

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра галузевого машинобудування**

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»  
на тему: «Дослідження параметрів технологічного процесу роботи  
малогабаритних фрез»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1  
Бацман Сергій Валерійович  
Керівник: Ветохін В. І.  
Рецензент: Шейченко В. О.

**Полтава – 2021 року**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Інтенсифікація плідівництва – це основний напрямок, який забезпечує збільшення врожайності і зниження питомих витрат праці на одиницю продукції. Однією з її найважливіших складових вважається комплексна механізація виробничих процесів, що забезпечується прогресивною системою тракторів, сільськогосподарських машин і знарядь. На сьогоднішній день, в садах проводиться 124 технологічних операції, але тільки 49% механізовані [1].

Високоперспективним технологічним процесом по догляду за плодовими насадженнями з точки зору аспектів ресурсозбереження вважається одночасна обробка міжряддя і ряду плодових насаджень садів, виноградників, хмільників і ягідників [1]. Обробка ґрунту в міжряддях багаторічних насаджень виконується за допомогою техніки застосовуваної в рільництві.

Обробіток ґрунту в рядах плодових насаджень виконується технічними засобами, виконавчий механізм яких підходить до штамбу рослини, залишаючи захисну зону. Сучасні машини і знаряддя не здатні забезпечувати виконання якісних показників технологічного процесу обробки ґрунту в рядах плодових насаджень [2]. Внаслідок цього обробка ґрунту в рядах нерідко проводиться вручну або ж взагалі не проводиться.

Розвиток ґрунтообробних агрегатів для обробітку ґрунту в рядах плодових насаджень стримується нестачею наукових досліджень по обґрунтуванню параметрів і режимів роботи технічних засобів в садах і виноградниках.

Агровимоги до процесу обробки ґрунту в рядах плодових насаджень стали високими, а параметри і режими роботи агрегатів для обробітку ґрунту не зазнають значних змін [3].

Сучасні машини і знаряддя не здатні забезпечувати необхідну захисну зону за формою із заданою площею. Кривошипний механізм руху робочого органу, що використовується для обходу дерев, призводить до нарощування площі захисної зони. Інші елементи технічних засобів для обробки ґрунту в рядах плодових насаджень, так само потребують нових розробок.

**Мета дослідження.** Удосконалення технологічного процесу обробки ґрунту в садах.

**Об'єкт дослідження.** Технологічний процес обробки ґрунту в садах ротаційною бороною для поверхневої обробки ґрунту.

**Предмет дослідження.** Конструктивно-технологічні та енергетичні параметри ґрунтообробної фрези.

**Методика досліджень.** Методологія і методи дослідження передбачали теоретичні дослідження робочих гіпотез, їх експериментальну перевірку в реальних умовах експлуатації та економічну ефективність результатів роботи.

**Теоретична та практична значущість.** Розроблено технологічний процес обробки ґрунту в садах, що дозволяє знизити енерговитрати на його здійснення.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Фізико-механічні властивості ґрунту

Основним з критеріїв оцінки ґрунту є його родючість. Якраз від родючості безпосередньо залежить майбутній урожай плодів, ягід і винограду. Під родючістю слід сприймати всю сукупність властивостей ґрунту і комплекс заходів, що визначають повноцінний розвиток рослин. Всі ці процеси пов'язані між собою, тому виключення або послаблення дії одного з них тягне втрату важливих якостей і може привести до деградації ґрунту, що робить негативний вплив на продуктивність рослин.

Дії, пов'язані з відновленням родючого шару ґрунту, складні і затратні, в зв'язку з цим важливо проводити заходи пов'язані зі своєчасним відстеженням стану ґрунту, не допускати його деградації і застосовувати ґрунтозахисні методи обробки [4,5].

Оцінюючи стан родючого шару ґрунту [5], слід звернути увагу на його фізико-механічний склад, який характеризується наступними показниками:

1) Зв'язність (когезія) ґрунту. Під зв'язністю ґрунту розуміють здатність ґрунту чинити опір силам, які прагнуть механічно роз'єднати частинки ґрунту, або, що те ж саме, опір ґрунту, який він чинить розриву, здавленню і розклинюванню його частинок.

Зв'язність обумовлюється силами когезії, або взаємного зчеплення між ґрунтовими частинками. Це властивість, що має безпосередній вплив на розвиток кореневої системи рослин і на механічну обробку ґрунту сільськогосподарськими знаряддями, у різних ґрунтів виражено неоднаково і залежить від багатьох причин.

Зв'язність ґрунту, перш за все, залежить від характеру механічного складу: чим більше в ґрунті міститься глинистих частинок, тим вище

зв'язність, і, навпаки, зв'язність зменшується у ґрунтів крупноземистих. Зв'язність ґрунтів певною мірою залежить і від ступеня їх вологості: наприклад, глинисті ґрунти мають найбільшу зв'язність в сухому стані, піщані, навпаки, набувають деяку зв'язність в зволоженому стані завдяки склеючій здатності знаходитися між піщаними частинками води.

Істотний вплив на зв'язність ґрунту чинять органічні речовини, при цьому наявність перегною в важких суглинних і глинистих ґрунтах зменшує їх зв'язність, в легких ж піщаних – підсилює.

Великий вплив на підвищення зв'язності ґрунту спричиняє поглинений катіон натрію, особливо на ґрунтах, бідних перегномом. Тому солончаковий ґрунт, в поглинаючому комплексі якого міститься поглинений натрій, завжди відрізняється сильно вираженою зв'язністю. Структурний стан надає ґрунту рихлість, зменшує його зв'язність і тим самим значно полегшує його обробку.

2) Пластичність ґрунту – здатність прилипати до робочих органів у вологому стані і зберігати надану форму. Пластичність ґрунту обумовлюється різними причинами, головним чином присутністю в ґрунті колоїдів. Чим більше міститься в тій чи іншому ґрунті колоїдів, тим краще виражена в ньому пластичність (липкість). На прилипання ґрунтів впливає ступінь його вологості. Прилипання ґрунтів підвищується в міру їх зволоження приблизно до 90% від повного насичення водою, а потім починає зменшуватися. Прилипання ґрунту впливає на його якість обробки і питомий опір, чим сильніше прилипання ґрунту, тим більше витрачається сили при роботі технічного засобу.

Виходячи з цього, обробку треба проводити при такому стані вологості, коли ґрунт пухкий, що не мається не прилипає до робочих органів, тобто знаходиться в стані фізичної стиглості [6,7].

3) Твердість ґрунту – його властивість чинити опір проникненню в нього більш твердого тіла (робочий орган) не отримуючи при цьому залишкової деформації [8]. Під час обробки ґрунту агрегатами, ґрунт

піддається різним видам деформації (стиснення, розтягнення, зрушення, зріз, зминання, кручення).

Опір ґрунту при різних видах деформації змінюється у великих межах. Наприклад суглинки при абсолютній вологості 21-28% мають тимчасово опір стисненню 65-108 Н/см<sup>2</sup>, розтягування 5-6 Н/см<sup>2</sup>, зрушенню 10-12 Н/см<sup>2</sup>. Очевидно, найменші енерговитрати при обробці суглинистого ґрунту, можливі при використанні робочих органів ґрунтообробних знарядь, що забезпечують розтягування пласта.

4) Абразивність ґрунту визначають за присутністю в ньому фізичного піску з високим вмістом каменів (розміром 0,25-3,0 мм), що спричиняють великий знос робочих органів ґрунтообробних знарядь.

Абразивний знос поділяють на три групи: з малою зношувальною здатністю вміст фізичного піску до 80%, середньою – 80-95% і сильною 95-100%.

Сила тертя ковзання на площині робочого органу дуже велика і дорівнює 30-40% від усього опору. У зв'язку з цим необхідно зменшувати силу тертя. З літературних джерел відомі деякі способи зменшення сили тертя ковзання: вібрація, активні робочі органи, застосування пластика, створення шару повітря або води між робочим органом і ґрунтом [8].

Велика кількість опадів, їх висока інтенсивність, гористий рельєф і інші фактори зумовили розвиток ерозії, а сильні й тривалі вітри в північно-східній зоні – ще й дефляції ґрунту. Чорноземи, нерідко ущільнені і злиті, поступово змінюються сірими лісостеповим, сірими і бурими лісовими ґрунтами.

## **1.2. Особливості технологічного процесу обробки ґрунту в садах**

Комплекс агроприйомів, які повинні забезпечувати збереження і підвищення родючості ґрунту в садах, задовольняти потреби плодкових дерев

у волозі, поживних речовинах та інших елементах ґрунтової родючості, зазвичай називають системою утримання ґрунту в садах [9].

Завдання, що висувуються перед системами утримання ґрунту в саду.

- Забезпечити плодове дерево вологою. Плодові насадження найбільше потребують вологи навесні і на початку літа. Пояснюється це тим, що в цей період інтенсивно ростуть пагони, листя, плоди.

- Забезпечити дерева необхідними поживними речовинами шляхом внесення добрив і стимулювання біологічних процесів в ґрунті.

- Забезпечити ґрунт повітрям, необхідним для розвитку кореневої системи. Як уже зазначалося, правильною системою утримання ґрунту можна сприяти глибокому проникненню коренів у ґрунт, а це важливо для забезпечення їх вологою з глибших шарів ґрунту і підґрунтя [10].

Для забезпечення вищесказаного, ґрунт повинен бути структурним, тому його обробку в садах поєднують з прийомами, спрямованими на збереження і відновлення структури.

Обов'язково потрібно захищати ґрунт в багаторічних насадженнях від водної та вітрової ерозії, зменшувати витрати по догляду за ґрунтом.

Поряд з викладеним, невід'ємними завданнями системи утримання ґрунту багаторічних насадженнях є регулювання температури ґрунту, боротьба з бур'янами, шкідниками і хворобами плодових рослин.

Система утримання ґрунту в садах включає і такі прийоми, як підбір сидератів, систему обробітку ґрунту, застосування добрив і гербіцидів, зрошення. У вужчому розумінні – характер використання ґрунту в поєднанні з прийомами його обробки в саду, боротьбою з бур'янами, внесенням добрив. В даний час найбільш поширені парова, паро-сидеральна і дерново-перегнійна системи утримання ґрунту. У молодих садах можливо і мульчування.

