

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерно-технологічний  
Кафедра Технології та засоби механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка до *дипломної роботи*  
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»  
*магістр*

на тему: «Удосконалення сільськогосподарської машини з активними робочими  
органами для механізованої технології смугового обробітку ґрунту»

Виконав: здобувач вищої освіти  
за ступенем «магістр» групи 2  
*(магістр)*

ОПП технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
*Назва ОПП*

спеціальності 208 Агроінженерія  
*шифр та назва спеціальності*

Бульбаха В.В.  
*прізвище та ініціали студента*

Керівник: Шейченко В.О.  
*прізвище та ініціали керівника*

Рецензент: Ляшенко С.В.  
*прізвище та ініціали рецензента*

## ВСТУП

*Актуальність теми* Сучасні технології обробітку ґрунту потребують збереження гумусового шару ґрунту. Значним резервом збереження гумусового горизонту, є застосування нових ґрунтообробних знарядь для безвідвального основного обробітку з урахуванням сучасних енерго- та ресурсозберігаючих технологій. Законом України про енергозбереження передбачено розвиток наукових досліджень в напрямку економії ресурсів при механізованому виробництві сільськогосподарських культур [1, 2].

Обробіток сільськогосподарських площ з використанням традиційних ґрунтообробних робочих органів не враховують особливостей рельєфу, призводить до інтенсивного розвитку ерозійних процесів. Особливо вразливими є схилві ділянки полів. Ґрунтовий покрив даних ділянок, що позбавлений рослинних решток, не здатний протидіяти водній та вітровій ерозії внаслідок чого найбільш родючий шар ґрунту виноситься з ділянки у бік схилу. Ефективно відновлюється родючий гумусовий шар ґрунту при механічному обробітку поглиблених шарів ґрунту з метою спрямування максимальної кількості вологи опадів в зону активного формування кореневої системи [3, 4].

Сучасні знаряддя, що використовуються для основного безвідвального обробітку ґрунту, мають недоліки: плоско різи та плуги – утворюють ущільнену підшву [5, 6, 7, 8], мають значну енергоємність технологічного процесу; щілинорізи – низька продуктивність, досить висока енергоємність технологічного процесу. Крім того, переважна більшість знарядь для безвідвального обробітку ґрунту утворює значну розгінну борозну за стояками робочих органів, та сприяє винесенню нижніх вологих шарів ґрунту на денну поверхню по похилих стояках робочих органів, що також є негативним фактором в умовах інтенсивної ерозії.

Технологія безвідвального основного обробітку ґрунту передбачає обробку шару ґрунту на глибину 0,2...0,3 м з одночасним розпушенням та потребує значних енерговитрат. У зв'язку із стійким підвищенням вартості палива, за останні 3...4 роки на 38...52%, проблема зниження енергоємності обробітку ґрунту є особливо

актуальною. [5]

З метою зберігання і ефективного відновлення родючих ресурсів орних горизонтів слід особливу увагу приділяти ґрунтозахисним видам безвідвального обробітку ґрунту.

Одним із напрямків підвищення якості основного безвідвального обробітку ґрунту є застосування сільськогосподарської машини з активними робочими органами для механізованої технології смугового обробітку ґрунту, яка забезпечує якісне нарізання смуг, а поступове заповнення їх водою в наслідок природнього процесу замерзання і розмерзання води призводить до розпушення по всій глибині обробітку, усуває ущільнення ґрунту та залишає наявність пожнивних решток на поверхні поля. І разом з цим, є енергоощадним ґрунтообробним знаряддям, що запобігає руйнуванню верхнього гумусовмісного шару ґрунту та здатне економити ресурси при механізованій технології смугового обробітку ґрунту.

Таким чином, удосконалення та обґрунтування параметрів сільськогосподарської машини з активними робочими органами є актуальним завданням в механізованій технології смугового обробітку ґрунту.

*Мета та завдання досліджень:* є підвищення ефективності механізованої технології смугового обробітку ґрунту за рахунок зниження енерговитрат шляхом удосконалення сільськогосподарської машини з активними робочими органами.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати технології та технічні засоби для безвідвального основного обробітку ґрунту та визначити напрямки їх удосконалення;

2. Теоретично обґрунтувати на основі фізико-механічних властивостей ґрунту параметри сільськогосподарської машини з активними робочими органами, визначити жорсткість торсіону; зазору між ножем і обмежувачем переміщення ножа, що впливають на якість смугового обробітку і енергоємність процесу;

3. Провести виробничі випробування експериментального зразка удосконаленої сільськогосподарської машини з активними робочими органами і визначити техніко-економічну ефективність його застосування в механізованій технології смугового обробітку ґрунту.

*Об'єктом дослідження* дипломної роботи є механізована технологія смугового обробітку ґрунту з використанням сільськогосподарської машини з активними робочими органами.

*Предметом досліджень* є характер зміни енергетичних та якісних показників роботи активних робочих органів, що безпосередньо впливає на тяговий опір сільськогосподарської машини.

*Методи досліджень.* Теоретичні дослідження процесів взаємодії сільськогосподарської машини з активними робочими органами з ґрунтовим середовищем проведені з використанням механіко-математичного моделювання на підставі основних положень вищої математики, теоретичної й аналітичної механіки, опору матеріалів та землеробської механіки.

*Теоретична та практична значущість.* Робота виконувалася згідно планів науково-дослідної діяльності кафедри «Технології та засоби механізації аграрного виробництва» (2020 – 2021 р.р.) Інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету.

- теоретично обґрунтовано на основі фізико-механічних властивостей ґрунту параметри активних робочих органів удосконаленої сільськогосподарської машини, визначили жорсткість торсіону; зазор між ножом і обмежувачем переміщення ножа, що впливають на якість смугового обробітку ґрунту і енергоємність процесу;

- отримали подальший розвиток наукові основи до створення нових типів активних ґрунтообробних робочих органів для екологічного землеробства.

- економічний ефект від застосування удосконаленої сільськогосподарської машини з активними робочими органами для механізованої технології смугового обробітку ґрунту, склав 3515,00 грн., що становить у середньому 175,75 грн/га обробленого поля за рахунок збільшення продуктивності праці та економії пального.

*Особистий внесок претендента.* У публікаціях у співавторстві авторів належать: обґрунтування технологічної схеми активного робочого органу для механізованої технології смугового обробітку ґрунту. [2] Результати лабораторних досліджень удосконаленої сільськогосподарської машини з активними робочими органами для механізованої технології смугового обробітку ґрунту.

*Апробація результатів магістерської дипломної роботи.* Основні результати роботи були висвітлені у виданнях Ляшенко С. В., Бульбаха В.В. Обґрунтування технологічної схеми активного робочого органу для механізованої технології смугового обробітку ґрунту: *Техніка та технології в агропромисловому виробництві (присвячена 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету)*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 7-8 жовтня 2021 р. Полтава : ПДАУ, 2021. С. 84-87.

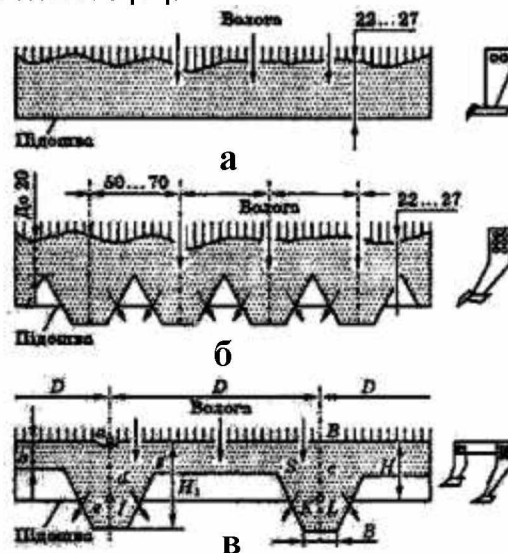
Обговорені на конференції: «Результати лабораторних досліджень удосконаленої сільськогосподарської машини з активними робочими органами для механізованої технології смугового обробітку ґрунту» Новітні технології в агроінженерії: проблеми та перспективи впровадження (присвячена 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету. Перша всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція. 04-05 жовтня 2021 р. Полтава: ПДАУ, 2021.. Вип. I. – С. 19-22.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Особливості основного безвідвального обробітку ґрунту

Основним безвідвальним обробітком ґрунту вважають найглибший за всю ротацию культури обробіток ґрунту без обертання скиби. Найбільш поширеним способом безвідвального обробітку ґрунту є чизелювання.

Чизельний спосіб передбачає обробіток ґрунту культиваторами, розпушувачами та комбінованими машинами. Схеми поперечних профілів ґрунту, обробленого чизельними знаряддями, показані на рис. 1.1. Технологічний процес чизелювання ґрунтується на підрізанні, розпушенні без обертання скиби та укладання поживних решток у закриту борозну. Даний спосіб обробітку дозволяє зберегти на поверхні поля до 60...80% рослинних решток, до 20% вологи в ґрунті та зменшити на 25...45% енергоємність процесу. Суцільне глибоке розпушування ґрунту без обертання скиби (рис. 1.1, а) виконується плоскорізами-глибокорозпушувачами (ПГ-3-5, ОПГ-3-5, ГУН-4 та ін.) і дає змогу зменшити прояви ерозійних процесів та втрат ґрунту на схилах до 3...24% [9].



а – суцільному розпушенні; б – смужному розпушенні; в – комбінованому розпушенні [9].

Рисунок 1.1 – Схеми поперечних профілів обробленого ґрунту при

Плоскорізний обробіток не руйнує ущільнену під плужну «підшву», яка

виникає в наслідок неодноразового обробітку ґрунту лемішами. Велика енергоємність процесу чизелювання (10...30% пального) в поєднанні з недостатньою якістю розпушування (менше ніж 70%) пласта ґрунту під час його механізованого обробітку не дають змогу використовувати цей спосіб в екологічному землеробстві.

Як відомо, смужним розпушуванням називають безполицевий обробіток ґрунту знаряддями чизельного типу, при якому відбувається неповне підрізання бур'янів. Смужне розпушування являє собою чергування розпушених та не розпушених смуг (рис. 1.1, б). Використання даної технології дозволяє зруйнувати ущільнену під плужну «підшву». Створює сприятливі умови для проникнення вологи та коріння рослин у нижні ґрунтові горизонти. Технічними засобами для виконання смужного розпушування на глибину до 40 см є знаряддя чизельного типу (ПЧ-2,5, ЩРП-3-70, КШП-5,6 та ін.). Згідно агротехнічних вимог до смужного обробітку передбачено обов'язкове розпушення шару ґрунту на глибину до 20 см суцільно. До недоліків вище згаданого способу можна віднести неповне підрізання бур'янів, підвищену бриластість обробленого шару ґрунту. Розпушення верхнього шару ґрунту має значну нерівномірність, що ускладнює створення передбачених агротехнікою умов для вирощування культур [9].

Альтернативою чизельному та смужному способам обробітку ґрунту можна вважати спосіб комбінованого чизелювання (рис. 1.1, в). Технологічний процес комбінованого чизелювання передбачає суцільне розпушення верхнього (12...22 см) та періодичне – нижнього (на 5...15 см глибше за ущільнену під плужну «підшву») шарів ґрунту. Позитивною ознакою способу відмічає збільшення площі поверхні дна борозни, що сприяє кращому проникненню вологи в нижні ґрунтові шари. Порівнюючи якість обробітку ґрунту комбінованим чизелюванням з оранкою встановлено, що запаси вологи збільшуються на 18...20%, а втрати гумусу, фосфору і калію знижуються в 5...10 разів [9]. Розглянуті вище способи безвідвального обробітку використовують на злежаних ґрунтах, схилових землях, у місцевостях, що зазнають водної та вітрової ерозії.

За В.П. Горячкіним [10] руйнування пласта ґрунту поділяють на дві стадії:

1) поступове зминання ґрунту клином, яке розвивається з наростаючим

зусиллям, при цьому зростає ущільнення та кількість ущільнених частинок;

2) зсув по площині, відрив після досягнення максимуму напружень.

Розглянемо агротехнічні вимоги до розпушувачів ґрунту.

Як відомо, чизельні та плоскорізальні розпушувачі застосовують переважно під першу технологічну групу культур, а також на схилових землях, де природний нахил поверхні поля перевищує  $3^{\circ}$ .

Агротехнічні вимоги до чизелів передбачають їх роботу на глибину 5...22 см, а при розущільненні підорного шару ґрунту – до 35 см, з 75%-м розпушенням ґрунту, збереженням 60...80% рослинних решток на поверхні поля та допустимою гребінчастістю поверхні, що не перевищує 5 см [9].

Агротехнічні вимоги до плоскорізів передбачають обробіток ґрунту в оптимальні строки культиваторами-плоскорізами КПЕ-3,8, КПШ-5 на глибину 8...12 см, плоскорізами-глибокорозпушувачами КПГ-2,2, КПГ-250А – на 25...27 см, при дотриманні відхилення від заданої глибини не більше  $\pm 2$  см. Структура ґрунту повинна бути такою, щоб основну масу його складала фракція 3...5 см при мілкому обробітку і 3...10 см – при глибокому. Пошкодження стерні за один прохід агрегату не повинне перевищувати 10...15% для поверхневого і 15...20% – для глибокого обробітку. Підрізання бур'янів на глибині проходу робочих органів повинно бути повним, поверхня ґрунту – рівною. У місцях проходу стояків лап агрегату допускаються утворення борозен шириною не більшою 20 см, а на межі проходів і між проходами лап агрегату – утворення валиків не вище 5 см. Поворотні смуги повинні бути розпушеними і обробленими на задану глибину без пошкодження доріг, насаджень. Допускається не оброблена поворотна смуга шириною не більше 1м [11].

