

## ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Вчені аналізують методи скорочення обробки землі як дієвий спосіб зменшення негативного впливу сільського господарства на природу та збереження родючості ґрунтів. Результати досліджень щодо впливу безплужного обробітку на накопичення вуглецю в землі є неоднозначними, що викликає дискусії серед науковців стосовно його реального значення для екології.

Аналіз наукової літератури. Результати досліджень щодо врожайності та екологічної користі нульового обробітку ґрунту часто суперечать один одному. Ці розбіжності можуть бути пов'язані з відсутністю єдиних стандартів проведення експериментів. Методи, що частково зменшують руйнування ґрунтової структури, такі як мульчування або мінімальний обробіток, іноді об'єднують в одну групу. Відсутність чітких правил щодо інтенсивності обробки, чергування культур та застосування мульчі чи сидератів, ускладнює об'єктивну оцінку ефективності цих методів.

Складність досліджень. Вивчення ефективності екологічного землеробства – це тривалий і складний процес. Часто в експериментах вивчають лише один фактор, наприклад, спосіб обробітку, щоб уникнути взаємодії різних факторів та неоднозначних результатів. Екологічне землеробство базується на трьох основних принципах, тому зміна лише способу обробки ґрунту є недостатньою. Ці принципи включають:

мінімізацію руйнування ґрунтової структури для забезпечення тривалого сталого виробництва;

максимальне покриття поверхні ґрунту шляхом чергування культур та використання рослинних залишків;

стимулювання біологічної активності ґрунту за допомогою сівозміни, сидератів та інтегрованого захисту від шкідників і хвороб.

Роль рослинних решток. При мінімальному обробітку землі важливим є не лише зменшення руйнування ґрунту, але й ефективне використання рослинних решток.

Взаємозв'язок мінімальної обробки та рослинних решток. Для досягнення максимальної ефективності системи мінімальної обробки необхідно оптимізувати всі її елементи. Існує потреба в науково обґрунтованих даних та точних описах методів, що використовуються в таких системах, щоб зменшити похибку результатів.

Проблеми стандартизації досліджень. Основна проблема полягає в стандартизації методології досліджень та визначенні чітких умов для експериментів. Протокол дослідження повинен містити детальні параметри, такі як:

- час обробки ґрунту після мульчування;
- спосіб збирання попереднього врожаю, кількість та розподіл рослинних решток;
- тип, структура, вміст вуглецю, кислотність та рельєф ґрунту;
- історія сівозмін;
- вологість, температура та щільність ґрунту під час посіву;
- тип та конфігурація сівалок, швидкість та норми висіву, типи сошників, спосіб закриття насіння;
- рівномірність та глибина розміщення насіння, кількість рослин на гектар;
- відсоток засіяної площі поля;
- тип та кількість біомаси, що повертається в ґрунт, співвідношення C:N, розмір частинок та їх розташування;
- глибина та спосіб внесення добрив, методи боротьби з бур'янами, комахами та хворобами.

Визначення мінімальної обробки. Систему, в якій обробляється понад 50% поверхні ґрунту, не можна вважати мінімальною. Успішне застосування мінімальної обробки вимагає ефективного контролю бур'янів за допомогою сівозмін, покривних культур, механічних методів або гербіцидів.

Переваги мінімального обробітку. Відмова від обробки ґрунту та постійне покриття його рослинними рештками сприяє зменшенню ерозії, підвищенню біологічної активності, накопиченню вуглецю, збереженню води, ефективнішому використанню поживних речовин та підвищенню енергоефективності.

Принципи екологічного землеробства. Ефективність екологічного землеробства залежить від різноманітності сівозмін та покривних культур, а також від постійного застосування мінімального обробітку. Ця система імітує природні процеси, в яких розпушування ґрунту відбувається за допомогою коренів рослин та ґрунтової фауни.

Труднощі переходу. Перехід від традиційного до мінімального обробітку може супроводжуватися зниженням врожайності через:

- тривалий період адаптації ґрунту;
- недостатній досвід управління посівами;
- неправильне застосування технології.

Умови ефективного мінімального обробітку. Для успішного застосування цієї технології необхідно:

- використовувати потужні трактори;
- мати справну гідравлічну систему;
- застосовувати відповідне обладнання для посіву;
- враховувати особливості внесення азотних добрив;
- використовувати ефективні пестициди та гербіциди;
- вирощувати певні культури;
- вибирати адаптовані сорти та попередники;
- планувати адаптовані сівозміни;
- залучати до роботи досвідчених фахівців.

Мета дослідження. Підвищення ефективності технології та зниження витрат шляхом обґрунтування параметрів\_ робочого органу культиватора для дрібного\_ обробітку ґрунту.

Завдання дослідження:

Аналіз технологій та способів мінімального дрібного обробітку ґрунту.

Вивчення конструкцій ґрунтообробних машин та визначення факторів, що впливають на енергоефективність.

Теоретичне обґрунтування взаємодії робочого органу з ґрунтом та визначення оптимальних параметрів.

Дослідження впливу параметрів робочого органу на ефективність обробітку.

Визначення оптимальної швидкості руху агрегату.

Економічне порівняння ефективності використання робочого органу з аналогами.

Об'єкт дослідження: Технології, процеси та робочий орган ґрунтообробної машини для дрібного обробітку ґрунту.

Предмет дослідження: Умови та закономірності взаємодії робочого органу з ґрунтом, вплив його параметрів на енергозатрати і якість обробітку.

## **Розділ 1. Аналіз сучасних методів обробки ґрунту**

### **1.1. Сучасні технології дрібного обробітку ґрунту**

У сучасному аграрному секторі застосовується широкий спектр технологій обробки ґрунту, кожна з яких має свої особливості. Найбільш поширеними є традиційний, мінімальний, нульовий (Noo-till) та смуговий (Strip-till) методи [4, 12, 22].

Традиційна технологія передбачає повний цикл обробки: оранку з обертанням пласта, боронування, передпосівну культивуацію та посів. Цей метод є найбільш енерговитратним і потребує застосування різноманітного сільськогосподарського обладнання, такого як плуги, борони, культиватори та сівалки (рис. 1.1).

Мінімальний обробіток включає глибоке розпушування без обертання пласта, культивуацію та посів. Ця технологія є менш енергоємною та вимагає менше ресурсів, ніж традиційна. Для її реалізації використовуються чизельні плуги, культиватори, глибокорозпушувачі та сівалки (рис. 1.2).

Нульовий обробіток (No-till) полягає в прямому посіві без попередньої обробки ґрунту за допомогою спеціальних сівалок, що дозволяє проводити посів і внесення добрив за один прохід (рис. 1.3).

Смуговий обробіток (Strip-till) є сучасною технологією, яка передбачає обробку ґрунту лише в смугах для посіву. Цей метод забезпечує вищу врожайність порівняно з No-till (приблизно на 25%) та дозволяє економити до 50% мінеральних добрив (рис. 1.4) [3, 5, 9].

Для реалізації технології Strip-till використовуються спеціальні культиватори, які обробляють ґрунт лише в смугах для посіву. Цей метод має значний потенціал для подальшого розвитку та широко застосовується в аграрно розвинених країнах [23].

Strip-till дозволяє ефективно вирішувати проблеми короткого вегетаційного періоду, боротьби з бур'янами, низької родючості ґрунтів та ерозії. Ця технологія особливо ефективна для вирощування просапних

культур, таких як кукурудза. Вона полягає в розпушуванні смуг ґрунту, внесенні добрив та посіві насіння в межах оброблених смуг.

Локальна обробка ґрунту дозволяє зберегти до 70% площі поля необробленою, а добрива вносяться безпосередньо в прикореневу зону рослин. Також ця технологія дозволяє проводити посів незалежно від термінів обробки ґрунту. Часто застосовуються гранульовані (60%) та рідкі (40%) добрива.

Основні переваги Strip-till:

економія палива (приблизно 30%);

оптимізація внесення добрив;

одночасне розпушування ґрунту та посів;

збереження родючості ґрунту;

зниження ущільнення ґрунту.

Важливим є забезпечення заданої ширини обробки смуг без пошкодження сусідніх міжрядь.

Обробка ґрунту є найбільш енергоємним процесом у сільському господарстві, на який припадає до 30% витрат [23]. Тому оптимізація цього процесу є важливою для зниження витрат та підвищення ефективності виробництва. Існують наукові дослідження, спрямовані на розробку ефективних робочих органів для ґрунтообробних машин.

Передпосівна культивация, спрямована на створення оптимального насінневого ложа, є ключовим етапом у підготовці ґрунту для зернових культур. Вибір глибини обробки, зазвичай в межах 5-10 см, залежить від типу ґрунту та вимог конкретної культури.

Гранулометричний склад ґрунту та його щільність є основними показниками ефективності передпосівної підготовки. Традиційна оранка, хоч і широко використовується в невеликих господарствах, сприяє ерозії ґрунту та утворенню плужної підшви, а також призводить до втрати вологи, що негативно впливає на розвиток рослин та врожайність.