Парова система. Чорний пар в саду підтримується шляхом зяблевої оранки ґрунту. Зазвичай чорний пар представляє необхідний елемент комплексу догляду за ґрунтом в саду.

Значно більшою мірою зростає роль чорного пару в регулюванні водного режиму ґрунту саду в посушливі роки. Так, якщо перевищення запасів вологи 75-сантиметрового шару ґрунту чорного пару, в порівнянні з задернінням, становило по групі зволжених років 23 мм, то посушливі роки - 41 мм, тобто набагато більше.

Таким чином, роль чорного пару в забезпеченні плодкових дерев вологою в зрошуваних садах значна. До цього треба додати і те, що при паровій обробці поліпшуються також поживний і повітряний режими ґрунту, а в результаті посилюється ріст і підвищується врожайність плодкових дерев.

Паро-сидеральна система дає можливість вирощувати в міжряддях саду значну кількість органічної маси в той час, коли деяке висушування ґрунту, його збіднення нітратами не тільки нешкідливо, але і часто навіть корисно, тому що сприяє своєчасному закінченню росту пагонів і підвищення морозостійкості дерева.

З сидератами в ґрунт потрапляє і велика кількість органічної речовини. Вона розподіляється у великому обсязі ґрунту і в більш глибоких його шарах, куди гній важко або неможливо внести. У садах на схилах сидерати захищають ґрунт від ерозії.

Дерново-перегнійна система. При цій системі в садах вирощують багаторічні трави, переважно злакові, які часто скошують і скошену масу залишають на місці, не видаляючи з саду. В результаті на поверхні ґрунту накопичується шар рослинної маси (мульча), що захищає ґрунт від висихання. Надалі трава перегниває і шар мульчі зростає. Найбільш прийнятним є посів трав в міжряддях із залишенням смуг невеликої ширини (1,5-2 м), які не засіваються травами. Ці смуги або систематично розпушують

або для боротьби бур'янами застосовують гербіциди. Іноді застосовують суцільне задерніння – не полишаючи смуг без трав біля дерев.

При ґрунтообробці в саду необхідно враховувати властивості і характеристики оброблюваного середовища. В якості оброблюваного середовища в саду є ґрунт і плодові насадження.

У міжряддях залишаються вільні проходи для технічних засобів, в ряду крони дерев змикаються. Система утримання ґрунту в садах зобов'язана постійно заповнювати запаси органічних речовин в ґрунті, покращувати його структуру та фізико-механічні властивості, захищати від ерозії, знищувати бур'янисту рослинність, а також шкідників і збудників хвороб плодових культур [10].

У садах посушливих районів південної зони, саме передбачає систематичне розпушування протягом усього вегетаційного періоду (чорний пар), оскільки плодові культури слабо забезпечені вологою.

Технологічний процес обробки ґрунту в садах передбачає обробку міжрядь і пристовбурних смуг плодових насаджень. Міжрядний обробіток ґрунту виконується машинами і агрегатами, що застосовуються в рільництві, а в рядах спеціальними знаряддями.

### **1.3. Аналіз технічних засобів для обробітку ґрунту в рядах плодових насаджень**

В рядах садів обробіток ґрунту виконується в зонах обходу штамба дерева і безпосередньо між деревами. В цьому випадку під поряд розуміється не лінія, а зона певної ширини з розташованими в ній деревами. Зона формується при закладці саду і видозмінюється в міру зростання плодових насаджень [11]. У садах обробіток ґрунту виконується машинами і агрегатами в міжряддях: плугами, культиваторами, боронами, а в рядах: фрезами, виносними секціями борін і культиваторами.

Машини та агрегати за способом обробки ґрунту приштамбової зони в садах можна розділити на ті, що містять безпривідні (пасивні) і привідні (активні) робочі органи з вертикальною або горизонтальною віссю обертання. За способом управління ці машини і агрегати діляться на 2 групи: напівавтоматичні; автоматичні.

До першої групи можна віднести культиватор фрезерний навісний КФН-2, фреза садові навісна для обробки ряду НФС-1,4 [11]. При обробці ґрунту ряду секції управляються людиною, що знаходиться на машині, яка за допомогою гідросистеми МТА переміщує секції агрегату між багаторічними насадженнями [11].

Виходячи з аналізу, напівавтоматичні машини і агрегати при обробці ґрунту рядів в садах економічно неефективні, в зв'язку з тим, що не можна отримати високу продуктивність машини або агрегату, робота якого частково виконується оператором вручну.

Виходячи з цього обробка ґрунту в садах повинна проводитися автоматично. Автоматичні пристрої не потребують додаткової присутності оператора для переміщення секції з ряду в ряд. Автоматичні пристрої підрозділяються на 2 групи: прямої дії; непрямої дії.

До технічних засобів прямої дії можна віднести пристрій для обробки ґрунту в приштамбовій зоні виробництва Німеччини [12]. Аналогічно працює ротаційний культиватор [12]. Дані технічні засоби не відповідають нормам по пошкодженню дерев.

Технічні засоби непрямої дії по виду алгоритму функціонування діляться на: програмні; астатичні; слідкуючі.

До програмних технічних пристроїв можна віднести культиватор садовий вузькоколієний КСВ-2,5 [13], пристрій decavaillonneur «Skovema» (Франція) [15], фреза "Гумус" оснащена зубчато-рейковим механізмом [10].

Механічний привід перерахованих вище пристроїв непридатний тому що, вимагає великих зусиль при включенні, це призводить до пошкодження

рослини, занадто громіздка конструкція, що включає в себе величезну кількість ланок, невисока робоча швидкість.

Гідравлічний привід, що застосовується на пристроях для обробки ґрунту в садах і виноградниках виключає всі недоліки механічного приводу, він простіший у виконанні, має меншу питому вагу на одиницю потужності, більш низькі зусилля при включенні виконавчих механізмів і високу швидкість руху машини. Гідропривід робочих органів широко застосовується в садівництві та виноградарстві [6, 9]. Застосування гідроприводу дозволило підвищити експлуатаційну надійність технічних засобів для обробки ґрунту в багаторічних насадженнях у порівнянні з технічними засобами, що мають механічний привід.

У гідравлічних приводів є так само і недоліки. Вони пов'язані з витоком рідини (масла), зміною властивостей рідини при перегріванні, що призводить до зміни характеристик гідроприводу і т. д. Перераховані недоліки не роблять особливого впливу на функціональні переваги пристроїв з гідравлічними виконавчими механізмами.

До технічних засобів оснащеним гідравлічним пристроєм можна віднести культиватор садовий широкозахватний КСШ-5Б, що відноситься так само до астатичних пристроїв згідно з класифікацією.

Недоліки культиватора: погане підрізання бур'янів, неякісне розпушування ґрунту в ряду плодових насаджень при заході виконавчого механізму в ряд [13]. Після обробки культиватором залишається велика необроблена зона навколо дерева.

Астатичні пристрої, як і програмні, не мають постійної взаємодії між щупом і робочим органом, а обмежуються тільки роботою гідроциліндра [14].

У зв'язку з цим потрібно пристрій який буде відслідковувати знаходження робочого органу і дерева в ряду і керувати ним. Сутність функціонування такого пристрою полягає в тому, що рух секції

безпосередньо залежить від руху щупа, тобто виконавчий механізм копіює траєкторію рух щупа за певним законом.

За типом виконавчого механізму слідкуючі пристрої можна розділити на три види: гідравлічні; електрогідравлічні; пневматичні.

До гідравлічних слідкуючих пристроїв можна віднести пристосування для обробки ґрунту в міжряддях виноградників ПРВН-72.000 [12]. Недоліки, які спостерігаються при обробці ґрунту пристосуванням: сильне нагрівання робочої рідини в гідросистемі, яке призводить до тривалих простоїв агрегату, висока енергоємність процесу і т. д. [15].

До гідравлічних слідкуючих пристроїв також можна віднести КЕС-5 (культиватор ешелонований садовий), пристрій для підрізання бур'янів в пристовбурних смугах плодових дерев ПМП-0,6 [8, 11, 14], культиватор Н-7 «Holder» (Німеччина) [15] рисунок 1.1.



Рисунок 1.1 – Культиватор гідравлічний садовий

До знарядь з гідравлічними слідкуючими пристроями і активними робочими органами можна віднести фрези садові ФС-0,9, ФА-0,76 (рисунок 1.2), призначені для обробки ґрунту в пристовбурних смугах плодових дерев, знищення і вичісування бур'янів.



Рисунок 1.2 – Культиватор з гідравлічним відслідковуванням

При роботі садових фрез відзначається ряд недоліків: висока енергоємність процесу обробки ґрунту, низька продуктивність в зв'язку з невисокою швидкістю МТА (1,21 км/год), нагрів робочої рідини в гідросистемі який призводить до тривалих простоїв агрегату. Також спостерігається необроблена зона навколо штамба дерева.

На підставі проведених досліджень, виявлених недоліків технічних засобів для обробітку ґрунту в садах розроблена конструкція плуга садового чизельного з додатковими секціями з ротаційними голчастими робочими органами з конусною заточкою (рисунок 1.3), оснащена гідравлічною слідкуючою системою [14].