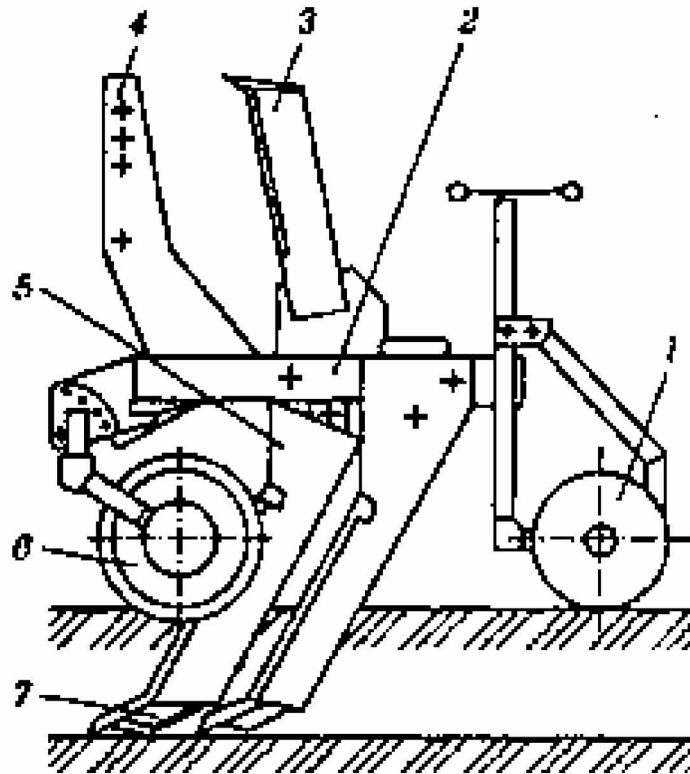
## 1.2 Аналіз конструкцій робочих органів для смугового обробітку ґрунту

Робочі органи призначені для щільювання ґрунту, можна поділити на дві групи: пасивні та активні [12, 13].

Робочий орган чизельного типу з вертикальною стійкою забезпечує безвідвальне щільювання ґрунту. Являє собою пряму або зігнуту, по ходу руху

агрегату, стійку з ґрунтообробними елементами у нижній її частині, які утворюють тріщини у ґрунті по ходу руху агрегату, а також на сторони, забезпечуючи при цьому добру заглибленість знаряддя без утворення під плужної підшви [14].

Вертикальні розпушуючі стійки використовуються у вітчизняних щілювачах-розпушувачах типу ЩРП-3-70 (рис. 1.2.).



1 – опорне колесо; 2 – рама; 3 і 5 – розпушувальні та щілювальні лапи; 4 – начіпний механізм; 6 – дисковий ніж; 7 – змінне долото [9]

Рисунок 1.2 – Щілювач-розпушувач ґрунту ЩРП-3-70:

Використання прямих стійок чизельного типу дозволяє поліпшити фізичні властивості ґрунту в орному і підорному горизонтах за рахунок забезпечення заданої глибини розпушення без обороту скиби ґрунту. Це сприяє ефективнішому накопиченню запасів вологи, кращому їх розподілу по периметру обробітку, руйнуванню під плужної підшви, збільшенню товщини шару, у якому розташовуватиметься коріння, збереженню на поверхні до 60% стерні, яка захищає ґрунт від ерозії [15].

Американським представником ґрунтообробного агрегату з вертикальними стійками щілювача є глибокорозпушувач моделі 915 фірми «Джон Дір» (рис. 1.3.)



Рисунок 1.3 – Глибкорозпушувач модель 915 фірми «John Deere» [16]

Слід відмітити наступні недоліки робочих органів щільувального типу: під час обробітку з нижнього ґрунтового горизонту по стійці робочого органу виносяться вологі гумусові частини на поверхню ґрунту, цим самим зменшується гумусовий шар. Після обробітку робочим органом щільувача утворюється розгінна борозна за стійкою, що сприяє вітровій та водній ерозії ґрунту. Тому при проектуванні робочих органів даного типу намагаються зменшити негативний вплив стійок на ґрунт шляхом розробки криволінійних форм стійок.

Для підвищення якості розпушування ґрунту та часткового усунення негативних явищ, що створюють стійки глибкорозпушувача, останні були оснащені додатковими боковими крилами, такий робочий орган отримав назву плуг чизельний ПЧ-2,5 (рис. 1.4.)



Рисунок 1.4 – Плуг чизельний ПЧ-2,5 [17]

Використання додаткових бокових крил на стійках підвищує якість розпушення ґрунту в смузі, вони краще виконують підрізання кореневої частини рослин, збільшується ширину смуги розпушення. Проте із збільшенням глибини обробітку, підвищуються витрати енергії, знижується продуктивність знаряддя, підвищується

інтенсивність їх зношування, виникають сприятливі умови для нагромадження рослинних решток на робочих органах, внаслідок чого відбувається виглиблення агрегату та виносу вологих шарів ґрунту по стійках на поверхню поля.

Особливо слід звернути увагу на роботу елементів, що несуть, стійки. Виконуючи свою основну функцію, вони додатково руйнують структуру ґрунту, переміщують і перемішують шари ґрунту, погіршують стан покриву орного горизонту і збільшують енерговитрати на обробіток. Робота стійок дуже чутлива до фізичного стану і засміченості ґрунту. Будь-яке відхилення у бік збільшення вологості, твердості або засміченості призводить до порушення технологічного процесу і різкого зростання енерговитрат, аж до цілковитої неможливості продовження роботи.

Для зменшення негативного впливу вертикальних стійок на ґрунт були розроблені та впроваджені робочі органи із зігнутими в сторону, по ходу руху агрегату стійками [18]. Робочий орган чизельного типу із зігнутою в сторону, по ходу руху агрегату стійкою, що встановлений на глибокорозпушувачі начіпному (рис. 1.5), як і чизельний з вертикальною стійкою, призначений для поглиблення орного горизонту по відвальних фонах без обертання скиби ґрунту, розпушення стерньової поверхні та ріллі, поліпшення лугів і пасовищ.



Рисунок 1.5 – Глибокорозпушувач начіпний ГР – 3,4 [20].

Проте за рахунок того, що ґрунт після сколювання рухається по зігнутій в

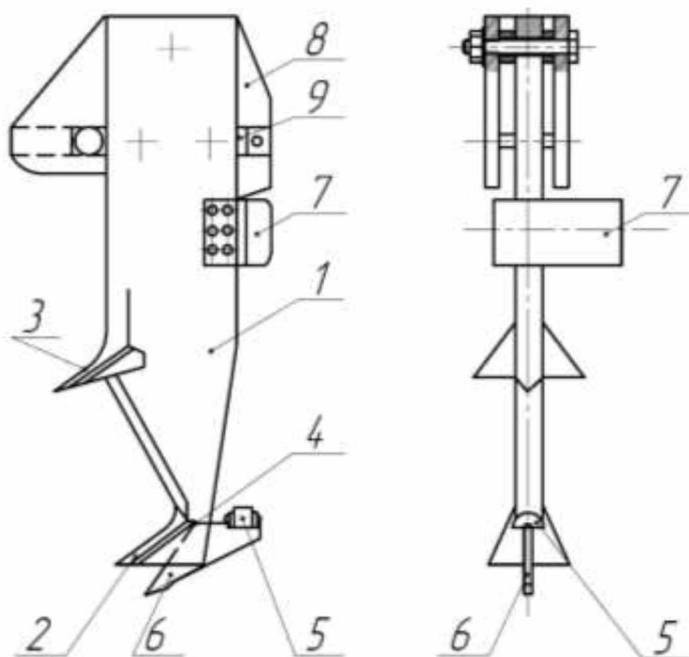
сторону, по ходу руху агрегату стійці, відбувається додаткове розпушення, підвищується якість обробітку [18]. За рахунок зігнутої в сторону, по ходу руху агрегату, стійки знижується тяговий опір, утворюється більш вирівняна поверхня обробітку. Під впливом глибокого розпушення зігнутими в сторону, по ходу руху агрегату стійками об'ємна вага ґрунту зменшується на 3...41%, пористість збільшується на 4...10%, а водопроникність зростає у декілька разів [19]. Обробіток ґрунту робочими органами із зігнутими в сторону, по ходу руху агрегату стійками забезпечує додаткове накопичення в ґрунті 12...15 мм продуктивної вологи. Серед вітчизняних моделей, де використовують зігнуті в сторону, по ходу руху агрегату стійки відомий глибокорозпушувач начіпний ГР-3,4 (рис. 1.5.).

Позитивною особливістю усіх робочих органів є можливість їх фронтального розташування на рамі, що завжди компактно, економно та дає перспективу створення комбінацій з іншими ґрунтообробними робочими органами.

Активні робочі органи, схожі за основними конструктивними ознаками з пасивними [21-24] та, на думку дослідників, надають можливість більш якісного обробітку ґрунту. Рух робочим органам розпушувачів надається двома способами:

- від зовнішнього джерела (від валу відбору потужності енергетичного засобу, від електромагнітного вібратора);
- від дії сили опору ґрунту на робочі органи внаслідок поступального руху ґрунтообробного знаряддя.

Аналізуючи робочий орган, що приводиться в рух від електромагнітного вібратора (рис. 1.6.) [25], слід відмітити складність конструкції. Вібраційний розпушувач, що зображений на рис. 1.6., складається із стійки з робочим елементом, розпушувача, шарнірно закріпленого на стійці, та вібратора. Позитивними ознаками глибокорозпушувача є: у середній частині стійки розміщений один додатковий робочий елемент, що сприяє підвищенню якості розпушування ґрунту; розпушувач виконаний напівцентрової форми та оснащений у передній своїй частині похилим різцем, при цьому вібратор змонтований на стійці з поперечним зміщенням. Недоліком даної конструкції є її складність у виготовленні, та обов'язкова вимога наявності джерела живлення для вібратора.



1 – стійка; 2,3 – основний та допоміжний робочі елементи; 4 – шарнір;  
5 – розпушувач; 6 – різець; 7 – вібратор; 8 – рама; 9 – амортизатор [25].

Рисунок 1.6 – Вібраційний глибокорозпушувач

1.3 Аналіз теоретичних досліджень по обґрунтуванню параметрів активних робочих органів

Термін «теорія руйнування ґрунту» уведений до наукової літератури засновником ґрунтообробної механіки академіком В.П. Горячкіним [26], який відмічав, що якщо у загальній техніці зруйнований матеріал – це відходи (стружка), то в землеробстві – ціль роботи. Внаслідок механічного обробітку ґрунту, отримуємо розпушене ґрунтове середовище з найбільш сприятливим тепловим, водно-повітряним, мікробіологічним режимами.

Незважаючи на велику різноманітність серійних машин усі вони мають велику енергоємність. Це пояснюється тим, що ґрунт руйнується робочими органами в основному за рахунок деформації стиску, яка потребує зусиль у 10...20 разів більше, ніж деформація розтягу. Крім цього, за даними А.С. Кушнарєва [27], при обробітку ґрунту не виключено утворення переущільнення грудок, на руйнування яких в подальшому витрачається додаткова енергія.

Наукові основи теорії взаємодії робочих органів з ґрунтом, розроблені В.П. Горячкіним, викладені ним у працях «Общая теория орудий» [28], «Рациональная формула силы тяги плугов» [29], «Теория клина» [30], «Теория разрушения почв» [26], та ін. В них автор згадує, що робочі органи більшості ґрунтообробних знарядь можна привести до дво- та трьохгранного клина, який у загальному випадку призначений для руйнування та переміщення ґрунту. Тому у основу теорії взаємодії робочих органів з ґрунтом покладені теорії клина та теорія руйнування ґрунту.

Найближче підійшли до закономірностей руйнування ґрунту робочими органами і внесли великий вклад у розвиток теорій опору, що виникає при цьому, такі вчені-дослідники в галузі землеробської механіки, як М.Х. Пігулевський [31], Г.І. Покровський [32], В.О. Желиговський [33], М.Е. Мацепуро [34], Г.М. Синьоков [35], Н. Кін [36] та ін.

У подальшому під впливом робіт В.П. Горячкіна були розгорнуті систематичні дослідження процесів різання ґрунту земле ріючими машинами (І.Я. Айзеншток, Ю.О. Ветров, А.М. Зеленін та ін.) [37-39].

Завдячуючи дослідженням М.М. Герсєванова [40, 41], О.В. Козаченка [42], Ю.В. Луканіна [43], В.І. Виноградова [44] та ін. встановлено, що затрати енергії на обробіток ґрунту залежить головним чином від характеру перебігу процесу деформації та руйнування ґрунту, які, в свою чергу, безпосередньо залежить від фізико-механічних властивостей та типу напруженого стану, що створює робочий орган на ґрунт.

Деякі дослідники розглядають ґрунт, як пружне або пружно-пластичне середовище (Ю.В. Луканін, М.Д. Підскребко) [43, 45], або як середовище, яке не можна стиснути, що характеризується нелінійною залежністю напруження від деформації, тобто як пружнов'язке (В.О. Новичихін) [46], або пружно в'язко пластичне (І.Я. Штаєрман) [47] тіло.