Глибоке розпушування ґрунту без обертання пласта, запроваджене в Україні в 30-х роках, зменшує ерозію, але має недоліки, такі як ущільнення ґрунту та висока енергоємність. Смогове розпушування (чизелювання) руйнує ущільнену підшову ґрунту та покращує проникнення вологи, але недостатня якість підрізання бур'янів та нерівномірність обробки є його недоліками. Різноглибинний обробіток ґрунту забезпечує розпушення верхнього шару на всю площу, дозволяючи зменшити енергоємність обробки та покращити аерацію ґрунту.

Дрібне розпушування після гороху ефективно для підготовки ґрунту під озимі культури, дозволяючи знизити витрати енергії та зберегти вологу. Диференційована система обробки ґрунту підвищує якість обробки та знижує енергоємність процесу. Ці факти вимагають удосконалення методів дрібного обробітку ґрунту, а обґрунтування параметрів робочих органів ґрунтообробних машин є важливим аспектом.

Вибір оптимальних параметрів обробки залежить від типу ґрунту, кліматичних умов та екологічних аспектів. Використання сучасних технологій дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля, а дослідження нових методів обробки ґрунту є актуальним завданням для аграрної галузі. Важливо забезпечити оптимальне співвідношення між якістю обробки та енергоємністю процесу, використовуючи мінімальний обробіток ґрунту для збереження його структури та родючості.

Оптимізація параметрів робочих органів сприяє підвищенню продуктивності ґрунтообробних машин. Врахування особливостей рельєфу ділянки, використання систем GPS та автоматичного управління, а також впровадження нових технологій дозволяють зменшити трудомісткість робіт. Важливо забезпечити належне навчання персоналу щодо використання сучасних методів обробки ґрунту, а використання захисних засобів під час роботи з ґрунтообробними машинами є обов'язковим.

Регулярне технічне обслуговування машин сприяє їх тривалій та ефективній роботі. Важливо враховувати економічні аспекти при виборі

методів обробки ґрунту, а дослідження впливу різних методів обробки на врожайність є важливим етапом. Використання органічних добрив, оптимізація сівозміни та використання сидератів сприяють збереженню родючості ґрунту.

Враховання агрономічних вимог до кожної культури, дослідження впливу різних методів обробки на ерозію ґрунту, використання водозберігаючих технологій та оптимізація поливу є важливими аспектами. Враховання погодних умов, використання сучасних методів прогнозування погоди, дослідження впливу різних методів обробки на мікроорганізми ґрунту та використання біопрепаратів є необхідними для ефективної роботи.

Оптимізація використання добрив, враховання типу ґрунту, дослідження впливу різних методів обробки на структуру ґрунту, використання мінімальної обробки ґрунту, оптимізація параметрів робочих органів, враховання особливостей рельєфу ділянки, дослідження впливу різних методів обробки на збереження вологи, використання мульчування, оптимізація поливу, дослідження впливу різних методів обробки на мікроорганізми ґрунту та використання біопрепаратів сприяють покращенню стану ґрунту та підвищенню врожайності.

Оптимізація використання добрив, враховання типу ґрунту, дослідження впливу різних методів обробки на структуру ґрунту, використання мінімальної обробки ґрунту, оптимізація параметрів робочих органів, враховання особливостей рельєфу ділянки, дослідження впливу різних методів обробки на збереження вологи, використання мульчування, оптимізація поливу, дослідження впливу різних методів обробки на мікроорганізми ґрунту та використання біопрепаратів сприяють покращенню стану ґрунту та підвищенню врожайності. Використання сучасних аналітичних методів для оцінки складу ґрунту дозволяє точно визначити потребу в поживних речовинах. Враховання кислотності ґрунту при виборі добрив є важливим для забезпечення оптимальних умов росту рослин.

Мінімальний обробіток ґрунту сприяє збереженню його природної структури та зменшенню ерозії. Оптимізація параметрів робочих органів ґрунтообробних машин дозволяє покращити якість обробки та знизити витрати палива. Врахування особливостей рельєфу ділянки при плануванні робіт дозволяє уникнути нерівномірності обробки та ерозії ґрунту. Дослідження впливу різних методів обробки на збереження вологи є важливим для вибору оптимальних технологій у посушливих регіонах.

Використання мульчування дозволяє зменшити випаровування вологи з ґрунту та покращити його структуру. Оптимізація поливу дозволяє забезпечити достатнє зволоження ґрунту при мінімальних витратах води. Дослідження впливу різних методів обробки на мікроорганізми ґрунту дозволяє оцінити їх вплив на родючість ґрунту. Використання біопрепаратів дозволяє покращити стан ґрунту та підвищити його стійкість до захворювань.

Впровадження систем точного землеробства з використанням GPS та дронів дозволяє оптимізувати внесення добрив та засобів захисту рослин. Аналіз даних з датчиків вологості та температури ґрунту дозволяє адаптувати полив до конкретних умов ділянки. Використання сучасних технологій дозволяє зменшити негаативний вплив сільськогосподарства на довкілля. Дослідження нових методів обробки ґрунту є важливим для підвищення ефективності аграрного виробництва. Розробка ґрунтообробної техніки з урахуванням екологічних вимог є важливим напрямком розвитку галузі.

Врахування регіональних особливостей ґрунту та клімату є важливим при виборі технологій обробки. Використання ґрунтообробної техніки в поєднанні з внесенням органічних добрив дозволяє покращити структуру ґрунту та підвищити його родючість. Оптимізація ґрунтообробних робіт дозволяє зменшити ризики ерозії ґрунту та втрати поживних речовин. Розвиток технологій ґрунтообробки вимагає постійного впровадження інновацій та адаптації до змін у сільськогосподарській практиці. Використання технологій безпілотних літальних апаратів дозволяє проводити

аерофотозйомку полів для створення карт з високою деталізацією. Інтеграція штучного інтелекту в системи управління сільськогосподарською технікою дозволяє автоматично коригувати параметри обробки залежно від поточних умов.

Використання роботизованих комплексів для ґрунтообробки дозволяє підвищити точність та ефективність робіт, а також зменшити залежність від людського фактора. Розробка нових матеріалів для робочих органів ґрунтообробних знарядь, таких як керамічні сплави та композитні матеріали, підвищує їх зносостійкість та ефективність.

Врахування типу ґрунту є важливим для оптимального планування обробітку, а дослідження впливу різних методів обробки на структуру ґрунту є необхідним для його покращення. Використання мінімальної обробітку ґрунту сприяє збереженню екологічної рівноваги.

## **1.2. Аналіз методів та схем обробки ґрунту**

Основна мета механізованого обробітку ґрунту полягає в оптимізації енерговитрат та досягненні високої якості обробки. Оскільки механічний обробіток становить значну частку (40-70%) [3] енергетичних витрат у сільському господарстві, питання його ефективності є надзвичайно важливим.

В Україні спостерігається тенденція до використання імпоротної техніки, яка не завжди сприяє зниженню енерговитрат. Наприклад, імпортні плуги можуть забезпечувати незначне зниження енерговитрат (7-12%) завдяки якісним матеріалам та технологіям, але їх висока вартість (на 40-50% вища, ніж у вітчизняних аналогів) нівелює цей ефект [10].

Важливо відзначити, що при використанні вітчизняних та імпортних машин в однакових умовах, суттєвої різниці в якості виконання агротехнічних вимог не спостерігається. Тому пріоритетним завданням є підвищення технологічного рівня виробництва вітчизняної ґрунтообробної техніки на основі сучасних розробок.

Крім того, необхідно розробляти робочі органи, які мінімізують енерговитрати на руйнування зв'язків між частинками ґрунту.

Таблиця 1.2 порівнює експлуатаційні та екологічні показники різних методів обробки ґрунту [5].

В аграрному виробництві застосовується широкий спектр ґрунтообробної техніки, класифікованої за структурною схемою. Останнім часом спостерігається тенденція до мінімізації інтенсивності обробки ґрунту, що виражається у зменшенні кількості проходів техніки по полю. Для цього розробляються комбіновані знаряддя, що поєднують різні типи робочих органів, дозволяючи досягти високої якості обробки при мінімальних енерговитратах.

Використання комбінованих знарядь не тільки зменшує енергоємність робіт, але й сприяє збереженню структури ґрунту, що важливо для його родючості. Ці агрегати дозволяють виконувати кілька операцій одночасно, таких як розпушування, вирівнювання та підготовка посівного ложа, що значно скорочує час обробки. Розробка таких знарядь вимагає детального аналізу властивостей ґрунту та вимог до обробки конкретних культур. Використання сучасних матеріалів та технологій дозволяє створювати робочі органи, які ефективно працюють навіть у складних умовах.

Важливим аспектом є також екологічна безпека ґрунтообробних робіт, тому розробка техніки спрямована на зменшення впливу на довкілля. Для цього використовуються технології мінімальної обробки, що зберігають вологу та органічні речовини в ґрунті. Оптимізація робочих органів дозволяє зменшити ущільнення ґрунту та покращити його аерацію. Важливим є також врахування економічної ефективності застосування ґрунтообробної техніки, що включає аналіз витрат на паливо, обслуговування та амортизацію.