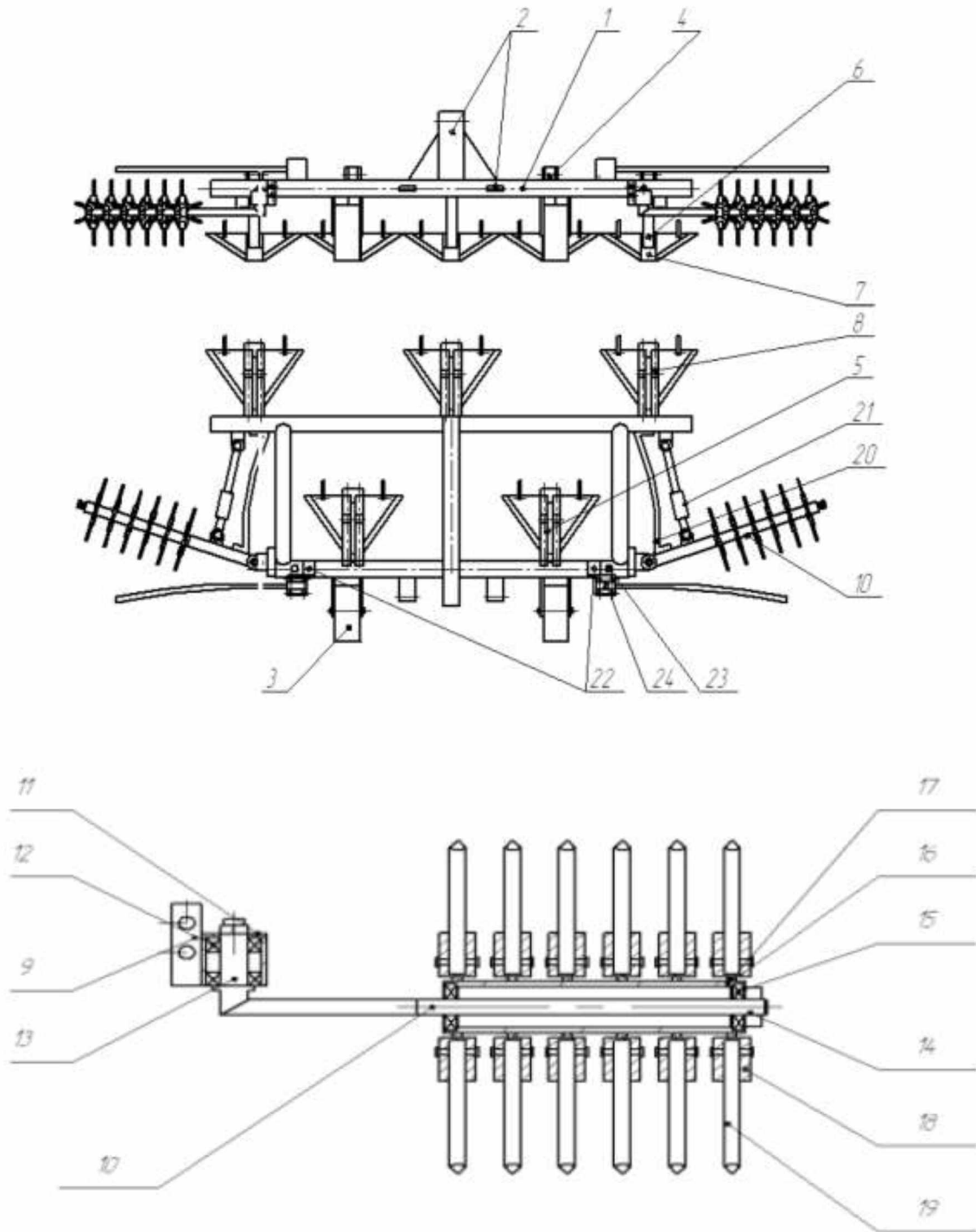


Рисунок 1.3 – Плуг садовий чизельний ППВ-3,5 з додатковими секціями: 1 - рама; 2 - система навішування; 3 - колесо; 4 - кріплення робочих органів; 5 - робочі органи; 6 - стійки; 7 - долото; 8 - лапи стрілоччасті; 9 - кронштейн; 10 - ротаційне знаряддя; 11 - корпус; 12 - підшипники; 13 - вал; 14 - вісь; 15 - підшипники; 16 - вал; 17 - диски; 18 - склянки; 19 - голки; 20 - пружина; 21 - гідроциліндр; 22 - датчики стеження; 23 - підсилювач сигналу; 24 – розподільник

Плуг садовий чизельний [15] навісний з додатковими секціями призначений для розпушування ґрунту в міжряддя і двох рядах одночасно. Ротор отримує обертання в результаті пасивної взаємодії голки з пластом при поступальному русі ґрунтообробної машини під дією тягового зусилля трактора [16].

Під час роботи голки перекочуються по ґрунті в ряду багаторічних насаджень, заглиблюючись на 8-10 см, тим самим здійснюється процес розпушування. Взаємодія голки з коренем дерева здійснюється по дотичній, тим самим виключається його пошкодження. При підході до дерева щуп стикається зі штамбом рослини і за допомогою гідрослідкуючого пристрою обходить його не пошкоджуючи. Зазначений ротаційний голчастий робочий орган монтується на плуг садовий чизельний, який є універсальним, виконує заданий технологічний процес обробки ґрунту полів на різну глибину і міжрядь садів на глибину, диференційовано змінюється в міру віддалення від дерева відповідно архітектоніці розташування кореневої системи [16].

При функціонуванні плуга садового чизельного з диференційовано змінною глибиною крайні робочі органи виконують плоскорізну обробку ґрунту (10-22 см), а середній (центральный) – чизелювання (до 45 см). При цьому нижня твірна борозни після проходу робочих органів зигзагоподібна, копіює розташування кореневої системи дерев по глибині залягання.

Додаткова секція для ротаційних голчастих робочих органів складається з кронштейна з віссю, на якій обертається вал за допомогою підшипників. На валу жорстко закріплені диски з привареними корпусами для кріплення голок (стаканів), а в стакани вставлені голки із заточкою, зафіксовані за допомогою штифта, шайби і шплінта.

### **Висновки, мета та завдання досліджень**

На підставі проведених досліджень сформульовані наступні висновки:

- в садах посушливих районів південної зони основна система утримання ґрунту передбачає систематичне розпушування протягом усього вегетаційного періоду (чорний пар), оскільки плодові культури слабо забезпечені вологою;

- агротехнічно доцільним технологічним процесом в садах є обробка ґрунту міжрядь з одночасним поверхневим розпушуванням ротаційною бороною;

- параметри удосконалених робочих органів необхідно обґрунтувати з урахуванням властивостей оброблюваного середовища (ґрунту і плодових насаджень) на підставі проведеного огляду;

- на підставі проведеного огляду і аналізу технічних засобів для обробітку ґрунту в садах обґрунтована конструктивно-технологічна схема пропонованого знаряддя, виконаного у вигляді плуга чизельного і закріпленими з боків рами ротаційних борін.

Мета дослідження. Удосконалення технологічного процесу обробки ґрунту в садах.

Для досягнення сформульованої вище мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести огляд і аналіз механізованих технологій і засобів механізації з обробітку ґрунту в садах.

2. Обґрунтувати конструктивно-технологічну схему ротаційної борони для поверхневої обробки ґрунту в пристовбурній зоні.

3. Отримати залежності, що розкривають взаємозв'язок параметрів і режимів функціонування ротаційної борони з середовищем впливу. Провести експериментальні дослідження технологічного процесу обробітку ґрунту міжрядь.

4. Визначити техніко-економічні показники роботи фрези.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Мета і завдання експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводилися з метою перевірки теоретичних залежностей і вибору раціональних параметрів ротаційної борони.

Для перевірки теоретичних досліджень необхідно:

- вибрати комплекс вимірювального обладнання, виготовити установку, робочі органи.
- визначити енергетичні показники технологічного процесу обробки ґрунту міжрядь;
- визначити агротехнічні (якісні) показники роботи ротаційної борони для поверхневої обробки ґрунту в рядах саду.

#### 2.2. Методика дослідження фізико-механічних властивостей ґрунту

Вологість ґрунту є одним з основних показників, що характеризують стан ґрунту і впливають на технологічний процес його обробки. Під цим параметром розуміють кількість води, укладеної в одиниці об'єму ґрунту, виражена у відсотках. Вона залежить від багатьох чинників: метеорологічних умов, рівня ґрунтових вод, механічного складу ґрунту, характеру рослинності і т. д. При польових дослідженнях розрізняють п'ять ступенів вологості ґрунтів:

- 1) сухий ґрунт пилить, присутність вологи в ньому на дотик не відчувається, що не холодить руку, вологість ґрунту близька до гігроскопічної (вологість в повітряно-сухому стані);

2) зволожений ґрунт холодить руку, не порошить, при підсиханні трохи світлішає;

3) вологий ґрунт – на дотик явно відчувається волога; ґрунт зволожує фільтрувальний папір, при підсиханні значно світлішає і зберігає форму, надану ґрунту при стисканні рукою;

4) сирий ґрунт при стисканні в руці перетворюється на тістоподібну масу, а вода змочує руку, але не сочиться між пальцями;

5) мокрий ґрунт – при стисканні в руці з ґрунту виділяється вода, яка сочиться між пальцями; ґрунтова маса виявляє плинність [17].

В ході нашого експерименту вологість визначалася за загальноприйнятою методикою [18].

Для визначення вологості ґрунту використовувалися: бюкси, бур, сухожарова шафа ШСВЛ-80 «Касимов», ваги ВЛКТ-2 і ґрунтовий електровологомір.

Для вимірювання вологості ґрунту в грантовому каналі використовувався метод гарячої сушки, для чого проби витримувалися в сушильній шафі при температурі 105°C і зважувалися як до сушки, так і після. При цьому розрахунок вологості проводили за відомою формулою:

$$w = \frac{m_e - m_c}{m_c} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де  $m_e$  і  $m_c$  – маса проби ґрунту до сушки і після сушіння, кг.

При проведенні експерименту з фрезою в польових умовах застосовувався вологомір. Отримані дані заносилися в журнал спостережень і піддавали аналітичним розрахункам і статистичній обробці.

Вологість ґрунту за час проведення експериментів змінювалася в межах 18 ... 21%.

Під твердістю ґрунту розуміють його властивість чинити опір стисненню і розклинюванню в природному стані. У багатьох дослідженнях

сільськогосподарських машин і технологічних процесів, вона виступає в якості інтегрального показника фізико-механічних властивостей ґрунту.

Визначення твердості в наших дослідженнях проводилося згідно зі стандартною методикою [20], для чого використовувався твердомір Ревякіна.

Вимірювання проводились на глибину до 0,25 м в п'ятикратній повторності, в точках розміщених по прямій лінії на типовому майданчику з кроком в один метр. Експериментальні твердограми заносилися в журнал спостережень і піддавалися статистичній обробці.

Отримані в ході експерименту твердограми, також використовувалися для визначення коефіцієнта об'ємного зминання  $q$  (Н/м<sup>3</sup>), який характеризує опір ґрунту впровадження протягом першої фази деформації ґрунту, коли зусилля впровадження циліндричного наконечника твердоміра прямо пропорційно глибині.

