

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу глибокого розпушення ґрунту з удосконаленням розпушуючої лапи»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм - 21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною
програмою «Агроінженерія»

Патійчук О.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Цизь І.Є.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП

Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дацюк Л.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса
доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Патійчуку Олегу Ярославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу глибокого розпушення ґрунту з удосконаленням розпушуючої лапи

керівник роботи Цизь Ігор Євгенович, доцент, к.т.н.

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

затверджена наказом ЛНТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Методика багатофакторного експерименту	1 лист
5. Результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема функціональна	1 лист
7. Креслення розроблюваного вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Патійчук О.Я.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Цизь І.Є.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПШ

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Патійчук О.Я. Дослідження процесу глибокого розпушення ґрунту з удосконаленням розпушуючої лапи. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

У роботі наведено результати комплексних теоретичних та експериментальних досліджень, які дозволили розробити конструкцію культиватора для тракторів з потужністю двигуна від 20 кВт з метою здійснення якісного ярусного глибокого розпушення ґрунту із перемішуванням нижніх його шарів.

Ключові слова:

ґрунт, глибоке розпушення, полиця, лапа, культиватор, деградація, рама, плужна підшва, рівняння регресії, тягове зусилля.

ABSTRACT

Patiichuk O.Ya. Study of the process of deep loosening of the soil with the improvement of the loosening paw. Manuscript.

Master's qualification work of EP "Agricultural engineering" specialty 208 Agricultural engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The master's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The paper presents the results of comprehensive theoretical and experimental research that allowed to develop the design of a cultivator for tractors with an engine power of 20 kW or more in order to implement high-quality tiered deep loosening of the soil with mixing of its lower layers.

Keywords:

Soil, deep loosening, shelf, foot, cultivator, degradation, frame, plow sole, regression equation, traction force.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
АНОТАЦІЯ.....	3
ABSTRACT.....	4
ЗМІСТ.....	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Аналіз способів обробітку ґрунту та їх вплив на структуру.....	10
1.2. Аналіз будови робочих органів глибокорозпушувачів.....	19
1.3. Огляд досліджень впливу твердості ґрунту на продуктивність рослин.....	28
1.4. Постановка проблеми, мета та завдання дослідження.....	31
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ КУЛЬТИВАТОРА-ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА.....	33
2.1. Обґрунтування конструкції культиватора-глибокорозпушувача.....	33
2.2. Побудова поперечно-вертикальної (лобової) проекції робочої поверхні полиці робочого органу культиватора.....	35
2.3. Побудова проекції твірної робочої поверхні полиці у вертикальній та горизонтальній площинах.....	37
2.4. Побудова горизонтальної та бічної проекції робочої поверхні.....	39
2.5. Побудова кривих ортогональних перерізів.....	40
2.6. Побудова розгортки (заготовки) полиці.....	41
2.7. Обґрунтування складу агрегату за затратами потужності.....	43
2.8. Висновки.....	45
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	46
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	46

3.2. Прилади та обладнання для реалізації дослідження.....	40
3.3. Методика формування визначених планом експерименту значень вологості ґрунту у ґрунтовому каналі.....	50
3.4. Методика дослідження врожайності сидератів.....	49
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	53
4.1. Методика дослідження тягового опору робочих органів культиватора.....	53
4.2. Результати дослідження тягового опору робочих органів культиватора	58
4.3 Висновок.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	65
ДОДАТКИ.....	68

ВСТУП

Актуальність дослідження. До визначальних впливів переуцільнення ґрунту є втрата ним структурних агрегатів. Основним проявом такого явища є утворення підорного шару різної товщини, який отримав назву «плужної підшви».

Розпушення ущільненого шару здійснюють залежно від глибини його залягання або чизельними культиваторами або глибокорозпушувачами. Аналіз технічних характеристик глибокорозпушувачів вказує, що для їх використання потрібні трактори із потужністю двигуна від 40 кВт (найменший показник у ANTARES-1 фірми Јупра). Пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна 20-25 кВт) відсутня. Що не дозволяє реалізувати розпушення підорних переуцільнених шарів на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га.

Таким чином потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Для цього потрібне знаряддя здатне якісно розпушити ґрунт на глибині 20-30 см, а для його використання достатньо було б трактора із потужністю межах 20-25 кВт та тяговим зусиллям у межах 5-6 кН.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є теоретичне обґрунтування параметрів робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару ґрунту та встановленні експериментальної залежності тягового опору такого знаряддя від глибини обробітку та стану ґрунту.

Для реалізації поставленої мети були сформульовані завдання досліджень:

- 1) Теоретично обґрунтувати форму та конструктивні параметри робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару;
- 2) Теоретично обґрунтувати тяговий опір знаряддя для глибокого розпушення ґрунту із розробленим робочим органом.
- 3) Провести дослідження закономірності зміни тягового опору розробленого робочого органу знаряддя для глибокого розпушення ґрунту від

глибини обробітку і вологості ґрунту з використання математичного методу планування експерименту.

Об'єкт дослідження. Процес взаємодії робочого органу глибокорозпушувача із ґрунтом.

Предмет дослідження. Залежності тягового опору глибокорозпушувача від глибини обробітку та стану ґрунту.

Методи та способи вирішення поставлених завдань. У роботі були застосовані методи теоретичних та експериментальних досліджень. Так теоретичне обґрунтування форми робочої поверхні полиці для глибоко розпушуючої лапи проведено на основі методів нарисної геометрії. Реалізація експериментальних досліджень базувалась на використанні математичного методу планування експерименту та регресійного аналізу.

Науково-технічна новизна одержаних результатів:

1. Теоретично обґрунтувати форму та конструктивні параметри робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару;
2. Теоретично обґрунтувати тяговий опір знаряддя для глибокого розпушення ґрунту із розробленим робочим органом;
3. Провести дослідження закономірності зміни тягового опору розробленого робочого органу знаряддя для глибокого розпушення ґрунту від глибини обробітку і вологості ґрунту з використання математичного методу планування експерименту.

Практичне значення одержаних результатів. Комплекс теоретичних та експериментальних досліджень дозволив розробити конструкцію культиватора, який може агрегатуватись із тракторами з потужністю двигуна від 20 кВт для здійснення якісного ярусного глибокого розпушення ґрунту із перемішуванням нижніх його шарів.

Апробація роботи. Основні положення наукових досліджень, що містяться в роботі, доповідались й обговорювались на III студентській науково-технічній конференції факультету АТЕ „Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні” (Луцьк, 2023 р.)

Публікації. Основні дослідження магістерської роботи опубліковано у тезах студентської наукової конференції.

Положення що виносяться на захист. Конструкція робочого органу культиватора-глибокорозпушувача та теоретично і експериментально обґрунтовані конструкційні та технологічні його параметри.

Структура і обсяг магістерської роботи. Необхідність розв'язання поставлених задач зумовила наступну структурно-логічну будову роботи: вступ, чотири розділів, висновки, список джерел посилання з 27 назв та 1 додатка. Основна частина магістерської роботи розміщена на 64 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз способів обробітку ґрунту та їх вплив на структуру

До визначальних показників рівня родючості ґрунту належить його структура. Адже агрономічними дослідженнями встановлено, що агрегати ґрунту з розмірами 0,25-10 мм є найбільш цінними з точки зору забезпечення оптимальними умовами кореневої системи сільськогосподарських культур. Проте неодмінною вимогою є стійкість цих агрегатів до руйнування під впливом вологи. Дослідженнями встановлено, що за структура ґрунту повинна містити десь 80% агрегатів розміром 0,25-10 мм але при 70% з яких повинні бути стійкими до розмокання [1, 4].

Механізм формування структурних агрегатів ґрунту поєднує процеси механічного поділу материнської породи на фізичну глину та фізичний пісок та поєднання цих частинок агрегати. У подальшому ці агрегати можуть руйнуватись та утворювати монолітні шари. Проте природні процеси здатні розділяти моноліт ґрунту на агрегати. Таке явище відбувається під дією намокання та висихання, від'ємних температур та нагрівання, під впливом кореневої системи рослин, діяльності тварин, комах, черв'яків. Людина впливає на процес формування структури шляхом механізованого обробітку ґрунту [1, 4].

Вміст структурних агрегатів у ґрунтів визначає його щільність. Оскільки наявність структурних агрегатів забезпечує наявність пор які заповнені повітрям. І у такому випадку щільність ґрунту буде зменшуватися. У той же час за щільністю оцінюють агрофізичний стан ґрунту. У результаті експериментальних досліджень встановлено, що для більшості сільськогосподарських культур структурованість ґрунту за якої його щільність складає 1,0-1,3 г/см³ [1].

Шляхом механізованого обробітку ґрунту ми штучно формуємо структуру ґрунту, якій відповідає оптимальна щільність. У такому стані ґрунт знаходиться нетривалий час і на 40-60 день, залежно від наявності атмосферних опадів та під дією земного тяжіння відбувається зміни у формі структурних агрегатів та компактності їх вкладання і ґрунт повертається до так званого рівноважного стану [8].

Зважаючи на наведене вище використовують рівноважну щільність. Під цим терміном мають на увазі щільність, якої притаманна ґрунту, який протягом тривалого часу не підлягав механізованому обробітку та має сталу структуру. Даний показник лишається постійним, з певними відхиленнями, для конкретного типу ґрунту. Зміни рівноважної щільності є незначними у часі, причиною цих змін є природними явища та вплив людини.

Фактори котрі спричинюють руйнування структурних агрегатів ґрунту можуть мати механічну, фізико-хімічну та біологічну природу [8].

Прикладом механічних факторів є дія ґрунтообробних знарядь та ходових систем машин, що переміщуються поверхнею поля. Фактори механічної дії можуть також бути спричинені і природними умовами такими як удари дощових крапель та граду під час зливи [8].

Прикладом фізико-хімічних факторів є зміна складу та концентрації ґрунтового розчину при зміні вологості ґрунту, внесенні добрив, тощо. Ці фактори проявляються через міцність агрегатів до руйнування. Вченими встановлено, що органічна речовина є головним фактором, який здійснює об'єднання елементарних часточок ґрунту і утворення з них агрегатів [8].

Біологічні фактори виявляються у руйнуванні органіки ґрунту аеробним бактеріями та перетворення її мінеральні сполуки. Таке явище відбувається на поверхні кожного агрегату. У свою чергу зникає речовина яка забезпечувала коагуляцію мікрочастинок у агрегати. А залишки від життєдіяльності ґрунтових організмів є найважливішими речовинами, що забезпечують міцність структурних агрегатів [8].

Аналіз наведених факторів руйнування структури ґрунту та виробничі умови, а також глобальні кліматичні зміни змусили аграріїв розробляти та впроваджувати способи обробітку, які здатні мінімізувати руйнування структури.

Усі нові способи обробітку ґрунту спрямовані на усунення недоліків оранки, яка протягом століть була надійним методом формування структури ґрунту. До основних переваг такого способу належить здатність заорювати рослинні рештки, перемішувати шари ґрунту із рослинним рештками та внесеними органічними добривами, що забезпечує утворення структури ґрунту, яка сприяє росту сільськогосподарських культур та формування врожаю. Але використання оранки ґрунту за допомогою лемішного плуга спричинює руйнування шарів ґрунту у зоні дії нижньої частини лемеша та польової дошки. Результатом цього є утворення «плужної підшви» [12, 14].

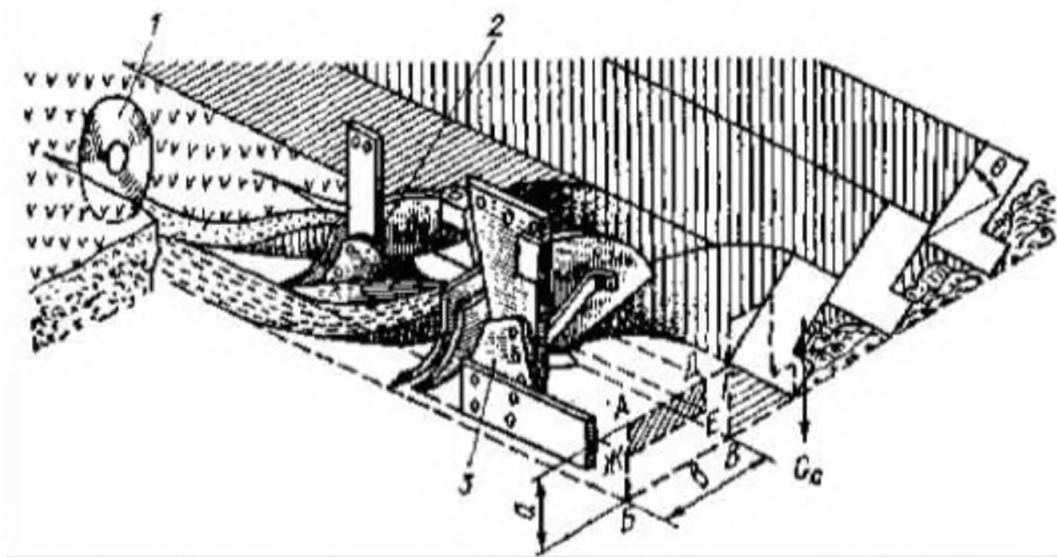


Рисунок. 1.3 Схема оранки плугом із передплужником: 1 – дисковий ніж, 2 – передплужник, 3 – корпус плуга; а – глибина обробітку; в – ширина захвату корпусу плуга

Зважаючи на глобальні зміни клімату на планеті виявлено ще один ключовий недолік оранки, який полягає у випаровуванні із ґрунту значної кількості вологи. Волога втрачається саме через перевертання шару ґрунту і вивалювання на поверхню нижніх вологих шарів.

Сівба по свіжовиораному полю може негативно вплинути на появу сходів через інтенсивне осідання ґрунту після оранки та так зване явище обривання корінців. Рясні опади після сівби спричинюють утворення механічно деструктуризованого шару ґрунту на поверхні ґрунту, який називають кіркою. З'являються прояви водної та вітрової ерозії ґрунтів.

Впливає оранка, а саме механічна дія робочої поверхні на чисельність популяцію дощових черв'яків, яких ще називають ґрунтовими роботами гумусу.

Високою є і енергоємністю процесу оранки, що за високої вартості на паливо спричинює високу питому вартість одиниці виораної площі. З однієї сторони плуг є не надто складним а отже і не дорогим знаряддям. Проте швидке спрацювання елементів робочої поверхні вимагає частого їх відновлення, а отже і додаткових витрат коштів що нівелює попередню перевагу.

Чутливим є плуг до вологості ґрунту. Аналізуючи діаграму стану ґрунту (рис. 1.2) ми бачимо, що оранка важких суглинків та глинистих ґрунтів можлива лише у вузькому діапазоні їх вологості (зона I_2) Такі умови значно скорочують терміни протягом яких може бути здійснена оранка для великих площ. Особливо це стосується ранньої весни та пізньої осені [8].