В.В. Кацігін [48], А.М. Гудков [49], К.Г. Арутюнян [50], Г.А. Дєграф [51] та інші дослідники вважають, що взаємодія робочих органів з ґрунтом – процес ударний, тобто необхідно враховувати швидкість поширення хвиль напружень і деформацій у

грунті.

Деякий досвід накопичений в області реологічних властивостей ґрунтів покладений в основу праць таких учених (М.М. Гольдштейн, А.Н. Зеленін, А.С. Кушнар'єв) [52-54].

В.П. Горячкін вважав, що для розрахунку граничного напруженого стану ґрунту найбільш підходить теорія міцності О.М. Мора [55]. Виявилось, що основна складова зусилля витрачається на опір втискання у ґрунт ріжучої кромки робочого органу. Г.Н. Синєоковим [56] було встановлено, що в загальному випадку опір руйнування скиби залежить від розмірів відрізаної стружки, геометрії робочого органу та швидкості обробітку ґрунту, було запропоновано наступні формули для визначення складових тягового опору:

$$R_x = hb l \gamma_n \frac{\sin \beta + f(\cos \gamma \operatorname{ctg} \gamma + \sin \gamma \cos \beta)}{\cos \beta - f \sin \gamma \sin \beta},$$

$$R_{Fx} = \frac{hb \gamma_n V^2 \sin^2 \gamma [\sin \beta + f \sin \gamma (\operatorname{ctg}^2 \gamma + \cos \beta)]}{g(\operatorname{ctg} \beta - f \sin \gamma)}$$
(1.1)

де  $h$  – глибина обробітку, м;

$l$  – довжина робочої поверхні клина, м;

$\gamma_n$  – питома маса ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – кут кришення, град;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\gamma$  – кут сколу леза, град;

$V$  – швидкість руху, м/с.

Наведена формула для визначення складових тягового опору придатна для чизельного ножа, що нерухомо закріплений і напрямок його дії співпадає з напрямком руху агрегату. Можливість його повертання у вертикальній площині не враховано.

Верняєв О.В. для активних робочих органів, що приводяться в рух від енергетичного засобу, на основі залежностей Г.Н. Синєокова, запропонував формули 1.9 розрахунку тягового опору активної лапи.

Запропоноване рівняння також не враховує можливість повертання робочого органу у вертикальній площині (обмеженого у крайніх положеннях ударом) та

можливість використання в конструкції робочого органу енергії рухомих мас.

$$P_x = khb + \left[ \frac{2hbl\gamma_n \sin \beta + f(\cos \varphi \operatorname{ctg} \varphi + \sin \varphi \cos \beta)}{\cos \beta - f \sin \varphi \sin \beta} \right] + \left[ \frac{2hb\gamma_n}{g} \int_{l_0}^l \frac{V^2 \sin^2 \gamma \sin \beta + f \sin \gamma (\operatorname{ctg}^2 \gamma + \cos \beta)}{\operatorname{ctg} \beta - f \sin \gamma} dl \right] + R_c, \quad (1.9)$$

де  $h$  – глибина культивації, м;

$b$  – ширина робочої поверхні клина, м;

$\gamma_n$  – питома маса ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

$f$  – коефіцієнт тертя ґрунту по лопі;

$l$  – довжина робочої поверхні, м;

$\gamma$  – кут сколу леза, град;

$V$  – абсолютна швидкість руху точки поверхні клину, м/с.

За даними досліджень А.М. Гудкова, сухий безструктурний ґрунт руйнується при швидкості 1,08 м/с, а середньої щільності – при 0,87 м/с [57]. Вперше на залежність опору ґрунту від швидкості обробітку звернув увагу В.П. Горячкін, який запропонував рівняння залежності збільшення питомого тягового опору від швидкості руху.

В.І. Виноградов і М.Д. Підскребко [58] встановили, що із збільшенням швидкості деформації підвищується опір руйнування ґрунту.

Розрахунки В.А. Юзбашева [59] з використанням даних В.І. Виноградова [48] показали: гранична швидкість поширення пластичної деформації становить 7... 19 м/с.

Отже, робочі швидкості «пасивних» робочих органів не перевищують гранично допустимих, але у «активних» робочих органів швидкості різання можуть бути співвимірними із граничними швидкостями деформації ґрунту. А це значить, що якщо швидкість деформації більша швидкості робочого органу, то між фронтом хвилі деформації та передньою частиною органа утворюється зруйнована зона і робочий орган у цьому випадку рухається у ґрунті, у якого уже порушені внутрішні зв'язки між частинками. Якщо ж швидкість деформації дорівнює або менша швидкості

робочого органу, він рухається у не зруйнованому ґрунті, переборюючи значно більший опір, ніж у першому випадку.

Як наслідок, опір руйнуванню ґрунту збільшується разом із зростанням швидкості навантаження. Це пояснюється підвищеними характеристиками міцності ґрунту та енерговитрат на його відкидання. Поширення руйнуючих деформацій із кінцевою швидкістю пов'язане з порожнистою структурою ґрунту, що заповнений водою і повітрям. При великій швидкості прикладання навантаження (удар) у ґрунті виникають деформації твердої структури і з великою швидкістю поширюються пружні деформації, а потім, з меншою швидкістю, деформації в'язко-пластичної текучості (руйнування).

Проведений аналіз активних робочих органів засвідчив, що саме ударний спосіб передачі дії від активних робочих органів машин до оброблюваного ґрунтового середовища дозволяє підвищити ефективність технологічних процесів, для здійснення яких потрібні значні сили. У цьому напрямку далеко ще не повністю використано можливості реалізації змінного опору ґрунту згідно з його фазами деформації та руйнування, що чергуються із застосуванням принципів ударної дії на ґрунт.

#### 1.4 Висновки за розділом 1

1. Існуючі робочі органи для безвідвального обробітку ґрунту потребують значних енергетичних витрат і не забезпечують необхідної якості та не повністю усувають у підорному горизонті ущільнених прошарків, так званої «під плужної подошви».

2. Зниження енергоємності процесу основного безвідвального обробітку ґрунту можливо за рахунок обґрунтування параметрів активних робочих органів та режимів їх роботи.

3. Для визначення конструктивних параметрів активних робочих органів необхідно виконати теоретичні та експериментальні дослідження, які б дозволили розрахувати та керувати показниками під час смугового обробітку ґрунту.

## 2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Програма дослідження

Програмою експериментальних досліджень передбачається вирішення таких завдань:

1. Встановлення впливу конструктивних параметрів на виконання технологічного процесу смугового обробітку ґрунту та виділення найбільш значущих;

2. Виявлення закономірності впливу жорсткості торсіону та величини зазору між ножом і обмежувачем переміщення ножа на тяговий опір при оптимальній швидкості руху та сталій глибині обробітку.

3. Виявлення закономірності впливу жорсткості торсіону та різних величинах зазорів між ножом і обмежувачем переміщення ножа на якісні показники смугового обробітку ґрунту;

Для вирішення поставлених завдань необхідно:

- розробити та виготовити експериментальну робочу модель активного робочого органу;

- дослідити енергетичні та якісні показники роботи експериментальної робочої моделі активного робочого органу за допомогою лабораторної установки;

- провести експерименти у відповідності з методикою їх планування та опрацювати результати досліджень.

Розробка методики експериментальних досліджень проводилась у відповідності з ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24056-88, ГОСТ 24057-88, РД.10.8.5. [60-62].

### 2.2 Методика експериментальних досліджень

Планування експериментальних досліджень. З метою скорочення кількості дослідів проводиться багатофакторний експеримент з відповідним математичним плануванням. Використання даного методу дозволяє за визначеними схемами (планам) побудувати математичну модель процесу, розрахувати на ПК можливі

варіанти та знайти оптимальні параметри процесу, оцінити адекватність моделі щодо основних закономірностей впливу факторів.

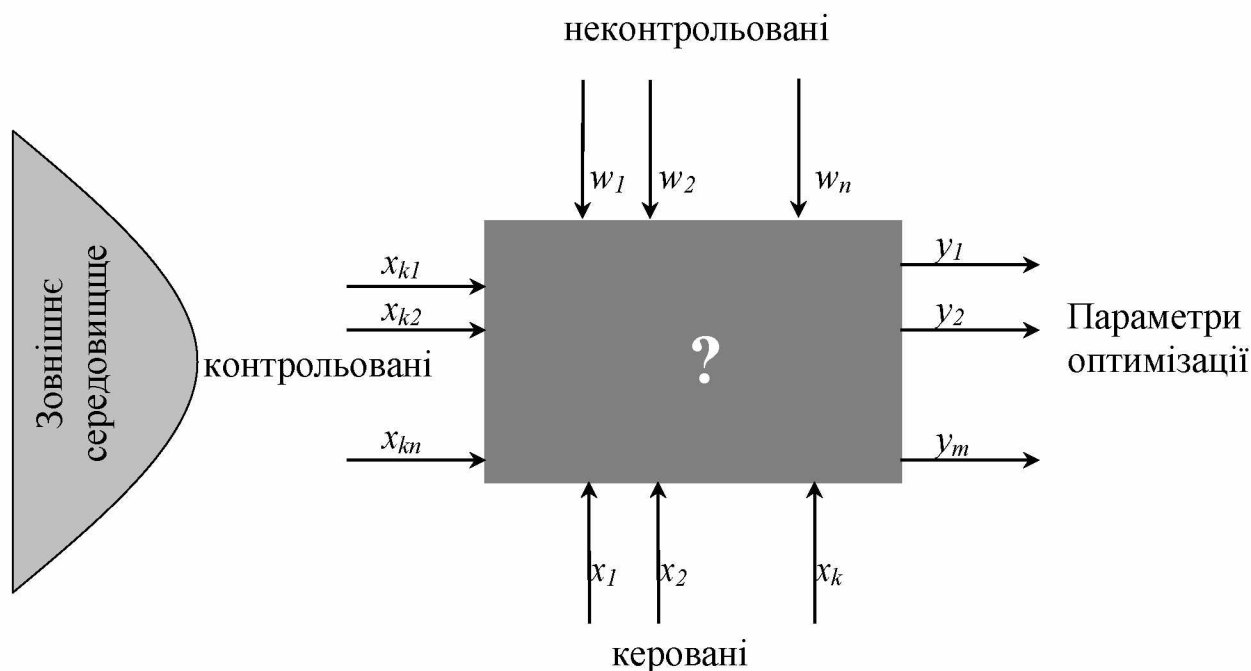


Рисунок 2.1 – Схема впливу різних факторів на активний щілювач

Вплив зовнішнього середовища включає властивості ґрунту з його некерованими, але контрольованими факторами такими як вологість, твердість, щільність ( $x_{k1}, x_{k2} \dots x_{kn}$ ) (рис. 2.1). Друга група факторів є неконтрольованою, переважно випадкового характеру. Це перешкоди, затори, неоднорідності ґрунту ( $w_1, w_2, \dots w_n$ ). Вплив їх супроводжується поштовхами, вібрацією та інше. Знак питання в даній системі – дія контрольованих керованих факторів (ступінь спрацювання леза лап та швидкість руху агрегату) на параметри оптимізації (середня глибина та рівномірність ходу, підрізання бур'янів та тяговий опір) не відома. Оптимізація процесу проводиться у два етапи: на першому будується математична модель, на другому виконується пошук оптимальних умов проходження процесу. Таким чином, задача експерименту полягає у тому, щоб знайти такий набір значень факторів, при яких головні параметри досягають екстремуму або найкраще відповідають вимогам до заданого показника.

Коли не відомий механізм протікання процесу в «чорній скриньці» аналітичне вираження функції відгуку також не відоме. Тому описуємо функцію відгуку

рівнянням регресії вигляду [63]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=j}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (2.1)$$

де  $x_i$  та  $x_j$  – кодоване значення факторів;

$b_0$  – вільний член, що дорівнює результату при  $x_i = 0$ ;

$b_i$  – коефіцієнт регресії відповідних факторів на об'єкт, що вивчаємо;

$b_{ij}$  – коефіцієнт регресії відповідних факторів подвійної взаємодії.

З двома факторами  $x_1 = c$  та  $x_2 = d$  рівняння регресії набуде вигляду:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{1,2} x_1 x_2 + b_1 x_1^2. \quad (2.2)$$

Коефіцієнти рівняння регресії розраховуємо за результатами експерименту. Величина коефіцієнтів регресії та знак  $\pm$  характеризують даний фактор, його вплив на параметр оптимізації.

При плануванні використовуємо метод повного факторного експерименту (ПФЕ) [63-65]. Побудова плану ПФЕ. Приймаємо два рівні варіювання факторів і позначаємо їх: «+ 1» та «- 1» (таблиця 2.1.)

Таблиця 2.1 – Досліджувані фактори в дійсних значеннях

Рівні	Досліджувані фактори	
	Жорсткість торсіону $c, 10^4 \text{ Н/м}$	Зазор між робочим органом і обмежувачем переміщення $d, \text{ м}$
Кодове позначення	$x_1$	$x_2$
Верхній $x_i = +1$	8	0,05
Нижній $x_i = -1$	0,1	0,001
Основний $x_i = 0$	4	0,025
Інтервал варіювання $\Delta x_i$	4	0,0125

Комбінації умов експерименту визначаються за допомогою показової функції  $N = 3^n$ , де  $n$  - кількість факторів [66]. Кількість дослідів можна представити у виді таблиці 2.2 співставлення різних рівнів факторів.