Коефіцієнт тертя  $f$ , як коефіцієнт пропорційності в аналітичній залежності сили тертя від нормального тиску, – важлива технологічна характеристика ґрунту. Для його визначення розроблено велику кількість різних приладів. Так як коефіцієнт тертя є одним з параметрів, що входять в залежності для розрахунку енерговитрат обробки ґрунту, то цим приладом проводилося вимірювання його значення під час проведення лабораторних експериментів. Коефіцієнт тертя ковзання ґрунту в каналі по поверхні робочого органу визначали перед кожною серією експериментів.

Під якістю кришення ґрунту розуміють деякий максимально ефективний розмір грудки ґрунту полігону його розподілу за розмірами.

Якість подрібнення ґрунту є найважливішим показником обробки ґрунту, так як від нього залежить переважний розмір ґрунтових агрегатів, що в свою чергу впливає на розподіл вологи ґрунту [20]. Цей показник ми визначали за стандартною методикою [21], для чого використовували наступне обладнання: ящик для взяття проб ґрунту, набір сит і ваги ВЛКТ-500.

У відповідності з методикою подрібнення ґрунту визначали по пробах, що відбираються в чотирьох точках ділянки (дві по ходу руху агрегату, дві назад) з майданчиків  $0,25 \text{ м}^2$  на глибину обробки не раніше, ніж через годину після проходу агрегату. Відібрані проби розділяли за допомогою спеціального набору решіт з діаметрами отворів, відповідними розмірами фракції ґрунту на наступні групи фракцій за розмірами: до 1 мм; від 1 до 5 мм; від 5 до 10 мм; від 10 до 25 мм; від 25 до 50 мм; більше 50 мм.

Отримані дані заносилися в журнал спостережень, за якими здійснювалася оцінка якості кришення ґрунту шляхом підрахунку процентного вмісту ваги ґрунтових агрегатів, за такою формулою:

$$П_{ki} = \frac{m_i}{m} \cdot 100\% , \quad (2.2)$$

де  $m_i$  і  $m$  – маса  $i$ -ї фракції в пробі і загальна маса проби, кг.

Далі визначали коефіцієнти кришення  $K_{кр}$ , розпушування  $K_p$  і розпилення  $K_e$  ґрунту за формулою:

$$K_{кр(p;e)} = \frac{m_{<50(<10;<1)}}{m} \cdot 100\% , \quad (2.3)$$

де  $m_{<50 (<10; <1)}$  – маса частинок ґрунту розміром відповідно менше 50 мм, від 1 до 10 мм, менше 1 мм.

### 2.3. Будова і принцип роботи фрези

Завданням експериментального дослідження є проведення випробувань ПСЧ-3,5 і ротаційної борони для обробки міжрядь і пристовбурних смуг садів. Для даних досліджень використовувався ПСЧ-3,5 для розпушування

міжрядь і встановлених на його раму ротаційних борін для обробки пристовбурних смуг плодових насаджень (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Робочі органи для проведення досліджень

1 - змінні робочі органи; 2 – вісь

Установка працює в такий спосіб: опорні стійки впроваджуються в ґрунт, потім при обертанні рукоятки робочий орган, закріплений за допомогою зварного з'єднання з корпусом, приводиться в рух. При взаємодії робочого органу з ґрунтом, в ньому поступово створюється наростаюче напруження стиснення. Після досягнення напруги стиснення величини, що відповідає межі міцності ґрунту на зрушення, з оброблюваного пласта виділяється певний обсяг ґрунту. При подальшому просуванні голки пласт ґрунту дробиться на більш дрібні фракції, таким чином, відбувається процес розпушування ґрунту. Далі робочий орган виходить на поверхню, потім описує дугу і процес повторюється.

## Висновки

У другому розділі «Методика й основні методи досліджень» описано загальну схему досліджень. Методичну основу організації роботи склали:

системний підхід, що передбачає формулювання гіпотези, постановку завдань, вибір шляхів рішення, проведення експерименту, аналіз результатів і математична обробка; апробація і впровадження нових рішень.

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Теоретичний аналіз процесу деформування ґрунту голкою ротаційного знаряддя

Під дією сили тяжіння барабана голки занурюються в ґрунт на глибину  $a$ . Відбувається деформування пласта з поперечним перерізом у вигляді трапеції  $ABCD$  (в першому наближенні) по лініях найменшого опору, в результаті виникають нормальні сили  $N_1, N_2$  (рисунок 3.1).

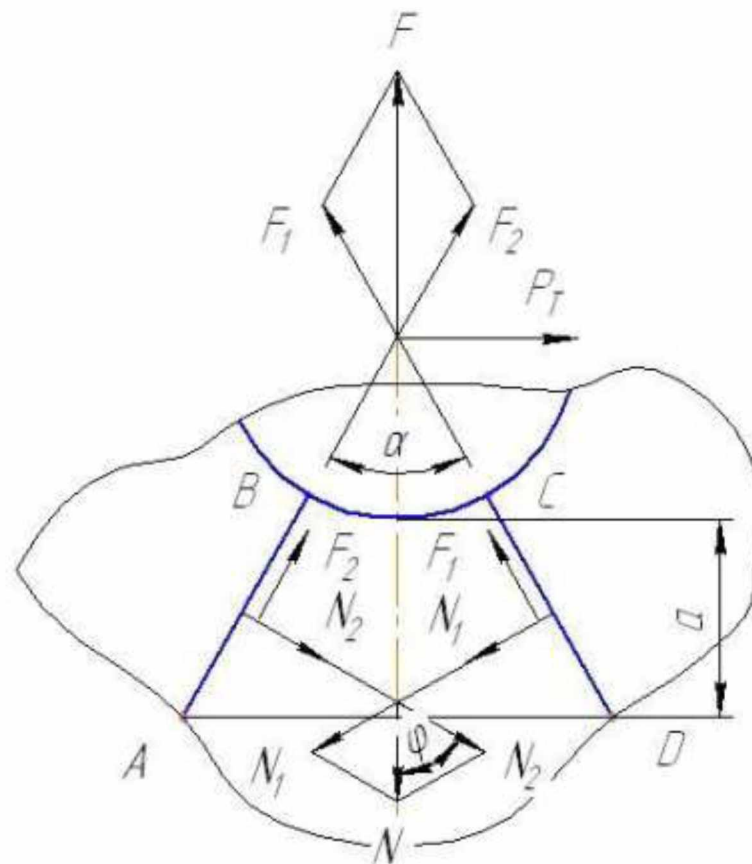


Рисунок 3.1 – Схема сил, що діють на голку ротаційного барабана

Під дією сили тяги  $P_T$  барабан з голками повертається навколо точки  $D$ , внаслідок чого виникають сили тертя  $F_1, F_2$ , що призводять до відриву пласта від масиву. Усередині пласта виникають нормальні  $\sigma$  і дотичні  $\tau$  напруження. За теорією Мора при розтягуванні (відриві) кришення пласта має місце за умови:

$$\tau = C_0 - \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.1)$$

де  $C_0$  – зв'язність ґрунту, Н/м<sup>2</sup>;

$\sigma$  – величина нормальних напружень, Н/м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

При стисненні – при більшому напруженні:

$$\tau = C_0 + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.2)$$

Теорія Мора встановлює взаємозв'язок між величинами напружень (дотичних  $\tau$ , нормальних  $\sigma$  стиснення і розтягування) з урахуванням кута внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi$ . За Морем руйнування починається при досягненні граничного значення напруги розтягнення. Величина  $C_0$  є зв'язністю (когезія) ґрунту, що характеризує кількість майданчиків контакту структурних агрегатів. З точки зору фізики процесу це пояснюється більш щільним укладанням структурних агрегатів і зменшенням порозності ґрунту при стисненні, в результаті чого збільшується фактична площа зсуву і зростають дотичні напруження. При розтягуванні відбувається зменшення нормальних напружень. Водно-колоїдні зв'язки між агрегатами ґрунту в значно меншій мірі опираються розтягування, ніж стиску [22]. При стисненні зменшується товщина водних плівок між структурними агрегатами, збільшується площа контакту і руйнування зазнають не тільки зв'язки, але і

самі агрегати, результатом чого є незадовільна якість кришення (велика кількість пилоподібних частинок в поєднанні з великими грудками).

Взаємодія робочих органів з ґрунтом в даному випадку необхідно розглядати як процес деформування в'язкопружної основи [18].

Співвідношення між напруженнями і деформаціями для в'язкопружних матеріалів зазвичай формулюються з використанням функції релаксації, що виражає зміну напруги. Складний напружений стан пласта ґрунту при впливі на нього робочого органу задають двома незалежними функціями, що визначають поведінку ґрунту при здвигній і об'ємній деформації. Ці функції відповідають модулю зсуву і модулю Юнга для ідеально пружних матеріалів.

Дослідження [23] показали, що при вивченні взаємодії ротаційних робочих органів з ґрунтом, достатньо розглядати рівняння напруженого стану пласта ґрунту тільки при об'ємних деформаціях і використовувати модель Максвелла. При цьому припускають, що ні в одній точці простору перед барабаном дотичні напруження не перевищують граничних. Інакше відбувається зсув ґрунту.

Модель Максвелла являє ґрунт як в'язкопружне середовище у вигляді послідовно з'єднаних пружин (жорсткості  $E$ ) з демпфером (в'язкістю  $\mu$ ). Для пружного елемента справедливий закон Гука, а для вузького – закон Ньютона.

Час релаксації  $T$  визначається за формулою:

$$T = \frac{\mu}{E}. \quad (3.3)$$

Для моделі Максвелла [23]:

$$\sigma + T \dot{\sigma} = \mu \dot{\epsilon}. \quad (3.4)$$

Розглядаючи взаємодію робочих органів з ґрунтом, необхідно враховувати не тільки пружність, а й в'язкість, тому необхідно знати закон розподілу напружень у в'язкопружному матеріалі.

Визначення напружень у в'язкопружному матеріалі полягає в заміні пружних постійних у відомому рішенні відповідними інтегральними операторами із співвідношень в'язкопружності. Але прикладання теорії в'язкопружності до кочення викликає певні труднощі і відповідне рішення не може бути отримано безпосередньо з пружного рішення. При коченні ґрунт в передній частині області контакту стиснутий, а на виході спостерігається ефект релаксації. Ґрунт, як в'язкопружний матеріал, релаксує (відновлюється) більш повільно, ніж стискається, тому точки початку і припинення контакту котка з ґрунтом розташовані на різній відстані від центру взаємодії [13].