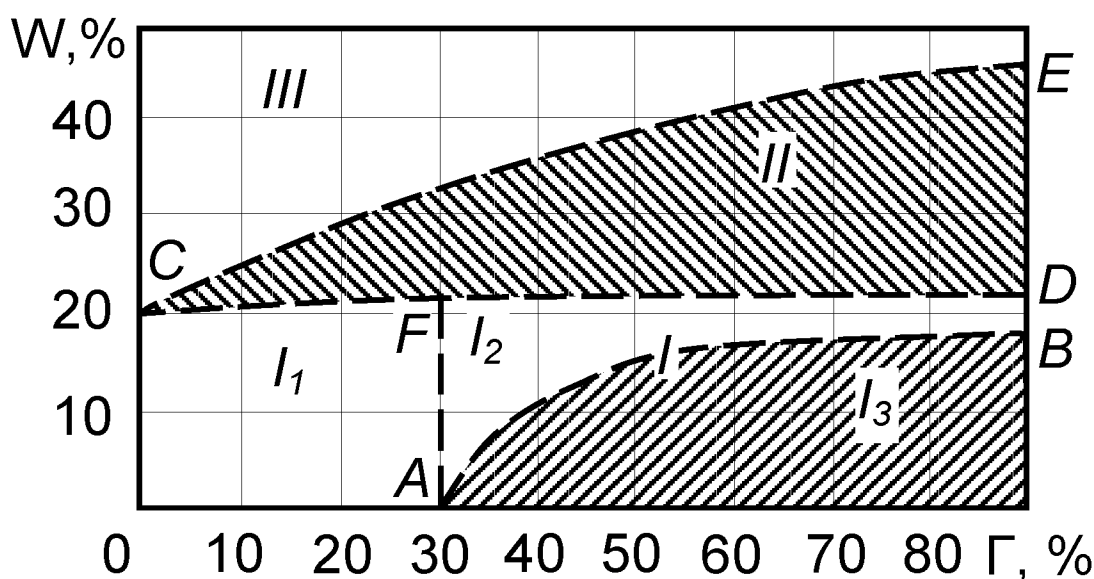


Рисунок 1.2 Діаграма стану ґрунту залежно від вмісту «фізичної глини» Γ і вологості W

Одним із видів обробітку, що спрямований на зменшення механізованого впливу на ґрунта та збереження природної бфоти ґрунту є Мінімальний обробіток ґрунту (mini till). Основною складовою обробітку ґрунту тут є використання дискових робочих знарядь. Це перши обробіток у вигляді лущення стерні на глибину 6-8 см одразу за зернозбиральним комбайном та наступна обробка дисковими боронами на глибину 15-18 см у терміни від 7-14 після лущення (рис. 1.3 а та б). Обов'язковою також є операція розпушення ґрунту чизельними робочими органами на глибину 35-40 см. Таку операцію проводять не щороку, а один раз на три роки (рис. 1.3 в).

Окрім цього для збагачення ґрунту органічним матеріалами обов'язковим є залишення на полі подрібненої соломи попередника із наступним заробленням її у ґрунт (рис. 1.3 г).



а



б



в



г

Рисунок 1.3 Фото операцій мінімального обробітку ґрунту: а – лущення стерні; б – бробріток дисковими боронами; в – глибоке розпушення ґрунту; г - збір врожаю комбайном із одночасним подрібненням соломи

Такі заходи спрямовані на максимальне накопичення у ґрунті вологи. Формування мульчованого поверхневого шару із ґрунту та пожнивних решток на унеможливорює появу кірки на ґрунтовій поверхні. Окрім цього усуваються передумови появи проявів водної і вітрової ерозії. Позитивним є вплив на популяцію дощових черв'яків зокрема та активність життя ґрунтових організмів загалом. Також має інтенсивний процес мінералізації пожнивних решток.

У порівнянні з оранкою обробіток дисковими робочими органами вимагає врахування ґрунтових умов кожного поля, до яких належать щільності, вмісту гумусу, рухомих форм поживних речовин, призводить до суттєвого збільшення засміченості полів насінням бур'янів; підкислення поверхневих шарів ґрунту та їх ущільнення.

Узагалі відсутній вплив механічних знарядь на ґрунт у випадку нульового обробітку (No-Till), який спрямований на збереження рівноважної щільності ґрунту та природньої його структури. У такому випадку також усі пожнивні рештки лишаються на полі у вигляді подрібненої соломи. Далі здійснюється посів спеціальним сівалками, які здатні прорізати сошниками борозенки у необробленому ґрунті (рис. 1.4). Шар подрібненої соломи виконує функції бар'єру та захищає ґрунт від втрати вологи, впливу ерозії, сприяє стабілізації показників родючості і запобігає процесам деградації ґрунтів. Такі нульові впливи на ґрунт набули поширення в США, Канаді, Бразилії, Аргентині, та ряді інших країн південної та північної Америки [8]. Були спроби запровадження такої консервативної системи обробітку ґрунту і в Україні. Але через гонитву агрохолдингів за надприбутками та відсутність законодавчого регулювання вплинула на згорання таких практик.

Особливості такого способу формування структури ґрунту, або точніше збереження природньо сформованої структури, створює перепони до класичних способів використання (внесення) органічних добрив. Основні переваги такого способу збігаються із мінімальним обробітком та лише характеризуються покращеними умовами для дощових черв'яків зокрема і флори та фауни ґрунту загалом.



а

б

Рисунок 1.4 Фото процесу посіву за системи No-Till (а) та отриманих сходів (б)

Ще одним позитивним фактором такої системи є згладжування коливань температури ґрунту (взимку – менше промерзання, а влітку – недопущення перегріву товстими захисним шаром рослинних решток). Хоча ця перевага ранньою весною перетворюється у недолік. Цей шар решток, згідно досліджень, сповільнює прогрівання ґрунту на 2,8–5,0 °С.

Окрім цього недоліку, за умови надмірної кількості опадів, може спостерігатись перезволоження ґрунту через слабку водопроникність ґрунту природної структури. Слід бути готовими до підвищених на 15–100% порівняно з іншими системами, втрат на боротьбу із бур'янами. А це як правило лише хімічні методи. Це ж стосується і хвороб. Адже у пожнивних рештках створюються осередки інфекцій та вірусів.

Відсутність переміщення шарів ґрунту спричинює тривале навантаження на поверхневий шар, а отже і втрату ним фізико-хімічних показників родючості. До недоліків також належить і необхідність у придбанні додаткового доволі не дешевого обладнання у вигляді сівалки прямого посіву.

Компромісом між нульовим та мінімальним обробітком або навіть і оранкою можна вважати систему смугового обробітку (Strip-till). Така система обробітку поєднує в собі переваги попередніх систем обробітку але позбавлена більшості їх недоліків. За такої технології механічному впливу підлягають смуги завширшки 20–25 см на глибину 20–30 см. Під час такого обробітку можуть вноситись мінеральні добрива на різну глибину.

У такому випадку в межах 2/3 поверхні поля залишаються необробленими. Звичайно це залежить від ширини міжряддя культури. Пошарове внесення добрив у рядки створює умови максимальної їх доступності для рослин. Така схема забезпечує частковий механічний вплив на структуру ґрунту завдяки чергуванню оброблюваних ділянок ґрунту та тих, котрі відновлюються. Обмеженням для такої способу обробітку ґрунту є застосування його під культури широкорядного посів де ширина міжрядь складати мінімум 45 см. Операції з механізованого обробітку смуг ґрунту можуть здійснюватися восени або навесні та суміщатись із посівом і внесенням добрив або ж виконуватись роздільно (рис. 1.5) Такий обробіток ґрунту активно використовують у південних та центральних областях України для вирощування кукурудза, сої та соняшник (рис. 1.6). Використання даної технології для зернових культур на даний момент перебуває на стадії дослідження [15].



а



б

Рисунок 1.5 Фото секції робочих органів для смугового обробітку (а) та суміщення операції обробітку ґрунту із посівом (б)

Окрім переваг попередніх способів обробітку, смуговий обробіток створює умови для вкладання добрив на різні глибини, які відповідають фазам розвитку кореневої системи, а отже і забезпечує можливість відмови від підживлення рослин у процесі вегетації.



Рисунок 1.6 Фото сходів кукурудзи посіяних у оброблені смуги

Головною перешкодою у впровадженні такого способу обробітку є придбання високоякісного спеціалізованого обладнання, яке за конструкцією суттєво відрізняється від наявних зразків техніки. Також реалізація такого способу вимагає використання навігаційних систем для ведення агрегатів по визначених смугах.

На основі викладеного можна зробити висновок, що обробіток ґрунту плугом спричинює руйнування структури ґрунту, утворення переущільненого підорного шару, пригнічення ґрунтової флори та фауни. Мінімальний обробіток, no-till, смугові технології усувають тією чи іншою мірою недоліки оранки, але для якісного залучення та відновлення ґрунту важливим елементом є глибоке розпушення підорних шарів.

У той же час значна кількість ґрунтів сільськогосподарського призначення використовується дрібними фермерами, одноосібниками, дачниками тощо. Такі власники застосовують, як правило, саме оранку для формування необхідної структури ґрунту. При цьому заходи глибокого розпушення не застосовуються зовсім.

1.2. Аналіз будови робочих органів глибокорозпушувачів

Проблема переуцільнення ґрунтів є надзвичайно актуальною для нашої країни і може бути вирішена лише впровадженням у систему обробітку ґрунту знарядь здатних руйнувати так звану «плужну підшову». Більшість великих агровиробників виявивши валив такого явища на врожайність сільськогосподарських культур прагнуть запровадити до ланки ґрунтообробітку відповідні машини. Сформований таким чином попит задовольняється широкою пропозицією машин для глибокого розпушення ґрунту.

Використання знарядь для глибокого розпушення є не новим як для нашої країни так і за кордоном. Але звичайно сьогодні стало особливо актуальним. Для таких знарядь часто використовують назву чизель-культиватор або просто чизель. З англійської мови термін *chisel* це долото, різець. До загальної характеристики цього знаряддя належить здатність глибокого розпушення ґрунту, який розташовується нижче орного шару але без перевертання шарів. Виконання вказаного завдання виконує основний робочий орган глибокорозпушувача - лапа. Для покращення стану поверхні оброблюваного ґрунту такі знаряддя обладнують дисковими подрібнювачам та котками різних видів тощо [7].

Саме від форми основного робочого органу, тобто лапи, ми отримуємо різний результат у розпушенні ґрунту. Так фірма Grégoire Besson пропонує на ринку України глибокорозпушувач HELIOS із двома типами лап, які забезпечують кардинально різний результат у обробітку на поверхні поля. У першому випадку це рихлення без порушення верхнього шару ґрунту (рис. 1.7, а), а у другому випадку рихлення на всю робочу глибину (рис. 1.7, б)

Для випадку рихлення без порушення верхнього шару виробник пропонує так зване проміжне рихлення на глибину від 25 до 35 см. Завдяки такому рихленню усувається переуцільнення, які виникають при систематичному використанні одного і того ж обладнання на постійну глибину (плужна

підшва). Також причиною такого переущільнення може бути вирощування цукрового буряку із наступним його збиранням за несприятливих погодних умов (рис. 1.8, а). Такий обробіток утворює тріщини в нижніх шарах ґрунту і сприяє оптимальному укоріненню без перемішування шарів ґрунту. Завдяки цьому усі органічні речовини і рослинні залишки лишаються на поверхні і тим самим сприяють збереженню ґрунту. При цьому використовується лапа типу Michel (рис. 1.9, а)



а

б

Рисунок 1.7 Фото результату глибокого обробітку на поверхні поля: а - без порушення верхнього шару ґрунту; б - рихлення на всю робочу глибину

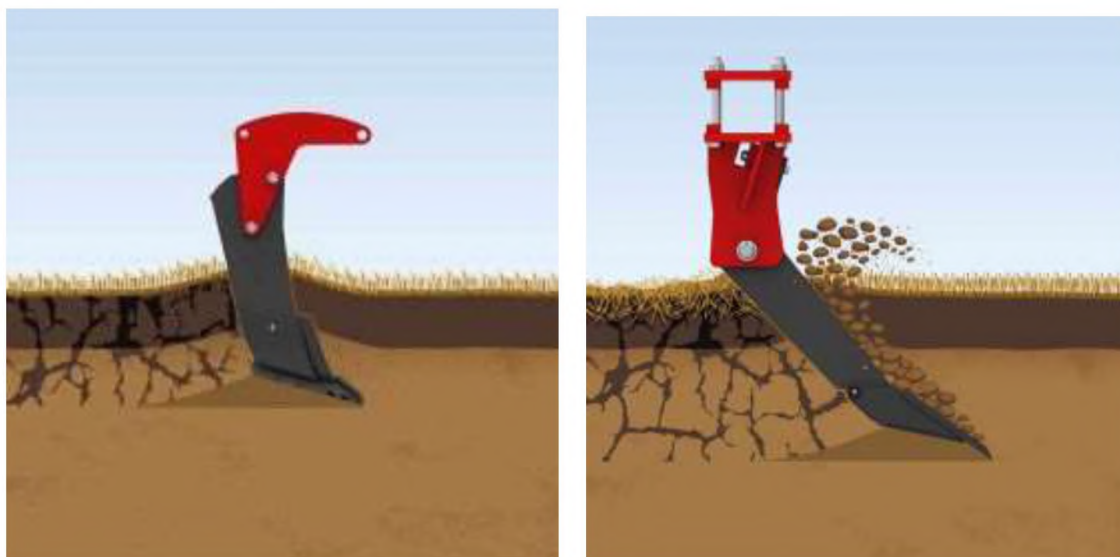


Рисунок 1.8 Схема роботи лапи типу Michel без винесення частинок ґрунту на поверхню (а) та із розпушенням поверхневого шару лапою типу Cracker

Глибоке подрібнення структури ґрунту знаряддя Helios забезпечує розпушення ґрунту на глибину до 60 см. Завдяки цьому усувається ущільнення, що виникає через екстремальні погодні умови, випас худоби тощо. Таке розпушення циркуляцію повітря та води у нижніх шарах та «повертати життя в ґрунт» (рис.1.8, б). ЦУ цьому випадку розпушення на поверхні поля схоже із безвідвальною оранкою. Адже має місце перемішування рослинних залишків з ґрунтом і тим самим прискорюється мінералізація рослинних решток, що як зазначалось раніше сприяє формуванню структури ґрунту. При цьому використовується лапа типу Cracker (рис. 1.9, б)