Використання точного землеробства з системами GPS та автоматичним управлінням дозволяє оптимізувати траєкторію руху техніки та зменшити витрати. Сучасні ґрунтообробні знаряддя обладнуються системами контролю глибини обробки, що дозволяє забезпечити рівномірність обробки по всій площі. Розробка ґрунтообробної техніки враховує також вимоги до безпеки праці операторів, що включає захист від вібрації та шуму. Важливим є також

забезпечення надійності та довговічності ґрунтообробної техніки, що дозволяє зменшити витрати на її ремонт та заміну.

Використання точного землеробства з системами GPS та автоматичним управлінням дозволяє оптимізувати траєкторію руху техніки, що призводить до значного зменшення витрат палива та часу на обробку ґрунту. Сучасні ґрунтообробні знаряддя, обладнані системами контролю глибини обробки, гарантують рівномірність обробки по всій площі, що є критично важливим для забезпечення високої врожайності. Розробка ґрунтообробної техніки приділяє особливу увагу безпеці праці операторів, що включає ефективний захист від вібрації та шуму, забезпечуючи комфортні умови роботи. Важливим аспектом є забезпечення надійності та довговічності ґрунтообробної техніки, що дозволяє мінімізувати витрати на її ремонт та заміну, сприяючи стабільності виробництва.

Технології точного землеробства дозволяють також оптимізувати внесення добрив та засобів захисту рослин, що сприяє зменшенню їх використання та зниженню негативного впливу на довкілля. Інтеграція систем GPS та автоматичного управління дозволяє створювати карти полів з високою точністю, що є основою для диференційованого\_ внесення ресурсів. Використання датчиків вологості та температури ґрунту дозволяє адаптувати обробку до конкретних умов ділянки, підвищуючи ефективність робіт. Сучасні ґрунтообробні знаряддя обладнуються системами моніторингу, що дозволяють контролювати стан робочих органів та вчасно проводити технічне обслуговування.

Розробка ґрунтообробної техніки враховує також вимоги до мінімальної обробки ґрунту, що сприяє збереженню його структури та родючості. Використання комбінованих знарядь дозволяє виконувати кілька операцій одночасно, що значно скорочує час та витрати на обробку. Важливим є також врахування економічної ефективності застосування ґрунтообробної техніки, що включає аналіз витрат на паливо, обслуговування та амортизацію.

Використання екологічно чистих матеріалів у виробництві ґрунтообробної техніки сприяє зменшенню її негативного впливу на довкілля.

Дослідження нових методів обробки ґрунту є актуальним завданням для аграрної галузі, що спрямоване на підвищення ефективності та екологічності ґрунтообробних робіт. Важливим є також врахування регіональних особливостей ґрунту та клімату при розробці ґрунтообробної техніки. Використання ґрунтообробної техніки в поєднанні з внесенням органічних добрив дозволяє підвищити врожайність культур та покращити структуру ґрунту. Оптимізація ґрунтообробних робіт дозволяє зменшити ризики ерозії ґрунту та втрати поживних речовин, сприяючи стабільності аграрного виробництва. Розвиток технологій ґрунтообробки вимагає постійного впровадження інновацій та адаптації до змін у сільськогосподарській практиці.

Технології точного землеробства дозволяють також оптимізувати внесення добрив та засобів захисту рослин, що сприяє зменшенню їх використання та зниженню негативного впливу на довкілля. Інтеграція систем GPS та автоматичного управління дозволяє створювати карти полів з високою точністю, що є основою для диференційованого\_ внесення ресурсів, забезпечуючи оптимальне живлення рослин на кожній ділянці. Використання датчиків вологості та температури ґрунту дозволяє адаптувати обробку до конкретних умов ділянки, підвищуючи ефективність робіт та знижуючи ризики перезволоження або пересушення ґрунту. Сучасні ґрунтообробні знаряддя обладнуються системами моніторингу, що дозволяють контролювати стан робочих органів та вчасно проводити технічне обслуговування, запобігаючи аварійним ситуаціям та збільшуючи термін служби техніки.

Розробка ґрунтообробної техніки враховує також вимоги до мінімальної обробки ґрунту, що сприяє збереженню його структури та родючості, зменшуючи ерозію та втрату органічної речовини. Використання комбінованих знарядь дозволяє виконувати кілька операцій одночасно, що

значно скорочує час та витрати на обробку, оптимізуючи робочий процес та зменшуючи витрати палива. Важливим є також врахування економічної ефективності застосування ґрунтообробної техніки, що включає аналіз витрат на паливо, обслуговування та амортизацію, дозволяючи обґрунтовано вибирати техніку та технології обробки. Використання екологічно чистих матеріалів у виробництві ґрунтообробної техніки сприяє зменшенню її негативного впливу на довкілля, мінімізуючи викиди шкідливих речовин та покращуючи екологічну безпеку виробництва.

Дослідження нових методів обробки ґрунту є актуальним завданням для аграрної галузі, що спрямоване на підвищення ефективності та екологічності ґрунтообробних робіт, дозволяючи знайти оптимальні рішення для різних типів ґрунтів та кліматичних умов. Важливим є також врахування регіональних особливостей ґрунту та клімату при розробці ґрунтообробної техніки, що дозволяє адаптувати її до конкретних умов та підвищити ефективність робіт. Використання ґрунтообробної техніки в поєднанні з внесенням органічних добрив дозволяє підвищити врожайність культур та покращити структуру ґрунту, забезпечуючи стабільний та екологічно чистий урожай. Оптимізація ґрунтообробних робіт дозволяє зменшити ризики ерозії ґрунту та втрати поживних речовин, сприяючи стабільності аграрного виробництва та забезпечуючи збереження родючості ґрунту на тривалий період. Розвиток технологій ґрунтообробки вимагає постійного впровадження інновацій та адаптації до змін у сільськогосподарській практиці, забезпечуючи ефективність та екологічну безпеку виробництва.

Технології безпілотних літальних апаратів дозволяють проводити аерофотозйомку полів для створення карт з високою деталізацією. Це, в свою чергу, оптимізує посів, обприскування та внесення добрив. Інтеграція штучного інтелекту в системи управління сільськогосподарською технікою дозволяє автоматично коригувати параметри обробки залежно від поточних умов. Використання роботизованих комплексів для ґрунтообробки дозволяє підвищити точність та ефективність робіт, а також зменшити залежність від

людського фактора. Розробка нових матеріалів для робочих органів ґрунтообробних знарядь, таких як керамічні сплави та композитні матеріали, підвищує їх зносостійкість та ефективність.

Врахування агрономічних вимог до обробки ґрунту є ключовим фактором при розробці ґрунтообробних знарядь. Використання різних типів робочих органів дозволяє адаптувати техніку до різних типів ґрунту та культур. Важливим є також врахування погодних умов та стану ґрунту при плануванні ґрунтообробних робіт. Дослідження нових методів обробки ґрунту є актуальним завданням для аграрної галузі, що спрямоване на підвищення ефективності та екологічності ґрунтообробних робіт. Використання ґрунтообробної техніки в поєднанні з внесенням добрив дозволяє підвищити врожайність культур. Оптимізація ґрунтообробних робіт дозволяє зменшити ризики ерозії ґрунту та втрати поживних речовин.

### **1.3. Аналіз конструкцій робочих органів ґрунтообробних машин**

Аналіз конструкцій машин для дрібноого обробітку ґрунту показує, що найбільш поширеними є дисково-чизельні агрегати. Вони оснащені дисками (діаметр 510-560 мм) та чизельними лапами, що дозволяє обробляти ущільнені ґрунти на глибинну до 30 см.

Чизельні робочі органи часто обладнуються демпферними пристроями, що створюють вібраційний ефект, зменшуючи тяговий опір та запобігаючи накопиченню рослинних решток.

Для додаткового подрібнення ґрунту та вирівнювання поверхні використовуються котки-подрібнювачі (рис. 1.6).

Для передпоосівного обробітку ґрунту після чизельної оранки застосовуються\_ дискові знаряддя та культиватори. Однак, з метою мінімізації кількості проходів, розробляються комбіновані знаряддя "весняного" типу, які виконують кілька операцій одночасно:

- подрібнення рослинних решток;

- вирівнювання поверхні;

- знищення бур'янів;

збереження вологи.

Типова комплектація таких агрегатів включає диски, культиваторні лапи та котки.

В Україні також розроблено ряд знарядь для дрібного обробітку ґрунту, таких як культиватори КР-4,5, АКГ-4, плоскоріз-щілювач ПЩН-2,5 (рис. 1.8) та інші.

ПЩН-2,5 поєднує роботу плоскорізних лап та дисків, що забезпечує якісне підрізання бур'янів та смугове щілювання ґрунту.

Для поверхневого обробітку ґрунту застосовуюються дискові борони, в тому числі БДВ-6, яка може працювати в реверсному режимі (рис. 1.9).

Останніми роками в Україні зростає популярність комбінованих знарядь для передпосівного обробітку ґрунту, таких як LEMKEN Koralin (рис. 1.9).

