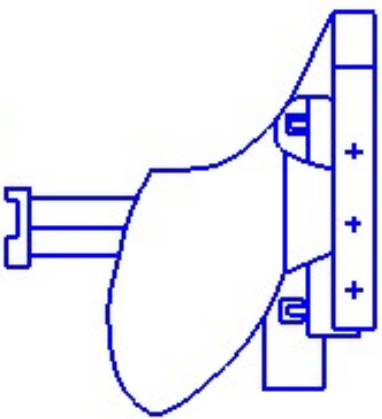
1. Обґрунтувати і розробити конструкцію комбінованого робочого органу плуга загального призначення, що забезпечує зниження енерговитрат під час виконання основного обробітку ґрунту.
2. Виконати теоретичні дослідження по обґрунтуванню основних технологічних параметрів і тягового опору розпушувача комбінованого робочого органу плуга загального призначення.
3. Провести дослідження в лабораторних умовах за оцінкою впливу основних технологічних параметрів розпушувача комбінованого робочого органу плуга загального призначення на його тяговий опір.
4. Виконати в польових умовах порівняльну оцінку агротехнічних і енерготехнічних показників плугів з серійними і експериментальними робочими органами, визначити економічну ефективність від застосування плугів загального призначення .

Об'єкт дослідження – процес основного обробітку ґрунту, що виконується комбінованим робочим органом плуга загального призначення .

Предмет дослідження– технологічні параметри комбінованого робочого органу плуга загального призначення.

Робочі органи плугів для пошарової технології основного обробітку ґрунту

№	Назва робочого органу	Схема, рисунок
1	Комбінований ґрунтообробний робочий орган	
2	Комбінований ґрунтообробний робочий орган	

3	Плуг-розрилювач-розущільнювач	
4	Плуг для ступеневої оранки на схилах	
5	Плуг для ярусної оранки	

Теоретичні дослідження комбінованого ґрунтообробного робочого органу плуга загального призначення

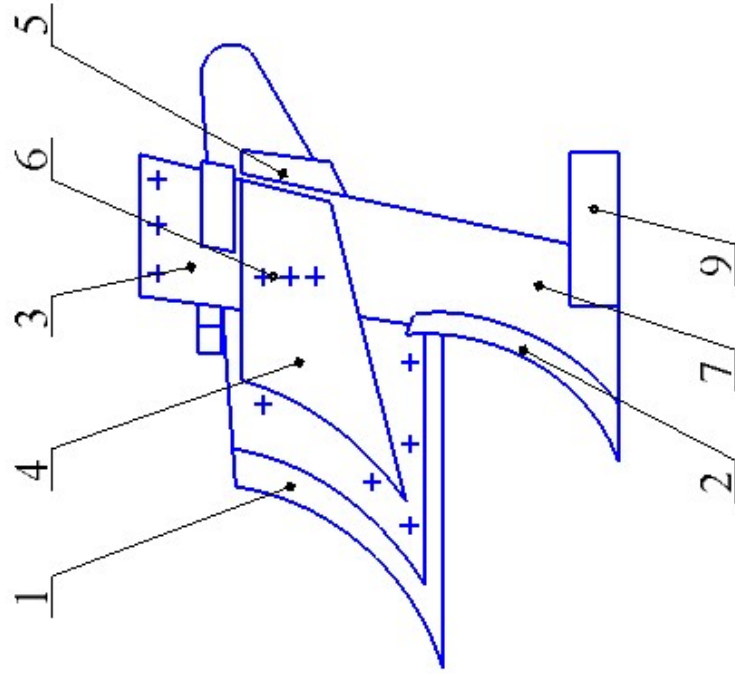


Рисунок 1. Експериментальний комбінований ґрунтообробний робочий орган (вид збоку):

- 1 - лемішно-полицева поверхня; 2 - розрихлювач; 3 - стійка;
4, 5 - ліва і права пластини; 6 - регулювальні отвори;
7, 8 - лівий і правий (не показано) грейдери; 9 - польова дошка.