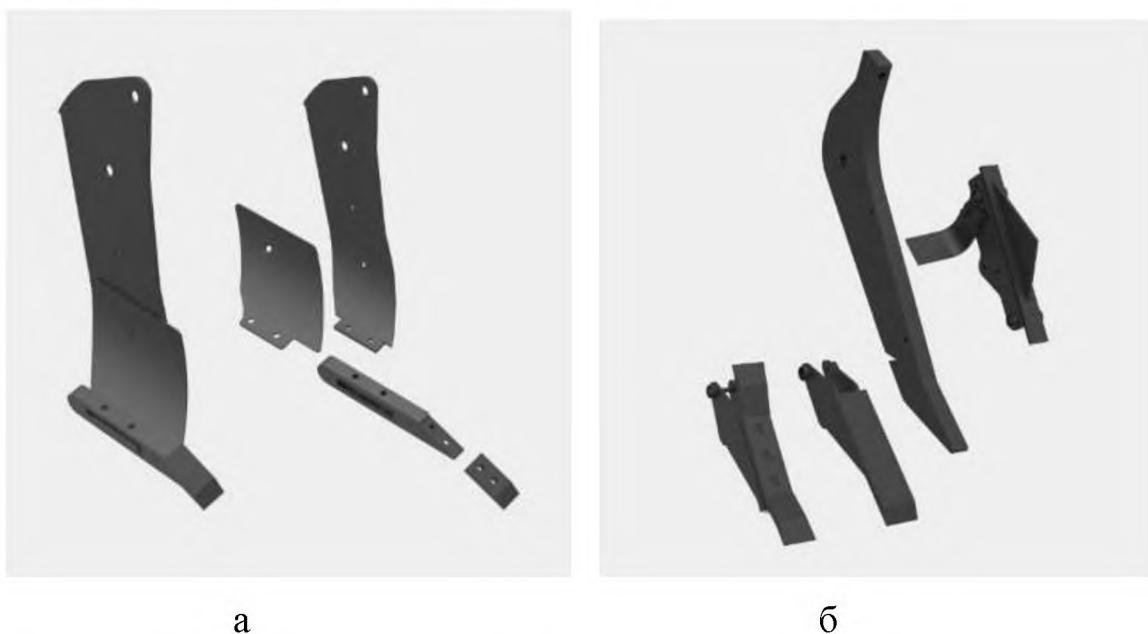


Рисунок 1.9 Будова лапи типу Michel (а) та лапи тиру Cracker (б)

Фірма Vednar також пропонує два типи робочих органів для обладнання глибокорозпушувачів. У випадку використання лапи active-mix із видовженим долотом і бічними крилами (рис. 1.10, а) створюються умови для підрізання та розпушення ґрунту у зоні дії такої лапи. Така лапа, як лапа Cracker від фірми Grégoire Besson руйнує ущільнений підорний шар на глибину до 55-65 см і змішує ґрунт із поживними рештками. У такому випадку суттєво зростає тяговий опір знаряддя та виникає потреба у тракторі більшої потужності.

Обробіток ґрунту на глибину 55-65 см без його перемішування забезпечує лапа zero-mix із тупим кутом входження стійки у ґрунт (рис. 1.10, б). У цій лапі

кут атаки мінімальний але така лапа забезпечує активне розпушення нижніх ущільнених шарів та забезпечує аерацію ґрунту.

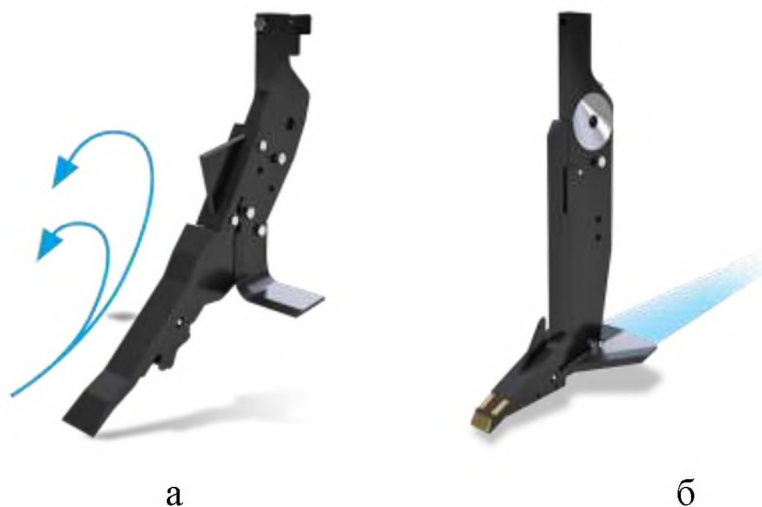


Рисунок 1.10 Типи лап глибокорозпушувачів фірми Bednar:

а – лапа active-mix; б – лапа zero-mix

Фірма GreatPlains пропонує на ринку чизельні культиватори Max-Chisel із параболічним та чизельним робочим органом (рис. 1.11). Згідно технічних характеристик обидва робочі органи призначені для вертикального обробітку ґрунту на глибину від 20 до 32 см. При цьому кріплення лап до рами забезпечує обмеження глибини ходу величиною опору ґрунту, що розпушується. Це здійснюється завдяки встановленню пружинного механізму. Максимальне зусилля за якого спрацьовує запобіжний пристрій та починає виглиблюватись параболічна лапа складає 1111 кГс, а для чизельної – 408 кГс.

Для обробітку переущільнених шарів ґрунту на більших глибинах до 41 см лінійка ґрунтообробної техніки фірми GreatPlains включає лінійний глибокорозпушувач VT1500. Для такого типу машин фірма пропонує так звані прямі робочі органи із шириною 32 мм (рис.1.12, а) або робочі органи нульового циклу шириною 19 мм (рис.1.12, б). Робочий орган нульового циклу менш жорсткий, як стійка з прямими лапами. Тому його рекомендують використовувати там, де бажано менше деформувати ґрунт ґрунт. У стандартній комплектації усіх видів робочих органів передбачено змінні накладки, котрі швидко зношуються.

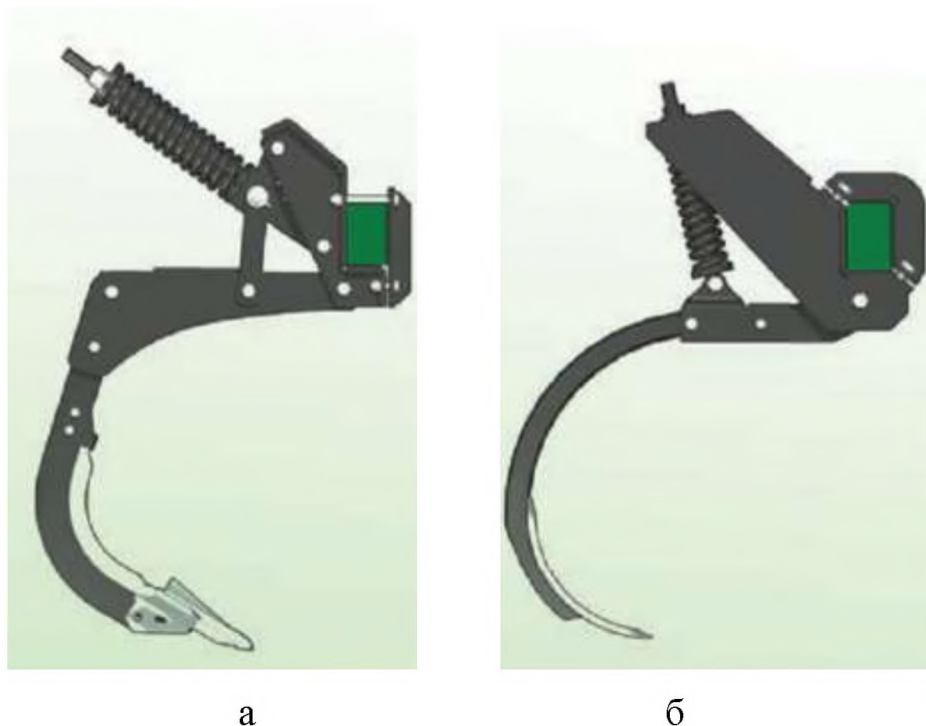


Рисунок 1.11 Робочі органи чизельного культиватора Max-Chisel фірми GreatPlains: а – параболічний; б – чизельний



Рисунок 1.12 Робочі органи глибокорозпушувача VT1500 фірми GreatPlains: а – з прямою лапою 32 мм; б – нульового циклу 19 мм

Виробник пропонує для робочого органу з шириною стійки 32 лапи з шириною 51 або 178 мм (рис. 1.13). Лапи можуть бути замовляти з плавником або без них (плавник мінімізує зрушення поверхневого шару ґрунту).



Рисунок 1.12 Варіанти лап до робочого органу: а - з шириною стійки 32 мм;
б - стійка нульового циклу шириною 19 мм

Стойка робочий орган із стійкою нульового циклу шириною 19 мм комплектується 254-міліметровими лапами для відділі між робочими органами 76 см і більше, або із 102 – міліметровими лапами для відділі між робочими органами 61 см. Робочий орган нульового циклу мінімізують розпушення поверхні ґрунту але максимально подрібнюють структуру ґрунту під поверхнею (рис. 1.12, б).

Аналогічний підхід до комплектування робочими органами глибокорозпушувачів має фірма Wil-Rich, яка входить до групи компаній Väderstad. Так передбачено параболічний робочий орган, який максимально розпушує поверхневий шар та робочий орган для мінімального зміщення ґрунту (рис. 1.13).

Три основних типи робочих органів пропонує у складі своїх глибокорозпушувачів. Для перших проходів ні полях із переущільненим шаром ґрунту пропонується машини модельного ряду RIGEL із долотоподібним робочими органами (рис.1.14) .

Долотоподібні параболічні лапи обладнані крилами встановлені на глибокорозпушувачах модельного ряду SIRIUS (рис. 1.15). Такі лапи за інформацією виробника забезпечують покращене подрібнення ґрунту.



Рисунок 1.13 Робочі органи глибокорозпушувачів фірми Wil-Rich: а – мінімальне зміщення ґрунту, б – параболічний



Рисунок 1.14 Глибокорозпушувач-щільювач фірми Јутра



Рисунок 1.15 Глибокорозпушувач Bravo Till

Для використання у система органічного землеробства фірма пропонує модельний ряд глибокорозпушувачів MINTAKA із робочими органами у вигляді криловидних полиць (рис. 1.16).



Рисунок 1.16 Плуг розрихлювач MINTAKA

Проведений аналіз виявив широку гаму конструкцій робочих органів у знаряддях для глибокого розпушення ґрунту та руйнування переущільнених шарів. Проте за основним конструктивним ознаками та виконуваними функціями їх можна об'єднати у 3 групи. До першої можна віднести лари типу zero-till, яка не виносить на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігає непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органи, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми. При цьому винесення розпушеного ґрунту на поверхню не відбувається. Також варто звернути увагу на спосіб кріплення до рами через пружинний запобіжний пристрій у чизельних культиваторах Max-Chisel фірми GreatPlains. Такі

запобіжні пристрої створюють передумови для заглиблення робочих органів у автоматичному режимі на глибину залягання саме ущільненого шару.

Проте аналіз технічних характеристик наведених машин вказує, що для їх використання потрібні трактори із потужністю двигуна від 40 кВт (найменший показник у ANTARES-1 фірми Юпра). Пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна 20-25 кВт) відсутня. Це не реалізувати розпушення підорних переущільнених шарів на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Загальновідомим є те що такі ділянки обробляються на глибину у межах 15-20 см, а нижчі шари ущільнені до 30 і більше кг/см².

Лише науковці Полтавської державної аграрної академії запропонували конструкцію ножа глибокорозпушувача для мотоблоку потужністю 4,41 кВт (рис. 1.17) [18].



Рисунок 1.17 - Фото Мотоблоку ZIRKA IZ 105 із глибокорозпушуючим ножом

Також на основі досліджень впливу на твердість ґрунту способів обробітку науковцями ЛНТУ запропоновано схему модернізації просапного культиватора у чизельний культиватор для розпушення шарів ґрунту на глибину до 30 см. У

той же час в складі знаряддя передбачається використанні стандартного робочого органу культиватора [26].

Таким чином слід зазначити, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га у межах глибин 20-50 см. Для цього потрібне знаряддя здатне якісно розпушити ґрунт на глибині 20-30 см, а для його використання достатньо було б трактора із потужністю межах 20-25 кВт та тяговим зусиллям у межах 5-6 кН.

1.3. Огляд досліджень впливу твердості ґрунту на продуктивність рослин

Наявність значних площ родючих ґрунтів в Україні сприяла тому, що наша держава в останнє десятиріччя впевнено зайняла лідируючі позиції серед експортерів сільськогосподарської продукції зернової групи. Криза із надходженням зерна з України спричинена агресією РФ стала результатом голоду цілих народів в Африці. У той же час гонитва агровиробників за надприбутками призводить до гіперактивних процесів деградації ґрунтів [9]. Державним стандартом України 7874: 2015 визначено, що «деградація - це природні й антропогенні процеси погіршення природних властивостей та режимів ґрунтів, які спричиняють стійкі негативні зміни їхніх функцій, знижують стійкість і зменшують родючість» [10]. Даним нормативним документом основою фізичного типу деградації ґрунтів визначено погіршення фізичних властивостей ґрунту.

І саме твердість ґрунту, за твердженнями вчених, може виступати інтегральним показником фізичних властивостей ґрунту. Адже через цей показник ми можемо оцінити перш за все стан структури ґрунту та його щільність за визначених показників вологості та механічного складу [13].

Дослідженнями виявлено, що 39 % площ ріллі перебувають у переущільненому стані [12]. Але такі дослідження не враховують картини яка

склалась на невеликих присадибних ділянках, огородах тощо. Хоча причина переущільнення ґрунтів тут має дещо іншу природу, але її вплив на деградацію ґрунту аналогічний. Тому важливою складовою у стабілізації процесів поширення деградації є перш за все встановлення меж площ із ґрунтами, твердість яких виходить за допустимі межі.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що перш за все підвищена твердість ґрунту впливає на розвиток кореневої системи, саме на швидкість її проникнення у нижні шари ґрунту (рис. 1.12). Дана схема ілюструє, що значне пришвидшення розвитку кореневої системи відбувається у межах 30 днів відбувається за умов глибокого розпушення ґрунту [17].