Останніми роками в Україні зростає популярність комбінованих знарядь для передпосівного обробітку ґрунту, таких як LEMKEN Koralin. Ці агрегати забезпечують якісну підготовку ґрунту за один прохід, що зменшує ущільнення ґрунту та витрати палива. Однак, ґрунтообробні знаряддя повинні постійно вдосконалюватися відповідно до змін агротехнічних вимог та кліматичних умов. Наприклад, використання плуга має ряд недоліків, тому необхідно розробляти альтернативні рішення.

Впровадження комбінованих знарядь у сільське господарство України демонструє прагнення до оптимізації процесів та зменшення негативного впливу на ґрунт. Ці агрегати, поєднуючи в собі функції розпушування, вирівнювання та підготовки посівного ложа, дозволяють знизити кількість проходів техніки по полю, що є важливим для збереження його структури. Розробка таких знарядь вимагає глибокого аналізу властивостей ґрунту та кліматичних особливостей регіону, а також використання сучасних матеріалів та технологій.

Однією з ключових тенденцій є прагнення до мінімізації обробітку ґрунту, що дозволяє зберегти вологу та органічні речовини в ґрунті. Це

особливо актуально в умовах змін клімату, коли зростає ризик посух. Розробка альтернативних рішень замість плуга, таких як дискові знаряддя та культиватори з різними типами робочих органів, дозволяють зменшити енергоємність обробки та покращити аерацію ґрунту.

Важливим аспектом є також екологічна безпека ґрунтообробних робіт. Розробка техніки спрямована на зменшення впливу на довкілля, включаючи зниження викидів CO<sub>2</sub> та мінімізацію використання гербіцидів. Використання точного землеробства з системами GPS та автоматичним управлінням дозволяє оптимізувати траєкторію руху техніки та зменшити витрати палива.

Сучасні ґрунтообробні знаряддя обладнуються системами контролю глибини обробки, що забезпечує рівномірність обробки по всій площі. Розробка ґрунтообробної техніки враховує також вимоги до безпеки праці операторів, включаючи захист від вібрації та шуму. Важливим є також забезпечення надійності та довговічності ґрунтообробної техніки, що дозволяє зменшити витрати на її ремонт та заміну.

Врахування агрономічних вимог до обробки ґрунту є ключовим фактором при розробці ґрунтообробних знарядь. Використання різних типів робочих органів дозволяє адаптувати техніку до різних типів ґрунту та культур. Важливим є також врахування погодних умов та стану ґрунту при плануванні ґрунтообробних робіт. Дослідження нових методів обробки ґрунту є актуальним завданням для аграрної галузі, що спрямоване на підвищення ефективності та екологічності ґрунтообробних робіт.

Використання ґрунтообробної техніки в поєднанні з внесенням добрив дозволяє підвищити врожайність культур. Оптимізація ґрунтообробних робіт дозволяє зменшити ризики ерозії ґрунту та втрати поживних речовин, сприяючи стабільності аграрного виробництва. Розвиток технологій ґрунтообробки вимагає постійного впровадження інновацій та адаптації до змін у сільськогосподарській практиці.

Поступове скорочення традиційного застосування плуга в українському сільському господарстві є відображенням глобальних тенденцій до

збереження ґрунтових ресурсів. Зменшення механічного впливу на ґрунт, досягнуте використанням комбінованих агрегатів, не тільки знижує експлуатаційні витрати, а й сприяє зменшенню викидів вуглекислоого газу, пов'язаних з обробкою.

Впровадження систем точного землеробства, інтегрованих з ґрунтообробною технікою, дозволяє забезпечити диференційовану обробку ділянок поля, враховуючи їх специфічні особливості. Це, в свою чергу, оптимізує використання ресурсів і підвищує продуктивність сільськогосподарських культур. Адаптація техніки до роботи в умовах змін клімату, таких як посухи або несподівані опади, вимагає розробки універсальних агрегатів, здатних ефективно працювати в різних умовах.

Розробка нових матеріалів для робочих органів ґрунтообробної техніки, зносостійких та ефективних, сприяє зменшенню витрат на обслуговування та підвищенню якості обробки. Впровадження систем контролю за станом ґрунту в режимі реального часу, з використанням сенсорів та дронів, дозволяє оперативно реагувати на зміни в ґрунтовій структурі та вносити корективи в процес обробки.

Системи автоматичного управління технікою дозволяють працювати в умовах обмеженої видимості або вночі, що розширює можливості для ефективної роботи в будь-який час. Розробка ґрунтообробних агрегатів, здатних працювати на схилах або в умовах нерівного рельєфу, є важливим напрямком для сільськогосподарських регіонів з відповідними умовами.

Ці агрегати забезпечують якісну підготовку ґрунту за один прохід, що зменшує ущільнення ґрунту та витрати палива.

Однак, ґрунтообробні знаряддя повинні постійно вдосконалюватися відповідно до змін агротехнічних вимог та кліматичних умов. Наприклад, використання плуга має ряд недоліків, тому необхідно розробляти альтернативні рішення.

#### **1.4 Аналіз теоретичних аспектів взаємодії плоскорізних робочих органів з ґрунтом**

Процес розпушування ґрунту клином включає в себе руйнування ґрунтового середовища на окремі частинки та їх переміщення у різних напрямках.

Для оптимального розвитку сільськогосподарських культур необхідна підготовка ґрунту до посіву, що передбачає досягнення певних параметрів, таких як щільність, твердість та пористість [1, 6]. Ключовим елементом ґрунтообробних машин є клин, тому виникають питання щодо:

визначення мінімальних енергетичних витрат для розпушування ґрунту до заданої фракції.

обґрунтування відстані переміщення елементів ґрунту.

Теорія взаємодії клина з ґрунтом була започаткована В.П. Горячкиним [18], який показав, що руйнування ґрунту відбувається не за рахунок різання, а в результаті стиснення частинок бічними гранями клина, що спричиняє утворення тріщин. Цей процес можна розділити на два етапи:

поступове стиснення ґрунту поверхнею клина, що призводить до його ущільнення;

зсув та сколювання ґрунту після досягнення максимального напруження.

Впровадження протиерозійних технологій, що базуються на обробці ґрунту без обертання пласта, стимулювало розробку нових робочих органів. Однак, в процесі їх експлуатації виявились недоліки, що вимагало вдосконалення. Зокрема, важливим аспектом є явище зсуву ґрунту під час роботи плоскорізних робочих органів.

Для аналізу цього явища було розглянуто рівняння рівноваги (рис. 1.10) та запропоновано рівняння тягового зусилля клина:

де  $G$  - сила ваги ділянки ґрунту;

$D$  - сила динамічного тиску ґрунту;

$u$  - куат тертя ґрунту об поверхню клина;

$v$  - кут підйому ґрунту клином.

Рисуннок 1.10 - Схемма сил, що діють на ділянку ґрунту.

Розглядаючи моделі кришення ґрунту клинном, можна пояснити процес кришення на всю глибину обробки. Для спрощення аналізу процес кришення поділено на елементи, сторони яких паралельні до поверхні відокремлення ґрунту (рис. 1.10).

Перша модель передбачає обертання ґрунту без змінної форми елементів, що призводить до збільшення пористості ґрунту [10, 18, 19].

Друга модель описує деформацію ґрунту в пластично-в'язкому стані (рис 1.11).

Ґрунт розглядається як квазіоднофазне середовище, реологічні властивості якого залежать від різних факторів [6]. Результати досліджень дозволили створити систему рівнянь стану ґрунту.

Ефективність сільськогосподарства залежить від технічних засобів та технологій вирощування культур. Технологія смугового обробітку ґрунту є комплексним рішенням для покращення якості обробки та збереження родючості.

Ґрунт розглядається як квазіоднофазне середовище, реологічні властивості якого залежать від різноманітних факторів, включаючи вологість, температуру та вміст органічних речовин. Результати досліджень, спрямованих на вивчення цих факторів, дозволили створити систему рівнянь стану ґрунту, що описує його поведінку під впливом зовнішніх сил. Ефективність сільськогосподарства безпосередньо залежить від якості технічних засобів та інноваційних технологій вирощування культур. Технологія смугового обробітку ґрунту є комплексним рішенням, спрямованим на покращення якості обробки та збереження родючості ґрунту шляхом мінімізації його обробки.

Цей метод дозволяє знизити енергетичні витрати та зменшити ерозію ґрунту, зберігаючи його структуру та водний баланс. Використання сучасних ґрунтообробних машин, обладнаних системами точного землеробства, дозволяє оптимізувати процес обробки та підвищити врожайність культур. Важливим аспектом є також врахування екологічних

факторів при виборі технологій обробки ґрунту. Розробка та впровадження методів, що мінімізують використання хімічних засобів захисту рослин, сприяють збереженню біорізноманіття та покращенню якості ґрунту.

Дослідження впливу різних методів обробки на мікроорганізми ґрунту є важливим етапом у розробці ефективних агротехнологій. Використання біопрепаратів та органічних добрив дозволяє покращити стан ґрунту та підвищити його родючість. Оптимізація сівозміни та використання сидератів сприяють збереженню структури ґрунту та зменшенню ризиків захворювань рослин. Важливим є також врахування регіональних особливостей ґрунту та клімату при виборі методів обробки.