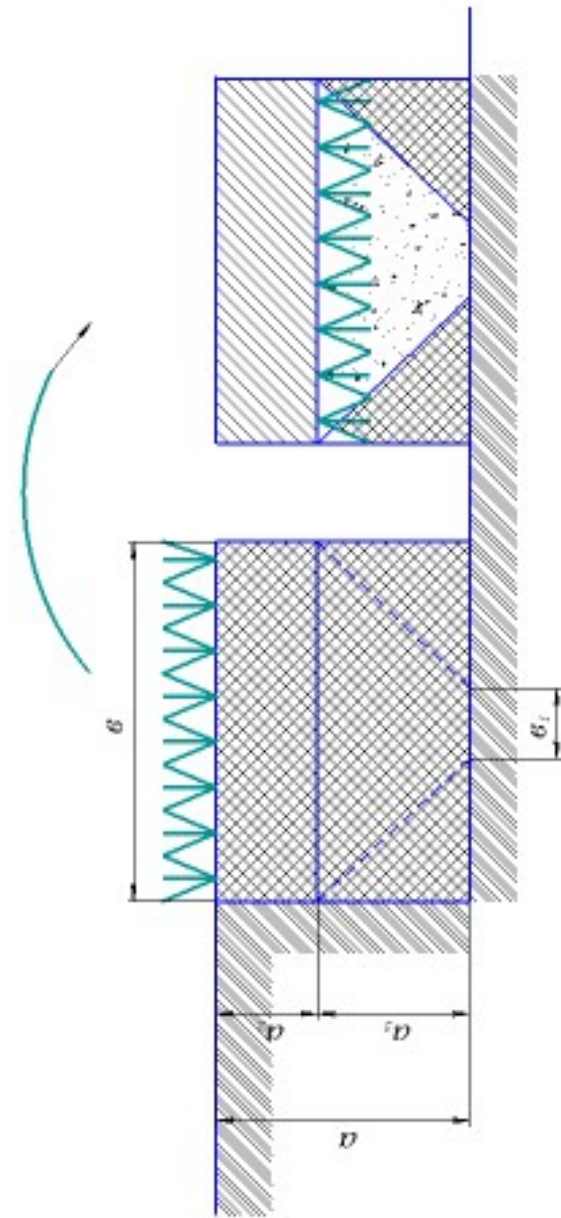


Рисунок 2. Схема основного пошарового обробітку ґрунту.

Зона деформації ґрунту L у напрямку руху повинна бути менше відстані між носками леміша основного корпусу і розрихлювача, що визначається за формулою:

$$L \geq l_0 + l_1 = l_0 + a_2 \tan(\alpha + \varphi_1),$$

де l_0 - довжина вільної носки розрихлювача, $l_0 = 0,1$ м;

l_1 - довжина поширення зони деформації ґрунту від носки розрихлювача, м;

α - кут кришення, град.

φ_1 - кут тертя ґрунту по матеріалу (сталі) розрихлювача, $\varphi_1 = 25^\circ$.

У поперечному напрямку:

$$b = b_1 + \frac{2a_2 \tan(\theta_2 / 2)}{\cos(\alpha + \varphi_1)},$$

де b - ширина деформації ґрунту в поперечному напрямку, $b = 0,35$ м;

b_1 - ширина захвату розрихлювача, м;

θ_2 - кут поширення деформації ґрунту в поперечному напрямку, $\theta_2 = 40 \dots 50^\circ$.

Звідки можна знайти ширину захвату розрихлювача:

$$b_1 = b - \frac{2a_2 \tan(\theta_2 / 2)}{\cos(\alpha + \varphi_1)}.$$

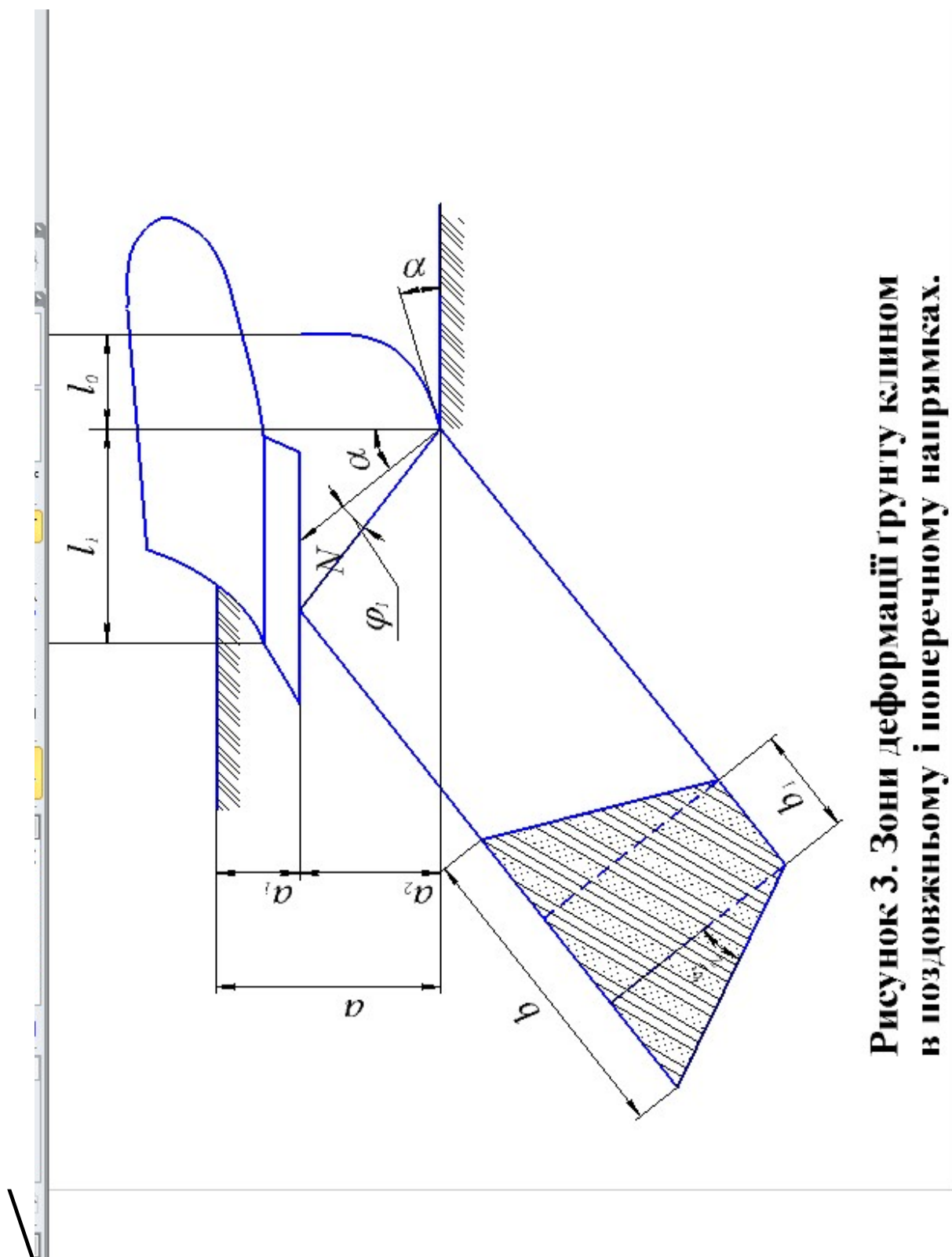


Рисунок 3. Зони деформації ґрунту клином в поздовжньому і поперечному напрямках.

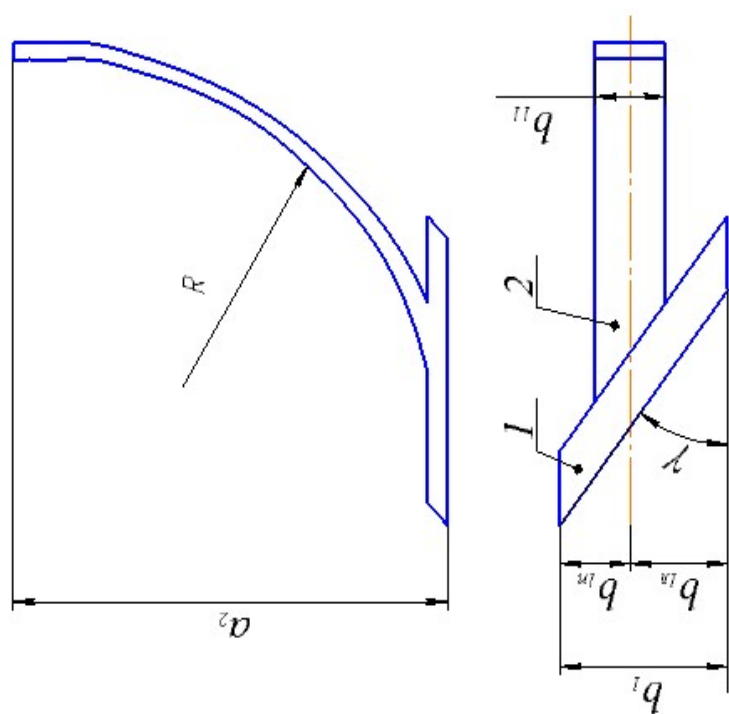


Рисунок 1. Схема розрихлювача підорного горизонту:

1 - долото; 2 - розпушувальний елемент.

З теорії землеробської механіки опір розрихлювача комбінованого робочого органу можна розкласти на три складові

$$P_{\text{роз}} = P_1 - P_2 - P_3, \quad (1)$$

де P_1 - опір робочої кромки розрихлювача, Н;

P_2 - опір розрихлювача, Н

P_3 - опір від дії інерційних сил, Н.