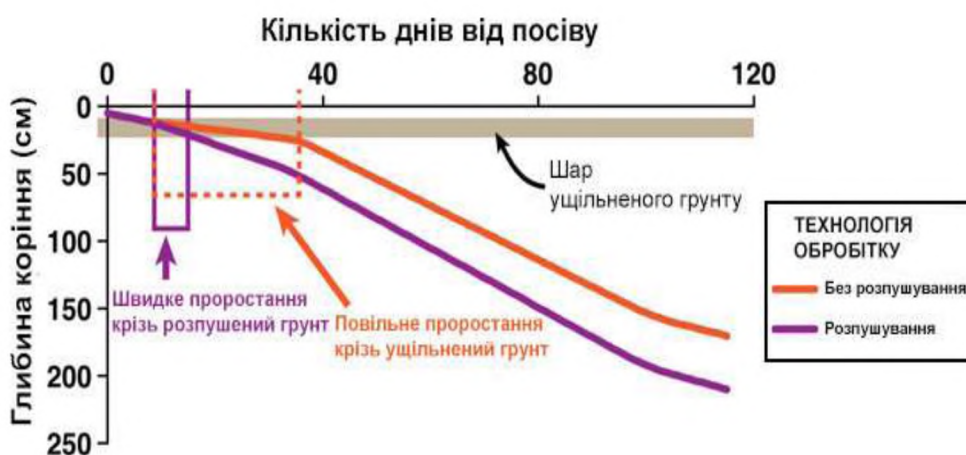


Рисунок 1.18 – Залежність розвитку кореневої системи для різних умов обробки ґрунту

Фірма Јутра створила візуальні моделі розвитку кореневої системи рослин для різних типів робочих органів (рис. 1.19)

Провідним науковцем України, який найбільше уваги у своїх працях приділяє проблемі ущільнення ґрунтів та впливу цього явища на ріст рослин є академік Медведєв В.В. [2, 10, 11, 12]. За результатами досліджень академіка можна стверджувати, що твердість до 20-25 кгс/см² розглядається як допустима, а твердість ґрунту понад 35-40 кгс/см² перешкоджає росту та розвитку коріння культурних рослин [13].

Впливу плужної підшви на розвиток кореневої системи сої досліджено у праці [19]. Автор графічно ілюструє на основі фото кореневої системи, що плужна підшва блокує проникнення коріння рослин сої у нижні шари. Автор наводить числові значення згідно із якими до 80% коренів рослини сої розташовуються у шарі ґрунту товщиною 5-10 см і лише 20% проникає у нижні шари. А також вказує що у такому випадку формується мичкувата коренева система рослин.

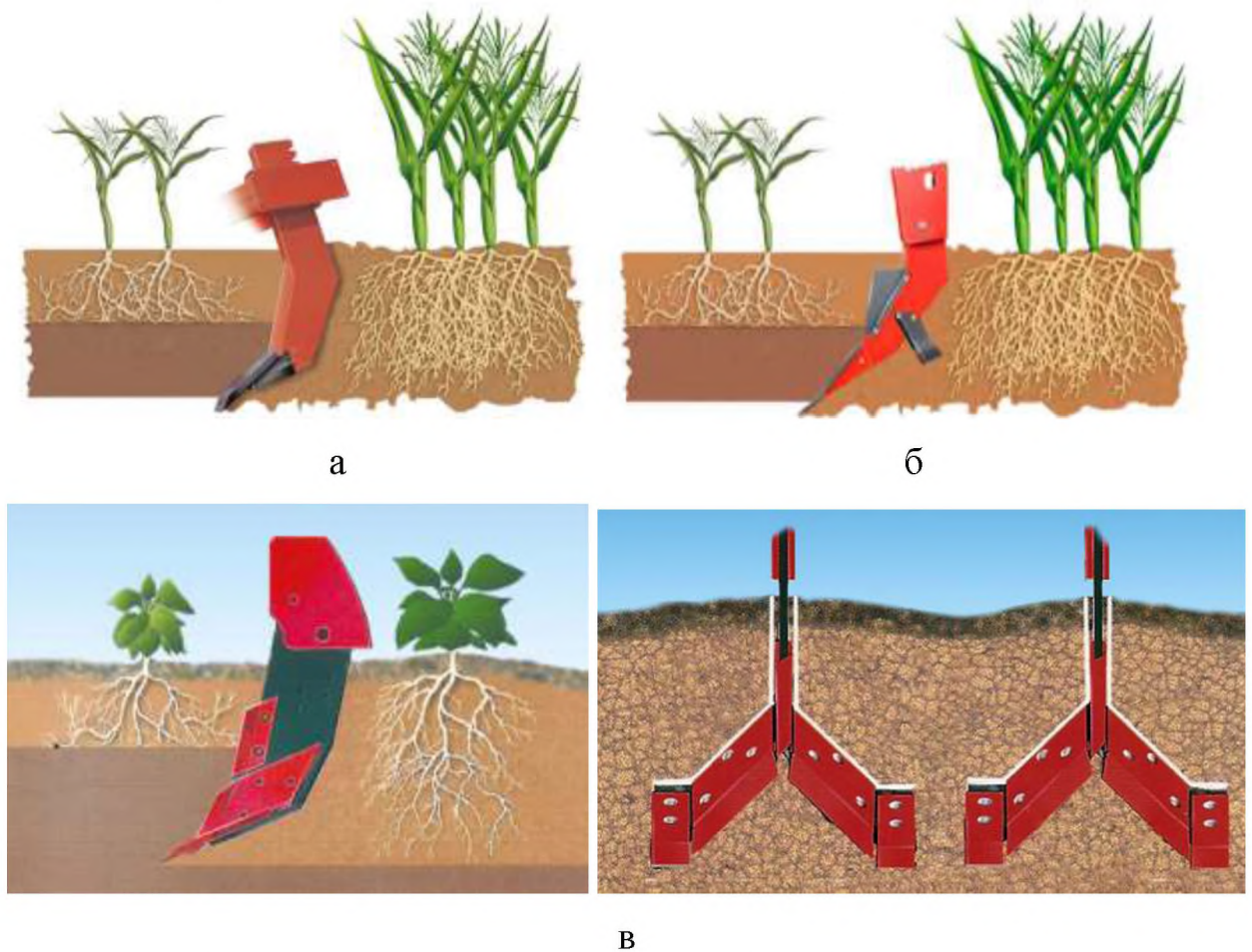


Рисунок 1.19 Модель фірми Јупра впливу глибокого розпушення на ріст кукурудзи для: а -параболічного робочого органу; б – параболічного робочого органу із крилами; в – робочого органу у вигляді криловидних полиць

У праці [26] наведено результати дослідження впливу способів обробітку на щільність ґрунту та описана методика дослідження твердості із чіткою прив'язкою до координат. У дослідженні також встановлено, що на ділянках, які тривалий час не обробляються має місце стабілізація твердості ґрунту.

Оранка цих ділянок на глибину 18-20 см із наступною культивуацією на глибину 10-12 см навпаки ущільнює підорний шар. Також встановлено, що на зростання твердості впливають значні опади у вигляді дощу.

Аналіз наведених досліджень вказує на надзвичайну важливість переущільнення як фізичного фактору деградації ґрунті. Також виявлено чіткий вплив переущільнення на розвиток кореневої системи рослин. Встановлено, що усунути таке явище можна лише спеціалізованими знаряддями, які слід комплектувати робочими органами, які відповідають ґрунтовим умовам та результату який ми хочемо отримати.

1.4. Постановка проблеми, мета та завдання дослідження

Здійснений аналіз способів обробітку ґрунту та досліджень у галузі впливу твердості ґрунту на ріст та розвиток сільськогосподарських культур виявив важливість переущільнення як фізичного фактору деградації ґрунті. До визначальних впливів переущільнення ґрунту є втрата ним структурних агрегатів. Основним проявом такого явища є утворення підорного шару різної товщини, який отримав назву «плужної подошви».

Розпушення ущільненого шару здійснюють залежно від глибини його залягання або чизельними культиваторами або глибокорозпушувачами. Аналіз конструкції робочих органів глибокорозпушувачів виявив, що їх можна об'єднати у 3 групи. До першої можна віднести лари типу zero-mix, яка не виносить на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігає непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органами, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми. При цьому винесення розпушеного ґрунту на поверхню не відбувається.

Аналіз технічних характеристик глибокорозпушувачів вказує, що для їх використання потрібні трактори із потужністю двигуна від 40 кВт (найменший

показник у ANTARES-1 фірми Јупра). Пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна 20-25 кВт) відсутня. Що не дозволяє реалізувати розпушення підорних переуцільнених шарів на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га.

Таким чином встановлено, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Для цього потрібне знаряддя здатне якісно розпушити ґрунт на глибині 20-30 см, а для його використання достатньо було б трактора із потужністю межах 20-25 кВт та тяговим зусиллям у межах 5-6 кН.

Мета досліджень полягала у теоретичному обґрунтуванні параметрів робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару ґрунту та встановленні експериментальної залежності тягового опору такого знаряддя від глибини обробітку та стану ґрунту. Об'єкт досліджень – процес взаємодії робочого органу глибокорозпушувача із ґрунтом. Предмет досліджень – залежності тягового опору глибокорозпушувача від глибини обробітку та стану ґрунту.

Відповідно до поставленої мети визначена наступна програма теоретично-експериментальних досліджень, відповідно до якої необхідно:

- 1) Теоретично обґрунтувати форму та конструктивні параметри робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару;
- 2) Теоретично обґрунтувати тяговий опір знаряддя для глибокого розпушення ґрунту із розробленим робочим органом.
- 3) Провести дослідження закономірності зміни тягового опору розробленого робочого органу знаряддя для глибокого розпушення ґрунту від глибини обробітку і вологості ґрунту з використання математичного методу планування експерименту.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРґАНУ
КУЛЬТИВАТОРА-ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА

2.2. Обґрунтування конструкції культиватора-глибокорозпушувача

Проведений у попередньому розділі аналіз літературних джерел виявив потребу у розробці знаряддя з розпушення переущільненого підорного шару для потреб індивідуальних селянських та невеликих фермерських господарств. При цьому для роботи яких достатньо у якості трактора може використовуватись машина із потужністю двигуна 20-25 кВт. Таким знаряддям може бути культиватор для суцільного обробітку модернізований за схемою наведеною у праці [26]. Проте для якісного здійснення розпушення ґрунту, а також створення передумов до використання даного знаряддя для основного обробітку ґрунту слід провести удосконалення наявного робочого орґану культиватора.

Так відомий начіпний культиватор комплектується стрілочними лапами із стандартною стійкою (рис. 2.1).

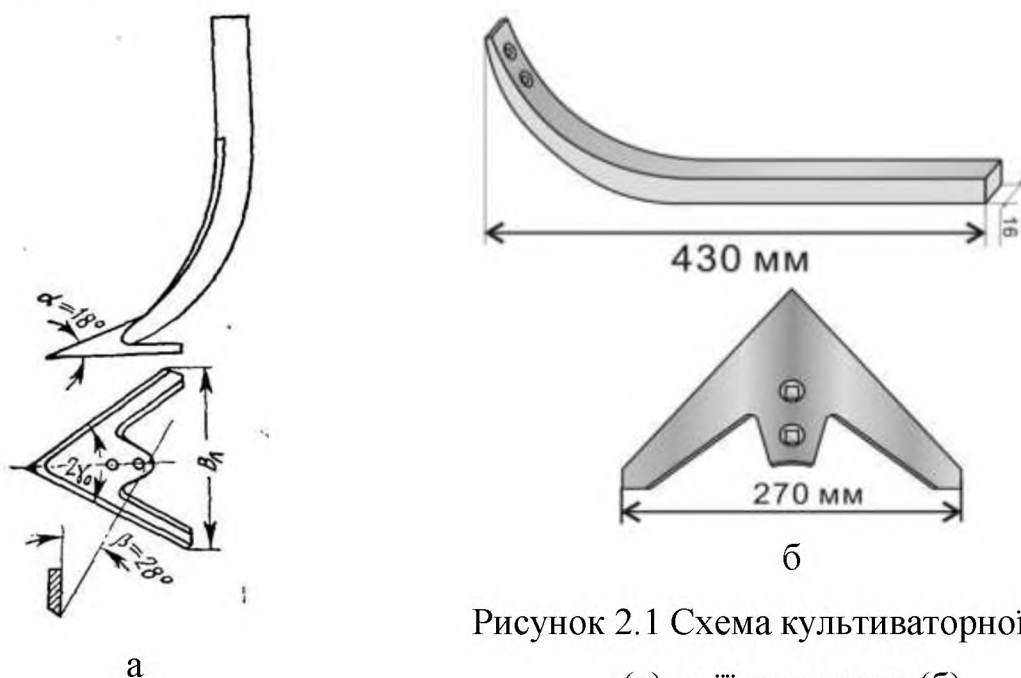


Рисунок 2.1 Схема культиваторної лапи
(а) та її складових (б)

Наведений робочий орган у випадку його використання у першому ряду лап, згідно схеми розташування, буде цілком задовільно розпушувати поверхневий шар ґрунт та зменшуватиме опір для наступних ряду. Проте уже для другого ряду лап, який працює на глибині 20 см з'явиться негативний вплив від лобового опору стійки, яка має ширину у фронтальній площині 16 мм. Те ж стосується але ще більшою мірою лап третього ряду. Адже їх глибина ходу складає 30 см. Тому для зменшення лобового опору стійки доцільно обладнати її ріжучим ножом за аналогією із плавником лапи робочого глибокорозпушувача VT1500 фірми GreatPlains (див. рис. 1.13). Також з метою створення передумов до використання знаряддя для основного обробітку доцільно використати підхід фірми Јумра, який реалізований у плугах розрихлювачх MINTAKA. Тобто обладнати робочий орган полицею для покращення розпушування підорного шару без винесення частинок ґрунту на поверхню.

Таким чином лапи першого ряду розпушуватимуть поверхневий шар та зменшуватимуть опір руйнування шару ґрунту для лап другого та третього ряду. Лапи другого ряду розпушуватимуть шар ґрунту у мах глибин 10-20 см, створюючи умови для росту та розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур інтенсивно перемішуючи шари ґрунту без їх винесення на поверхню. Аналогічною буде дія і третього ряду лап, які окрім наведеного будуть руйнувати підорну підшву. Поєднання конструкції циліндроїдальної полиці із ріжучим плавником дасть окрім цього можливість зменшення тягового опору знаряддя загалом. У пропонованому варіанті комплектації культиватора його ширина захвату складатиме **1200** мм, що узгоджується із шириною колії тракторів із потужністю двигуна до **25** кВт.

Запропонований принцип модернізації культиватора дає можливість по суті отримати чизельний культиватор глибокорозпушувач. Його ширина захвату та можливість агрегатування із мінітракторами забезпечує необхідну маневреність для виконання робіт на невеликих земельних ділянках типу огорідів. Таким чином буде створено передумови до вирішення проблеми

деградації цієї групи земельних угідь через переуцільнення. Також, дане знаряддя слід обладнувати котком із ріжучими шипами або у спрощеній версії з навісними зубовими боронами.

2.2. Побудова поперечно-вертикальної (лобової) проекції робочої поверхні полиці робочого органу культиватора

Побудову розпочинаємо із визначення зон на листі креслення. Проводимо вертикальну та горизонтальну осі, якими розділяємо аркуш на чотири приблизно рівні зони.