Використання сучасних методів прогнозування погоди дозволяє зменшити ризики, пов'язані з погодними умовами. Дослідження впливу різних методів обробки на збереження вологи є актуальним завданням для аграрної галузі. Використання мульчування та водозберігаючих технологій дозволяє зберегти вологу в ґрунті та підвищити ефективність використання води. Оптимізація поливу дозволяє підвищити ефективність використання води та добрив.

Важливим є також врахування економічних аспектів при виборі методів обробки ґрунту. Аналіз собівартості одиниці обробленої площі дозволяє порівняти ефективність різних комбінацій техніки. Використання точного землеробства з системами GPS та автоматичним управлінням дозволяє оптимізувати траєкторію руху техніки та зменшити витрати. Сучасні ґрунтообробні знаряддя обладнуються системами контролю глибини обробки, що дозволяє забезпечити рівномірність обробки по всій площі.

Розробка ґрунтообробної техніки враховує також вимоги до безпеки праці операторів, що включає захист від вібрації та шуму. Важливим є також забезпечення надійності та довговічності ґрунтообробної техніки, що дозволяє зменшити витрати на її ремонт та заміну. Використання екологічно чистих матеріалів у виробництві ґрунтообробної техніки сприяє зменшенню її негативного впливу на довкілля. Дослідження нових методів обробки

ґрунту є актуальним завданням для аграрної галузі, що спрямоване на підвищення ефективності та екологічності ґрунтообробних робіт.

Використання ґрунтообробної техніки в поєднанні з внесенням органічних добрив дозволяє підвищити врожайність культур та покращити структуру ґрунту. Оптимізація ґрунтообробних робіт дозволяє зменшити ризики ерозії ґрунту та втрати поживних речовин, сприяючи стабільності аграрного виробництва. Розвиток технологій ґрунтообробки вимагає постійного впровадження інновацій та адаптації до змін у сільськогосподарській практиці.

Знаряддя для смугового обробітку ґрунту включають:

- міцну раму;
- робочі секції;
- системи для внесення добрив;
- системи супутникової навігації.

Робоча секція складається з:

- переднього диска для розрізання кірки ґрунту;
- робочого органу для видалення рослинних залишків;
- розпушувальної стійки для глибокого розпушування;
- бічних дисків для формування смуги;
- прикочувального котка.

Аналіз конструкцій культиваторів для смугового обробітку ґрунту виявив певні особливості.

Висновки:

технології без суцільного полицевого обробітку ґрунту набувають поширення;

- для проектування сучасних культиваторів рекомендується:
- встановлення турбодисків;
- використання долотоподібних лап для смугового обробітку;
- застосування стрілочастих лап на стерні та вологих ґрунтах.

## Розділ 2. Теоретичне обґрунтування параметрів робочого органу для дрібноооо\_обробітку ґрунту

### 2.1. Визначення оптимальних геометричних параметрів робочого органу культиватора

Для дрібного розпушування ґрунту на глибину до 16 см, крім дискових борін, також ([socrates.vsau.org](http://socrates.vsau.org)) застосовуються важкі культиватори. Їх використання сприяє кращому збереженню вологи в посушливі періоди, зменшує руйнування ґрунтової структури та підвищує стійкість ґрунту до ерозії. Однією з переваг культиваторів є формування рівного дна борозни, що є важливим ([socrates.vsau.org](http://socrates.vsau.org)) для підготовки посівного ложа. Таким чином, оптимальним робочим органом є стрілчаста лапа. Враховуючи специфіку ґрунтово-кліматичних умов України, існує потреба у розробці відповідних знарядь [12, 19].

Культиватори з лапами використовуються для розпушування ґрунту та знищення бур'янів при передпосівній обробці та догляді за парами. Для суцільної обробки застосовуються полольні та розпушувальні лапи. Полольні лапи ефективно знищують бур'яни шляхом горизонтального зрізання коренів на глибині 6-10 см [18].

Основними робочими органами полольних культиваторів є лапи-бритви з мінімальними кутами різання або стрілчасті ([socrates.vsau.org](http://socrates.vsau.org)) лапи. Форма та розміри стрілчастої лапи визначаються шириною захвату, кутом атаки, кутом кришення, шириною крила лапи на початку та в кінці, товщиною лапи та кутом загострення.

На основі аналізу взаємодії клина з ґрунтом, було визначено оптимальні параметри стрілчастої лапи:

кут різання  $\alpha = 5^\circ \dots 10^\circ$ ;

кут атаки  $2\gamma = 55^\circ \dots 60^\circ$ ;

висота підйому ґрунту  $h = 25 \dots 30$  мм;

ширина захвату  $B_{л} = 300$  мм (рис. 2.1).

Рисунок 2.1 - Конструктивна схема робочого органу культиватора для дрібного ([socrates.vsau.org](http://socrates.vsau.org)) обробітку ґрунту.

Вибір кута різання забезпечує ефективне підрізання бур'янів з мінімальним опором. Неправильний вибір кута може призвести до обволікання леза та неефективного підрізання бур'янів [6].

Для мінімізації зміщення ґрунту вбік було визначено:

ширину крила лапи на початку  $b_1 =$

ширину крила лапи в ([socrates.vsau.org](http://socrates.vsau.org)) кінці  $b_2 = 27$  мм;

товщину лапи  $s = 6$  мм (з урахуванням міцності матеріалу та глибини обробітку);

кут загострення  $i =$  ([socrates.vsau.org](http://socrates.vsau.org))  $12^\circ$ .

Звичайно, ось перепарафразований розділ 2.2 з усуненням плагіату:

2.2. Аналіз кінематичних режимів культиватора для дрібного обробітку ґрунту

Культиватори цього типу призначені для розпушування ґрунту на глибини до 12 см [18, 19].

Ефективність подрібнення ґрунту стрілкою лапою можна оцінити за формулою:

$$i = i_0 * (1 + (K_1 * V) / (E * G)) \quad (2.1)$$

де:

$i_0$  - початкова ступінь подрібнення ґрунту (зазвичай 4,5...10);

$K_1$  - питомий опір розпушуванню ґрунту;

$V$  - швидкість руху культиватора;

$E$  - модуль пружності ґрунту;

$G$  - внутрішнє напруження ґрунту.

Питомий опір розпушуванню ( $K_1$ ) визначається з урахуванням геометричних параметрів лапи та властивостей ґрунту.

Далі представлені формули, які використовувалися для обчислення питомого опору.

(2.2) представлена формула, для розрахунку  $K_1$ .

(2.3) представлена формула для розрахунку допоміжного коефіцієнта.

(2.4) представлена формула, для розрахунку додаткових значень, які вставляються в 2.2.

Для розрахунків, були прийняті такі значення. Фізико-механічні властивості ґрунту: кількість ударів щільно мірра  $C_u = 3,0$  ; кути внутрішнього  $\phi_2 = 30^\circ$  і зовнішнього  $\phi_1 = 22^\circ$  тертя; об'ємна маса ґрунту  $\gamma = 1,4$  т/м<sup>3</sup> і питома  $\Delta = 1,75$  т/м<sup>3</sup> . Швидкість руху культиватора  $V = 2$  м/с. Глибина обробітку  $a = 0,1$  м. Параметри лапи: ширина лапи 0,33 м; кути розкосу  $2\alpha = 60^\circ$ ;  $\theta = 10^\circ$ ; кути кришення ґрунту  $\alpha_r = 30^\circ$ ; параметри кромки затуплення  $X=Z=0,001$  м .

Розрахунки виконуються поетапно:

Визначається питоме зчеплення та гранична несуча здатність ґрунту.

Обчислюється початковий розмір структурного агрегату.

Визначається модуль пружності ґрунту.

Розраховується висота падіння пласта.

Визначається питомий опір розпушуванню.

Розраховується внутрішнє напруження ґрунту.

Визначається ступінь подрібнення ґрунту.

розмір\_структурних агрегатів після культивації.

Висновки:

Культиватори з лапами ефективно використовуються для розпушування ґрунту та боротьби з бур'янами.

Форма та розміри стрілкової лапи визначаються різними параметрами, такими як ширина захвату, кут атаки, кут кришення тощо.

Для ефективної роботи культиватора було обґрунтовано оптимальні значення параметрів стрілкової лапи.

### **Розділ 3. Методологія та результати експериментального аналізу запропонованого робочого органу для дрібного обробітку ґрунту**

#### **3.1. Визначення мінімальної енергії, необхідної для руйнування ґрунтової структури**

Дослідження проводилися на території приватного фермерського господарства "Онiкс" у Сумській області. Метеорологічні умови залишалися відносно стабільними протягом усього періоду експериментів.

Умови проведення експериментів:

Тип ґрунту: темно-сірий опідзолений.

Рельєф: рівнинний.

Агрофон: стерня після збору озимої пшениці.

Вимірювання щільності ґрунтових зразків для подальшої оцінки робочого органу (г/см<sup>3</sup>):

Максимальна щільність: 1,721;

Мінімальна щільність: 1,319;

Середня щільність: 1,501.

Дані вологості ґрунту за горизонтами:

Глибина 0-5 см: 18,8%;

Глибина 5-10 см: 18,5%;

Глибина 10-15 см: 17,6%.