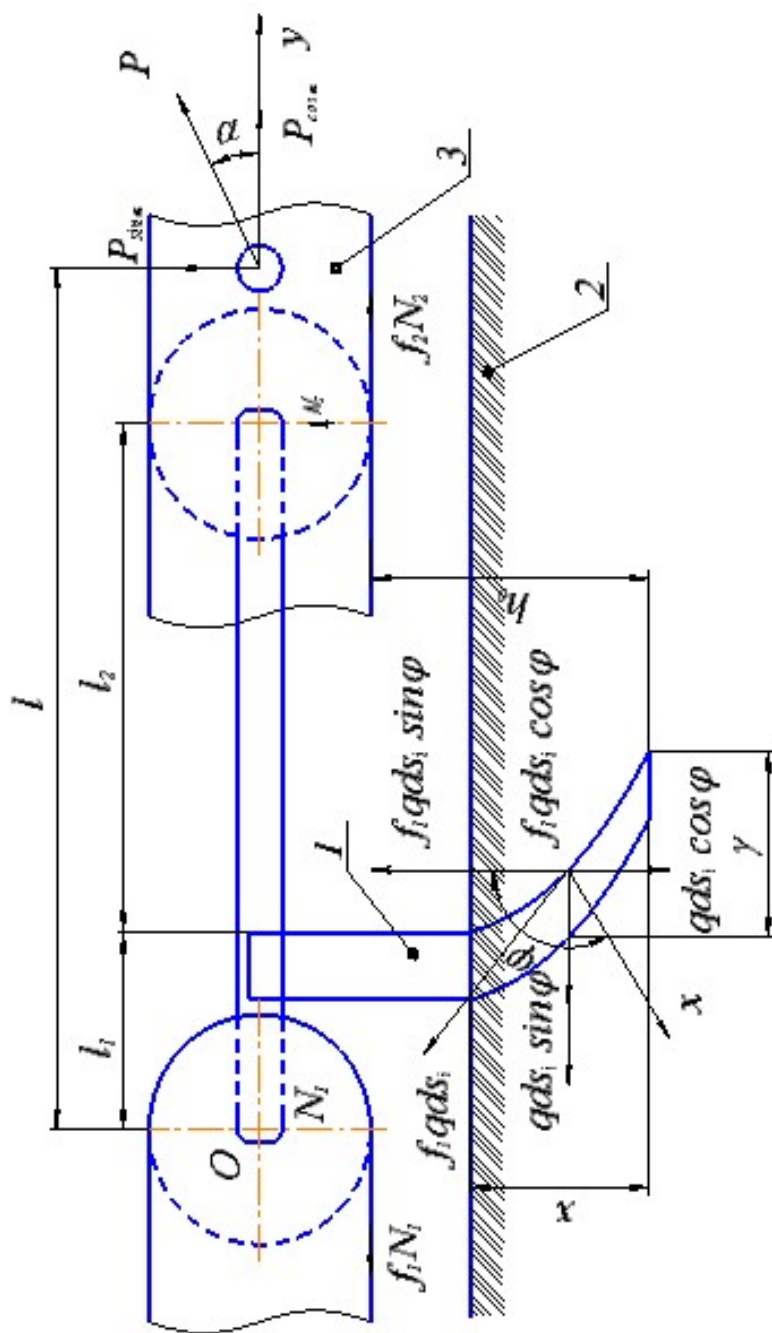


Рисунок 2. Схема сил, що діють на розрихлювач:

1 - розрихлювач; 2 - ґрунтова середовище; 3 - лабораторна установка;
 L_1, L_2 - відстань від центру лівого і правого колеса установки до робочої поверхні розрихлювача; L - відстань між центрами коліс установки; N_1, N_2 - реакція на ободі правого і лівого колеса установки; f_1 - коефіцієнт тертя ґрунту по матеріалу розрихлювача; f_2 - коефіцієнт перекочування коліс; j - кут тертя ґрунту по матеріалу розрихлювача; q - питомий тиск ґрунту на поверхню розрихлювача; P - зусилля, що необхідне для переміщення розрихлювача; α - кут між силою P і горизонтом.

Для визначення P_1 і P_3 даного рівняння використовуються загальновідомі залежності Г.Н. Сінекова і І.М. Панова (тяговий опір тригранного клину).

В даному випадку необхідно оцінити вплив технологічних і конструктивних параметрів розрихлювача на P_3 .

Вирішуючи це завдання, в теоретичних дослідженнях, отримана наступна залежність

$$P_{3a} = \frac{a_2 b_1 \gamma_{\text{max}} v^2}{g} \sin \alpha_1 \cdot \text{tg}(\alpha_1 + \varphi), \quad (2)$$

де γ_{max} - об'ємна вага ґрунту, Н/м³.

В результаті вираз (1) в розгорнутому вигляді набуде вигляду

$$R_{\text{pos}} = \left(\frac{qh^2 b_1}{2 \sin \varepsilon \cos \varphi \sin \gamma} + \frac{a_2 b_1 l_1 \gamma_{\text{max}} \text{tg}(\alpha_1 + \varphi)}{\sin \gamma} \right) + \left(a_2 b_1 \gamma_{\text{max}} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + \alpha^2 e^{2ax}} \cdot \frac{e^{ax} + k}{1 - e^{ax} k} dx \right) + \left(\frac{a_2 b_1 \gamma_{\text{max}} v^2}{g} \sin \alpha_1 \cdot \text{tg}(\alpha_1 + \varphi) \right). \quad (3)$$

де q - коефіцієнт об'ємного змінання ґрунту, Н/м³;

h - товщина фаски долота, м;

ε - кут поверхні фаски долота до горизонту, град;

l_1 - довжина робочої поверхні долота, м;