В матриці планування в 1-му стовпчику записуємо номери дослідів, які необхідно рандимізувати (увести випадковість та послідовність їх виконання).

2-й стовпчик являє собою «фіктивну», змінну  $x_0$ ;

3 та 4-й стовпчики утворюють, відповідно, планування;

Таблиця 2.2 – Матриця планування двох факторного експерименту типу  $N = 3^n$

Номер досліджу	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_1x_2$	Вектор результату $y$			
							Повторюваність			Середнє значення
							$y_1$	$y_1$	$y_1$	
1	1	+1	+1	-1	1	1	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{cp1}$
2	1	-1	+1	-1	-1	-1	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{cp2}$
3	1	+1	-1	-1	-1	1	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	$y_{cp3}$
4	1	-1	-1	-1	1	-1	$y_{41}$	$y_{42}$	$y_{43}$	$y_{cp4}$
5	1	+1	-1	1	1	-1	$y_{51}$	$y_{52}$	$y_{53}$	$y_{cp5}$
6	1	-1	-1	1	-1	1	$y_{61}$	$y_{62}$	$y_{63}$	$y_{cp6}$
7	1	0	1	1	-1	-1	$y_{71}$	$y_{72}$	$y_{73}$	$y_{cp7}$
8	1	0	1	1	1	1	$y_{81}$	$y_{82}$	$y_{83}$	$y_{cp8}$
9	1	0	0	0	0	0	$y_{91}$	$y_{92}$	$y_{93}$	$y_{cp9}$

5-й вказує на можливість взаємодії факторів  $x_1$  та  $x_2$ ;

В 6-8 стовпчики заносимо результати дослідів по кожній повторюваності.

Кількість повторюваностей приймаємо 3 (кількість повторювань визначаємо з урахуванням потрібної надійності досліджу). В останній стовпчик записуємо середнє значення повторюваностей дослідів.

Обробка результатів дослідження з використанням регресійного аналізу [63].

а) Розрахунок коефіцієнтів регресії математичної моделі:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{n}. \quad (2.3)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u}{n}. \quad (2.4)$$

Для математичної моделі визначаємо коефіцієнти:  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  та  $b_{1,2}$ .

б) Підставляємо отримані значення коефіцієнтів регресії у рівняння:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1,2}x_1x_2 + b_1x_1^2. \quad (2.5)$$

Виконуємо перевірку відтворюваності дослідів, оцінку значимості коефіцієнтів регресії, а також перевіряємо адекватність лінійної моделі за відомими методиками.

### 2.3 Методика проведення лабораторних досліджень.

Перед початком роботи визначались умови проведення лабораторних досліджень, що включали визначення стану ґрунту в установці з моделювання руху робочих органів ґрунтообробних машин, на якому проводяться дослідження (вологість, щільність, твердість) [67-70].

Характеристику ґрунту для проведення лабораторних експериментів оцінювали типом ґрунту.

Для лабораторних досліджень на установці вирівнювали ґрунт по всій довжині. Відхилення від горизонту не повинно перевищувати  $\pm 1\%$ . Тип ґрунту, яким заповнювався лоток установки з моделювання руху робочих органів ґрунтообробних машин вибирали із карти ґрунтів господарства, а саме з тієї ділянки, де будуть проводитися польові дослідження з відповідним його типом.

Вологість і твердість ґрунту визначались до і після проведення лабораторних експериментів відповідно до стандартної методики [67-69] та з урахуванням рекомендацій робіт [64, 72].

Для визначення вологості ґрунту використовувався термостатно-ваговий метод. Проби ґрунту для визначення вологості відбирались за допомогою ґрунтових бурів. Для відбору ґрунтових зразків користувались буром Некрасова [67, 71].

Оскільки вологість ґрунту постійно змінюється, то її визначали декілька раз за період спостережень. Строки її визначення пов'язані з строками виконання окремих лабораторних дослідів експерименту. Враховуючи поставлену мету, вологість визначаємо в оброблюваному (0...0,30м) шарі ґрунту.

Зразки ґрунту відбирали по довжині проходу робочого органу в установці через рівні проміжки в 10 – 15 місцях в 3-х разовому повторенні, та засипали в бюкси. Бюкси з вологим ґрунтом зважували, а потім висушували у сушильній шафі при температурі  $105^{\circ}\text{C}$  до сталої маси. Абсолютна вологість ґрунту обчислювалась за формулою [67]:

$$W = \frac{M_B - M_C}{M_C - M_B}, \quad (2.6)$$

де  $W$  – абсолютна вологість ґрунту, %;

$M_B$  – маса бюкси з вологим ґрунтом, г;

$M_C$  – маса бюкси з сухим ґрунтом, г;

$M_B$  – маса самої бюкси, г.

Щільність ґрунту визначали за методом Качинського [67, 71].

Об'ємну масу ґрунту  $d$  визначали за формулою [71]:

$$d = \frac{P}{V}, \quad (2.7)$$

де  $P$  – маса абсолютно сухого ґрунту в циліндрі, г;

$V$  – об'єм зразка ґрунту, см<sup>3</sup>.

Об'єм зразка ґрунту в циліндрі  $V$  розраховували за формулою [71]:

$$V = \pi r^2 h, \quad (2.8)$$

де  $\pi r^2$  – площа ріжучої частини циліндра, см<sup>2</sup>;

$h$  – висота циліндра, см.

Масу абсолютно сухого ґрунту в циліндрі  $P$  обчислювали за формулою:

$$P = \frac{B100}{100 + X}, \quad (2.9)$$

де  $B$  – маса вологого ґрунту в циліндрі, г;

$X$  – вологість ґрунту, %.

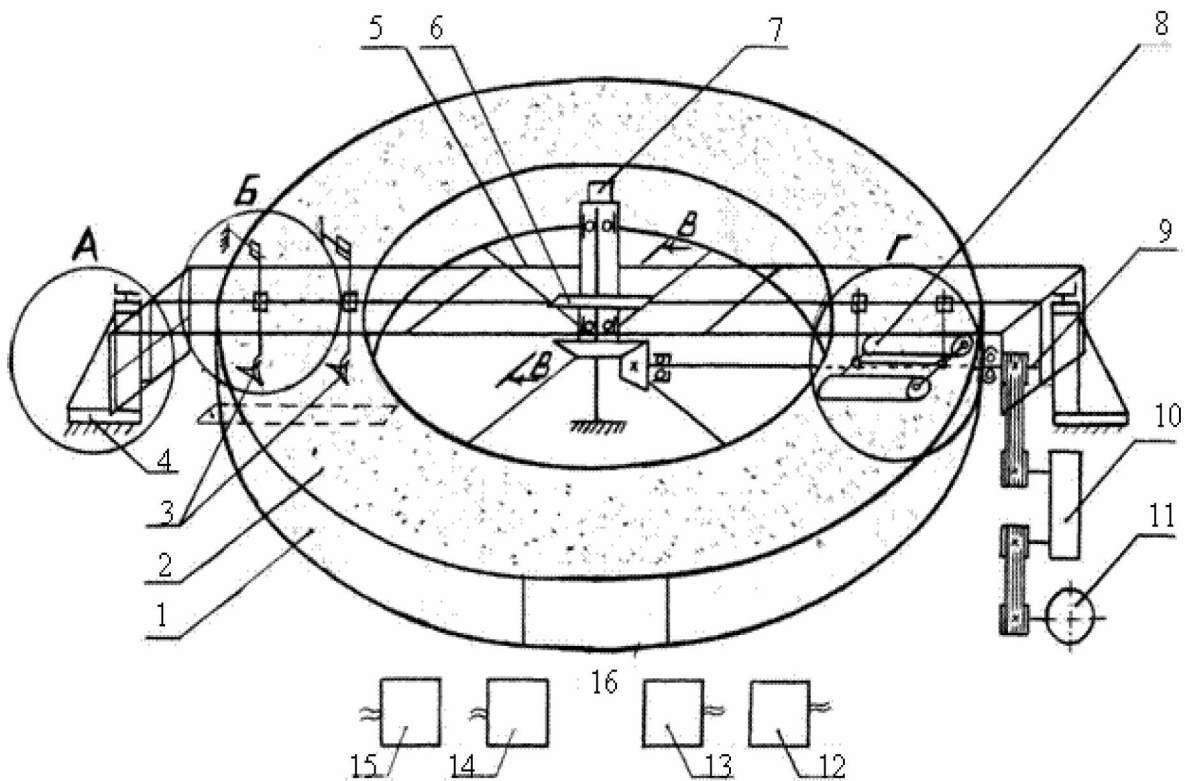
Циліндри з відібраними зразками ґрунту зважували безпосередньо в лабораторії.

Твердість ґрунту визначали за допомогою твердоміра Ю.Ю. Рев'якіна згідно стандартної методики (ДСТУ 5096:2008) [67, 69, 71].

Методика визначення залежності тягового опору від жорсткості торсіону та величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення. При експериментальному дослідженні руху активного робочого органу поставлена мета: за рахунок моделювання руху в ґрунті визначити закономірності зміни тягового опору, в залежності від жорсткості торсіону та величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення.

Схема, загальний вигляд, та окремі конструктивні елементи установки подано

відповідно на рисунках 2.2, 2.3, 2.4.



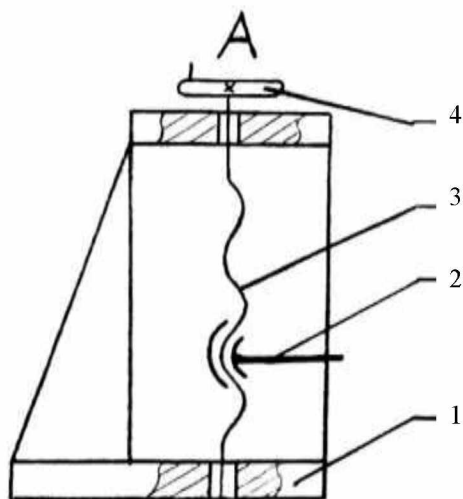
1 – канал; 2 – ґрунт; 3 – активний робочий орган; 4 – боковий стояк; 5 – опорна рама; 6 – датчик рівня горизонтальний; 7 – датчик фіксування швидкості обертання каналу; 8 – ущільнювальний коток; 9 – датчик рівня вертикальний; 10 – механічний варіатор; 11 – мотор – редуктор; 12 і 13 – вимірювальна апаратура, 14 – монітор; 15 – монітор М – 2; 16 – стінка прозора.

Рисунок 2.2 – Схема установки для моделювання руху робочих органів ґрунтообробних машин

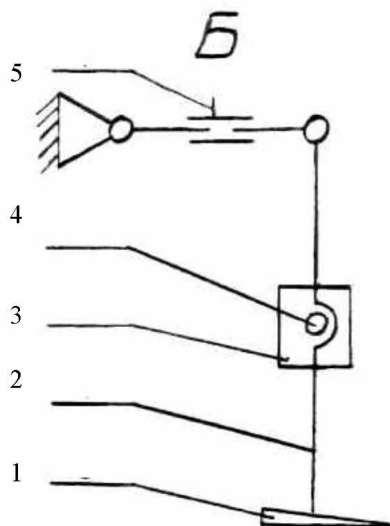
Установка виконана у вигляді зрізаного циліндра (з прямокутним перетином лотка) з внутрішнім діаметром – 2,6 м., зовнішнім діаметром – 3,6 м., та висотою боковини – 0,5 м., Лоток шириною 0,5 м заповнюється ґрунтом (далі ґрунтовий канал). Ґрунтовий канал обертається навколо вертикальної вісі. Ґрунтовий канал отримує обертний рух від валу, якому через механічний варіатор передається обертальний рух від мотор – редуктора МПз2-40 ГОСТ 21356-75. Механічний варіатор, дозволяє безступинево змінювати швидкість обертання ґрунтового каналу в діапазоні від 0,01 до 333 м/хв. В установці вимірювальна апаратура закріплюються нерухомо. Ніж активного щілювача на спеціальній опорній рамі, а вимірювальна

апаратура на горизонтальній платформі. Глибина ходу змінюється механізмами лівого та правого бокових стояків. Кінематична схема цього механізму зображена на (рис. 2.3). За допомогою рухомої гайки глибина ходу може коливатися 0...50 см.

На (рис. 2.4) зображена кінематична схема кріплення активного щілювача.



1 – боковий стояк; 2 – рухома гайка;  
3 – гвинт; 4 – рукоятка.  
Рисунок 2.5 – Кінематична схема бокового  
стояка, вид збоку  
Рисунок 2.3 – Кінематична схема стояка



1 – активний робочий орган; 2 – стійка; 3 – каретка;  
4 – тримач; 5 – тензодатчик ПБ-200.  
Рисунок 2.4 – Кінематична схема кріплення активного  
робочого органу, вид збоку.

Стояк за допомогою каретки (рис. 2.4) може переміщуватися в радіальному напрямку по тримачу. Установка оснащена тензодатчиком ПБ-200.