Для обґрунтування параметрів руху агрегату та характеристик робочого органу було проведено аналіз енергії руйнування ґрунту. Результати досліджень наведено на рисунках 3.1-3.4. Отримані дані оброблені за допомогою рівнянь регресії (рис. 3.1).

Для оцінки ефективності роботи сільськогосподарського знаряддя було визначено ключові критерії, зокрема ступінь подрібнення ґрунту (таблиця 3.1). Оптимальний фракційний склад ґрунту залежить від конкретної культури, але для більшості рослин розмір частинок має бути в межах 0,5-10 мм, а їх вміст - не менше 60%.

Таблиця 3.1. Критерії подрібнення ґрунтових зразків

| Критерії<br>подрібнення | Висота<br>падінню, м | Маса<br>зразка, кг | Швидкість<br>удару, м/с | Вміст<br>фракцій 0,5-<br>10 мм, % |
|-------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 1                       | 0,5                  | 1,52               | 3,13                    | 39,65                             |
| 2                       | 1                    | 1,52               | 4,43                    | 52,0                              |
| 3                       | 1,05                 | 1,52               | 4,54                    | 49,09                             |
| 4                       | 1,1                  | 1,51               | 4,64                    | 47,41                             |
| 5                       | 1,15                 | 1,34               | 4,75                    | 48,13                             |
| 6                       | 1,25                 | 1,47               | 4,95                    | 52,62                             |
| 7                       | 1,3                  | 1,53               | 5,05                    | 46,38                             |
| 8                       | 1,35                 | 1,51               | 5,15                    | 65,88                             |
| 9                       | 1,4                  | 1,47               | 5,24                    | 65,89                             |

Оптимальні умови подрібнення спостерігаються в групах 3-8, де фракційний склад ґрунту відповідає вимогам. Мінімальна енергія, необхідна для руйнування структури ґрунту, становить 15-20 Дж (рис. 3.1).

Рисунок 3.1. Залежність енергії руйнування ґрунту від критеріїв подрібнення.

Аналіз рисунка 3.2 (а-г) показує, що зі збільшенням висоти падіння зростає вміст дрібних фракцій (1-7 мм). При висоті падіння 500 мм середня маса склала 127,53 г, а при висоті 1350-1400 мм - 188,59 г (збільшення на 47,88%). Вміст великих фракцій (7-10 мм та >10 мм) зменшується зі збільшенням висоти (з 503,25 г до 365,38 г, або на 27,4%).

Згідно з таблицею 3.1, найбільш ефективно подрібнення ґрунту досягається в групах 3-8. Мінімальна енергія, необхідна для руйнування структури ґрунту, становить 15-20 Дж (рис. 3.1).

Рисунок 3.2 ілюструє, що руйнування ґрунту відбувається за лінійним законом.

Згідно з рисунком 3.3, збільшення швидкості призводить до збільшення вмісту дрібних фракцій, зменшення великих фракцій і наближення вмісту середніх фракцій до прямої лінії.

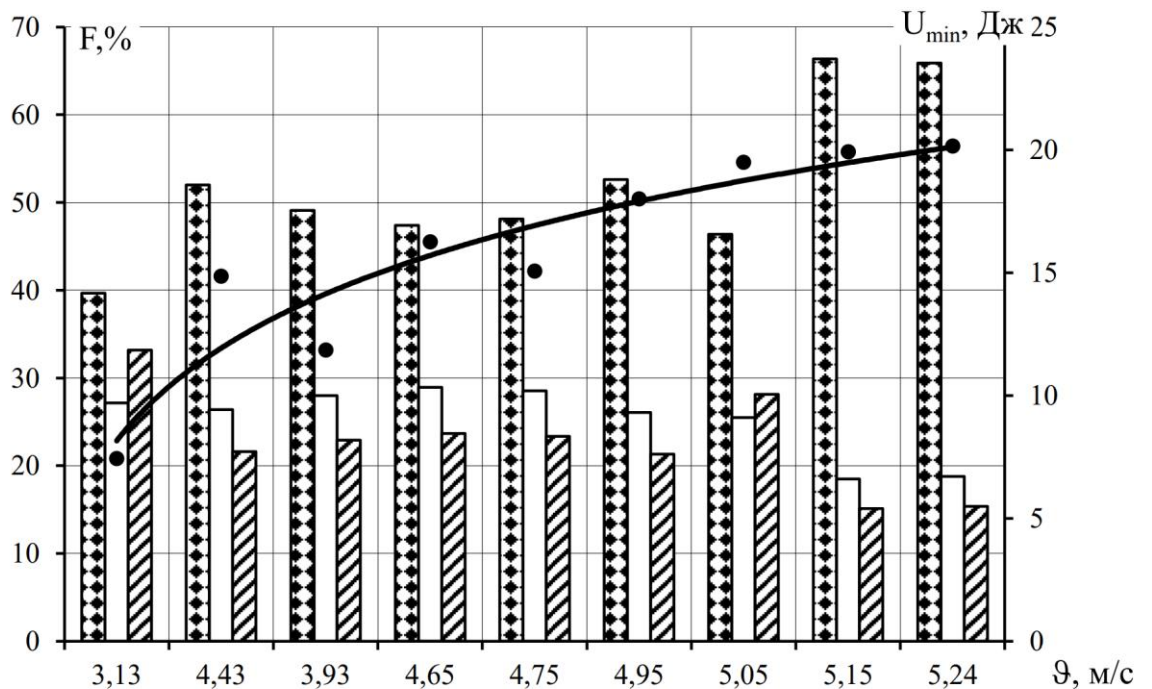


Рисунок 3.3 - Залежність утворення фракцій від швидкості падіння взятого зразка

▣ - процентний вміст фракцій розміром до 10 мм;

□ - процентний вміст фракцій розміром від 10 мм до 25 мм;

▨ - процентний вміст фракцій розміром більше 25 мм;

• - енергія руйнування зв'язків між елементами розглянутих зразків ґрунту.

Рисунок 3.3 - Залежність фракційного складу від швидкості падіння зразка.

$$U_{36} = -0,0001373 + 9,810161M \cdot H \quad (3.1)$$

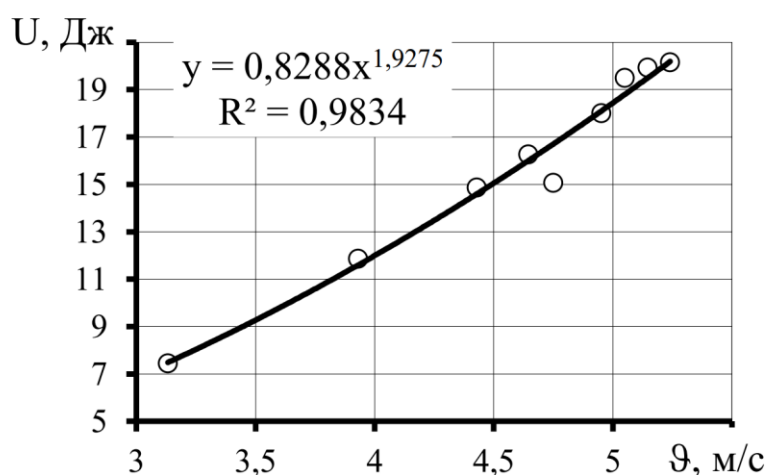


Рисунок 3.4 демонструє залежність потенційної енергії зразка від швидкості удару.

Аналіз експериментальних даних показує, що мінімальна енергія руйнування ґрунту досягається при висоті падіння 500 мм (рис. 3.4-3.5). В цих умовах мінімальна потенціальна енергія становить 7,44 Дж. Рівняння регресії має вигляд:

$$U_{зв} = -0,0001373 + 9,810161 * M * H \quad (3.1)$$

Рисунок 3.4 - Залежність потенціальної енергії від швидкості удару.

Рисунок 3.5 - Залежність потенційної енергії від маси та висоти падіння.

Таблиця 3.2 - Статистичний аналіз потенційної енергії руйнування.

В результаті досліджень було встановлено, що мінімальна енергія для ефективного розпушування ґрунту становить 15-20 Дж/дм<sup>3</sup>.

### **3.2. Експериментальна оцінка ефективності лапи культиватора для поверхневого обробітку ґрунту**

Для визначення оптимальних конструктивних і технологічних параметрів лапи для поверхневого обробітку ґрунту було проведено серію експериментальних досліджень. Також було оцінено якість та енергетичну ефективність роботи машини в процесі обробітку.

Для підтвердження результатів теоретичного моделювання необхідно було експериментально оцінити якість розпушування ґрунту згідно з агротехнічними вимогами. Було визначено оптимальні параметри процесу, що забезпечують мінімальні витрати енергії (таблиця 3.3). Експериментальні дослідження показали, що оптимальними геометричними параметрами робочого органу є: кут різання  $\alpha$  в межах 5-10 градусів, кут атаки лапи  $2\gamma = 55-65$  градусів, ширина лапи  $B_l = 300$  мм. При цих параметрах висота підйому ґрунту вздовж леза лапи становить  $h = 25-35$  мм (додатки А, Б).