Відомо, що витрати енергії на обробку ґрунту пропорційні довжині дуги різання, яка визначається глибиною розпушування і радіусом ротаційного робочого органу.

Довжина дуги в  $2\alpha$  математично може бути виражена як частина окружності по кінцях голок (рисунок 3.2) наступним чином [15]:

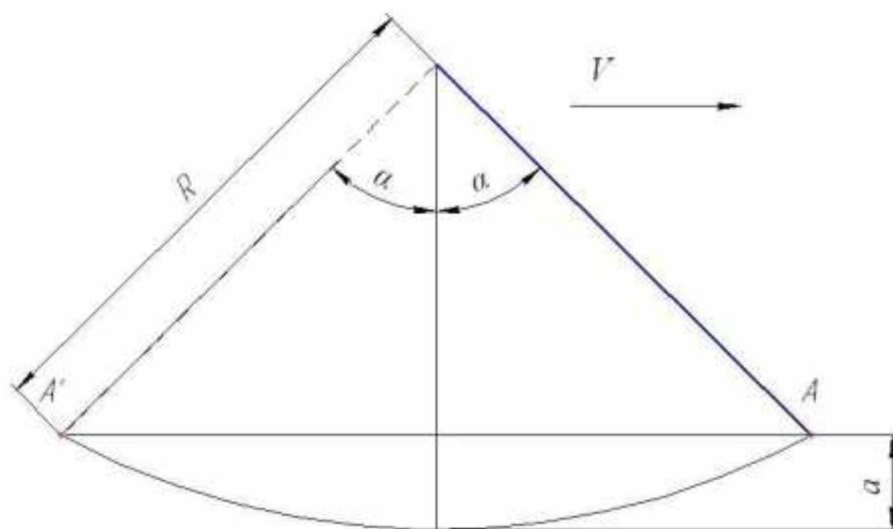


Рисунок 3.2 – Схема до визначення параметрів голки ротаційної борони

$$\cup AA' = \pi \cdot R \cdot \frac{\alpha}{90}. \quad (3.5)$$

Кут  $2\alpha$  визначає область, в якій голки занурені в ґрунт,  $a$  – глибина розпушування,  $R$  – радіус по кінцях голок ротаційного робочого органу.

З аналізу рисунка 3.2 випливає:

$$\cos \alpha = \frac{R - a}{R}, \quad (3.6)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R - a}{R}\right). \quad (3.7)$$

Підставивши отриманий вираз (3.7) в формулу (3.6), визначимо довжину дуги різання ротаційним робочим органом:

$$\cup AA' = \frac{\pi}{90} \cdot R \cdot \arccos\left(\frac{R - a}{R}\right). \quad (3.8)$$

З аналізу формули слід, що зі збільшенням глибини і радіусу робочого органу довжина дуги різання збільшується, отже, зростають витрати енергії на обробку ґрунту.

Параметри ротаційної борони впливають не тільки на енергетичні, а й на якісні показники технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту. Якість розпушування залежить від часу контакту голки ротаційної борони з ґрунтом. Голка знаходиться в контакті з ґрунтом від її дотику (точка  $A$  на рисунку 3.2) до повного виходу (точка  $A'$ ), тобто поки барабан повернеться на кут  $2\alpha$ .

Таким чином, час контакту голки з ґрунтом:

$$t = \frac{\cup AA'}{V}, \quad (3.9)$$

де  $V$  – поступальна швидкість машини, м/с.

$$t = \frac{\pi}{90 \cdot V} \cdot R \cdot \arccos\left(\frac{R - a}{R}\right). \quad (3.10)$$

З аналізу виразу випливає, що збільшення швидкості руху агрегату призводить до зменшення часу контакту голок з ґрунтом.

Зі збільшенням швидкості агрегату змінюється характер взаємодії голки з ґрунтом, який стає коливальним з більш високою частотою, тобто вібраційним ударної дії. При цьому час контакту голки з ґрунтом може стати меншим тривалості релаксації напружень. У цьому випадку ґрунт, під дією потенційної енергії пружних деформацій, лише частково і нерівномірно відновлює рівноважний стан вирівнюванням напружень за час контакту з голкою ротаційної борони, а оброблений фон характеризується підвищеним рихленням і гребенистістю. Для вирівнювання фону потрібні додаткові витрати енергії. Таким чином, необхідно дотримуватися умови:

$$t \geq T,$$

де  $T$  – час релаксації ґрунту, с.

Підставимо формулу для визначення часу релаксації ґрунту:

$$t \geq \frac{\mu}{E}. \quad (3.11)$$

Таким чином, отримаємо умову для вибору параметрів і режимів функціонування ротаційної борони, що забезпечує виконання якісних

показників технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту при мінімальних витратах енергії:

$$\frac{\pi}{90 \cdot V} \cdot R \cdot \arccos\left(\frac{R-a}{R}\right) \geq \frac{\mu}{E}. \quad (3.12)$$

Вираз розкриває взаємозв'язок параметрів і режимів функціонування ротаційної борони з реологічними властивостями ґрунту (релаксація напружень пласта).

Встановлено [16], що вологість ґрунту збільшується з підвищенням вологості повітря і зниженням температури. Однак величина вологості ґрунту визначається не тільки вологістю повітря, але і механічним складом ґрунту, зокрема, вмістом глинистих часток, а також фізичними властивостями, що визначають його питому поверхню. Відомо з фізики ґрунту, чим вище дисперсність ґрунту, тим вище її питома поверхня і гігроскопічна вологість збільшується.

В результаті досліджень отримані дані для ґрунту, представленого чорноземом звичайним, які свідчать про те, що гігроскопічна вологість в посушливих умовах не перевищує 4,3-4,7%. Шляхом інтерполяції даних отримали модуль деформації і коефіцієнт в'язкості для посушливих умов (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Модуль деформації і коефіцієнт в'язкості для посушливих умов

Показники	Посушливі умови
Модуль деформації $E$ , кПа	93,7
Коефіцієнт в'язкості $\mu$ , кПа·с	8,5
Час релаксації $t$ , с	0,09

Вихідні дані: для ґрунту, представленого чорноземом звичайним слабогумусним потужним легкоглинистим на лісовидних глинах, тривалість релаксації напружень складає  $T = 0,09$  с [17, 22]; глибина поверхневого розпушування до 8 см. Приймаємо діапазон зміни показників: швидкості агрегату  $V = 2,0-3,0$  м/с, діаметр голчастого диска  $D = 0,15-0,35$  м. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Час контакту голки з ґрунтом, с

Швидкість агрегату, м/с	Діаметр голчастого диска $D$ , м	Час контакту голки з ґрунтом $t$ , с
2,0	0,15	0,14
2,5	0,15	0,11
3,0	0,15	0,09
3,5	0,15	0,08
4,0	0,15	0,07
2,0	0,25	0,19
2,5	0,25	0,15
3,0	0,25	0,12
3,5	0,25	0,11
4,0	0,25	0,09
2,0	0,35	0,22
2,5	0,35	0,18
3,0	0,35	0,15
3,5	0,35	0,13
4,0	0,35	0,11

Аналіз даних таблиці 3.2 свідчить про те, що при малому діаметрі голчастого диска (0,15 м) підвищення швидкості агрегату понад 3,0 м/с призводить до погіршення якісних показників технологічного процесу

поверхневого розпушування, оскільки час контакту голки з ґрунтом менший часу релаксації напружень пласта (0,09 с) (рис. 3.3.).

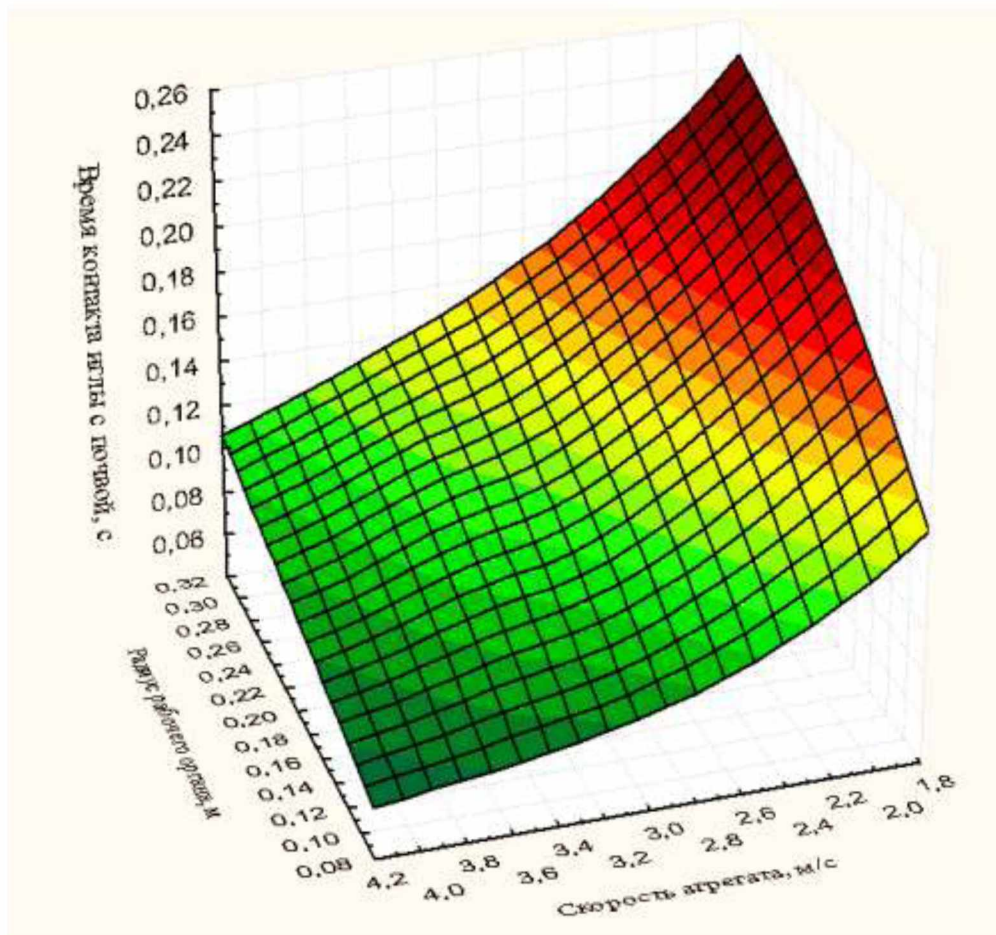


Рисунок 3.3 – Графік часу контакту голки з ґрунтом

Оскільки зі збільшенням діаметра голчастого диска зростають витрати енергії на поверхневу обробку ґрунту (подовжується дуга різання), а зменшення швидкості призводить до зниження продуктивності агрегату, вибираємо  $D = 0,15-0,35$  м,  $V = 2,0-3,0$  м/с для польових умов функціонування.