Установка по моделюванню руху робочих органів ґрунтообробних машин, працює наступним чином. Канал, який заповнений ґрунтом (перед проведенням кожного досліду ґрунт ретельно готується до початкових умов), обертається навколо вертикальної вісі, активний щілювач та вимірювальна апаратура, залишаються нерухомими. Ніж активного щілювача закріплюється рухомо до опорної рами. Під час роботи установки за допомогою механічного варіатора, регулюється швидкість обертання каналу відповідно 6, 8 і 10 км/год., а також виконується регулювання зусилля з яким опорні котки ущільнюють ґрунт. Показники датчика швидкості обертання каналу та тензодатчика ПБ-200, відображаються на вимірювальній апаратурі. В процесі проведення досліджень, записуються експериментальні залежності тягового опору від жорсткості торсіону та величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення.

Підготовка установки до роботи включала в себе наступні операції.

1. Перший етап підготовки передбачав засипку у лоток установки ґрунту товщиною 0,25 м, розподіл рівномірно по лотку та ущільнення його котками, контроль щільності по всій довжині лотка виконувався за допомогою датчика зусилля процесу ущільнення. По закінченню першого етапу підготовки ґрунту проводилось визначення наступних показників: рівномірно беручи проби по довжині лотка об'ємної ваги ґрунту; структурного складу ґрунту; вологості ґрунту; твердості ґрунту.

2. Другий етап включав засипку у лоток ґрунту з утворюванням шару товщиною 0,15 м, розподіл рівномірно по довжині лотка та ущільнення його, контроль по датчику зусилля процесу ущільнення, щоб показник відповідав значенню, отриманому при проведенні першого етапу підготовки. По закінченню другого етапу підготовки ґрунту проводили визначення аналогічних показників першого етапу.

3. Третій етап, завершальний, передбачав досипку ґрунту, утворюючи шар товщиною 0,1 м, розподіл рівномірно по довжині лотка та ущільнення його, контролюючи по датчику зусилля процес ущільнення, щоб показник відповідав значенням, отриманих при проведенні першого та другого етапів підготовки. По закінченню третього етапу підготовки ґрунту визначались аналогічні показники як і у першому етапі.

В результаті проведених етапів підготовки ґрунту отримували готовий до проведення лабораторних досліджень шар ґрунту товщиною 0,5 м, який має відповідні середні значення об'ємної ваги, структурного стану, вологості та твердості віднесені до поперечного перерізу 50 см. Вище згадана методика дозволяє моделювати об'ємну вагу, структурний стан, вологість та твердість ґрунту, максимально наближуючи їх до польових умов [67].

На початку досліджень за допомогою механічного варіатора задавалась швидкість обертання установки, встановлювався робочий орган на задану глибину обробітку (беручи до уваги показники датчиків рівня горизонтального та вертикальних). Ущільнювальні котки переводились в режим роботи «не працюючі».

Установка працює наступним чином (рис. 2.6).



1 – активний робочий орган; 2 – рамка спеціальна; 3 – тримач; 4 – рама лабораторної установки; 5 – тягова ланка динамографа ДТ-3

Рисунок 2.6 – Схема кріплення активного робочого органу на установці

Встановлювали активний робочий орган 1 на вісь між двома швелерами спеціально виготовленої рамки 2, яка переміщувалася в напрямних пазах тримачів 3, що нерухомо прикріплені до рами лабораторної установки 4. До рамки 2 приєднувалася тягова ланка 5 тягового динамографа ДТ-3. Верхня частина активного робочого органу навантажувалася силою дії торсіону, а нижня його частина заглиблювалася на досліджувану глибину обробітку.

Під час обертання лотка з ґрунтом, останній чинив тиск на активний робочий орган. Останній разом із рамкою переміщувався по ходу руху лотка ґрунтового каналу, разом з цим, переміщувався шток тягової ланки динамографа ДТ-3.

В процесі проведення досліджень, визначались на першому етапі – тяговий опір нерухомо закріпленого робочого органу, на другому етапі – тяговий опір активного робочого органу, що мав можливість обмежено (в крайніх точках з ударом) коливатись у вертикальній площині. На другому етапі встановлювалася залежність тягового опору активного робочого органу від жорсткості торсіону та величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення.

Необхідна кількість повторювань визначалась за рекомендаціями Доспехова Б.А. [68], експеримент проводився з повторюваністю 5 разів.

Математична обробка результатів вимірювань виконується на ПЕОМ за допомогою пакету EXSEL методами описової статистики та дисперсійного аналізу. При цьому визначається середнє значення показника на кожному режимі роботи, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, помилка середнього та точність проведення дослідів.

Методика визначення якісних показників при проведенні лабораторних досліджень. Методика визначення показників якості обробітку ґрунту активного робочого органу при дослідженнях базується на шкалі оцінки якості обробітку ґрунту (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Показники якості обробітку ґрунту активним робочим органом

Показник	Допуск при глибині обробітку		Оцінка бал
	до 16 см	до 30 см	
Відхилення від заданої глибини, см	До 0,5	До 1	3
	0,5 – 1	1 – 2	2
	Понад 1	Понад 2	1

При проведенні лабораторних досліджень використана наступна методика визначення показників якості обробітку залікової ділянки активним робочим органом. Визначались наступні якісні показники:

1. Глибина обробітку ґрунту визначалась в сантиметрах. Глибину обробітку визначали мірним металевим стержнем, у щілині в 25 місцях залікової ділянки лабораторної установки. [67].

2. Глибина розвальної борозни визначалась в сантиметрах (рис. 2.7). Глибину розвальної борозни, що утворилася після проходу активного робочого органу на лабораторній установці визначали за допомогою мірної рулетки з сантиметровими поділками та лінійки. На поверхню ґрунту, перпендикулярно до напрямку розвальної борозни клали горизонтально лінійку, і під прямим кутом опускали мірну рулетку до дна розвальної борозни. Отримані заміри, для встановлення дійсної глибини розвальної борозни, корегували на спущеність обробленого ґрунту. Вимірювання глибини розвальної борозни проводили згідно [67] по всій довжині залікової ділянки.



Рисунок 2.7 – Визначення глибини розвальної борозни в умовах лабораторної установки з моделювання руху робочих органів ґрунтообробних машин

Приймали повторність 20 разів та визначали середнє значення глибини розвальної борозни  $a_{cp}$  [67].

$$a_{cp} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}, \text{ м}, \quad (2.10)$$

де  $a_1, a_2, a_n$  – фактичні результати вимірювань глибини розвальної борозни, м;  
 $n$  – кількість вимірювань.

3. Ширина розвальної борозни визначалась в сантиметрах. Ширину розвальної борозни, що утворилася після проходу активного робочого органу в лабораторній установці визначали за допомогою лінійки довжиною 50 см (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – До методики визначення ширини розвальної борозни

Для усунення похибки вимірювань, внаслідок порушення перпендикулярного розміщення лінійки до розвальної борозни, лінійку на поверхню ґрунту клали горизонтально, при цьому частину лінійки (початок відліку) розміщували під прямим кутом до внутрішнього борта лотка лабораторної установки. Заміри, коригували на спущеність ґрунту.

Вимірювання ширини розвальної борозни проводили згідно [67] по всій довжині залікової ділянки лабораторної установки. Приймали повторність 20 разів та визначали середнє значення ширини розвальної борозни  $b_{cp}$  [67]:

$$b_{cp} = \frac{b_1 + b_2 + \dots + b_n}{n}, \text{ м}, \quad (2.11)$$

де  $b_1, b_2, b_n$  – фактичні результати вимірювань ширини розвальної борозни, м;  
 $n$  – кількість вимірювань.

#### 2.4 Методика проведення польових досліджень.

Умови проведення експериментальних досліджень включають у себе оцінку стану ділянки, на якій проводяться дослідження, та стану ґрунту (вологість, щільність, твердість) [67, 69, 70].

Характеристика ділянки для проведення експерименту оцінювалась рельєфом та типом ґрунту. Для досліджень вибрана горизонтальна ділянка з рівним рельєфом. Відхилення ділянки від горизонту не повинно перевищувати 1%. Із карти ґрунтів району брались дані про його тип.

Вологість і твердість ґрунту визначалась до і після проведення експериментів, відповідно до стандартної методики [67, 69, 70] та з урахуванням рекомендацій робіт [64, 72].

Для визначення вологості ґрунту використовувався термостатно-ваговий метод. Проби ґрунту для визначення вологості відбирались за допомогою ґрунтових бурів. Для відбору ґрунтових зразків користувалися буром Некрасова [67, 71].

Оскільки вологість ґрунту постійно змінюється, то її визначали декілька раз за період спостережень. Строки її визначення пов'язані з строками виконання окремих

дослідів експерименту. Враховуючи поставлену мету вологість визначали в оброблюваному (0-0,30 м ) шарі ґрунту.

Вологість ґрунту визначали згідно методики представленої у п. 2.3, а абсолютну вологість ґрунту підраховували за формулою (2.6).

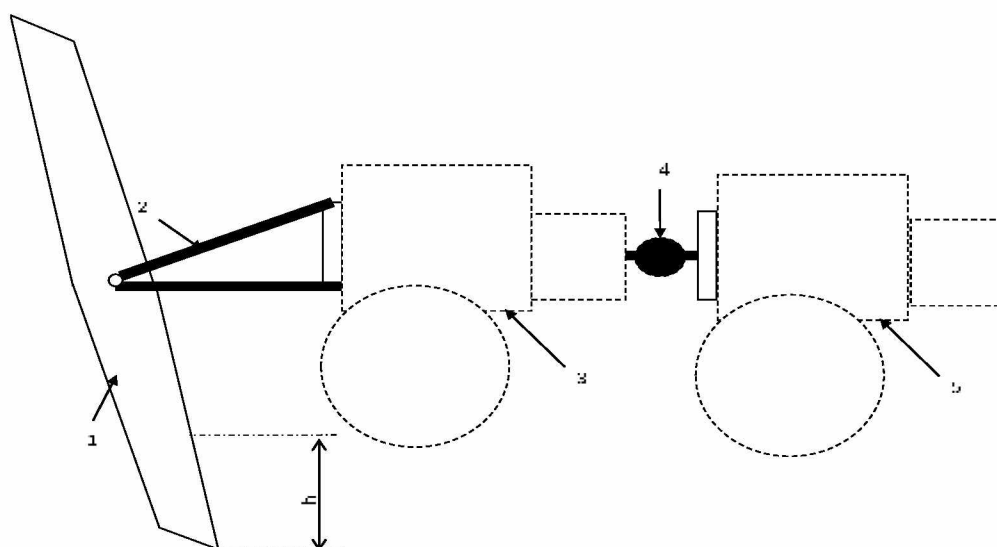
Щільність ґрунту визначали за методом Качинського по раніше представленій у п. 2.3 методиці та використовуючи формули (2.7 – 2.9).

Твердість ґрунту визначали методом вдавлювання каліброваного штампа статичною дією, за допомогою твердоміра конструкції Рев'якіна Ю.Ю. згідно стандартної методики (ГОСТ-20915-75) [71].

Методика визначення залежності тягового опору від жорсткості торсіону та величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення.

При експериментальному дослідженні руху активного робочого органу поставлена мета: за рахунок руху в ґрунті активного робочого органу визначити закономірності зміни тягового опору, в залежності від жорсткості торсіону та величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення.

Схема, загальний вигляд, та окремі конструктивні елементи польової установки подано відповідно на рисунку 2.9.



1 – активний робочий орган; 2 – зчпний механізм; 3, 5-мотоблоки; 4 – динамометр; h- глибина обробітку.

Рисунок 2.9 – Схема польової установки

Польова установка представляє собою два мотоблоки 3, 5, які один з одним з'єднані тягою, яка містить динамометр 4. Навіска мотоблока 3 має два нерухомих зчіпних механізми. Активний робочий орган 1 обмежено коливається відносно вісі, в крайніх точках з ударом по обмежувачах. Пружним елементом системи є торсіон закріплений на зчіпних механізмах.

Дослідження проводяться з нерухомо закріпленим робочим органом, та з активним робочим органом, що має змогу обмежено коливатися (у крайніх точках з ударом) у вертикальній площині. Тяговий опір визначали за допомогою тягового динамометра, окремо для нерухомо закріпленого робочого органу та з використанням активного робочого органу.

Дослідження проводилися на швидкостях – 1,5, 3 і 4,5 км/год. До і після досліджень всі прилади, що використовуються в експерименті, проходять тарування.

Математична обробка результатів вимірювань виконується на ПЕОМ за допомогою пакету EXSEL методами описової статистики та дисперсійного аналізу. При цьому визначається середнє значення показника на кожному режимі роботи, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, помилка середнього та точність проведення дослідів.

Методика визначення якісних показників при проведенні польових досліджень. Методика визначення показників якості обробітку ґрунту активним робочим органом при польових дослідженнях базується на шкалі для оцінки якості обробітку ґрунту активним робочим органом (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Показник оцінки якості обробітку ґрунту активним щілювачем

Показник	Допуск при глибині обробітку		Оцінка бал
	до 16 см	до 30 см	
Відхилення від заданої глибини, см	До 0,5	До 1	3
	0,5 – 1	1 – 2	2
	Понад 1	Понад 2	1
Ступінь налипання та забивання, %	Понад 30	Понад 35	1
	20 – 30	25 – 35	2
	Менше 20	Менше 25	3

Визначаємо наступні якісні показники:

1. Глибина обробітку ґрунту визначалась в сантиметрах мірним металевим стержнем. Мірний металевий стержень заглиблювали у ґрунт на відстані 1–2 см від стояка лапи в 25 місцях залікової ділянки поля [67, 71].