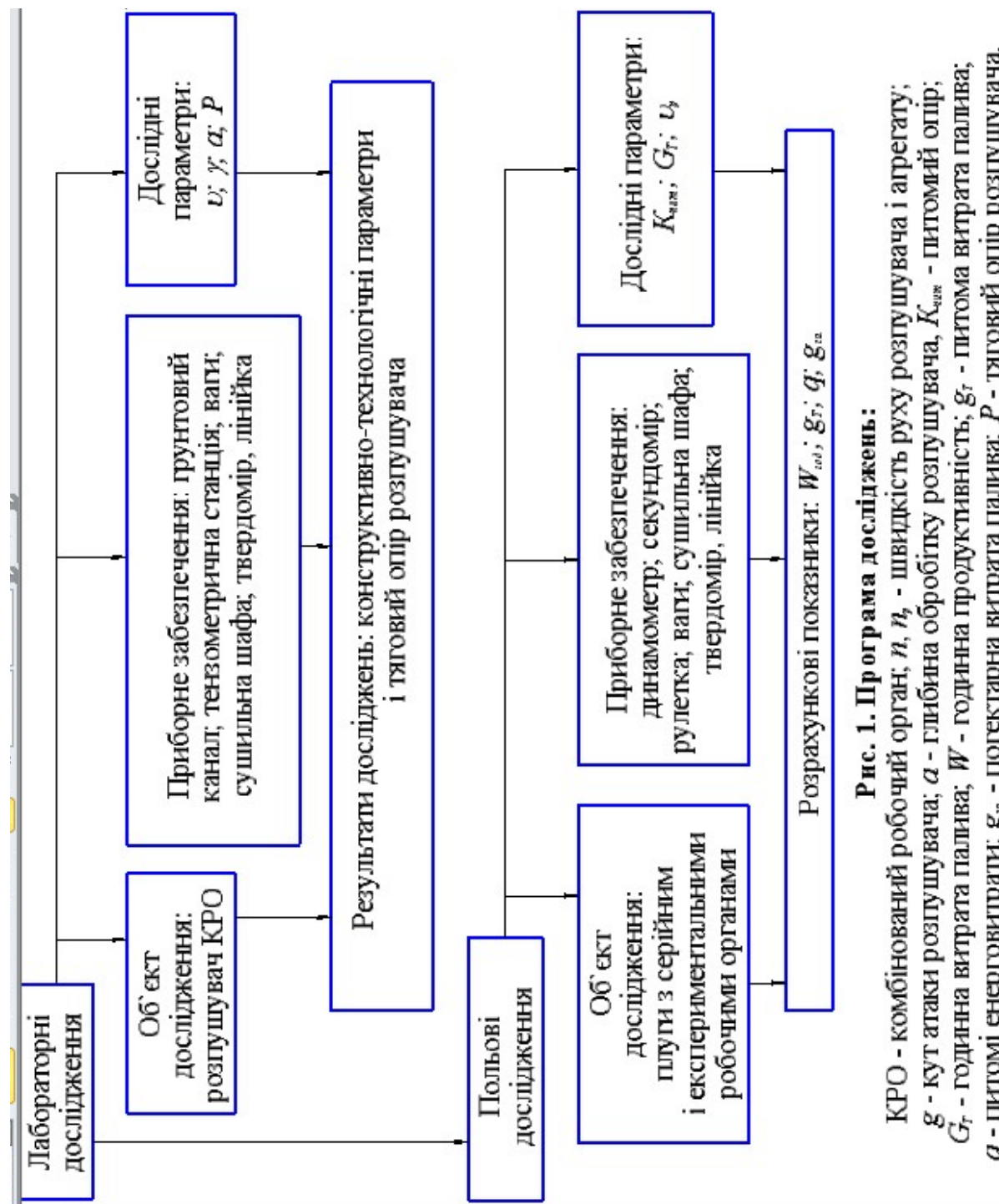
α_1 - кут кришення ґрунту долотом;

v - швидкість розрихлювача, м/с;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Отримана залежність оцінює вплив технологічних параметрів розрихлювача (ширина захвату, робоча швидкість, глибина обробки, кут атаки та ін.) на його тяговий опір.

Програма та методика експериментальних досліджень



Програма та методика експериментальних досліджень



Рисунок 1. Плуг ПЛН-3-35 (а) і ПЛН-4-35 (б) з експериментальними робочими органами:

1 - лемішно-відвальна поверхню; 2 - розпушувач

Середня швидкість:

$$v_{\text{сп}} = \frac{S}{t_{\text{дос}}}, \text{ м/с,}$$

де S - довжина дослідної ділянки поля, м;

Питомий тяговий опір:

$$K_{\text{то}} = \frac{P_{\text{сп}}}{ab}, \text{ Н/см}^2,$$

де a, b - відповідно середня глибина і ширина обробітку, см.

Обсяг робіт за годину основного часу W :

$$W = 0,1 \cdot B \cdot v_{\text{сп}}, \text{ га/год,}$$

де B - ширина захвату знаряддя, м.

Годинна витрата палива:

$$G = 3,6 \frac{V \cdot \gamma \cdot t_{\text{дос}}}{1000}$$

де V - об'єм витраченого палива, см³;

γ - щільність палива, кг/см³;

$t_{\text{дос}}$ - тривалість дослідження, с.

Питома витрата палива на гаку:

$$g_T = \frac{G_T \cdot 1000}{N_{\text{сп}}}, \text{ г / кВт} \cdot \text{год},$$

де N - середня потужність, кВт.

Середня потужність на гаку:

$$N_{\text{сп}} = P_{\text{сп}} \cdot n_{\text{сп}}, \text{ кВт},$$

де $P_{\text{сп}}$ - середнє тягове зусилля за дослід, кН;

$n_{\text{сп}}$ - середня швидкість за дослід, м/с.

Погектарна витрата палива:

$$g_{\text{га}} = \frac{G_T}{W}, \text{ кг / га},$$

де W - обсяг робіт за годину основного часу, га.

Середнє тягове зусилля:

$$P_{\text{сп}} = P_{\text{сп1}} - P_{\text{сп2}}, \text{ Н},$$

де $P_{\text{сп1}}$ і $P_{\text{сп2}}$ - середній опір переміщенню знаряддя при робочому і холостому ході, кН.

Результати експериментальних досліджень

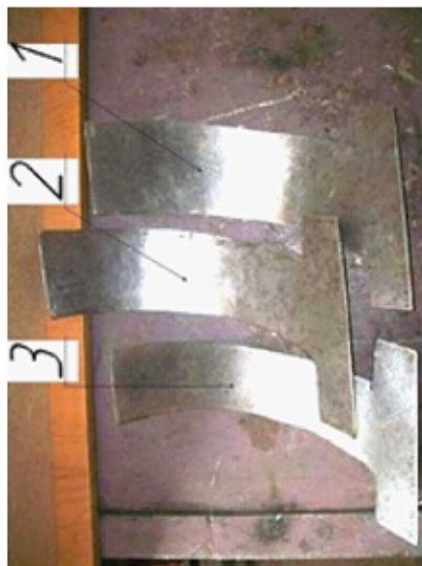


Рис. 1. Експериментальні зразки розпушувачів:
1, 2, 3 - розпушувачі з кутом атаки відповідно 30°, 40°, 50°.