Таким чином, розкривається наукова новизна в частині взаємозв'язку параметрів робочого органу з фізико-механічними властивостями ґрунту, оскільки величина зовнішнього тертя безпосередньо залежить від вологості оброблюваного середовища.

У напрямку, паралельному осі барабана, відрив пласта буде здійснюватися по поверхнях найменшого опору, оскільки сам робочий орган не створює поверхню розділу, тобто під кутом природного відколу ґрунту  $\psi$ . (рисунок 3.4).

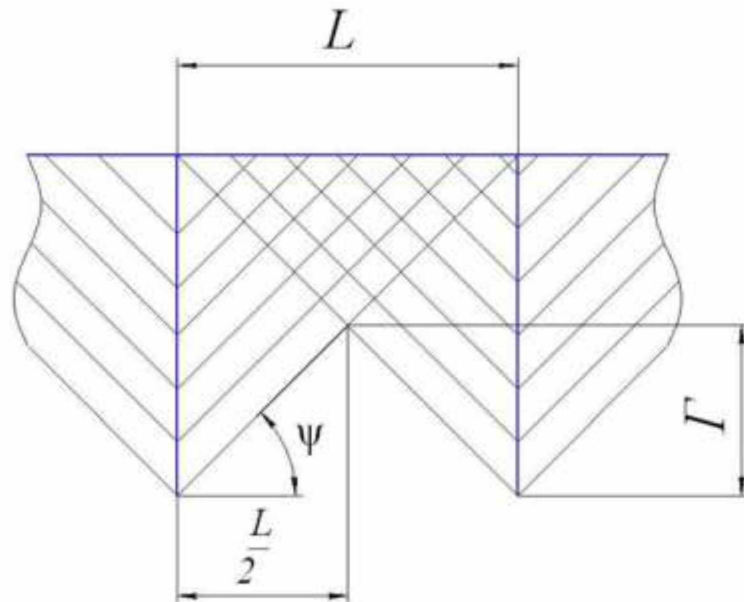


Рисунок 3.4 – Деформація ґрунту уздовж барабана

За агротехнічними вимогами до поверхневої обробки ґрунту робочий орган повинен створювати після проходу вирівняну поверхню з висотою гребенів і глибиною борозен не більше 3 см. На рисунку 3.4 показана область формування гребеня сусідніми голками в поздовжньому напрямку. З аналізу рисунка 3.4 випливає, що отримується в результаті обробки ґрунту висота гребенів (гребенястість  $\Gamma$ ) залежить безпосередньо від відстані між голками в поздовжньому напрямку  $L$ .

Згідно з дослідженнями кут природного відколу ґрунту склав близько  $20^\circ$  від горизонталі при заглибленні. Кут відколу ґрунту, як відомо з джерел, залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, геометричних параметрів робочого органу і глибини обробки. Зростання глибини обробки призводить до збільшення кута відколу, який може досягати  $45^\circ$ .

### 3.2. Визначення тягового опору ротаційної борони

Для вирішення поставленої оптимізаційної задачі, необхідно визначити обмеження і незалежні фактори та їх інтервали варіювання, які надають найбільшу значимість на параметр оптимізації: в нашому випадку, найкращим є мінімальна сила опору ґрунту при якісних агротехнічних показниках процесу.

На підставі огляду літературних джерел [19, 23] встановлено, що найбільшу значимість на параметр оптимізації надають діаметр голки  $d$ , глибина обробки  $a$ , поступальна швидкість руху знаряддя  $V$  і кутова швидкість обертання барабана голчастих дисків  $\omega$ .

Прийmemo обмеження:

- знаряддя рухається з постійною поступальною швидкістю згідно агровимог, що пред'являються до обробки ґрунту в міжряддях садів, а, отже, і кутова швидкість обертання барабана голчастих дисків буде постійною. На даному етапі дослідження швидкість прийняли фіксованою, тобто нас цікавить сила опору, яка виникає при впровадженні голки в ґрунт, утворення лунки і вихід з неї при постійній поступальній швидкості в процесі усталеного руху;

- глибина обробітку ґрунту в пристовбурних зонах визначена в роботі [12] і становить 6-8 см залежно від сорту і прищепи, приймаємо 6-8 см;

- за параметр оптимізації приймаємо силу опору ґрунту, що діє на голку ротаційного знаряддя. З точки зору енергоємності процесів вона повинна бути мінімальною, при якій агротехнічні вимоги, що пред'являються до поверхневої обробки, відповідають нормі.

На підставі літературних джерел, приймаємо інтервали варіювання діаметра голки і глибини обробки (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Інтервали варіювання факторів в натуральному і кодованому вигляді

Натуральне значення, мм				Кодоване позначення			
Фактори	Max	Min	Крок	Фактори	Max	Min	Середина
$d$	30	10	10	$X_1$	+1	-1	0
$a$	80	60	10	$X_2$	+1	-1	0

План повнофакторного експерименту для двох факторів, що варіюються, на трьох рівнях.

Забезпечення точності отримання результатів експерименту залежить від обсягу вибірки.

У нашому випадку обсяг вибірки визначали за формулою [23, 24].

$$n = \left( \frac{t \cdot v}{S_{\bar{X}}} \right)^2, \quad (3.13)$$

де  $n$  – обсяг вибірки;

$t$  – критерій Стьюдента;

$v$  – коефіцієнт варіації;

$S_{\bar{X}}$  – планована помилка вибіркової середньої.

Приймаючи достатню точність даних дослідів, і взявши проміжні значення двох останніх параметрів, отримали:

$$n = \left( \frac{4,3 \cdot 2}{3} \right)^2 = 8,22 \quad (3.14)$$

Число повторностей проведення дослідів по визначенню впливу факторів взяли не менше 8.

Експеримент проводили наступним чином. На фіксатор-обмежувач закріпили гвинтами обмежувальну планку, що дозволяє виставити задану

глибину впровадження голки в ґрунт, встановили голку заданого розміру прийнятого плану експерименту.

Обертаючи ручку пристрою, підвели голку до зіткнення з ґрунтом і подальшим прикладанням сили, через закріплений на голці динамометр до закінчення формування лунки, відмічали вхід і вихід голки в ґрунт, утворення лунки в ґрунті (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Лунка, утворена за один прохід голки

Крім завдання по оптимізації параметрів ротаційного знаряддя з голчастими робочими органами, розв'язуваної при проведенні експериментальних досліджень, так само стоїть завдання перевірки отриманих закономірностей взаємодії голки з ґрунтом. Для цього, в першу чергу, необхідно експериментально встановити межі зони деформації і форму відколу ґрунтових елементів при робочому ході голки, скоєного при утворенні лунки. Порядок роботи при цьому був наступний.

Голчатий пристрій встановлювали на задану глибину впровадження згідно з планом експерименту, заглиблювали в ґрунт на встановлену глибину і кілочками відзначали положення центру початку зони деформації. Потім проводився робочий прохід диска, показання тягового зусилля фіксувалися динамометром. В кінці робочого циклу по формування лунки, також фіксували положення центру зони кінцевої деформації по її осі. Між кілочками натягали мотузку, якою згодом визначали траєкторію центру досліджуваної голки.

Обсяг ґрунту витіснений за один прохід робочого органу голчастого пристрою зібраний пневматичним ґрунтовідбирачем, зважувався на електронних вагах. Потім визначали вагу ґрунту, який чинить опір на голку робочого органу лабораторної установки.

Показання динамометра фіксували кінокамерою. Силу опору визначили як середню величину за період утворення лунки в ґрунті покадровим переглядом файлу через 1 секунду з фіксованими показаннями динамометра. Так як показання динамометра мають похибку в зв'язку з тим, що він прикріплений не до лінії дії сили  $Q$ , тому для визначення сили, що діє на робочий орган ( $Q$ ) застосували рівняння моментів всіх сил діючих на голку і визначили величину похибки вимірювання.

Результати вимірювань, з урахуванням поправочного коефіцієнта, наведені в таблиці 3.4.

Отримані результати експерименту, оброблені методами математичної статистики, отримали систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{d}{dx_1} = 5,36 - 3 X_1 \\ \frac{d}{dx_2} = 4,97 - 2,5 X_2 \end{cases}, \quad (3.15)$$

Таблиця 3.4 – Експериментальні дані

№ з/п	Фактори		Відгук $P_x, H$	Коефіцієнт варіації	Середньоквадратичне відхилення
	$X_1$	$X_2$			
1	-1	-1	70,8	7,2	2,09
2	-1	+1	82,1	8,3	2,14
3	+1	-1	80,4	9,7	2,16
4	+1	+1	95,7	8,9	2,08
5	0	-1	78,3	9,2	2,05
6	0	+1	81,9	10	2,09
7	0	0	83,8	10,2	2,03
8	-1	0	72,8	9,2	2,06
9	+1	0	82,4	9,1	2,13

Рішенням даної системи диференціальних рівнянь є рівняння, де коефіцієнти при невідомих членах рівняння означають ступінь кореляції досліджуваних факторів і їх вплив на параметр оптимізації:

$$Y = 81,54 + 5,36X_1 + 4,97X_2 + 0,86X_1X_2 + 1,5X_1^2 + 1,25X_2^2. \quad (3.16)$$

В результаті перетворення одержали математичну модель процесу обробки ґрунту в канонічному вигляді:

$$Y = 78,6 + 1,6X_1^2 + 1,3X_2^2. \quad (3.17)$$

Графічна інтерпретація даного рівняння дає наочне уявлення про характер впливу факторів на параметр оптимізації (рисунок 3.6).