У верхній лівій зоні аркуша будуємо переріз шару ABCD із параметрами a і b (a – висота шару і b – ширина шару ґрунту, що деформується полицею). Зважаючи на те, що кожен ряд лап забезпечує розпушення ґрунту на глибину 100 мм то приймемо $b=100$ мм, а ширину $b=50$ мм.

Далі викреслюємо умовну схема переміщення шару ґрунту під дією полиці, припускаючи, що шар обертається відносно ребра D до тих пір поки ребро B_1 не займе положення на рівні площини СВ.

Далі наносимо контури робочої поверхні полиці. Для цього паралельно ребру A_1B_1 проводимо на віддалі 20 мм паралельну пряму до перетину із ребром ДА. Точку перетину з'єднуємо із точкою А та отримуємо нижню межу фронтальної проекції полиці. Потім на продовженні ребра АВ відкладаємо віддаль рівну

$$\sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,10^2} = 0,112 \text{ мм}$$

Та наносимо точку К. Вгору від точки К відкладаємо віддаль 15 мм для забезпечення гарантованого перекриття руху шару ґрунту, та проводимо горизонтальну лінію. Відрізок що включає ребро АВ та його продовження до отриманої горизонтальної прямої буде польовим обрізом полиці.

Для побудови верхнього обрізу полиці продовжуємо ребро C_1B_1 до перетину із прямою яка проходить через верхню точку польового обрізу.

Отриману точку перетину з'єднуємо із верхньою точкою польового обрізу. Таким чином отримуємо відрізок що обмежує полицю зверху. Далі із крайньої лівої точки отриманого відрізка опускаємо перпендикуляр на продовження ребра ВС. Даний відрізок утворює крило полиці. Точку перетину даного відрізка із продовженням ребра ВС з'єднуємо із крайньою лівою точкою нижнього обрізу полиці. Таким чином на основі геометричних характеристик деформованого полицею шару ґрунту ми отримуємо контур фронтальної проєкції.

Оскільки розроблювана нами робоча поверхня полиці належить до циліндроїдальних то за направляючу криву для твірних поверхні обираємо дугу кола. Також за основу робочої поверхні візьмемо культурну робочу поверхню полиці корпуса плуга. Для такої поверхні направляюча пряма розташована у перпендикулярній до нижнього обрізу полиці площині перерізу. Площина проходить через 2/3 ширини шару ґрунту, що деформується.

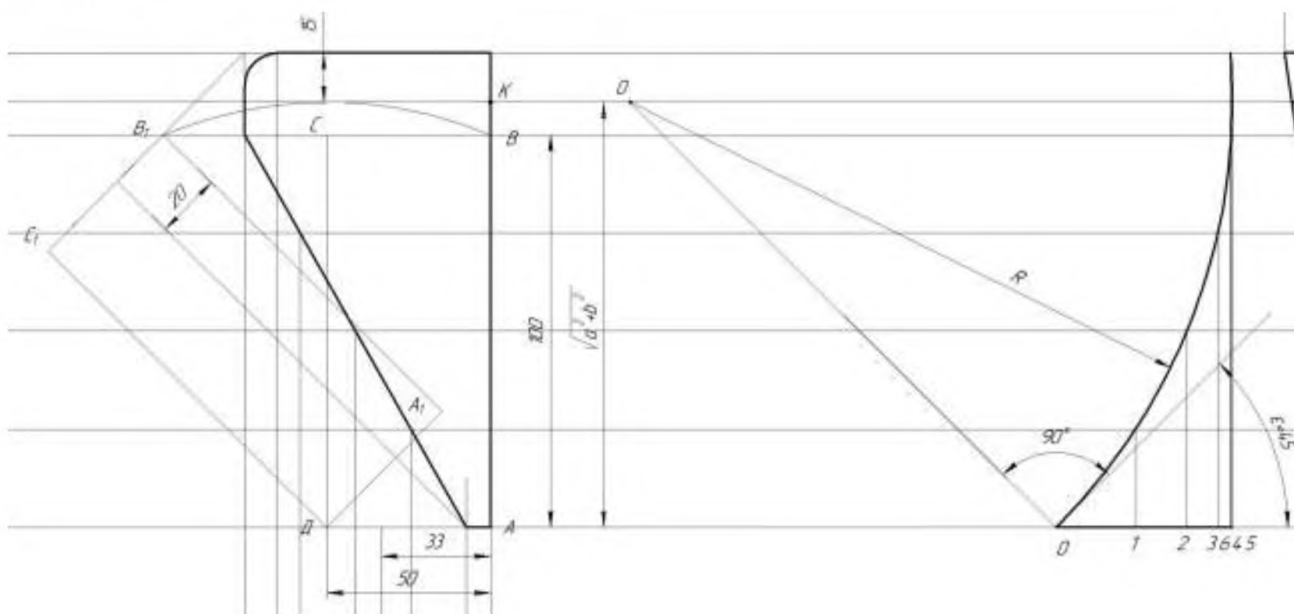


Рисунок 2.2 Побудова фронтальної проєкції полиці

Напряму криву будуюмо справа від фронтальної проєкції. Центр дуги розташовується на висоті діагоналі шару ($\sqrt{a^2 + b^2}$) від ребра АД. Для побудови направляючої дуги вибираємо на лінії, яка є продовженням ребра

Ад точки і з неї проводимо промінь під деяким кутом ε до дна борозни. Кут ε це деякий середній кут рід яким розташована нижня частина полиці до дна борозни. У плугах розрихлювачах МІНТАКА фірми Лупра цей кут постійний і складає близько 45° . Тому ми приймаємо $\varepsilon = 45^{\circ}$. Потім проводимо перпендикуляр з початкової точки до отриманого променя та проводимо його до перетину з горизонталлю, яка проведена на зазначеній раніше висоті $\sqrt{a^2 + b^2}$. Отримана точка перетину буде центом О напямної кривої. Радіусом R описується дуга кола з центром у точці О.

2.3. Побудова проєкції твірної робочої поверхні полиці у вертикальній та горизонтальній площинах

Викреслювання положень твірної у горизонтальній площині проєкцій проводимо шляхом проведення горизонтальних прямих через верхній та нижній обріз. Це положення 0 та 6. Положення 5 проводимо через точку К, а 4 через ребро ВС. Положення 1-3 визначаємо шляхом ділення віддалі між положеннями 0 та 4 на чотири рівних частини. Проєкції твірної продовжуються до краю листа позначаються цифрами 0-0; 1-1; 2-2; ...6-6.

Для однозначного визначення положення прямої на площині потрібно знати або положення двох точок через які проходить пряма або однієї точки та кут під яким пряма проходить через ці точки. Для побудови проєкцій положення твірної в горизонтальній площині будемо використовувати другий випадок. Для цього потрібно встановити закономірність зміни кута зсуву γ тобто кута твірних із стінкою борозни. Цей закон графічно відображають у вигляді діаграмі тангенсів. Дану діаграму будемо на продовжених положеннях проєкцій твірних. Вихідними даними для цієї діаграми є значення для нульового положення та для шостого положення. На основі аналізу конструкції аналогічних машин та конкретних умов роботи розроблюваного знаряддя приймемо такі значення $\gamma_0 = 10^{\circ}$ та $\gamma_6 = 20^{\circ}$. Для побудови діаграми

приймемо прямолінійний закон зміни кута а також масштаб побудови $\text{tg}45^\circ = 100$ мм. Тому для нашого випадку довжина відрізків складе:

$$\text{tg}\gamma_0 = \text{tg}20^\circ \Rightarrow 36 \text{ мм};$$

$$\text{tg}\gamma_6 = \text{tg}30^\circ \Rightarrow 58 \text{ мм}.$$

З'єднавши точки відрізка для $\text{tg}\gamma_0$ та $\text{tg}\gamma_6$ отримуємо діаграму тангенсів. По кожному положенні твірної похилий відрізок відсікає горизонтальні відрізки певної довжини. Вимірявши довжину цих відрізків та скориставшись введеним масштабним коефіцієнтом ми отримали:

$$\gamma_1 = \text{arctg}0,405 = 22^\circ;$$

$$\gamma_2 = \text{arctg}0,451 = 24^\circ;$$

$$\gamma_3 = \text{arctg}0,497 = 26^\circ$$

$$\gamma_4 = \text{arctg}0,542 = 28^\circ$$

$$\gamma_5 = \text{arctg}0,557 = 29^\circ$$

Побудова горизонтальних проекцій твірної починається з нульового. У нижньому краєві листа креслення на подовженні лінії польового обрізу полиці намічаємо точку та через неї проводимо під кутом γ_0 до вертикалі нульове положення твірної. На цю твірну проектується з вертикальної площини проекцій кінець нижнього обрізу полиці. Завдяки цьому отримуємо у горизонтальній площині проекцію цього обрізу полиці.

Далі у вертикальній площині проекцій шукаємо точки перетину усіх положень твірної із направляючою дугою та зносимо на нульову твірну. Одна з них знаходиться за допомогою вертикальної площини проекцій. Отримані точки є відповідними горизонтальними проекціями твірних. Позначаємо їх відповідно 0,1,2,3,4,5,6.

Оскільки ми визначили, що ортогональна площина в якій знаходиться направляюча дуга проходить через 2/3 ширини деформованого шару ґрунту, то у фронтальній площині проекцій відкладаємо по нижньому обрізу віддаль у 33 мм та отриману точку зносимо на нульове положення твірної у

горизонтальній площині проєкцій. Далі проводимо перпендикуляр до даної твірної через отриману точку і на неї з фронтальної площини проєкції переносимо точки 0,1,2,3,4,5,6, які є проєкціями точок перетину твірних із напрямною напрямною кривої на лінію 0-0. Для цього проводимо виміри щораз від точки 0 (0-1. 0-2. 0-3. 0-4 і т.д.).

Через кожну отриману точку проводиться пряма під кутом з однойменним індексом, який отриманий із діаграми тангенсів. У горизонтальній проєкції направляючої дуги точки 4, 5, 6, розміщуються близько утворюючи густу сітку. Тому кожну проєкцію твірної позначаємо відповідним номером та використовуємо різні типи ліній.

2.4. Побудова горизонтальної та бічної проєкції робочої поверхні

Побудову полиці у горизонтальній площині проєкцій розпочинали з верхнього обрізу. Точку 6 перетику прямого відрізка польового обрізу з кривою верхнього обрізу переносимо з однойменної твірної у фронтальній площині проєкцій..

Потім з фронтальної площини зносимо точки перетину твірних 5, 4, 3, 2, та 1 із обрізом полиці на однойменні твірні у горизонтальній площині проєкцій. З'єднавши отримані точки у черговості 5, 4, 3, 2, 1, 0 плавною кривою, отримуємо горизонтальна проєкція робочої поверхні полиці. Проєкція польового зрізу відображається у вигляді вертикальної лінії.

Бокову проєкцію розміщуємо праворуч від горизонтальної проєкції полиці. Далі будуємо сітку твірних шляхом копіювання її з фронтальної площини проєкцій та повертання на 90^0 . Далі знову ж точки перетину твірних у горизонтальній площині проєкцій із обрізом робочої поверхні зносимо горизонтальними відрізками на однойменні твіні побудованої сітки. Опісля з'єднуємо точки у черговості 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0. По твірній 0-0 проводимо відрізок. Також відрізком з'єднуємо і точки на твірних 0 та 6. Хоча між цими точками ще є точки 1, 2, 3, 4, 5, які не належать відріzkу. Такий підхід

потрібний для отримання прямолінійного леза, яке буде зменшувати тяговий опір стійки робочого органу.

2.5. Побудова кривих ортогональних перерізів

Переріз робочої поверхні ортогональними (перпендикулярним до фронтальної площини проведеної через нижні обрізи полиці) площинами I, II, III, IV здійснюємо з метою отримання кривини робочої поверхні у цих перерізах. Отримані криві прийнято називати кривими ортогональних перерізів або шаблонними кривими. Адже саме за цими кривими можна виготовити шаблони для експериментального виготовлення робочої поверхні та наступного виготовлення штампа.

Площини ортогональних перерізів наносимо на горизонтальній площині проєкцій у вигляді прямих відрізків перпендикулярних до фронтальної площини F-F.

Криві ортогональних перерізів викреслюємо на сітці положень твірної у фронтальній площині проєкцій, яку нанесено у нижньому лівому куті креслення. На даній сітці також наносимо чотири вертикальні лінії, на відстані одна відносно одної 20 мм. Відносно кожної із цих вертикальних ліній будуємо відповідне січення.

Для побудови кривої виміряємо віддаль від точки перетину сліду січної площини I із слідом фронтальної площини F-F до точки перетину сліду січної площини I із положенням твірної 0 у горизонтальній площині проєкцій. Отриману віддаль відкладаємо на побудованій сітці від вертикальної лінії I вздовж положення твірної 0 та позначаємо точку. Далі виміряємо віддаль від точки перетину сліду січної площини I із слідом фронтальної площини F-F до точки перетину сліду січної площини I із положенням твірної 1 у горизонтальній площині проєкцій. Отриману віддаль відкладаємо на сітці від вертикальної лінії I вздовж положення твірної 1 та позначаємо точку. Аналогічно визначаємо та наносимо точку на 2 твірній. Оскільки далі січна

площина виходить за межі робочої поверхні то переходимо до побудови другої кривої. Побудову здійснюємо за аналогічним принципом лише з тією різницею, що відкладання відділей здійснюємо від вертикального відрізка I та для усіх твірних. Там де крива виходить за межі робочої поверхні вона зображена на кресленні штриховою лінією.

2.6. Побудова розгортки (заготовки) полиці

Побудова розгортки робочої поверхні здійснена нами для вирізання по ній заготовки полиці. Оскільки відомо, що циліндроїдальна поверхня не може бути розгорнута на площину без спотворення то отримана на кресленні заготовка є наближена, але у процесі гарячого деформування за шаблонами набуває необхідної кривини.

У правій частині побудови проводимо відрізок i у нижній його частині позначаємо точку, яка відображає передній кінець нижнього обрізу полиці. Далі виміряємо довжину нижнього обрізу у горизонтальній площині проєкцій та відкладаємо від вказаної точки. Далі вздовж нульового положення твірної у горизонтальній площині проєкцій виміряємо віддаль від передньої крайньої точки нижнього обрізу до точки перетину сліду січної площини II із цим же положенням твірної. Отриману віддаль відкладаємо на побудові розгортки від нижньої точки вгору по проведеному відрізку. Аналогічно виміряли віддаль для сліду січної площини IV та відклали на побудові розгортки. Через отримані точки провели перпендикуляри вправо від вертикальної прямої і на них здійснювали розгортання кривих ортогональних перерізів площинами відповідно II та IV. Для цього виміряли віддаль вздовж кривої перерізу II від точок її перетину із нульовим та положенням 1 твірної. Отриману віддаль відклали вздовж перпендикуляру II від точки його перетину із вертикальною прямою вправо. Отриману точку позначили цифрою 1. Далі знову виміряли віддаль

вздовж кривої II але між точками її перетину із положенням твірної 1 та 2. Отриману відділь відкладали на побудові розгортки від точки 1 вправо та отримували точку 2. Аналогічно здійснювали побудову точок 3, 4, 5, та 6. Далі переходили до кривої ортогонального перерізу IV та аналогічно її розгортали на перпендикуляр IV Отримані у результаті такої побудови однойменні точки на перпендикулярі II та IV з'єднували відрізками.