2. Рівномірність глибини обробітку визначалась за різницею між максимальною та мінімальною глибиною. Допустимою 4 – 5 см для глибокого обробітку.

3. Глибина розвальної борозни визначалась в сантиметрах. Глибину розвальної борозни визначали аналогічно методиці визначення глибини розвальної борозни представленої у підрозділі 2.3.2 даного розділу. Використовуючи теж саме обладнання, а розрахунки виконували за формулою (2.10) підрозділу 2.3.2 [67, 71].

6. Ширина розвальної борозни визначалась в сантиметрах. Вимірювання ширини розвальної борозни проводили згідно [67] та використовуючи методику, приведену у підрозділі 2.3.2 даного розділу, по всій довжині залікової ділянки поля. Приймали повторність вимірювань 20 разів та визначали середнє значення ширини розвальної борозни за формулою (2.11) [67].

7. Визначення налипання та забивання активного робочого органу здійснювали ваговим методом. Після проходу контрольної ділянки агрегат зупиняли, підіймали робочий органи над поверхнею ґрунту, зчищали налиплий ґрунт з дослідного робочого органу у відповідну тару і зважували [67].

Проби брали в п'яти контрольних місцях при проходженні агрегату в один бік та п'яти – в зворотному напрямку. Повторність експерименту була прийнята  $n = 2$ . Дослід повторювали на вибраній швидкості руху для серійного робочого органу нерухомо закріпленим на рамі та для активного робочого органу.

Ступінь забивання серійного та експериментального робочих органів бур'яном визначали аналогічно визначенню ступеню налипання ґрунтом в одному інтервалі часу [71].

## 2.5 Висновки за розділом 2

1. Розроблена програма і методика проведення експериментів, яка включає лабораторні та польові дослідження впливу конструкційних параметрів (жорсткості

торсіону та величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення) на енергетичні та якісні показники його роботи (смуговий обробіток ґрунту).

2. Для проведення лабораторних досліджень використана експериментальна установка, особливістю якої є ґрунтовий канал (в якому в рух приводиться ґрунт, а моделі робочих органів та вимірювальна апаратура залишаються не рухомими), що має можливість змінювати швидкість обертання в межах від 0,01 до 333м/хв., це дало можливість встановити залежність тягового опору ґрунту від швидкості руху робочого органу та глибини обробітку.

3. Для оцінки ефективності роботи активного робочого органу запропоновано визначати якісні агротехнічні показники: рівномірність обробітку ґрунту по глибині, ширину та глибину розвальної борозни, налипання та забивання робочих органів.

6. Застосований план двох факторного експерименту ПФЕ  $3^2$ , який дає можливість дослідити вплив конструкційних параметрів активного робочого органу (жорсткості торсіону та зазору між активним робочим органом та обмежувачем його переміщення) на тяговий опір та якість смугового обробітку ґрунту.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

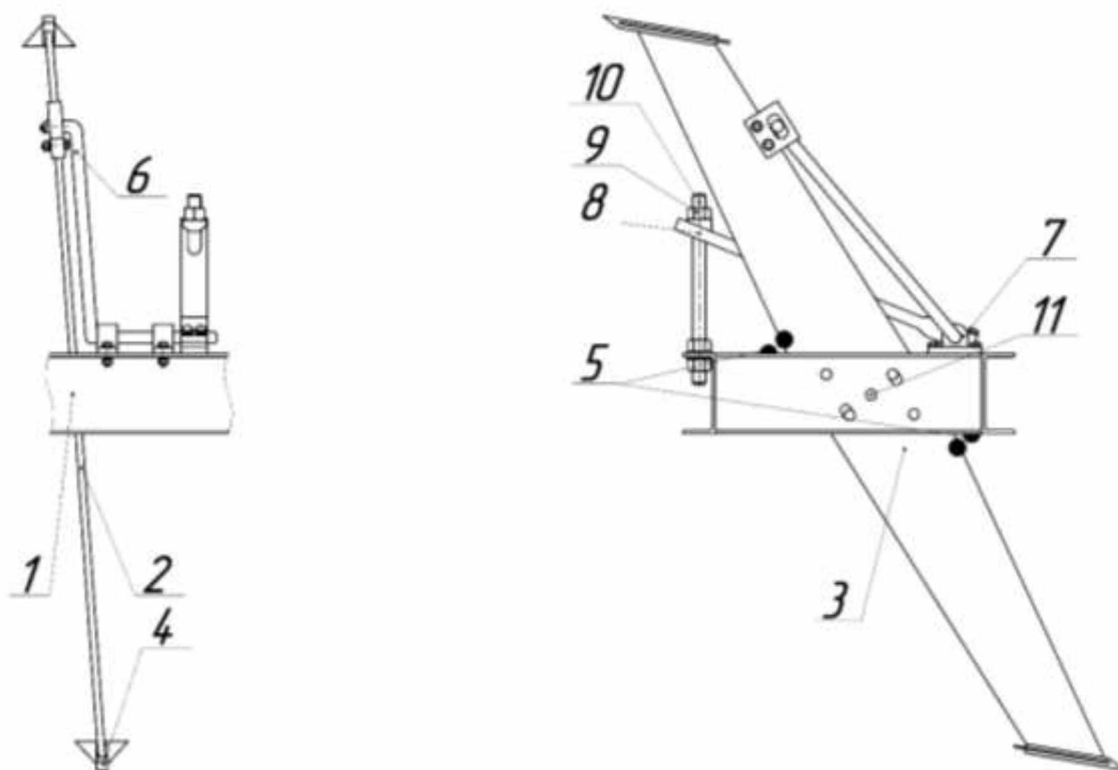
Від активної дії на ґрунт робочих органів ґрунтообробних машин залежать експлуатаційні та якісні показники їх роботи. Найбільш суттєвими показниками є тяговий опір, жорсткість торсіону, величина зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення та якісні показники смугового обробітку ґрунту.

#### 3.1 Обґрунтування технологічної схеми активного робочого органу

На основі приведеного у першому розділі аналізу, приходимо до висновку, про необхідність удосконалення конструкції активного робочого органу для смугового обробітку ґрунту, позитивною ознакою якого є ударна дія на ґрунт врахувавши усі недоліки конструкцій робочих органів, що призначені для безвідвального обробітку ґрунту. Спираючись на фундаментальні праці відомих учених: академіків І.І. Артоболовського [72], В.О. Желиговського [73], П.М. Василенка [74], докторів технічних наук А.М. Гудкова [75], О.О. Дубровського [76], Г.М. Синьоокова [77], О.В. Верняєва [78] про використання вібрації при обробітку ґрунту, а також, використовуючи результати досліджень використання вібрації під час обробітку ґрунту І.М. Панова [79], Г.О. Рябцева [80], І.А. Шевченка [81], М.В. Краснощокова [82], ми удосконалили активний робочий орган, конструктивна схема якого представлена на рис. 3.1.

Активний робочий орган працює наступним чином. Рама 1 рухається горизонтально. На поперечні балки рами прикріплений у вертикальній площині симетричний активний робочий орган, що у верхній та нижній своїх частинах має долотоподібні розпушувачі 4. В процесі руху у ґрунті активний робочий орган (до конструктивно – технологічної схеми введено кінематичні пари четвертого класу, що утворюються під час зіткнення відповідних ланок, при цьому ступінь рухливості активного робочого органу змінюється у залежності від деформаційних властивостей ґрунту) коливається в межах до 0,05 м відносно горизонтальної вісі 11. При цьому зі збільшенням опору ґрунту інтенсивність цих коливань зростає (пружним елементом

коливальної системи є торсіон 6) і таким чином здійснюється налаштування активного робочого органу на необхідний режим роботи в залежності від опору ґрунту.



1 – рама; 2, 3 – активний робочий орган; 4 – долотоподібний розпушувач; 5 – обмежувач переміщення активного робочого органу; 6 – торсіон; 7 – тримач торсіону; 8 – важіль; 9 – гайка; 10 – гвинт; 11 – вісь; 12 – противага. [83]

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема активного робочого органу

У фазі стиску ґрунту, активний робочий орган відхиляється убік, протилежний напрямку руху сільськогосподарської машини, стискаючи пружний елемент підвіски (торсіон), що накопичує потенційну енергію. Наприкінці фази стиску активний робочий орган ударяється з кулею 5, яка нерухомо закріплена на рамі, що сприяє утворенню в ґрунті перед робочим органом площин сколювання. Хвиля напружень, що поширюється від активного робочого органу, відбивається від границь блоку ґрунту назовні нього. При накладанні відбитих хвиль виникають напруження, які перевищують межу міцності ґрунту, що викликає інтенсивне утворення тріщин. Тому наступний вплив на сколений блок ґрунту активного робочого органу викликає посилене його кришення.

Таким чином, в залежності від деформаційних властивостей ґрунту, що впливають на частоту ударів, ступінь рухливості активного робочого органу може змінюватися, що в свою чергу, буде сприяти покращенню утворення щілини в ґрунті та зниження енерговитрат.

Позитивними ознаками конструкції активного робочого органу є:

- конструкція активного робочого органу відрізняється від конструкції щільовача-розпушувача ЩРП-3-70 тим, що робочий орган прикріплюється до рами за допомогою вісі з можливістю регулювання кута його встановлення в межах  $25 \dots 35^\circ$  до горизонталі у напрямку руху робочого органу. Нижні частини активного робочого органу містять долотоподібні розпушувачі. Особливою відмінністю конструкції активного робочого органу є його можливість обмеженого до 0,05 м (в крайніх положеннях з ударом) коливання відносно горизонталі.

- конструкція активного робочого органу відрізняється від обраного в якості прототипу ЩРП-3-70 тим, що в якості пружного елемента робочого органу використано торсіон з можливістю регулювання його жорсткості [83].

### 3.2 Обґрунтування параметрів активного робочого органу

Розглянемо рух активного робочого органу в поздовжньо-вертикальній площині. Схема системи сил, що діють на активний робочий орган, представлена на рис. 3.2. Обґрунтуємо величину зазору  $d$  між кулями активного робочого органу та корпусу, які співударяються, а також визначимо жорсткість торсіону  $c_1$  (яка є складовою жорсткості торсіонної системи  $c$ ), що забезпечує стійкий режим коливань робочого органу у відповідності з фазами деформації і сколювання ґрунту.

Висунемо припущення про те, що активний робочий орган діє на ґрунт по типу двогранного клина [84]. Загальний тяговий опір ґрунту  $Q_{ep,x}$ , що діє на клин, як відомо, визначається наступним чином [85]:

$$Q_{ep,x} = Q_G + Q_J + Q_D, \quad (3.1)$$

де  $Q_G$  – опір, що виникає від дії ваги ґрунту на робочу поверхню клина;

$Q_I$  – опір, що виникає від сил інерції ґрунту при наданні йому прискорення;  
 $Q_D$  – опір ґрунту деформації.

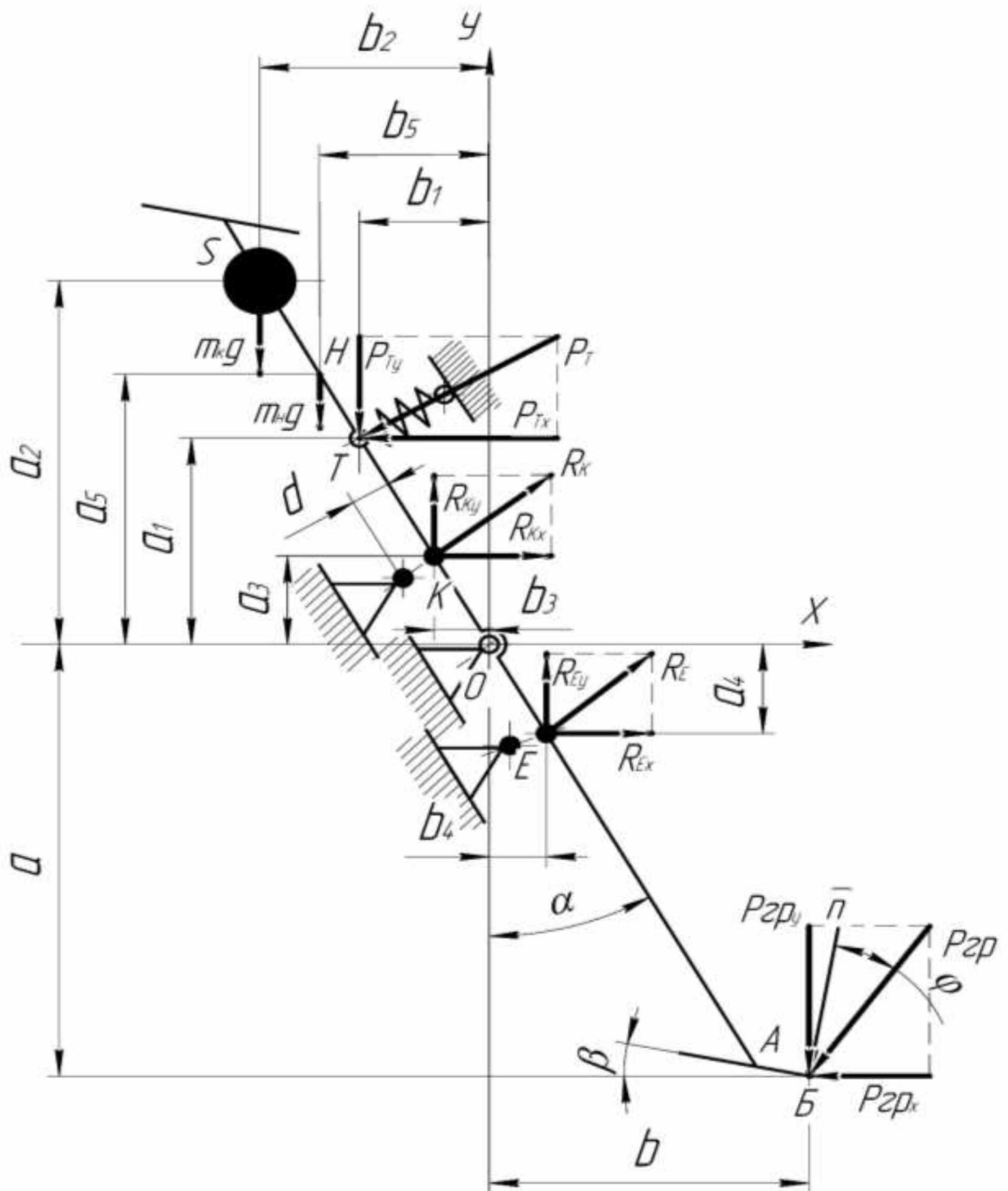


Рисунок 3.2 – Схема системи сил, що діють на ніж активного щілювача ґрунту

Зробимо припущення, що сума складових і тягового опору має сталі значення, а складова періодично змінюється від нуля до деякого максимального значення, причому її діаграма в часі має синусоподібний характер, що зумовлено циклічністю

процесу деформації та сколювання ґрунту клином [86].