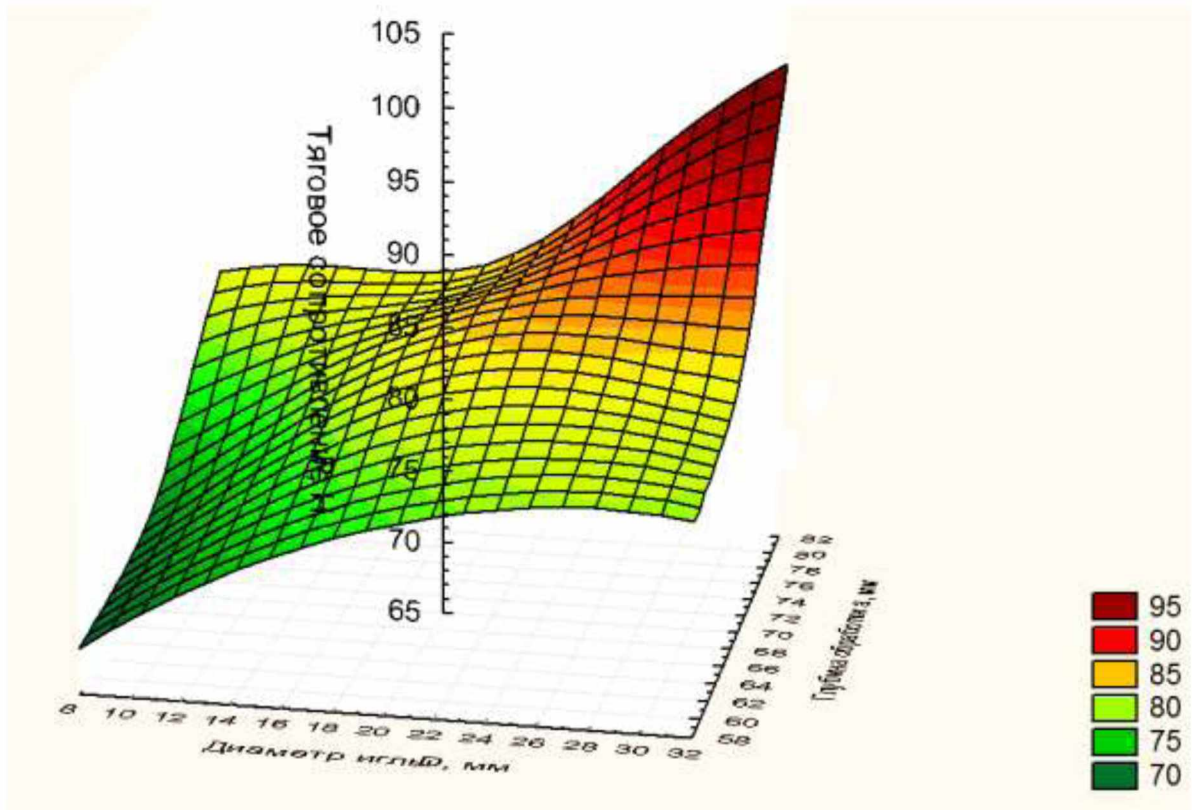


Рисунок 3.6 – Поверхня відгуку параметра оптимізації в залежності від діаметра голки і глибини обробки

Аналізуючи цю поверхню, можна зробити висновок, що при величині сили опору, що дорівнює 76,8Н оптимізуються фактори оптимальні і їх величини складають: діаметр голки 21 мм; глибина обробки 73 мм.

В результаті проведення експерименту встановлено, що сила опору ґрунту, що діє на голку ротаційного знаряддя, збільшується прямо пропорційно зміні величини зони деформації, тобто зі збільшенням зони деформації сила опору збільшується до середини досліджуваної лунки, потім зменшується. При вирішенні наступного завдання оптимізації глибину обробки приймати як досліджуваний фактор не доцільно, тому що її величина нами встановлена експериментально з урахуванням вимог, що пред'являються.

### 3.3. Дослідження по вибору раціональних параметрів ротаційної борони

Дослідження проводилися для визначення оптимальних конструктивних параметрів ротаційної борони і встановлення відповідності виконання технологічного процесу досліджуваним робочим органом вимогам, що пред'являються до поверхневої обробки ґрунту при мінімальних витратах енергії.

Умови проведення експерименту проходили за вищевикладеною методикою: фон – необроблений; рельєф – рівний; мікрорельєф – слабо виражений; тип ґрунту – чорнозем звичайний малогумусний легкоглинистий; вологість і твердість характерні для зони застосування робочих органів (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Вологість і твердість ґрунту по шарах ділянки проведення випробувань

Глибина шару, см	Вологість, %	Твердість, МПа
0-5	21,1	2,0
5-10	26,8	2,6
10-15	31,8	3,6

Для вирішення завдання щодо оптимізації конструктивних параметрів ротаційної борони введемо обмеження.

Встановлено, що найбільшу значимість на параметр оптимізації спричиняють діаметр голки  $d$ , глибина обробки  $a$ , поступальна швидкість руху знаряддя  $V$ , кутова швидкість обертання барабана голчастих дисків  $\omega$ , діаметр диска  $D$  і відстань між дисками  $L$ . Товщина голки ротаційного знаряддя і глибина обробки нами визначені вище .

Прийmemo обмеження:

- знаряддя рухається з постійною поступальною швидкістю згідно агровимог, що висуваються до обробки ґрунту в міжряддях садів, отже, і кутова швидкість обертання барабана голчастого знаряддя буде постійною;
- кількість голок на барабані приймаємо вісім на підставі того, що їх кількість істотно на тяговий опір знаряддя (тільки зі зміною кута установки) і на агрономічні показники не впливає;
- форму голки приймаємо прямою з метою поліпшення якості обробки поверхні;
- інтервали досліджуваних факторів приймаємо на підставі огляду та аналізу літературних джерел.

Тяговий опір КСГ-5,2 визначали спочатку без додаткової секції, потім визначали повний тягове опір і різницю цих показників, складала тяговий опір ротаційного знаряддя (таблиця 3.6), і зміна тягового опору в моменти входу і виходу з ряду.

Таблиця 3.6 – Результати експериментальних досліджень

№ з/п	Фактори в кодованому вигляді		Відгук, Н	Коефіцієнт варіації	Середньоквадратичне відхилення
	$X_1$	$X_2$			
1	+	+	3938	2,15	8,7
2	+	-	2625	2,58	8,9
3	+	0	3282	2,21	9,1
4	-	+	1723	2,18	9,4
5	-	-	1462	3,05	7,6
6	-	0	1602	2,11	8,3
7	0	0	1674	2,12	9,4
8	0	+	2009	2,13	9,2
9	0	-	1339	2,14	8,6

Обробили експериментальні дані методом найменших квадратів і отримали рівняння регресії другого порядку. У канонічній формі коефіцієнти при досліджуваних факторах вказують на ступінь кореляції їх парної взаємодії, рівняння має вигляд:

$$Y_s = 1572,5 + 0,1X_3 + 3,04X_4 + 0,68X_3X_4 + 1,270X_3^2 + 1,007X_4^2. \quad (3.18)$$

Графічна інтерпретації рішення рівняння представлена на рисунку 3.7.

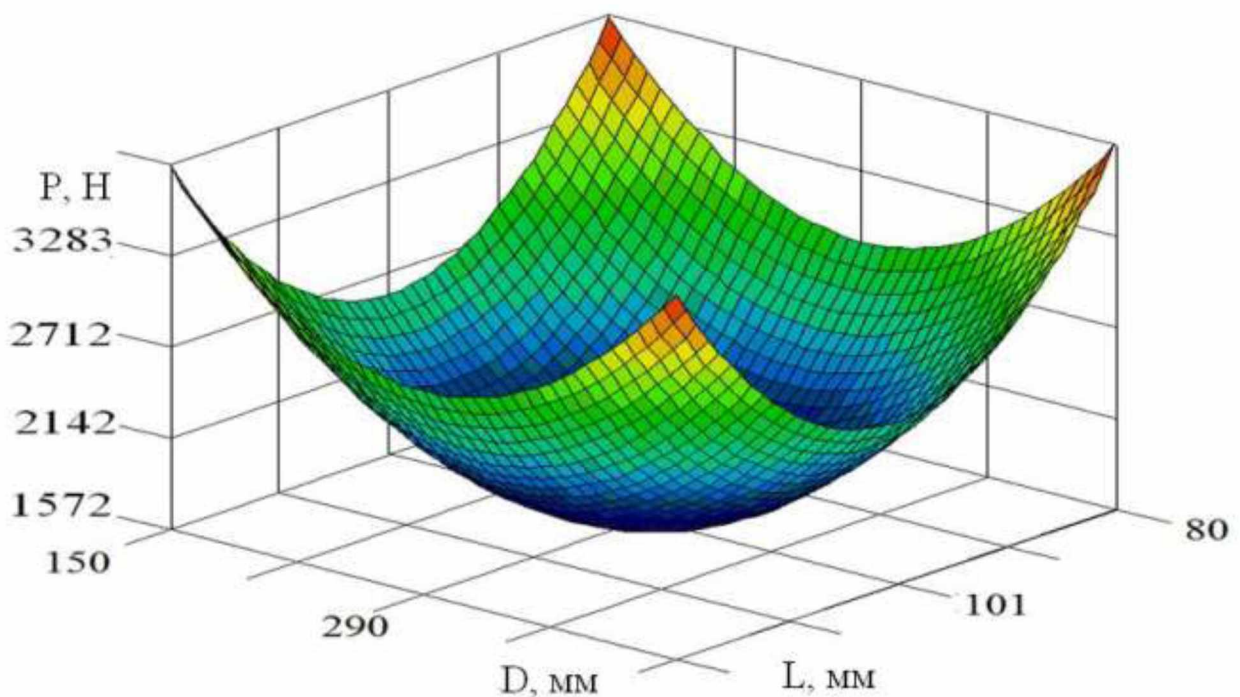


Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку в залежності від зміни діаметру диска і відстані між голчастими дисками

Рішення даного рівняння дає нам наочне уявлення про взаємодію двох факторів між собою і впливу на параметр оптимізації, а так само оптимальні величини факторів при тяговому опорі знаряддя 1,6 кН; оптимальний діаметр голчастого диска склав 290 мм; оптимальна відстань між дисками 101мм;

Дослідження показали, що якісні показники технологічного процесу поверхневої обробки ґрунту ротаційною бороною відповідають агровимогам:

глибина розпушування  $7 \pm 1$  см (допускається до  $8 \pm 1,5$  см), кількість грудок розміром до 25 мм (подрібнення) складає 80-85% (допускається не менше 70%). Крім цього спостерігалось повне підрізання кореневої системи і вичісування бур'янів після проходу ротаційного робочого органу.