На отримані відрізки наносимо віддалі від точок перетину січних площині із положеннями твірної у горизонтальній площині проєкцій до точок перетину цих положень твірної із обрізами полиці. Отримані точки з'єднуємо плавними кривими, які утворюють контур розгортки яка нами була використана для виготовлення заготовки листа металу полиці.

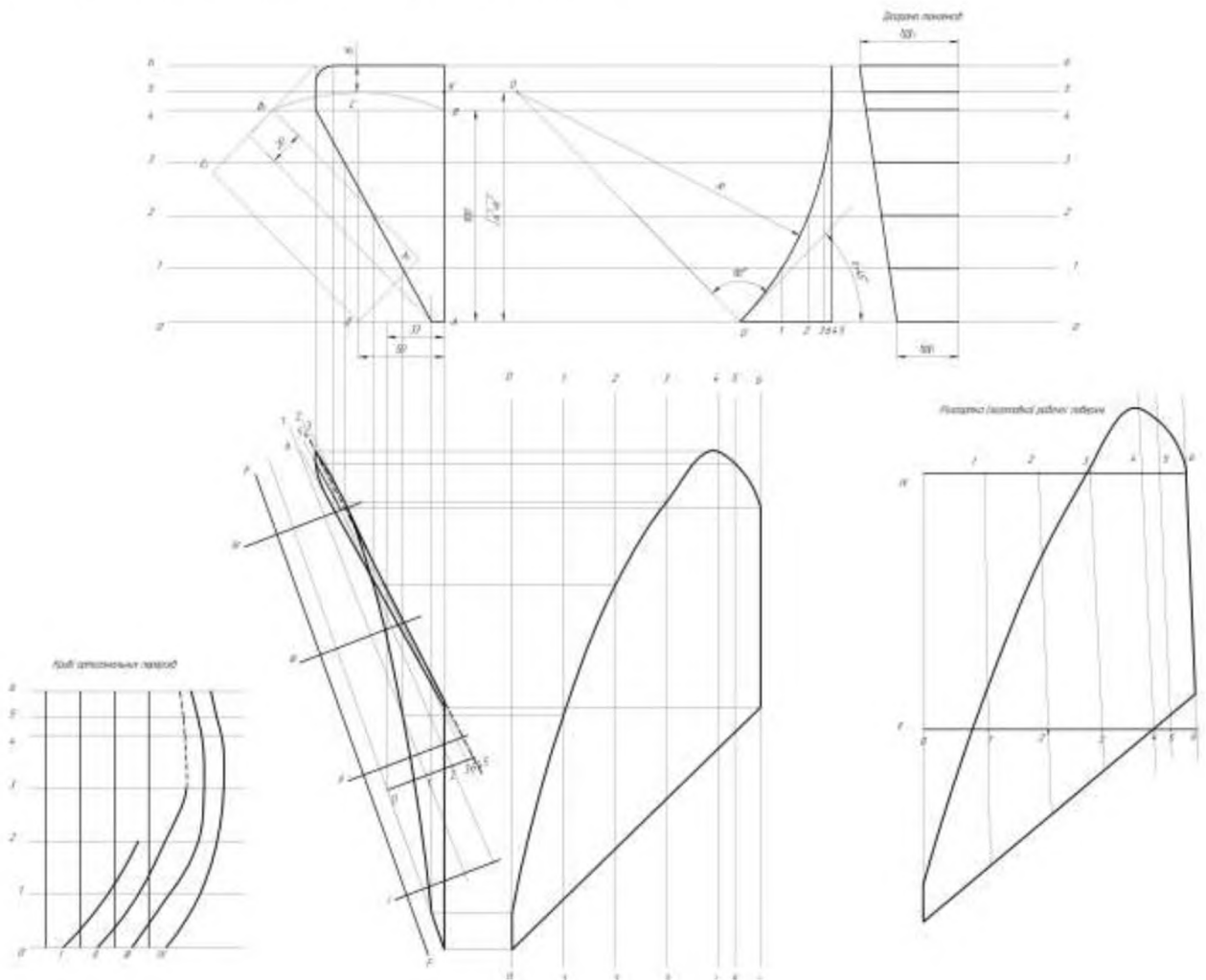


Рисунок 2.3 Результати побудови проєкцій полиці та заготовки для її виготовлення

2.7. Обґрунтування складу агрегату за затратами потужності

Потужність, яка необхідна для роботи ґрунтообробного знаряддя загалом та культиватора зокрема можна визначити за відомою формулою

$$N = P \times V, \quad (2.1)$$

де P - зусилля для переміщення об'єкту, кВт;

V - швидкість з якою рухається об'єкт під дією сили P , м/с.

Для нашого випадку, коли розглядаємо роботу культиватора $P = R_k$, де R_k - тяговий опір культиватора, а $V = V_m$ рівна швидкості машино-тракторного агрегату під час виконання культивуації.

Тяговий опір культиватора, як ґрунтообробного знаряддя визначимо за формулою

$$R_k = K_M B_P + G_M \sin \alpha, \quad (2.2)$$

де K_M - питомий опір, що припадає на одиницю ширини захвату сільськогосподарського знаряддя за визначеної швидкості руху агрегату V_m , Н/м;

G_M - вага знаряддя, у розглядуваному випадку це культиватор, Н;

α - максимальний ухил поверхні поля на якому доцільно використовувати культиватор у випадку його руху вгору, для проектних розрахунків приймемо $\alpha = 20^\circ$.

Для визначення питомого опору культиватора за швидкості його руху V_m скористаємося формулою

$$K_M = K_0 \times 1 + \Pi \times (V_m - V_0) \quad (2.3)$$

де K_0 - експериментально встановлений питомий опір даного типу машини у випадку виконання робіт на швидкості $V_0 = 5$ км/год, Н/м;

Π - коефіцієнт, який дає можливість врахувати приріст опору від збільшення на 1 км/год реальної швидкості V_m від значення $V_0 = 5$ км/год.

У довідковій літературі [21] у додатку 9 знаходимо, що для культиваторів суцільного обробітку $K_0 = 1200...2100$ Н/м, а із додатку 10 цього ж джерела маємо для операції культивації коефіцієнт $\Pi = 0,03...0,04$.

Оскільки аналіз конструкцій машин аналогів показує, що маса таких культиваторів складає у межах **200** кг то вага машини становитиме $G_M = 200 \times 9,81 = 1962$ Н, як для випадку використання культиватора для поверхневого обробітку так і для випадку глибокого розпушення

З урахуванням (2.3) та (2.2) отримаємо формулу для розрахунку потужності для роботи культиватора

$$N = [K_0 \times 1 + \Pi \times (V_m - V_0) B_P + G_M \sin \alpha] \times \frac{V_m}{3,6}. \quad (2.4)$$

Для аналізу впливу характеристик ґрунту у вигляді питомий опір даного K_0 та кута нахилу схилу, який долає агрегат у процесі роботи здійснено побудову теоретичних графічних залежностей (рис. 2.4).

На даному графіку поверхня 3 відображає обмеження у вигляді потужності, яка розвивається за тяговим зусиллям трактором ХТЗ-3510 на 2 передачі. Згідно технічної характеристики даного трактора він розвиває тягове зусилля у 7500 Н за швидкості руху 7,2 км/год. У такому випадку розрахована за формулою 2.1 потужність складе

$$N_{z.m.} = \frac{7500 \times 7,2}{3,6} = 15000 \text{ Вт.}$$

Із отриманого графіку можна зробити висновок, що затрати потужності на глибоке розпушення будуть більшими у порівнянні із звичайною культивацією у межах 15-20 % але за умови виконання робіт на схилах, що не перевищують 20° потужності на гаку трактора ХТЗ 3510 буде достатньо для виконання такої операції.

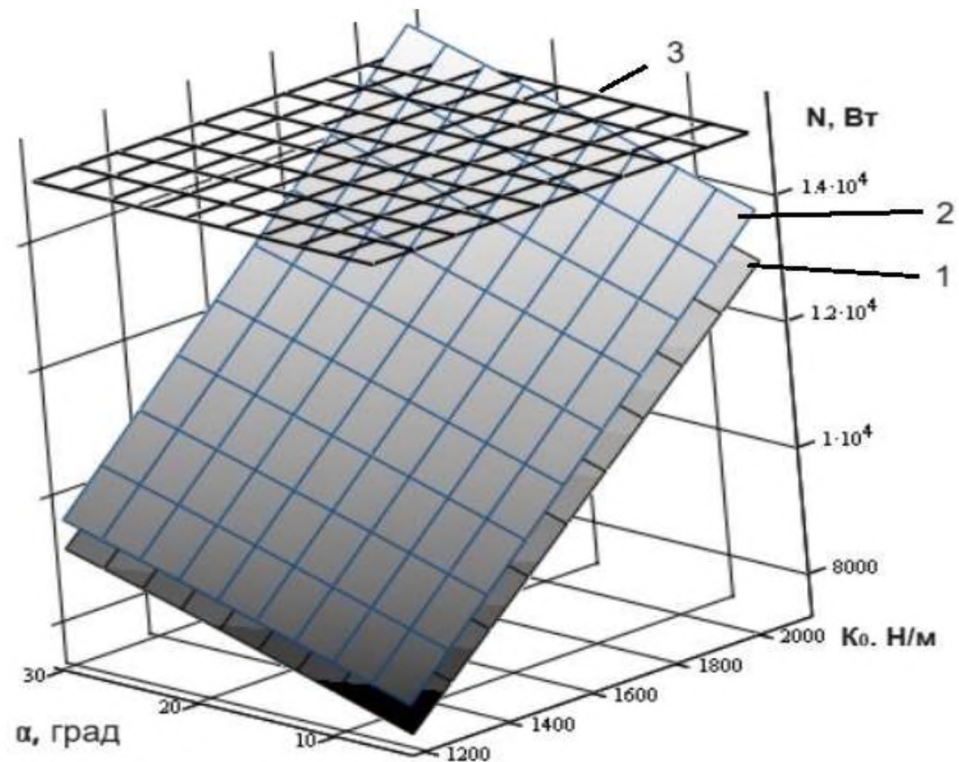


Рисунок 2.4 Графічні залежності потужності: 1 – що затрачається на культивуацію; 2 – що затрачається на глибоке розпушення; 3 – що розвивається на гаку трактора ХТЗ-3510 на другій передачі

2.8 Висновки

У результаті теоретичних досліджень та обґрунтувань встановлено, що тягового зусилля трактором ХТЗ-3512 у **7500 Н**, яке він розвиває на 2 передачі, достатньо для здійснення ярусного розпушення ґрунту на глибину 30 см. При цьому трактор розвиває потужність на гаку у **15 кВт**, а затрати потужності необхідні для виконання глибокого розпушення за кута схилу, що долає трактор до 20^0 не перевищуватиме **14 кВт**. Такі показники вказують на можливість реалізації такої модернізації за енергетичними показниками.

Проведена графічна побудова робочої поверхні полиці, якою доцільно обладнати лапу культиватора для якісного глибокого розпушення ґрунту. За результатами побудови отримано викрійку заготовки листового металу для виготовлення такої полиці, а також криві ортогональних перерізів за яким виготовлено дослідний взірець такої полиці.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

У процесі аналізу літературних джерел за темою дослідження ми встановили, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Для цього потрібне знаряддя здатне якісно розпушити ґрунт на глибині 20-30 см, а для його використання достатньо було б трактора із потужністю межах 20-25 кВт та тяговим зусиллям у межах 5-6 кН. У процесі теоретичних досліджень запропоновано конструкцію модернізованого культиватора, який здатен працювати як у режимі поверхневого обробітку так і глибокого розпушення. Також розроблено конструкцію полиці, якою слід комплектувати другий та третій ряд лап культиватора у режимі його роботи як глибокорозпушувача.

Для встановлення реальних енергетичних затрат на роботу вказаних модернізованих робочих органів було вирішено провести дослідження тягового зусилля існуючої лапи та лапи яка обладнана додатковою полицею.

Для проведення такого експериментального дослідження була розроблена програма, яка передбачала виконання наступних робіт:

- а) формування у ґрунтовому каналі шару ґрунту із визначеними показниками вологості;
- б) виготовлення дослідного зразка робочого органу обладнаного полицею;
- в) реалізація дослідження зміни тягового опору існуючого та модернізованого робочого органу за змінної вологості ґрунту та глибини обробітку.

З метою реалізації в лабораторних умовах наведеної вище програми нами було вирішено такі завдання:

- розроблено методики досліджень;

- підібране необхідне вимірювальне обладнання;
- виготовлена полиця до удосконаленого робочого органу;
- реалізоване дослідження з використанням математичного планування експерименту.

3.2. Прилади та обладнання для реалізації дослідження

Для визначення влогості ґрунту у ґрунтовому каналі в процесі досягнення визначених планом екмпреименту вологостей використовували електронний цифровий вологомір групи МГ-44 (рис. 3.1). Даний прилад дає можливість швидко визначати вологість ґрунт.