З урахуванням вище зазначених залежностей, представимо прийнятну діаграму сил опору ґрунту  $Q_{ep,x}$ , що діють на активний робочий орган, у наступному вигляді (рис. 3.3).

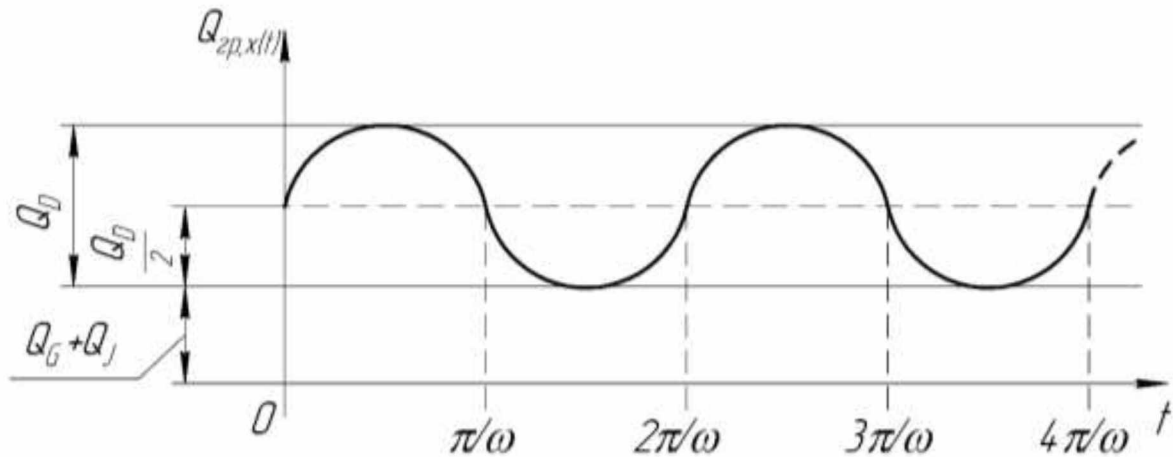


Рисунок 3.3 – Прийнята діаграма сил опору ґрунту в часі

Запишемо рівняння для сили  $Q_D$  у відповідності до діаграми (рис. 3.4):

$$Q_D(t) = \frac{Q_D}{2} + Q \cdot \sin \omega \cdot t, \quad (3.2)$$

де  $Q = \frac{4 \cdot Q_D}{\pi^2}$  – амплітуда коливань змінної з часом складової сили деформації ґрунту.

Ймовірніше за все коливання активного робочого органу можливе лише від дії змінної складової тягового опору  $Q \cdot \sin \omega \cdot t$ , а сталі його складові ( $Q_G + Q_J$  і  $\frac{Q_D}{2}$ ) будуть викликати статичне стискання пружного елемента (торсіону), обмежуючи тим самим розмах коливань. Тому для забезпечення коливань робочого органу необхідно компенсувати дію сталих складових тягового опору, створюючи попереднє навантаження пружного елемента (торсіону). Цю умову може забезпечити лише запропонована конструкція робочого органу з кулеподібними ударними бойками.

Скористаємося схемою (рис. 3.2) для визначення зазору між кулями активного робочого органу і рами, при режимі руху, коли за один період коливань мають місце удари бойка активного робочого органу по бойку рами. При цьому зробимо припущення, що обмежувачі переміщень робочого органу є достатньо жорсткими і



Виконаємо розрахунок плеча  $KM$  (рис. 3.5):

$$KM = \sqrt{(a+a_3)^2 + (b+b_3)^2} \cos(\tau - \beta - \varphi). \quad (3.6)$$

Тоді:

$$P_{zp} = \frac{P_{zp,x}(a+a_3)}{\sqrt{(a+a_3)^2 + (b+b_3)^2} \cos(\tau - \beta - \varphi)} + \frac{P_{zp,y}(b+b_3)}{\sqrt{(a+a_3)^2 + (b+b_3)^2} \cos(\tau - \beta - \varphi)} \quad (3.7)$$

Запишемо відношення:

$$\frac{P_{zp,x}}{P_{zp,y}} = \operatorname{tg}(\beta + \varphi). \quad (3.8)$$

І знайдемо  $P_{zp,y}$ :

$$P_{zp,y} = \frac{P_{zp,x}}{\operatorname{tg}(\beta + \varphi)} = P_{zp,x} \operatorname{ctg}(\beta + \varphi). \quad (3.9)$$

Підставимо вираз (3.9) у рівняння (3.7), отримаємо:

$$P_{zp} = P_{zp,x} \left( \frac{\frac{a+a_3}{\sqrt{(a+a_3)^2 + (b+b_3)^2} \cos(\tau - \beta - \varphi)} + (b+b_3) \operatorname{ctg}(\beta + \varphi)}{\sqrt{(a+a_3)^2 + (b+b_3)^2} \cos(\tau - \beta - \varphi)} \right). \quad (3.10)$$

Початок відліку часу сумістимо з моментом відриву активного робочого органу від верхньої кулеподібної опори. Змінну складову опору ґрунту запишемо у вигляді  $P_E \sin \omega t$ .

Прийmemo, що в момент удару активного робочого органу по кулеподібній опорі його швидкість змінюється за законом:

$$\dot{x}(0) = -\chi \cdot \dot{x} \left( \frac{\pi}{\omega} \right). \quad (3.11)$$

Оскільки рух періодичний, то приймаємо такі початкові умови:

$$t = 0, \quad x = 0; \quad t = \frac{\pi}{\omega}; \quad x = d. \quad (3.12)$$

Враховуючи, що сила в'язкого опору ґрунту пропорційна швидкості, на основі другого закону динаміки поступального руху, запишемо диференціальне рівняння руху активного робочого органу для проміжку часу між двома ударами [91]:

$$m\ddot{x} = P_E \sin \omega t - cx - \mu\dot{x}, \quad (3.13)$$

де  $m = M + m_K$  – приведена маса;

$m_K$  – маса кулі, що використовується в якості противаги на активному робочому органі;

$$M = m_H + m_{ep}, \quad (3.14)$$

$m_H$  – маса ножа активного робочого органу;

$m_{ep}$  – маса блока ґрунту, що сколює активний робочий орган.

$$m_{ep} = \rho V, \quad (3.15)$$

де  $\rho$  – об'ємна маса ґрунту;

$V$  – об'єм блоку ґрунту, що сколюється.

Об'єм блоку ґрунту, що сколюється визначаємо за формулою:

$$V = \frac{(\Lambda^2 + \Lambda l_{зк} + l_{зк}^2) H \operatorname{ctg} \theta}{3}, \quad (3.16)$$

де  $H$  – глибина обробітку ґрунту;

$\Lambda$  – ширина долота ножа;

$\theta$  – кут внутрішнього тертя ґрунту,  $\theta = 40 \dots 60^\circ$ ;

$l_{зк}$  – довжина лінії сколювання ґрунту активним робочим органом,  $l_{зк} \approx 2H$ .

Жорсткість торсіонної системи  $C$  (власна жорсткість торсіону та жорсткість кріпильних елементів), що приведена до вісі, яка проходить через вісь долота активного робочого органу і входить до рівняння (3.13), визначаємо згідно рис. 3.4:

$$c = \frac{c_1(b+b_1)}{a+a_1}, \quad (3.17)$$

де  $c_1$  – власна жорсткість торсіону.

Розділимо ліву і праву частини рівняння (3.17) на  $M + m_K$  та введемо наступні позначення:

$$\frac{\mu}{M + m_K} = 2\xi, \quad \frac{c}{M + m_K} = \kappa^2, \quad \frac{P_E}{M + m_K} = U. \quad (3.18)$$

Тоді рівняння (3.17) матиме вигляд:

$$\ddot{x} + 2\xi \cdot \dot{x} + \kappa^2 x = U \sin \omega t. \quad (3.19)$$

Із теорії диференціальних рівнянь відомо [88], що загальне рішення рівняння (3.19) потрібно представити у вигляді суми двох рішень:

$$x = x_1 + x_2, \quad (3.20)$$

де  $x_1$  – загальне рішення відповідного лінійного однорідного диференційного рівняння;

$x_2$  – часткове рішення відповідного лінійного неоднорідного диференційного рівняння.

Якщо  $\kappa > \xi$ , то рішення рівняння (3.19) знаходимо у вигляді:

$$x_1 = e^{-\xi t} (C_1 \sin \kappa_1 t + C_2 \cos \kappa_1 t), \quad (3.21)$$

$$x_2 = \frac{U \sin \omega t}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}, \quad (3.22)$$

де  $C_1, C_2$  - сталі інтегрування,

$$\kappa_1 = \sqrt{\kappa^2 - \xi^2}. \quad (3.23)$$

Загальне рішення диференційного рівняння руху активного робочого органу матиме вигляд:

$$x = e^{-\xi t} (C_1 \sin \kappa_1 t + C_2 \cos \kappa_1 t) + \frac{U \sin \omega t}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}, \quad (3.24)$$

де  $\kappa$  - власна частота коливань активного робочого органу на рамі.

Використовуючи початкові умови (3.12), запишемо рівняння для визначення сталих інтегрування  $C_1$  і  $C_2$ , що входять до рівняння (3.24):

$$0 = C_1 \sin 0 + C_2 \cos 0 + \frac{U \sin 0}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}, \quad (3.25)$$

$$d = e^{-\frac{\xi \pi}{\omega}} (C_1 \sin \frac{\omega \kappa_1}{\omega} + C_2 \cos \frac{\pi \kappa_1}{\omega}) + \frac{U \sin \pi}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}. \quad (3.26)$$

Із рівнянь (3.25) та (3.26) знаходимо:

$$C_2 = 0, \quad C_1 = \frac{de^{\frac{\xi \pi}{\omega}}}{\sin \frac{\pi \kappa_1}{\omega}} = \frac{de^{\frac{\xi \pi}{\omega}}}{\sin \psi}, \quad (3.27)$$

де  $\psi = \frac{\pi \kappa_1}{\omega}$ .