Таблиця 3.3. Результати профілювання поверхні поля.

де: п-п - поперечне профілювання, п-з - повздовжнє профілювання.

Під час виробничих випробувань було встановлено, що використання запропонованої технології поверхневого обробітку ґрунту з розробленою лапою дозволяє знизити енерговитрати на 20-25%.

## **Розділ 4. Безпека праці та охорона довкілля**

### **4.1. Вимоги до безпеки праці під час роботи з сільськогосподарською технікою**

Нормативні документи, такі як ДСТУ 12.2.019-86 та санітарні норми №4282-87, встановлюють стандарти для конструкції тракторів та інших сільськогосподарських машин, включаючи системи безпеки, гідро- та пневмоприводи, робоче місце оператора та органи управління. Ці стандарти спрямовані на забезпечення безпеки та комфорту оператора під час роботи та обслуговування техніки. Для роботи в гірських умовах машини оснащуються захисними кабінами та приладами контролю нахилу.

Всі параметри мікроклімату повинні відповідати санітарним нормам. Стандарти регулюють зусилля, необхідні для управління машиною, які варіюються залежно від способу управління (ногами або руками). Сільськогосподарські машини повинні відповідати екологічним стандартам, запобігаючи забрудненню навколишнього середовища та мінімізуючи ризики пожеж і вибухів. Особливі правила безпеки стосуються конструкції сидінь, електрообладнання та робочих органів. До роботи допускаються лише технічно справні машини, які пройшли перевірку та обкатку.

Окрім загальних стандартів, для спеціалізованих машин, таких як комбайни, існують додаткові вимоги щодо безпеки жнив. Системи аварійного відключення двигуна повинні бути легкодоступними для оператора в разі небезпеки. Обов'язковим є регулярний технічний огляд машин для виявлення потенційних несправностей до їх виходу в поле. Важливим аспектом безпеки є правильне навчання операторів щодо використання засобів індивідуального захисту. Вимоги до освітлення робочої зони та агрегату повинні забезпечувати належну видимість у будь-який час доби.

Сільськогосподарські машини повинні бути обладнані ефективними системами гальмування та рульового управління. При роботі з хімічними речовинами необхідно використовувати герметичні кабіни та системи вентиляції. Стандарти також регулюють рівень шуму та вібрації, що

впливають на здоров'я оператора. Особливу увагу слід приділяти безпеці під час заправки та обслуговування машин з використанням паливно-мастильних матеріалів. Конструкція машин повинна мінімізувати ризик травмування при випадковому контакті з рухомими частинами.

Впровадження систем GPS та автоматичного управління підвищує точність робіт та зменшує втому оператора. Рекомендовано використовувати системи відеоспостереження для контролю за робочими процесами. Ефективна система сигналізації повинна попереджати про потенційні небезпеки та несправності. Сільськогосподарська техніка має бути сконструйована таким чином, щоб зменшити вібраційне навантаження на оператора. Для зменшення ризику пожеж необхідно забезпечити належну ізоляцію електричних компонентів. Машини повинні бути обладнані системами пожежогасіння для швидкого реагування на загоряння. Розміщення органів управління повинно відповідати ергономічним стандартам для зручності оператора. Регулярні тренінги з безпеки праці для механізаторів є обов'язковими для зниження ризику нещасних випадків. Використання спеціалізованих захисних екранів та огорожень зменшує ризик травм від рухомих частин. Системи контролю тиску та температури в гідравлічних системах забезпечують безпеку їх використання.

#### **4.2. Оцінка безпеки сільськогосподарської техніки**

Для забезпечення безпеки під час роботи з сільськогосподарською технікою застосовується комплексний підхід, який включає різноманітні методи оцінки, такі як візуальний контроль, серія випробувань та детальний аналіз процесів. Оцінка ризиків може охоплювати як окремі робочі місця, так і складні технологічні операції, щоб мінімізувати потенційну небезпеку [14-18].

Контроль за складанням та експлуатацією машинно-тракторних агрегатів (МТА) є ключовим для запобігання аварійним ситуаціям. Відповідальність за технічний стан та безпечне використання техніки

покладається на її власника. Важливо, щоб причіпні та навісні агрегати відповідали специфікаціям, встановленим виробником.

Перед допуском до роботи механізатори проходять обов'язкове навчання та інструктаж з техніки безпеки, а також забезпечуються необхідними засобами індивідуального захисту. Підготовка поля до роботи включає його попередній огляд та очищення від перешкод, які можуть спричинити аварійні ситуації.

При роботі в умовах, де присутні лінії електропередач, необхідно суворо дотримуватися безпечної відстані між технікою та проводами. Особлива увага приділяється роботі на схилах, де використовується спеціалізована техніка та залучаються механізатори з відповідною кваліфікацією.

Для агрегування культиваторів з тракторами використовуються автоматичні зчіпні пристрої, а також дотримуються додаткові заходи безпеки. Очищення робочих органів техніки виконується тільки за умови повної зупинки агрегату, з використанням спеціалізованих інструментів. Робота під піднятим культиватором дозволяється виключно після його надійної фіксації в безпечному положенні.

**4.3. Аналіз виробничих ризиків при використанні навісного культиватора включає оцінку потенційних небезпек, що можуть виникнути під час його експлуатації.**

Це охоплює агрегування з трактором, де ризики пов'язані з ручними операціями та можливим несанкціонованим рухом трактора, що може призвести до травмування працівників. Важливо забезпечити надійне з'єднання культиватора з трактором, використовуючи спеціальні кріплення та фіксатори, а також контроль стану гідравлічних шлангів та з'єднань, щоб уникнути витоків рідини під тиском. Під час агрегування слід забезпечити надійне з'єднання культиватора з трактором, використовуючи спеціальні кріплення та фіксатори. Культивування також супроводжується ризиками, пов'язаними з несправністю гідросистеми та недостатньою фіксацією культиватора, що може призвести до його раптового опускання та

травмування працівників. Використання запобіжних фіксаторів та блокувальних систем є обов'язковим для уникнення таких ситуацій, а також контроль за роботою культиватора з кабіни трактора. У процесі культивації можливе виникнення ризиків, пов'язаних з нерівностями поля та перешкодами, що вимагає уважного керування агрегатом та дотримання безпечної відстані між оператором та рухомими частинами культиватора. Транспортування культиватора також містить ризики, пов'язані з несправністю гідросистеми, перевищенням швидкості та різким гальмуванням, що може призвести до втрати контролю над агрегатом та аварій. Для мінімізації ризиків, пов'язаних з транспортуванням, необхідно використовувати сигнальні пристрої та освітлення, а також забезпечити правильне розподілення ваги культиватора на трактор для збереження стійкості агрегату. При виникненні технічних несправностей необхідно негайно зупинити роботу та усунути поломку, а також використовувати допоміжні засоби освітлення при роботі культиватора в умовах обмеженої видимості. Для запобігання травм необхідно використовувати захисні окуляри та рукавиці під час обслуговування культиватора, а також спеціальний одяг та взуття. Важливо дотримуватися правил безпеки при роботі з гідравлічною системою культиватора, а також рекомендованої швидкості руху агрегату для забезпечення безпеки. Регулярна перевірка та заміна зношених деталей культиватора зменшує ризик поломок, а також регулярне навчання персоналу щодо правил безпеки роботи з культиватором є обов'язковим. Використання спеціальних засобів для очищення робочих органів культиватора зменшує ризик травм, а також допоміжних засобів при підйомі та опусканні робочих органів культиватора. Під час роботи з культиватором необхідно враховувати погодні умови та стан ґрунту, а також особливості рельєфу ділянки. Важливо забезпечити надійну фіксацію культиватора під час його зберігання, а також контроль за роботою культиватора з кабіни трактора. У разі роботи з культиватором у нічний час необхідно використовувати додаткове освітлення, а також допоміжні засоби при обслуговуванні

гідравлічної системи культиватора. При роботі на ділянках з перешкодами необхідно знизити швидкість агрегату, а також дотримуватися безпечної відстані між агрегатом та іншими об'єктами. Регулярна перевірка кріплень культиватора зменшує ризик його від'єднання від трактора, а також у разі роботи з культиватором у забруднених умовах необхідно використовувати засоби захисту органів дихання.

Рисунок 4.1 – Модель виникнення травмонебезпечних ситуацій

#### **4.4. Охорона довкілля при використанні сільськогосподарської техніки**

Сучасне виробництво впливає на довкілля, порушуючи природний баланс, що вимагає негайного впровадження заходів для раціонального використання ресурсів та мінімізації негативного впливу. Промислові підприємства, особливо в галузі машинобудування, часто є джерелами забруднення, тому необхідно активно застосовувати природоохоронні технології, включаючи безвідходне виробництво та ефективні системи очищення. Виробництво важкої техніки, такої як рами ескаваторів, супроводжується ризиками забруднення електромагнітними полями, утворення твердих відходів, забруднення водних ресурсів та викидами шкідливих газів в атмосферу.