Рисунок 3.2 Електронний цифровий вологомір групи МГ-44

Для проведення досліду було виготовлено експериментальний зразок полиці та кріплення для встановлення на культиваторну лапу із стандартною

стійкою (рис. 3.2). Окрім цього у дослідженнях використовувалась звичайна культиваторна лапа якою обладнується машина аналог (рис. 3.3)



Рисунок 3.3. Фото експериментального робочого органу: а – полиця із кріпленням; б – стійка з отвором під кріплення полиці; в – збірка

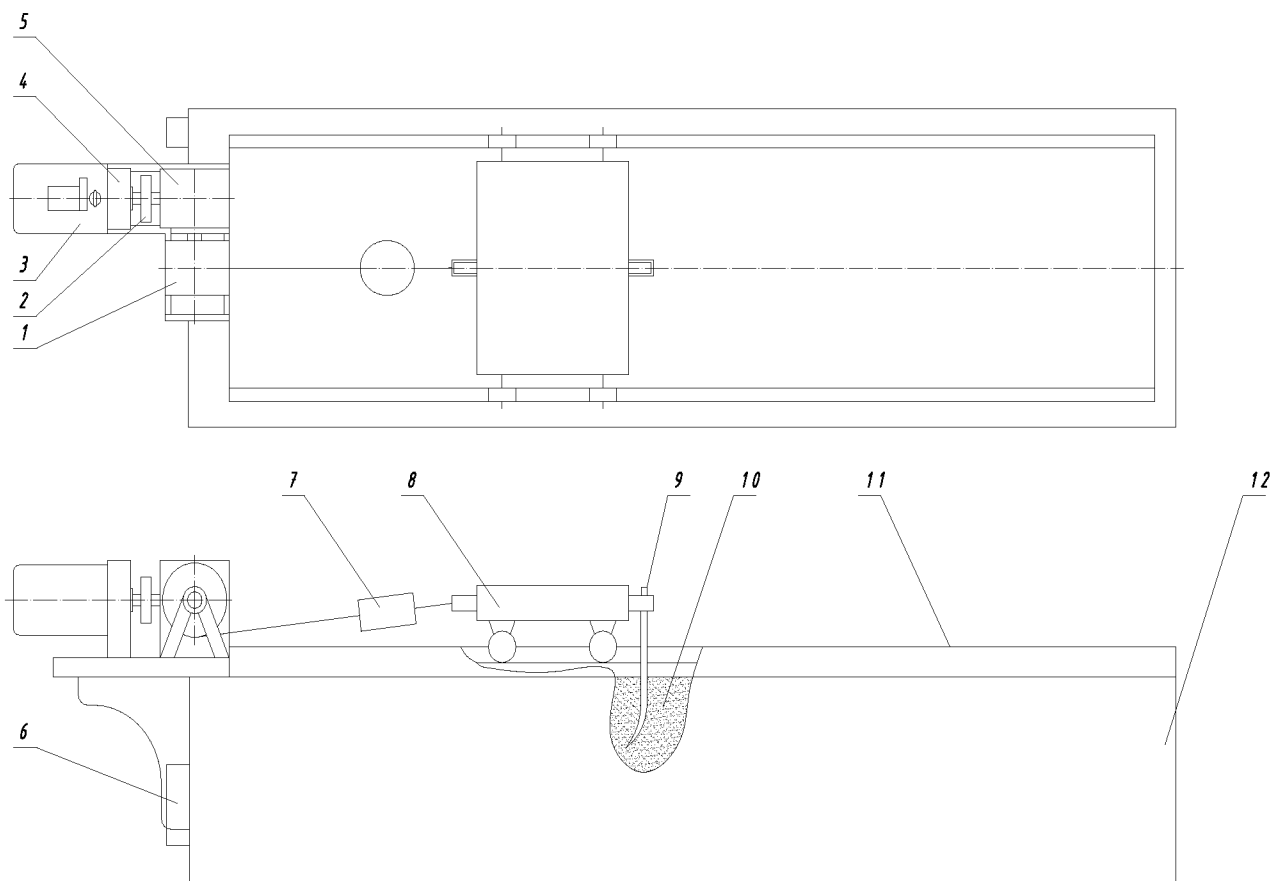


Рисунок 3.4 Фото штатної лапи культиватора

Дослідження тягового опору робочих органів проводили у ґрунтовому каналі, який складається із безпосередньо кам'яного каналу 12 в який завантажено шар ґрунту товщиною 60см. Зверху цього каналу зварена рама із швелера, які є направляючими 11 для коліс рухомого візка 8 (рис. 3.4).

Рухомий візок 8 опирається на 4 колеса та має пристосування для кріплення робочих органів ґрунтообробних знарядь 9. Переміщення візка 8 забезпечується тросом від лебідки 1, яка у свою чергу приводиться у рух електродвигуном 3 через циліндричний редуктор 2, втулково-пальцеву муфту 2 та черв'ячний редуктор 5.

Для встановлення зусилля яке затрачається на переміщення візка із робочим органом трос кріпиться до візка через динамометр 2. Для забезпечення максимальної глибини ходу досліджуваних робочих органів у механізм кріплення встановлювали додаткове пристосування у вигляді стійки із додатковим кріпленням.



а



6

Рисунок. 3.5 Схема (а) та фото (б) ґрунтового каналу та механізму переміщення робочих органів: 1- лебідка; 2 – муфта; 3 – електродвигун; 4 - циліндричний редуктор; 5 - черв'ячний редуктор; 6 - реверсний електромагнітний пускач; 7 – динамометр; 8 – візок; 9 - робочий орган; 10 – ґрунт; 11 - направляючі рейки; 12 - ґрунтовий канал

3.4. Методика формування визначених планом експерименту значень вологості ґрунту у ґрунтовому каналі

Для вимірювання вологості ґрунту у ґрунтовому каналі використовувався описаний у п. 3.2 цифровий вологомір МГ-44.

Перед початком формування визначених планом експерименту значень вологості ґрунту у ґрунтовому каналі вимірювання вологості ґрунту у ґрунтовому каналі електроди датчика занурювали у шар ґрунту на повну їх глибину. Після повного входження електродів у вимірювальний шар ґрунту натискали кнопку „Вимірювання” (рис. 3.2). На табло приладу з'являвся напис у першому рядку якого містилась назва матеріалу, а у другому рядку значення вологості у %: „Н=...%”. Такі вимірювання проводили у трьох токах каналу за

його довжиною (рис. 3.6): на початку (20-30 см від стінки); у кінці (20-30 см від стінки); орієнтовно по середині. Далі розраховували середнє значення вологості за формулою

$$W_{cp} = \frac{W_1 + W_2 + W_3}{3}, \quad (3.1)$$

де W_1, W_2, W_3 - вологість ґрунту у ґрунтовому каналі виміряна відповідно на початку у кінці та орієнтовно по середині ґрунтового каналу, %.

Отримане значення приймлось за нижній рівень зміни вологості у експериментальних дослідженнях. За зафіксованого значення вологості проводили дослідження тягового опору робочих органів.

Потім шляхом поливу шару ґрунту із використанням 4 дм^3 , яку рівномірно розподіляли поверхнею ґрунту ґрунтового каналу підвищували вологість. Після витримки у политому стані протягом однієї доби, з метою перерозподілу вологи за усім шаром ґрунту у каналі, проводили повторне вимірювання вологості приладом МГ-44 за описаною вище методикою та розраховували середнє значення. Якщо вологість мала приріст у $5 \pm 0,5\%$ то далі реалізовували дослідження з визначення тягового опору. У випадку, якщо вологість була нижчою то використовували 1 дм^3 , яку рівномірно розподіляли поверхнею ґрунту ґрунтового каналу підвищували вологість. Після витримки у политому стані протягом однієї доби, з метою перерозподілу вологи за усім шаром ґрунту у каналі, знову проводили вимірювання вологості приладом МГ-44 за описаною вище методикою та розраховували середнє значення. Якщо вологість досягала приросту у $5 \pm 0,5\%$ то далі реалізовували дослідження з визначення тягового опору. Якщо ні – то знову здійснювали полив і повторювали описані дії до досягнення необхідного рівня приросту вологості.

Після проведення дослідження тягового опору робочих органів за приросту вологості ґрунту у $5 \pm 0,5\%$, який відповідав нульовому рівню експерименту знову проводили полив з метою досягнення приросту вологості відносно початкової у $10 \pm 0,5\%$. Таке значення вологості ґрунту відповідало верхньому рівню зміни вологості у дослідженні тягового опору.



Рисунок 3.6 Процес визначення вологості ґрунту у ґрунтовому каналі

РОЗДІЛ 4.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

4.1. Методика дослідження тягового опору робочих органів культиватора

Дослідження проводили за змінної глибини обробітку, яка відповідає глибині роботи кожного із ярусів культиватора. А саме досліджувалась робота органів на глибині 10, 20 та 30 см. Також досліджувався вплив вологості ґрунту у ґрунтовому каналі. Оскільки початкова вологість ґрунту склала 5,0% то далі методом поливу досягали вологості 10,1% та 14,9%.

Процес вимірювання тягового опору полягав у встановленні визначеної планом експерименту глибини обробітку та вмиканні механізму приводу. Після досягнення сталих показів динамометра фіксували зусилля на початку руху візка, посередині ґрунтового каналу та за 20-30 см від завершення довжини каналу. Кожен із показів фіксувався і відповідав трикратній повторюваності експерименту (рис. 3.7).



а



б

Рисунок 3.7 Процес експерименту з визначення тягового опору: а – штатного робочого органу; б – удосконаленого робочого органу

Для встановлення залежності тягового опору досліджуваних робочих оргнаїв від глибини обробітку та вологості у вигляді рівняння регресії було застосовано математичний метод планування експерименту.

З даною метою та для зменшення кількості дослідів використали план реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку. Планування і реалізація експерименту включали такі етапи:

- кодування факторів;
- складання таблиці експерименту;
- реалізація експерименту згідно плану;
- перевірка відтворюваності дослідів;
- встановлення значущості коефіцієнтів регресії;
- встановлення адекватності моделі.

Під час формування плану експерименту у вигляді таблиці факторів використані наведені вище рівні їх варіювання (табл. 4.1). З метою оперування факторами у безрозмірній величині проводили їх кодування. Зв'язок між натуральними величинами та кодованими такий:

$$x_1 = \frac{h - h_0}{\varepsilon_1}; \quad x_2 = \frac{W - W_0}{\varepsilon_2}; \quad (4.1)$$

де h_0 - значення фактору глибина на основному (нульовому) рівні, см;

W_0 - значення фактора вологість ґрунту у ґрунтовому каналі на основному (нульовому) рівні, %;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$, - інтервали зміни факторів.

Для двофакторно дослідів повне квадратне рівняння має вид:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2. \quad (4.2)$$

Коефіцієнти для даного рівняння регресії розраховуються за такими формулами [21, 27]:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0_u}, \quad (4.3)$$

$$b_j = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n x_{ji} y_i, \quad (4.4)$$

$$b_{jr} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji} x_{ri} y_i, \quad (4.5)$$

$$b_{jj} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i - \frac{1}{16} \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n x_{ji}^2 y_i + \frac{1}{2n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0_u}, \quad (4.6)$$

де u – номер дослідів в центрі плану;

n_0 – кількість дослідів в центрі плану;

r, j – номери фактору дослідів, $r \neq j$;

p – кількість факторів;

i – номер дослідів;

n – кількість дослідів;

y_i – значення функції відгуку в i -му досліді;

$x_{j\dot{i}}, x_{r\dot{i}}$ – кодовані значення j -го чи r -го фактору в i -му досліді;

y_{0_u} – значення функції відгуку в u -му досліді в центрі плану.

Таблиця 4.1. - Фактори і рівні їх варіювання

Рівні варіювання	Фактори	
	Глибина обробітку (руху робочого органу) h , см	Вологість ґрунту у ґрунтовому каналі W , %
	x_1	x_2
Верхній (+1)	30	15
Основний (0)	20	10
Нижній (-1)	10	5
Інтервал варіювання, ε	10	5

Оскільки дослідження тягового опору проводили з однаковою кількістю повторностей то однорідність ряду дисперсій перевіряють за критерієм Кохрена. Розрахункову величину даного критерію визначали за формулою [21]:

$$G^{розр.} = \frac{S_{y_i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2}, \quad (4.7)$$

де $S_{y_i, max}^2$ - найбільше значення із розрахованих дисперсій.

$\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2$ - дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в і-му досліді.

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^m (y_{ig} - \bar{y}_i)^2, \quad (4.8)$$

де m – кількість повторностей в досліді;

g – номер повторності;

y_{ig} – результат g -ї повторності і-го досліді;

\bar{y}_i – середнє значення повторностей і-го досліді.

Умова однорідності ряду дисперсій має вигляд [21, 27]:

$$G^{розр.} < G^{табл.}(0.05; n; f), \quad (4.9)$$

де $G^{табл.}(0.05; n; f)$ – табличне значення критерію Кохрена за 5%-го рівня значущості, n -ї кількості дослідів та $f=m-1$ – числа ступенів вільності [21, 27].

Дисперсію відтворюваності отримали за формулою [21, 27]:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0_u} - \bar{y}_0)^2}{f_1}, \quad (4.10)$$

де \bar{y}_0 – середнє значення функції відгуку отримане за результатами n_0 дослідів в центрі плану;

$f_1 = n_0 - 1$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності.

Дисперсії коефіцієнтів регресії рахували так :

$$S_{b_0}^2 = \frac{1}{n_0} S_y^2; \quad (4.11)$$

$$S_{b_j}^2 = 0.125 S_y^2; \quad (4.12)$$

$$S_{b_{jr}}^2 = 0.25 S_y^2; \quad (4.13)$$

$$S_{b_{jj}}^2 = 0.27083 S_y^2; \quad (4.14)$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії розраховували за табличним значення критерію Ст'юдента $t(0.05; f)$ врахувавши, що за 5%-го рівня

значущості та $f = n_0 - 1$ – числа ступенів вільності в центрі плану

$$\Delta b_0 = t(0.05; f) S_{b_0}; \quad (4.15)$$

$$\Delta b_j = t(0.05; f) S_{b_j}; \quad (4.16)$$

$$\Delta b_{j_r} = t(0.05; f) S_{b_{j_r}}; \quad (4.17)$$

$$\Delta b_{j_j} = t(0.05; f) S_{b_{j_j}}. \quad (4.18)$$

Якщо значення коефіцієнта регресії було меншим довірчого інтервалу, то його вважали статично не значущим і видаляли із моделі.

Перевірку адекватності отриманої моделі проводили за критерієм Фішера

$$F^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}. \quad (4.19)$$

У цій формулі $S_{неад.}^2$ є дисперсією неадекватності, яка становить:

$$S_{неад.}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{i_2}, \quad (4.20)$$

де, y_i, \hat{y}_i - значення тягового опору i -го досліджуваного, визначене відповідно у результаті експерименту та за рівнянням регресії;

$i_2 = n - k'$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності з врахуванням числа k' коефіцієнтів регресії залишених у якості значущих (у тому числі і b_0).

Рівняння вважали адекватним у випадку, коли виконувалась умова:

$$F^{розр.} \leq F^{табл.}(0.05; f_2, f_1), \quad (4.21)$$

де $F^{табл.}(0.05; f_2, f_1)$ – табличне значення критерію Фішера за 5%-го рівня значущості і ступенів вільності f_2 та f_1 .

Розроблена методика, заснована на використанні плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, дозволить отримати математичну модель тягового опору досліджуваних робочих органів у вигляді рівняння регресії.

4.2. Результати дослідження тягового опору робочих органів культиватора

Двофакторний експеримент згідно методики, що описана у п. 4.1. забезпечив отримання рівняння регресії де функцією відгуку є тяговий опір робочих органів культиватора. Таким чином реалізовано мету експерименту, яка полягала у встановленні моделі тягового опору робочих органів у випадку зміни таких факторів як вологість ґрунту та глибина ходу робочих органів.