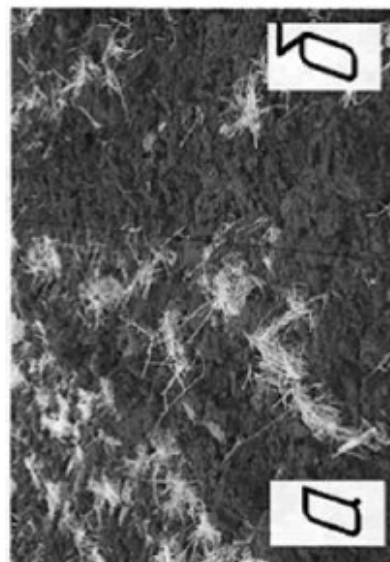


Рис. 2. Поверхня поля після проходу:
а - плугом ПЛН-3-35; б - плугом ПЛН-3-35 з експериментальними робочими органами.

Результати пошукових дослідів

Профіль розпушувача	Тяговий ефір, Р	
	кН	Відхилення, %
Прямолінійний	1,463	100
По радіусу 300 мм	1,302	88,99
По рівнянню $Y = 5,5 \ln(X - 1)$	1,074	73,41

Результати експериментальних досліджень

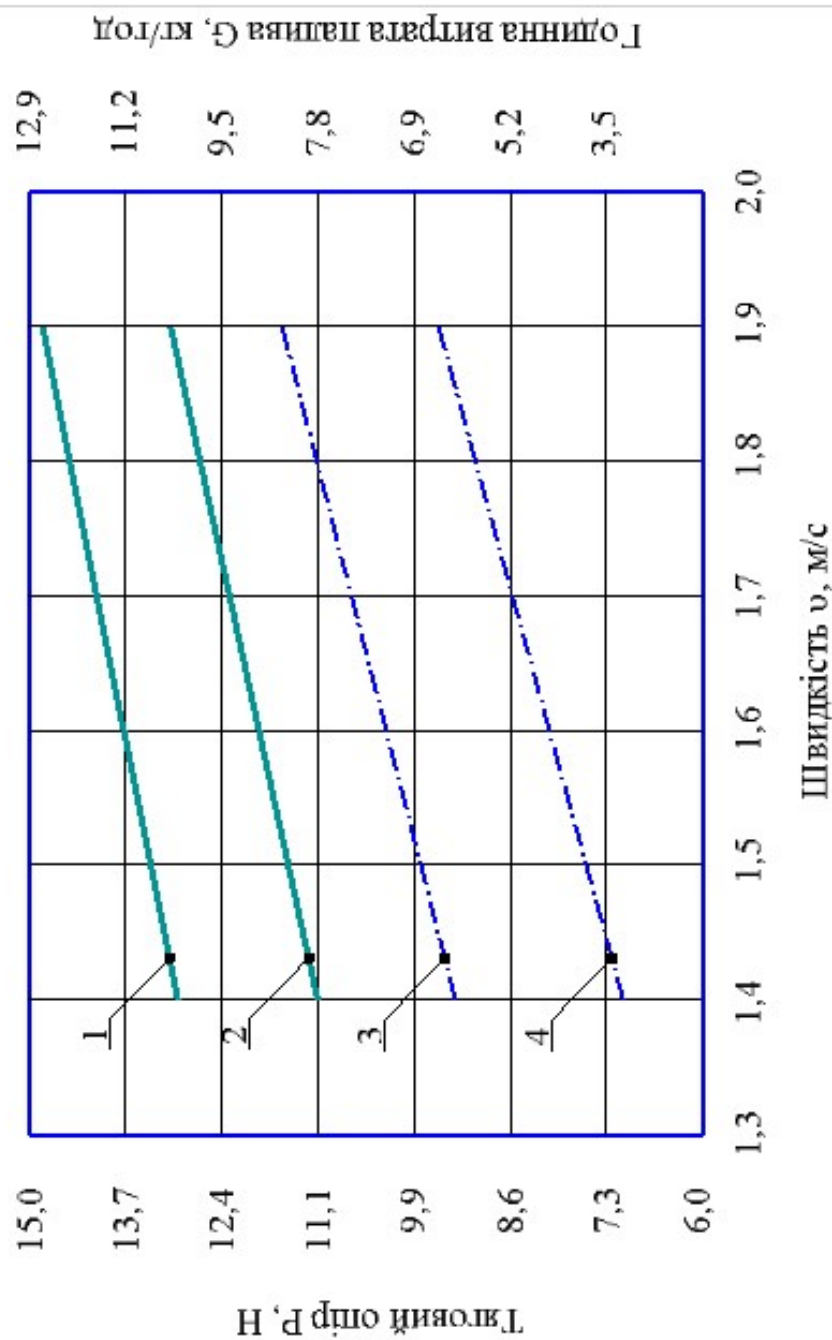


Рисунок 1. Залежності тягового опору і годинної витрати палива агрегату MT3-892 + ПЛН-3-35 і MT3-892 + ПЛН-3-35*:

1 - годинна витрата палива агрегату MT3-892 + ПЛН-3-35;

2 - годинна витрата палива агрегату MT3-892 + ПЛН-3-35*;

3 - тяговий опір агрегату MT3-892 + ПЛН-3-35;

4 - тяговий опір агрегату MT3-892 + ПЛН-3-35 *

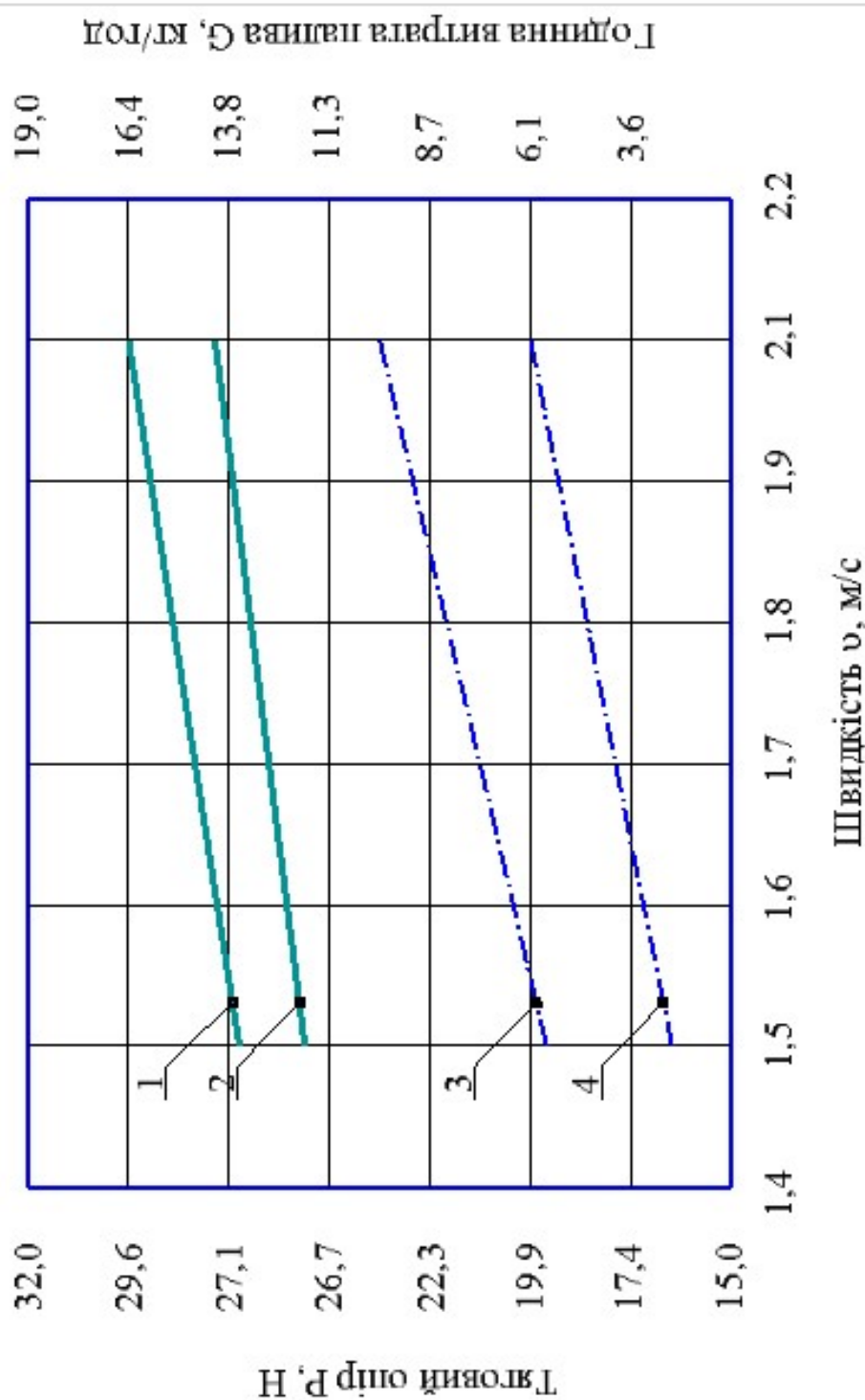


Рисунок 2. Залежності тягового опору та годинної витрати палива агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35 і ДТ-75М + ПЛН-4-35*:

1 - годинна витрати паливо агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35;

2 - годинна витрати паливо агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35*;

3 - тяговий опір агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35;

4 - тяговий опір агрегату ДТ-75М + ПЛН-4-35*.