Зміна діаметру диска робочого органу не зробила помітного впливу на якісні показники технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту.

Зменшення відстані між голками призводить до поліпшення якості кришення пласта, але до підвищення впусування і при високій швидкості руху агрегату може привести до розпорошення ґрунту. Встановлено залежність зміни ширини міжряддя від відстані між дисками  $L$ . Чим менше відстань між дисками, тим більше перекриття лунок між собою і тим менше гребенясто обробленої поверхні, тобто відстань між дисками впливає на гребенястість. Гребенястість вимірювали наступним чином. Розкопали ділянку обробленої поверхні, зробили поперечний переріз дна борозни, прибрали пневматичним ґрунтовідбирачем залишки ґрунту. Встановили лінійку на вершини гребенів, виміряли відстань від лінійки до дна борозни (висота гребенів і глибина борозен (гребенястість) не перевищує 1,5 см (допускається до 3 см), середньоквадратичне відхилення 2,81, коефіцієнт варіації 12,54).

## **Висновки**

На підставі аналізу процесу деформування в'язкопружного шару з використанням функції релаксації отримано раціональне співвідношення параметрів і режимів функціонування ротаційної борони, що забезпечує виконання якісних показників технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту при мінімальних витратах енергії.

Визначено раціональні параметри голки ротаційної борони, при яких сила опору ґрунту, що діє на голку – мінімальна  $d = 0,021$  м, при  $P = 76,8$  Н.

Встановлено параметри, які надають найбільшу значимість на тяговий опір ротаційної борони, визначені їх інтервали варіювання: діаметр диска ротаційної борони  $D = 0,29$  м; відстань між дисками  $L = 0,101$  м.

Встановлено, що якісні показники технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту ротаційною бороною відповідають пропонованим агрономам: глибина розпушування  $0,08 \pm 0,01$  м (допускається  $0,08 \pm 0,015$ ); висота гребенів і глибина борозен не перевищує  $0,015$  м (допустима до  $0,03$  м); грудки розміром до  $0,025$  мм складають 80-85% (допустима величина не менше 70%); повне підрізання і вичісування бур'янів.

## РОЗДІЛ 4

### РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

#### 4.1. Екологічна експертиза

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і тепlopостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з

урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;
- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системо утворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколоґо- експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці перед проєктних, проєктних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка

впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

## **4.2. Охорона праці**

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і

оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Робота з шкідливими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;

- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;

- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

У розділі охорони праці представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби.

### 4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

За основні чинники, що визначають економічну ефективність, були обрані зниження витрат праці і вартості механізованих робіт за рахунок підвищення продуктивності ґрунтообробної фрези.

При аналізі економічної ефективності показники роботи дослідного зразка порівнювали з показниками базової фрези, за умови їх експлуатації і відкритому ґрунті.

Визначаємо вартість дослідного зразка за формулою (додатковий індекс «баз» – базовий агрегат; індекс «досл» – дослідний):

$$B_{\text{досл}} = B_{\text{баз}} + B, \quad (4.1)$$

де  $B_{\text{баз}}$  – ринкова вартість базового варіанту фрези, грн.;

$$B_{\text{баз}} = 25000 \text{ грн.};$$

$B$  – вартість блоку управління, грн.;

З аналізу джерел [28], з урахуванням вартості комплектуючих, що входять в конструкцію регулювання режимів, і з урахуванням монтажних робіт приймає  $B = 3200$  грн.

$$B_{\text{досл}} = 25000 + 3200 = 28200 \text{ грн.}$$

Годинна продуктивність базового варіанту фрези при експлуатації у відкритому ґрунті, га/год.:

$$W_{\text{год}}^{\text{баз}} = 0,1Bv_n, \quad (4.2)$$

де  $B$  – ширина захвату, м;  $B = 0,85$  м;

$v_n$  – робоча швидкість руху, км/год.;  $v_n = 1$  км/год.

$$W_{год}^{баз} = 0,1 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,085 \text{ га/год.}$$

Змінна продуктивність, га/змінa:

$$W_{змінa} = W_{год} \cdot \tau_{зм} \cdot \kappa_{зм}, \quad (4.3)$$

де  $\tau_{зм}$  – час зміни, год.;  $\tau_{зм} = 7$  год.;

$\kappa_{зм}$  – коефіцієнт використання часу зміни;  $\kappa_{зм} = 0,75$ .

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$W_{змінa}^{баз} = 0,085 \cdot 7 \cdot 0,75 = 0,45 \text{ га/змінa};$$

$$W_{змінa 0,06}^{досл} = 0,17 \cdot 7 \cdot 0,75 = 0,89 \text{ га/змінa};$$

$$W_{змінa 0,13}^{досл} = 0,25 \cdot 7 \cdot 0,75 = 1,31 \text{ га/змінa};$$

$$W_{змінa 0,20}^{досл} = 0,23 \cdot 7 \cdot 0,75 = 1,2 \text{ га/змінa};$$

Витрати праці на одиницю роботи, люд.-год./га:

$$T_i = \frac{z}{W_{змінa}}, \quad (4.4)$$

де  $z$  – кількість обслуговуючого персоналу,  $z = 1$ .

$$T^{баз} = \frac{1}{0,45} = 2,22 \text{ люд.-год./га}$$

$$T_{0,06}^{досл} = \frac{1}{0,89} = 1,12 \text{ люд.-год./га}$$

$$T_{0,13}^{досл} = \frac{1}{1,31} = 0,76 \text{ люд.-год./га}$$

$$T_{0,20}^{досл} = \frac{1}{1,2} = 0,83 \text{ люд.-год./га}$$

Собівартість механізованих робіт, грн./га:

$$I = (Z + E + C + R + A)(1 + K), \quad (4.5)$$

де  $Z$  – витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн./га;

$E$  – витрати на електроенергію, грн./га;

$C$  – витрати на мастильні матеріали, грн./га;

$R$  – витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн./га;

$A$  – відрахування на амортизацію, грн./га;

$K$  – коефіцієнт інших прямих витрат,  $K = 0,1$ .

Річний наведений економічний ефект від експлуатації дослідної, грн.:

$$E_p = (I^{\text{баз}} - I^{\text{досл}})W_p. \quad (4.6)$$

Капітальні вкладення по машині в грн. на одиницю напрацювання, грн./га:

$$K = \frac{B}{W_p}. \quad (4.7)$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень, років:

$$T_\phi = \frac{B^{\text{досл}} - B^{\text{баз}}}{E_p}. \quad (4.8)$$

За аспект фінансової оцінки був прийнятий показник – найменший сумарний розмір прямих експлуатаційних витрат на обробку ґрунту агрегатом при обробці ґрунту в саду. Він задовольняє головному показнику оцінки ефективності в умовах ринкової економіки – найбільшій величині чистого прибутку (ПП) або чистого доходу (ЧД).

Експлуатаційні витрати на обробку ґрунту на один гектар наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники економічної ефективності пропонованого технічного засобу

Показник	Значення показника		Ефект	
	Існуючий	Проектований	Абсолютний	Відносний, %
Трудовитрати, люд.-год./га	0,47	0,31	-0,16	-34,0
Продуктивність праці, га/год.	2,1	3,2	+1,1	+52,3
Експлуатаційні витрати, грн./га	812,5	555,6	-256,9	-31,6
в тому числі: оплата праці	124,6	81,8	-42,8	-34,3
Амортизаційні відрахування, ремонтні відрахування та відрахування на ТО	527,6	315,2	-212,4	-40,2
ПММ	155,4	155,4	0	0
інші прямі витрати	4,9	3,2	-1,7	-34,0
Залучені інвестиції, грн./га	2357,1	1644,4	-712,7	-30,2
Приведені витрати, грн./га	1166,1	802,3	-363,8	-31,1
Енергоефективність, кВт год./га	31,5	20,6	-10,9	-34,6
Залучені капітальні інвестиції, грн.	–	30000	–	–
Очікуваний річний економічний ефект, грн.	–	185558	–	–
Строк повернення додаткових капітальних інвестицій, років	–	0,16	–	–
Коефіцієнт фактичної ефективності залучених інвестицій	–	6,1	–	–

З аналізу таблиці 4.1, видно що експлуатаційні витрати на обробку ґрунту площею 814 га з використанням пропонованого агрегату знижуються с 812,5 грн. до 555,6 грн., тобто на 256,9 грн. Це стало можливим завдяки зменшенню відрахувань на амортизацію, ремонт, техобслуговування і ПММ.

### **Висновки**

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована конструкція самохідної малогабаритної ґрунтообробної фрези з можливістю адаптації режимів її роботи і з високою ефективністю функціонування є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналіз умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Експлуатаційні витрати на обробку ґрунту площею 814 га з використанням пропонованого агрегату знижуються с 812,5 грн. до 555,6 грн., тобто на 256,9 грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі аналізу процесу деформування в'язкопружного шару з використанням функції релаксації отримано раціональне співвідношення параметрів і режимів функціонування ротаційної борони, що забезпечує виконання якісних показників технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту при мінімальних витратах енергії.

2. Визначено раціональні параметри голки ротаційної борони, при яких сила опору ґрунту, що діє на голку – мінімальна  $d = 0,021$  м, при  $P = 76,8$  Н.

3. Встановлено параметри, які надають найбільшу значимість на тяговий опір ротаційної борони, визначені їх інтервали варіювання: діаметр диска ротаційної борони  $D = 0,29$  м; відстань між дисками  $L = 0,101$  м.

4. Встановлено, що якісні показники технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту ротаційною бороною відповідають пропонованим вимогам: глибина розпушування  $0,08 \pm 0,01$  м; висота гребенів і глибина борозен не перевищує  $0,015$  м; грудки розміром до  $0,025$  мм складають 80-85%; повне підрізання і вичісування бур'янів.

5. Експлуатаційні витрати на обробку ґрунту площею 814 га з використанням пропонованого агрегату знижуються с 812,5 грн. до 555,6 грн., тобто на 256,9 грн.