Обробка результатів експерименту проводили на ПК у середовищі Mathcad. При цьому однорідність ряду дисперсій встановлювали за критерієм Кохрена розрахованим за формулою (4.9). Оскільки, для випадку штатного робочого органу $G^{розр.} = 0,146 < G^{табл.}(0,05; 15; 2) = 0,335$ і для удосконаленого робочого органу $G^{розр.} = 0,156 < G^{табл.}(0,05; 15; 2) = 0,335$ то процес відтворюється для обох випадків.

На основі встановлених за критерієм Ст'юдента довірчих інтервалів провели перевірку значущості коефіцієнтів регресії. Не значущим виявився коефіцієнт парної взаємодії між факторами тобто вологістю ґрунту та глибиною ходу робочого органу для обох досліджуваних варіантів. Рівняння регресії у кодованих значеннях для варіанту штатного робочого органу набрало вигляду

$$\bar{y}_1 = 229,333 + 19,958x_1 + 67,958x_2 + 8,625x_1^2 + 24,625x_2^2. \quad (4.22)$$

А для випадку удосконаленого робочого органу

$$\bar{y}_2 = 238 + 21,958x_1 + 80,958x_2 + 8,542x_1^2 + 25,708x_2^2. \quad (4.23)$$

Перевірку адекватності отриманих рівняння регресії (4.22 та 4.23) здійснили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію для першого рівняння при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2 = 17,537$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 1$ становило: $F^{розр.} = 17,537$. Для другого рівняння при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2 = 10,438$ і дисперсії відтворюваності дослідів

$S_y^2=1,444$ розрахункове значення даного критерію становило: $F^{розр.}=7,226$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно [27], для обох рівнянь склало:

$$F^{табл.}(0.05; f_2; f_1) = 19,33,$$

де $f_2 = 6$ - значення числа ступенів вільності дисперсії неадекватності;

$f_1 = 2$ - значення числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності досліду.

Оскільки для обох рівнянь $F^{розр.} < F^{табл.}(0.05; f_2; f_1) = 19,33$, то гіпотеза адекватності обох отриманих рівнянь регресії підтверджується.

Після переведення рівнянь регресії із форми з кодованим факторами до факторів у натуральному вигляді отримали:

- для штатного робочого органу

$$P1 = 186,501 - 2,9084W - 3,0542h + 0,345W^2 + 0,24625h^2 \quad (4.24)$$

- для удосконаленого робочого органу

$$P1 = 169,168 - 2,442W - 2,1874h + 0,34168W^2 + 0,25708h^2 \quad (4.25)$$

де W - вологість ґрунту у ґрунтовому каналі, %;

h – глибина ходу робочого органу, см.

За отриманими рівняннями регресії (4.24) та (4.25) побудовано тривимірні поверхні відгуку (рис. 4.2) для встановлення форми впливу досліджуваних факторів на величину тягового опору обох варіантів робочих органів.

Аналіз отриманих рівнянь регресії у кодованих факторах та поверхонь відгуку виявив, що обидва досліджувані фактори є значущими. При цьому за глибини ходу робочих органів $h = 10$ см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і однаково зростає за зростання вологості ґрунту. Очевидно, що таке явище має місце через те, що за вказаної глибини у модернізованій лапі додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями.

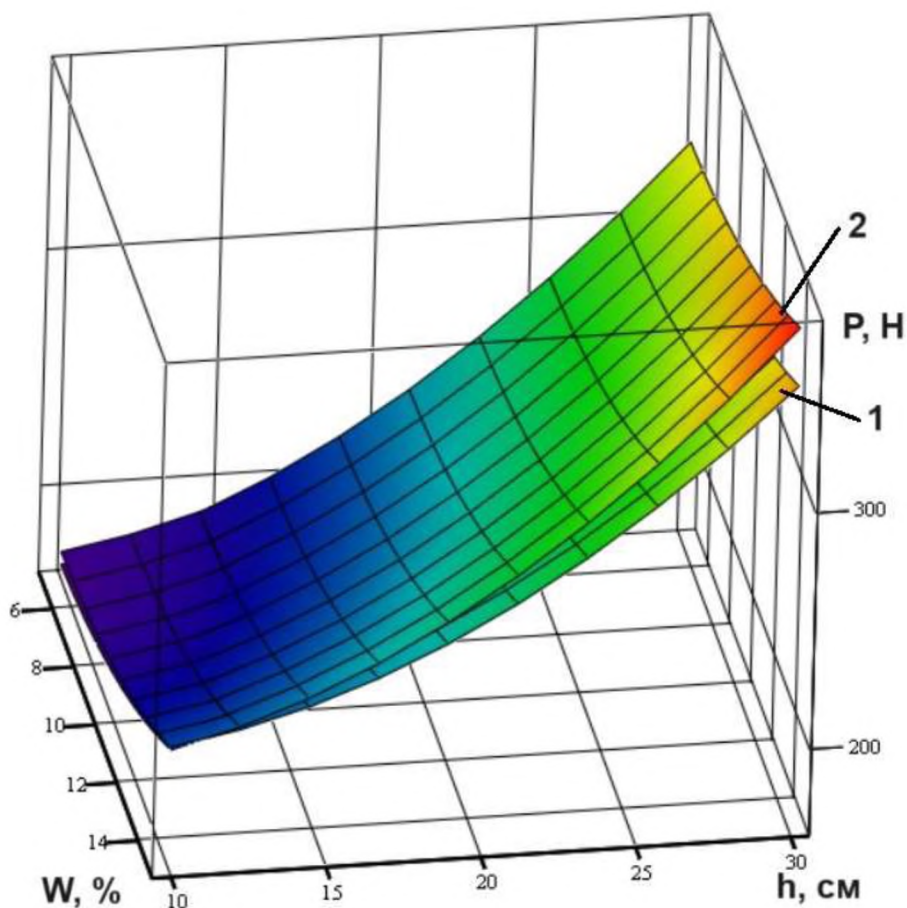


Рисунок 4.2 Залежність зміни тягового опору штатного (1) та удосконаленого (2) робочих органів культиватора від вологості ґрунту у ґрунтовому каналі W та глибини ходу h цих робочих органів

У той же час за зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним від у межах 10-40 Н. При цьому менший приріст відповідає глибині ходу 20 см та меншим значенням вологості. Таким чином використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача.

4.3 Висновок

Розроблена методика дослідження тягового опору робочих органів культиватора, заснована на використанні плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, забезпечила отримати математичної моделі даного процесу у вигляді рівняння регресії. Функцією відгуку цього рівняння є тяговий опір у першому рівнянні штатного робочого органу, а у другому модернізованого робочого органу.

Аналіз отриманих рівнянь регресії у кодованих факторах та поверхонь відгуку виявив, що обидва досліджувані фактори є значущими. При цьому за глибини ходу робочих органів $h = 10$ см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і однаково зростає за зростання вологості ґрунту. Очевидно, що таке явище має місце через те, що за вказаної глибини у модернізованій лапі додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями.

У той же час за зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним від у межах 10-40 Н. При цьому менший приріст відповідає глибині ходу 20 см та меншим значенням вологості. Таким чином використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача, що значно покращить розпушування нижніх шарів ґрунту без їх винесення на поверхню. У той же час слід застосовувати попарне розташування лап із правосторонньою та лівосторонньою полицями.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Здійснений аналіз способів обробітку ґрунту та досліджень у галузі впливу твердості ґрунту на ріст та розвиток сільськогосподарських культур виявив важливість переущільнення, як фізичного фактору деградації ґрунті. До визначальних впливів переущільнення ґрунту є втрата ним структурних агрегатів. Основним проявом такого явища є утворення підорного шару високої твердості різної товщини, який отримав назву «плужної підшви».

Розпушення ущільненого шару, у виробничих умовах здійснюють, залежно від глибини його залягання або чизельними культиваторами або глибокорозпушувачами. Аналіз конструкції робочих органів глибокорозпушувачів виявив, що їх можна об'єднати у 3 групи. До першої належать лари типу zero-mix, які не виносить на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігає непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органами, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми. При цьому винесення розпушеного ґрунту на поверхню не відбувається.

Аналіз технічних характеристик глибокорозпушувачів вказує, що для їх використання потрібні трактори із потужністю двигуна від 40 кВт (найменший показник у ANTARES-1 фірми Јупра). Пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна 20-25 кВт) відсутня. Таке явище не дозволяє реалізувати розпушення підорних переущільнених шарів на невеликих дачних ділянках, огородах тощо площею до 0,5 га.

Встановлено, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Для цього потрібне знаряддя здатне якісно розпушити ґрунт у шарі що розташований на глибині 20-30 см та для його використання достатньо було б трактора із потужністю межах 20-25 кВт (тяговим зусиллям у межах 5-6 кН).

У роботі запропоновано використати ярусну схему розташування робочих органів та використовувати з цією метою переобладнаний культиватор для поверхневого обробітку ґрунту. Також запропоновано удосконалити штатні робочі органи шляхом обладнання профільними полицями для якісного глибокого розпушення ґрунту. Проведено графічну побудову робочої поверхні такої полиці. За результатами побудови отримано викрійку заготовки листового металу для її виготовлення, а також криві ортогональних перерізів за яким виготовлено дослідний взірець.

Теоретично обґрунтовано, що тягового зусилля трактором ХТЗ-3512 у **7500** Н, яке він розвиває на 2 передачі, достатньо для здійснення ярусного розпушення ґрунту на глибину 30 см. При цьому трактор розвиває потужність на гаку у **15** кВт, а затрати потужності необхідні для виконання глибокого розпушення за кута схилу, що долає трактор до 20^0 не перевищуватиме **14** кВт. Такі показники вказують на допустимість реалізації такої схеми використання культиватора за енергетичними показниками.

Розроблена методика експериментального дослідження тягового опору робочих органів культиватора, заснована на використанні плану реалізації експерименту Бокса-Бенкіна другого порядку, забезпечила отримати математичної моделі даного процесу у вигляді рівняння регресії. Функцією відгуку цього рівняння є тяговий опір у першому рівнянні штатного робочого органу, а у другому модернізованого робочого органу.

Аналіз отриманих рівнянь регресії у кодованих факторах та поверхонь відгуку виявив, що вплив вологості ґрунту та глибини ходу робочих органів є значущим. При цьому за глибини ходу робочих органів $h = 10$ см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і однаково зростає за зростання вологості ґрунту. Очевидно, що таке явище має місце через те, що за вказаної глибини у модернізованій лапі додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями.

У той же час за зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним у межах 10-40 Н. При цьому менший приріст відповідає глибині ходу 20 см та меншим значенням вологості. Таким чином використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача. Таке удосконалення значно покращить розпушування нижніх шарів ґрунту без їх винесення на поверхню. У той же час слід застосовувати попарне розташування лап із правосторонньою та лівосторонньою полицями.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Балюк С.А., Медведєв В.В., Воротинцева Л.І., Шимель В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня // Вісник аграрної науки, 2017, № 8. С. 5-11
2. Медведєв В.В. Проблеми охорони ґрунтів // Вісник аграрної науки. – 2004. – №1. С. 53-57.
3. Сергєєв В.В., Бенцаровський Д.М., Кисіль В.І. Агрохімічні пріоритети охорони родючості ґрунтів // Вісник аграрної науки. – 2004. – №11. – С. 5-7.
4. Рослинництво: Підручник / С.М. Каленська, О.Я. Шевчук, М.Я. Дмитришак, О.М. Козяр, Г.І. Демидась; За редакцією О.Я. Шевчука. К.: НАУУ, 2005, 502 с.
5. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. – Львів: НВФ Українські технології, 2002. – 800 с.
6. Рослинництво: Підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; За ред. О. І. Зінченка. К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
7. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
8. Косолап М.П., Кротінов О.П. Система землеробства No-till. Навчальний посібник. К.: Логос, 2011. 352 с.
9. Охорона ґрунтів. Деградація: ДСТУ 7874: 2015. [Чинний від 2015 –06 – 22]. К.: ДП «УкрНДНц», 2016. 9 с.
10. Медведєв В.В. Наукові підходи до оцінювання якості ґрунтів регіонів (на прикладі України) // Сб. научн. трудов «Страны и регионы на пути к сбалансированному развитию». К., 2003. С. 62–64.
11. Медведєв В.В. Твердость почв. Харьков. Изд. КГ1 «Городская типография», 2009, 152 с.
12. Медведєв В.В. Твердість ґрунту як критерій для обґрунтування

технологій і технічних засобів з його обробітку // Вісник аграрної науки, 2010, № 4. С. 14-18.

13. Grunwald S., Rooney D.J., McSweeney K., Lowery B. Development of pedotransfer functions for a profile cone penetrometer // Geoderma. 2001. V.100. №1-2. Pp. 25-47.

14. Комісар Є.О., Зубко В.М. Твердість ґрунту - огляд сучасних методів та пристроїв / Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 3 (41), 2020. с.

15. Шустік Л., Мариніна Л., Маринін С., Машини, які працюють за «смуговому» шляху. Технологія стрип-тілл. Пропозиція, №12, 2017 р.

16. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. у 2 т: Т 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. К.: Агроосвіта, 2012. 584 с.

17. Бромот І. Глибокорозпушувач. Навіщо він мені потрібен? Режим доступу: <https://traktorist.ua/articles/883-glibokorozpushuvachi--vse-scho-treba-znati-pro-nih>.

18. Ляшенко С. В. Технологія глибокого розпушування ґрунту присадибних ділянок // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії, № 3, 2015. С. 150-154.

19. Гаврилов С. Проблема плужної підшви у ґрунті та шляхи її вирішення. Пропозиція, 2015, № 10. С. 70-73.

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

21. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч. посібник, – К.: НМК ВО, 1992. – 320 с.

22. Gregoire-besson [Електронний ресурс]: офіційний сайт. – URL: <https://www.gregoire-besson.com/ua/machines/helios>

23. Bednar [Електронний ресурс]: офіційний сайт. – URL: <https://www.bednar.com/uk/terraland-tn/>

24. Greatplain [Електронний ресурс]: офіційний сайт. – URL: <https://www.greatplainsag.com/uk/products/709/sub-soiler>

25. Wil-rich [Електронний ресурс]: офіційний сайт. – URL: <https://www.wil-rich.com/primary-tillage/rippers/357-inline-ripper/>
26. Цизь І.Є., Голій О.В., Хвесик В.О., Оласюк Я.В., Деміх І.В. (2023) Дослідження процесу та знаряддя для глибокого розпушення ґрунту. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, №1(20), 290-302 с.
27. Аністратенко В.О., Федоров В.Г. Математичне планування експерименту в АПК. — К.: Вища школа, 1993. — 375 с.
28. Патійчук О. Модернізація стільчастої лапи культиватора для глибокого розпушення ґрунту // Тези ІІІ студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. С. 21-23.

ДОДАТКИ