Показники порівняльної оцінки досліджуваних машин

Показник	Значення показника			
	ПЛН-3-35	ПЛН-3-35*	ПЛН-4-35	ПЛН-4-35*
Робоча швидкість, м/с	1,9	1,9	2,1	2,1
Глибина обробітку, см. а., (лемп'яно-поліцева поверхня) в., (розрихлювачем)	25,0 - 25,0	15,0 10 25,0	25,0 - 25,0	15 10 25,0
Середньоквадратичне відхилення глибини обробітку, ±см	1,4	1,9	1,5	1,7
Робоча ширина захвату, м	1,05±0,03	1,05±0,06	1,40±0,04	1,40±0,07
Кріпіння ґрунту, % до 50 мм	70,2	71,6	76,9	88,4
Закладення рослинних та поживних решток, %	75,6	95,2	79,3	97,5
Тяговий опір плуга, кН	11,6	9,4	24,4	19,5
Питомий тяговий опір плуга, Н/см ²	4,3	3,4	4,8	3,8
Годинна витрата палива, кг/год	11,8	10,3	16,4	14,3
Погостарна витрата палива, кг/га	16,4	14,3	15,5	13,5
Питома витрата палива, г/кВт год	535,39	576,70	320,1	349,21
Годинна продуктивність, га/год	0,72	0,72	1,06	1,06
Питомі енергозатрати, кВт/га	30,6	24,8	48,3	38,6

Р	
ідхилення, %	
100	
88,99	
73,41	

вкчів:
°, 40°, 50°.

IV:

Техніко-економічні показники роботи

Показники	Одиниці виміру	Агрегат		Різниця, + / -
		Базовий	Проектний	
Вартість плуга	грн.	41700	45000	+3300
Загальні експлуатаційні витрати:	грн/га	1515,68	1402,47	-113,21
- заробітна плата	грн/га	100	86,11	-13,89
- витрати по трактору	грн/га	210	210	-
- витрати по с.-г. машині	грн/га	398,70	353,00	-45,7
- витрати на ПММ	грн/га	715	775	+26,1
Питомі капітальні витрати	грн/га	4117,84	3852,87	-1264,97
Річний економічний ефект	грн/га		2791,83	-

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Обґрунтовано і розроблено конструкцію комбінованого робочого органу плуга, основними елементами якого елемішно-поллицева поверхня і розрихлювач .

При виконанні основного обробітку ґрунту, запропонованим робочим органом забезпечується закладення рослинних решток з оборотом і розпушуванням верхнього оброблюваного шару ґрунту і розпушування без виносу на поверхню нижнього орного шару.

В результаті забезпечується зниження енерговитрат на основний обробіток ґрунту, що виконується комбінованим робочим органом в порівнянні з серійними робочими органами плуга, оскільки в запропонованому варіанті передбачається оборот ґрунту не на всю глибину оброблюваного горизонту, а тільки її верхнього шару (основний кореневмісний шар).

Виходячи з агротехнічних вимог, були прийняті наступні технологічні параметри комбінованого робочого органу плуга:

- максимальна глибина обробітку 0,3 м;
- глибина верхнього шару ґрунту змінюється від 0,1 до 0,16 м (регульований параметр), відповідно глибина розпушування нижнього орного шару ґрунту становить від 0,2 до 0,14 м.

Отримані математичні залежності дозволяють обґрунтувати основні технологічні параметри комбінованого робочого органу, зокрема, кут атаки і форму робочої поверхні розрихлювача, по умові мінімізації тягового опору. Встановлено, що умовою зниження тягового опору робочого органу відповідає форма робочої поверхні розрихлювача близька до кривої описуваної рівнянням логарифмічного виду ($Y = 5,5 \ln (X - 1)$).

В результаті досліджень в лабораторних умовах розрихлювачів комбінованого робочого органу плуга з різною формою робочої поверхні (прямолінійна, серійна і експериментальна) встановлено, що мінімальний тяговий опір забезпечує експериментальний розрихлювач. В діапазоні робочих швидкостей, встановленому агротехнічними вимогами (від 1,4 до 2,2 м/с) застосування експериментального розрихлювача забезпечує зниження тягового опору на 27% в порівнянні з прямолінійним і на 15,5% в порівнянні з серійним.

Умовою забезпечення мінімального тягового опору і працездатності розрихлювача комбінованого робочого органу відповідає його кут атаки 40° .

Застосування чотирикорпусного плуга, обладнаного експериментальними робочими органами, в порівнянні з плугом в серійній комплектації забезпечує поліпшення кришіння ґрунту (кількість ґрунтових фракцій розміром до 50 мм зросла на 13%), кількість закладення поживних і рослинних решток збільшилася на 18,2%. Плуги, які обладнані експериментальними робочими органами, забезпечують агротехнічні вимоги, що пред'являються до основного обробітку ґрунту.

За своїм енергетичним показниками плуги, обладнані експериментальними робочими органами, в порівнянні з плугами в серійній комплектації забезпечують зниження питомих енерговитрат на 9,7 кВт/га (для чогирикорпусного варіанту) і на 5,8 кВт/га (для трикорпусного варіанту).

Результати виконаних досліджень обґрунтовують доцільність застосування плугів з експериментальними комбінованими робочими органами для основного обробітку ґрунту по агротехнічним і енергетичним показникам.

На підставі проведеного аналізу стану охорони праці на підприємстві був розроблений план заходів і засобів спрямованих на покращення умов та безпечності праці, підвищення культури виробництва та зниження травматизму робітників .

Отже, техніко-економічними розрахунками встановлено, що річний економічний ефект складе 2791,83 грн/га, що дозволяє судити про доцільність даного рішення по розробці плуга загального призначення обладнаного комбінованими ґрунтообробними робочими органами.