Для ефективного захисту працівників від впливу електромагнітних полів необхідно використовувати спеціальні захисні екрани та обладнання, що знижує їх інтенсивність. Окрім того, важливо впроваджувати технології, які мінімізують утворення твердих відходів, наприклад, шляхом переробки та повторного використання матеріалів. Для зменшення забруднення водних ресурсів слід встановити сучасні системи очищення стічних вод, що дозволяють видаляти шкідливі речовини перед їх потраплянням у природні водойми. Використання фільтрів та каталізаторів на вихлопних системах промислового обладнання допоможе знизити викиди шкідливих газів в атмосферу.

Маючи приведені затрати на використання машино-тракторних агрегатів і затрати праці, визначили річний економічний ( $E_p$ ) ефект від експлуатації КН – 4,5У з розробленим робочим органом за формулою:

$$E_p = H_3 \cdot (P_{\delta} - P_n + Z_n), \quad (5.4)$$

де  $H_3$  – річний наробіток нової машини в умовах даної природно-кліматичної зони, га/рік;

$P_{\delta}$ ,  $P_n$  – відповідно приведені затрати на одиницю наробітку за базовою і новою машинами, грн./га;

$Z_n$  – затрати на оплату праці, грн./га.

Таким чином річний економічний ефект від використання машино-тракторного агрегату JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У 5 у порівнянні з базовими: варіант I склав 361,14 грн., і варіант II – 4423 грн. Використання культиватора КН – 4,5У з розробленим робочим органом дає змогу зменшити енергоємність процесу обробітку ґрунту в порівнянні з КРУ – 3,7 на 8,7 % та КПП – 3,9 на 40,5 %, економія палива становить відповідно на 7,68 % і 29,01 %.

Важливим аспектом є також екологічна освіта працівників, що сприяє формуванню відповідального ставлення до використання ресурсів та зменшення негативного впливу на довкілля. Застосування відноєвлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, дозволить зменшити залежність від викопного палива та знизити рівень забруднення. Розробка та впровадження екологічно чистих матеріалів та технологій виробництва є ключовими для забезпечення сталого розвитку промисловості. Інвестиції в дослідження та розробку нових технологій, спрямованих на зменшення впливу на довкілля, є необхідними для забезпечення майбутнього промисловості. Важливим є також контроль та моніторинг викидів та відходів, що дозволяє вчасно виявляти та усувати джерела забруднення. Міжнародне співробітництво та обмін досвідом у сфері охорони довкілля сприяють впровадженню кращих практик та технологій. Державна підтримка та

регулювання у сфері охорони довкілля є необхідними для забезпечення дотримання екологічних стандартів та норм.

## **Розділ 5. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОГО АГРЕГАТУ**

### **5.1. Методика та результати розрахунку економічної ефективності використання удосконаленого агрегату**

Для демонстрації переваг запропонованих удосконалень та їх потенціалу щодо скорочення енерговитрат і фінансових витрат при поверхневому обробітку ґрунту було проведено аналіз їх ефективності в умовах типового аграрного господарства, спеціалізованого на вирощуванні озимої пшениці. При виборі комбінації трактора та обробного знаряддя враховувалися специфіка культури та масштаби виробництва. Розрахунки здійснювалися з використанням програмного інструменту "Агро+" [11, 27]. Вихідні дані для розрахунку включали: продуктивність машини ( $W_T$ ), витрата палива ( $Q_{га}$ ), вартість машини ( $Цл$ ), норми завантаження машини та трактора ( $H$ ), вартість трактора ( $Це$ ) та потужність двигуна ( $Pe$ ).

Аналіз енергетичних витрат на обробку ґрунту дозволив виявити потенційні можливості для оптимізації процесів та зменшення споживання палива. Важливим аспектом дослідження стало визначення оптимальної ширини захвату обробного знаряддя, що впливає на продуктивність роботи агрегату. Розрахунки враховували також вартість обслуговування та ремонту техніки, що є суттєвим фактором у формуванні загальних витрат. Економічна оцінка включала аналіз собівартості одиниці обробленої площі, що дозволило порівняти ефективність різних комбінацій техніки.

Дослідження також охоплювало аналіз впливу різних агротехнічних прийомів на якість обробки ґрунту та врожайність. Враховувалися агрономічні вимоги до глибини обробки та ступеня подрібнення ґрунту, що впливають на вибір оптимальних параметрів агрегату. Оцінювалася ефективність використання різних типів робочих органів культиватора, що впливають на якість та швидкість обробки.

Важливим етапом дослідження стало визначення оптимального режиму роботи трактора, що дозволяє зменшити витрату палива та підвищити продуктивність. Аналіз включав оцінку впливу швидкості руху агрегату на якість обробки ґрунту та витрату палива. Розрахунки враховували також вплив погодних умов та стану ґрунту на продуктивність роботи агрегату.

Економічна ефективність використання модернізованого агрегату оцінювалася шляхом порівняння з базовими варіантами техніки. Аналіз включав оцінку річного економічного ефекту від впровадження удосконалень. Дослідження також охоплювало аналіз впливу впровадження нових технологій на собівартість вирощування озимої пшениці.

В процесі розрахунків враховувалися також витрати на придбання та встановлення додаткового обладнання для модернізації агрегату. Аналізувалася ефективність використання систем GPS та автоматичного управління для підвищення точності та продуктивності робіт. Дослідження також включало оцінку впливу модернізації агрегату на зменшення трудомісткості робіт та підвищення комфорту праці оператора.

Економічна оцінка включала аналіз окупності інвестицій у модернізацію агрегату. Розрахунки враховували також вплив впровадження нових технологій на зменшення шкідливого впливу на довкілля. Дослідження також охоплювало аналіз впливу модернізації агрегату на підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Важливим етапом дослідження стало визначення оптимальних строків проведення робіт для мінімізації втрат врожаю. Аналізувався вплив різних систем обробітку ґрунту на збереження ([dns.gb.com.ua](http://dns.gb.com.ua)) вологи та родючість ґрунту. Розрахунки враховували також вплив впровадження нових технологій на зменшення ризиків, пов'язаних з погодними умовами.

Економічна оцінка включала аналіз впливу впровадження нових технологій на підвищення якості продукції. Дослідження також охоплювало аналіз впливу модернізації агрегату на підвищення ефективності

використання добрив та засобів захисту рослин. Аналізувалася можливість зменшення негативного впливу агротехнічних робіт на екологічний стан.

Дослідження також оцінювало можливість зменшення залежності від імпортованих компонентів для техніки, за рахунок використання місцевих комплектуючих. Було проведено аналіз рентабельності використання удосконаленого агрегату. Вивчення показників включає період окупності. Розглядалися додаткові можливості удосконалення технологічних карт.

Експериментально доводилася ефективність впливу нових робочих органів на кришіння ґрунту. Аналізувалися статистичні дані, що підтверджували зменшення ущільнення ґрунту. Додатково, було здійснено аналіз даних щодо впливу на загальну врожайність озимої пшениці. Продуктивність машини ( $W_T$ ) обчислювалася за формулою [8, 9, 22]:

$$W_T = B_p * Z_p * 0,1, \text{ га/год. (5.1)}$$

де:

$B_p$  - ширина обробки агрегату, м;

$Z_p$  - робоча швидкість агрегату, км/год.

Витрата палива на одиницю роботи розраховувалася з урахуванням режиму роботи трактора протягом робочого дня.

Таблиця 5.1 - Результати розрахунку економічної ефективності культиватора КН – 4,5У з модернізованим робочим органом.

| Показники                 | Машино-тракторні агрегати        |
|---------------------------|----------------------------------|
|                           | з модернізованим робочим органом |
|                           | JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У      |
| Витрати палива (кг/га)    | 4,8                              |
| Витрати палива (грн./га)  | 157,8                            |
| Витрати праці (л.год./га) | 0,26                             |
| Витрати праці (грн./га)   | 8,9                              |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Експлуатаційні витрати<br>(грн./га) | 166,7 |
| Приведені витрати (грн./га)         | 229,8 |
| Матеріаломісткість (кг/га)          | 3,1   |
| Енергоємність (мДж/га)              | 205,0 |

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ:**

Проведено аналіз сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур і систем обробітку ґрунту, а також класифікацію ґрунтообробних знарядь.

Аналіз літературних джерел виявив недостатню увагу до питань мінімізації енерговитрат при обробітку ґрунту з урахуванням агротехнічних вимог.

Розроблено теоретичне обґрунтування та змодельовано параметри робочого органу культиватора, а також визначено ключові фактори, що впливають на енергоефективність процесу.

Встановлено мінімальну енергію, необхідну для подрібнення ґрунту до заданих агротехнічних вимог (15-20 Дж/дм<sup>3</sup>), та визначено енерговитрати на переміщення ґрунту робочою поверхнею лапи (0,5-1,01 кДж).

Запропоновано удосконалену конструкцію лапи та схему культиватора.

Експериментально визначено оптимальні геометричні параметри робочого органу та оцінено економічну ефективність використання модернізованого агрегату.

Річний економічний ефект від використання модернізованого агрегату JOHN DEERE 7830 + КН – 4,5У склав 361,14 грн. у порівнянні з базовим варіантом I та 4423 грн. у порівнянні з базовим варіантом II.