Таким чином, загальне рішення диференційного рівняння запишеться так:

$$x = e^{-\xi t} \frac{de^{\frac{\xi\pi}{\omega}}}{\sin \psi} \sin \kappa_1 t + \frac{U \sin \omega t}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}. \quad (3.28)$$

Продиференціювавши рівняння (3.28), знайдемо залежність зміни швидкості руху активного робочого органу з часом:

$$\dot{x} = Be^{-\xi t} (\kappa_1 \cos \kappa_1 t - \xi \sin \kappa_1 t) + \frac{U\omega \cos \omega t}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}, \quad (3.29)$$

де 
$$B = \frac{de^{\frac{\xi\pi}{\omega}}}{\sin \psi}. \quad (3.30)$$

Знайдемо швидкість в момент часу, що відповідає початковим умовам (3.16):

$$\dot{x}(0) = B\kappa_1 + \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}, \quad (3.31)$$

$$\dot{x}\left(\frac{\pi}{\omega}\right) = Be^{-\frac{\xi\pi}{\omega}} (\kappa_1 \cos \psi - \xi \sin \psi) - \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}}. \quad (3.32)$$

Враховуючи умову (3.11), та рівняння (3.31) і (3.32), отримаємо рівняння:

$$B\kappa_1 + \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}} = -\chi \left[ Be^{-\frac{\xi\pi}{\omega}} (\kappa_1 \cos \psi - \xi \sin \psi) - \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}} \right]. \quad (3.33)$$

Виконавши перетворення рівняння (3.33) маємо:

$$B = \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}} \cdot \frac{\chi - 1}{\kappa_1 + \chi e^{-\frac{\xi\pi}{\omega}} (\kappa_1 \cos \psi - \xi \sin \psi)}. \quad (3.34)$$

Враховуючи (3.30), отримаємо:

$$\frac{de^{\frac{\xi\pi}{\omega}}}{\sin \psi} = \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}} \cdot \frac{\chi - 1}{\kappa_1 + \chi e^{-\frac{\xi\pi}{\omega}} (\kappa_1 \cos \psi - \xi \sin \psi)}. \quad (3.35)$$

Із рівняння (3.35) визначимо величину зазору  $d$ :

$$d = \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}} \cdot \frac{(\chi - 1) \sin \psi}{\kappa_1 (e^{\frac{\xi\pi}{\omega}} + \chi \cos \psi) - \chi \xi \sin \psi}. \quad (3.36)$$

Беручи до уваги рівняння (3.27) та (3.23), отримаємо рівняння для  $d$ :

$$d = \frac{U\omega}{\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2 \xi^2}} \times \frac{(\chi - 1) \sin \frac{\pi \sqrt{\kappa^2 - \xi^2}}{\omega}}{\sqrt{\kappa^2 - \xi^2} \left( e^{\frac{\xi\pi}{\omega}} + \chi \cos \frac{\pi \sqrt{\kappa^2 - \xi^2}}{\omega} \right) - \chi \xi \sin \frac{\pi \sqrt{\kappa^2 - \xi^2}}{\omega}}. \quad (3.37)$$

Введемо заміни в рівнянні (3.37), отримаємо:

$$d = \frac{U\omega}{\gamma} \cdot \frac{(\chi-1)\sin\Omega}{\phi \left( e^{\frac{\xi\pi}{\omega}} + \chi \cos\Omega \right) - \chi\xi \sin\Omega}, \quad (3.38)$$

$$\text{де } \xi = \frac{\mu}{2M + 2m_K}; \quad \phi = \sqrt{\kappa^2 - \xi^2} = \sqrt{\frac{c}{M + m_K} - \frac{\mu^2}{4M^2 + 4m_K^2}};$$

$$\gamma = \sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4\omega^2\xi^2} = \sqrt{\left(\frac{c}{M + m_K} - \omega^2\right)^2 + 4\omega^2 \frac{\mu^2}{4M^2 + 4m_K^2}};$$

$$\Omega = \psi = \frac{\pi\phi}{\omega} = \frac{\pi \cdot \sqrt{\frac{c}{M + m_K} - \frac{\mu^2}{4M^2 + 4m_K^2}}}{\omega};$$

$\chi$  – коефіцієнтом відновлення, що характеризує удар активного робочого органу по обмежувачу переміщення, який є достатньо жорстким.

Теоретична залежність тягового опору активного робочого органу ґрунту від величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення представлена на рис. 3.5 у вигляді графіків побудованих за формулою:

$$P_E = \frac{d(M + m_K) \left( \phi \left( e^{\frac{\xi\pi}{\omega}} + \chi \cos\Omega \right) - \chi\xi \sin\Omega \right) \gamma}{\omega(\chi-1)\sin\Omega} \quad \text{вираженою із формули (3.38).}$$

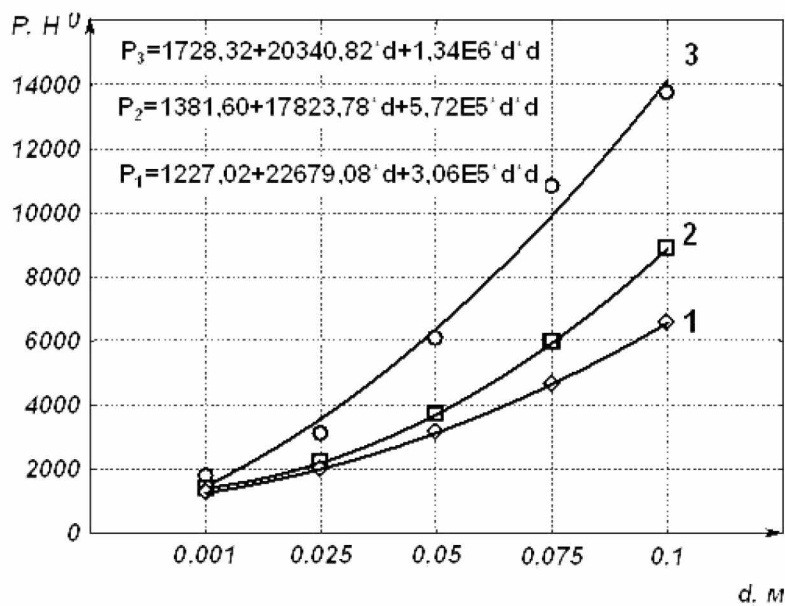


Рисунок 3.5 – Залежність тягового опору  $P$  активного робочого органу від величини зазору  $d$  між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення при швидкості руху 1 – 1,15 м/с; 2 – 2 м/с; 3 – 2,4 м/с.

Встановлено, що при зміні зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення від 0,001 м до 0,05 м, при глибині обробки 0,3 м, тяговий опір змінюється від 1013 Н до 6094 Н.

Частоту  $\omega$  змінної складової  $Q_D$  сили опору ґрунту визначаємо за формулою:

$$\omega = 2\pi \frac{\mathcal{G}}{l_{зк}}, \quad (3.39)$$

де  $\mathcal{G}$  – поступальна швидкість руху ґрунтообробного знаряддя;

$l_{зк}$  – довжина шляху лінії сколювання ґрунту активного робочого органу.

Отже, жорсткість торсіонної системи, яка необхідна для забезпечення режиму коливань з ударами активного робочого органу, визначаємо за формулою:

$$c = \frac{Q_{DE}}{d}. \quad (3.40)$$

Теоретична залежність тягового опору активного робочого органу від величини жорсткості торсіону при величині зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення відповідно –  $d_1=0,001$  м;  $d_2=0,025$  м;  $d_3=0,05$  м, представлена на рис. 3.6 у вигляді графіків побудованих за формулою (3.40).

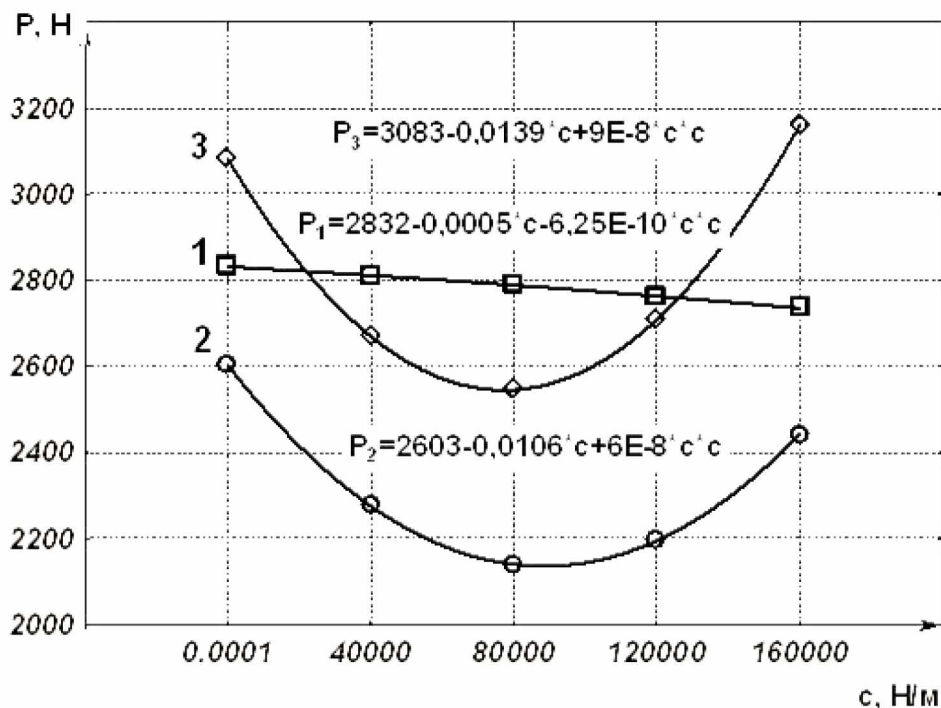


Рисунок 3.6. Залежність тягового опору  $P$  активного робочого органу від жорсткості торсіону  $c$  при величині зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення –  $d_1=0,001$  м;  $d_2=0,025$  м;  $d_3=0,05$  м.

Лінії графіка (рис. 3.6) вказують, що із зростанням жорсткості торсіону тяговий опір змінюється від 3083 до 2241 Н, тобто підвищення жорсткості торсіону сприяє покращенню активної роботи активного робочого органу, що забезпечує зменшення тягового опору в межах 14...18% в залежності від величини зазору між робочим органом і обмежувачем його переміщення.

При величині зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення, що дорівнює  $d_1=0,001$  м, та збільшенні жорсткості торсіону більше 40000 Н/м тяговий опір стрімко збільшується (рис. 3.6), це пояснюється тим, що робочий орган переходить у режим жорстко закріпленого, і подальша зміна опору ґрунту не може викликати коливання активного робочого органу. В даному випадку лише збільшення величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення дозволить робочому органу активно працювати, що засвідчує лінія 2 графіка (див. рис. 3.6).

Враховуючи теоретичні залежності графіків представлених на рис. 3.6, та використавши формулу (3.40) знаходимо власну жорсткість торсіону:

$$c_1 = \frac{c(a+a_1)}{b+b_1}. \quad (3.41)$$

При цьому для зрівноваження сталих складових тягового опору, що діють на активний робочий орган, торсіон повинен мати силу початкового скручування, що визначається із виразу:

$$P_p = (Q_G + Q_J + \frac{Q_D}{2}) \frac{a+a_1}{b+b_1}. \quad (3.42)$$

### 3.3 Результати лабораторних досліджень.

Досліджуваний активний робочий орган на торсіонно-ударній підвісці, який здійснює обмежені коливальні рухи (в крайніх точках з ударом). Значення вологості, твердості і деформаційного показника ґрунту при проведенні досліджень приведені в таблиці 3.1. В ході проведених досліджень взаємодії з ґрунтом нерухомо закріпленого робочого органу та активного робочого органу з активною підвіскою отримані результати вимірювань тягового опору при глибині обробітку 0,2 м та швидкості руху 0,9 м/с, що зведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Показники обробітку ґрунту в лабораторних умовах

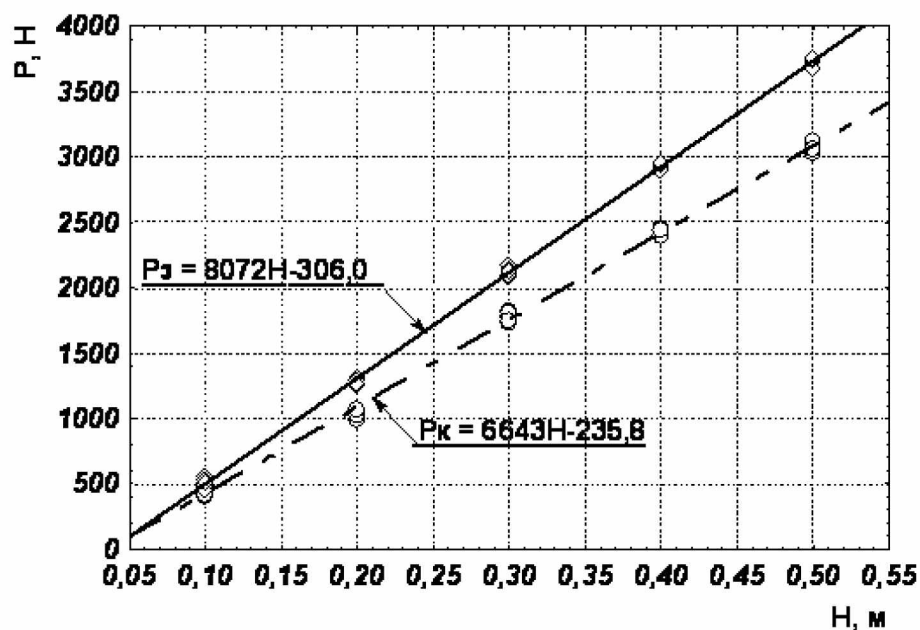
Глибина, м	Вологість ґрунту, відсотки	Твердість ґрунту, Н/см <sup>2</sup>
0...0,1	15,65 ± 1,30	38,97 ± 2,13
0,1...0,2	14,90 ± 1,47	58,01 ± 4,57
0,2...0,3	20,80 ± 0,31	75,73 ± 2,42

Таблиця 3.2 – Тяговий опір досліджуваних робочих органів

Варіант робочого органу	Тяговий опір Р, Н
Робочий орган нерухомо закріплений на рамі	1250 ± 12,7
Активний робочий орган, що виконує коливальний рух під дією торсіонно-ударного механізму	1025 ± 10,8

Як видно з таблиці 3.2, найменший тяговий опір активного робочого органу матиме у випадку найбільшої степені рухливості його конструкції. Було також встановлено, що в цьому випадку коливання активного робочого органу мають найбільшу частоту, що свідчить про інтенсивну взаємодію робочого органу з ґрунтом.

Статистична обробка значень опору ґрунту, що діє на активний робочий орган, наведені в додатку А. Графік зміни середнього тягового опору існуючого та запропонованого робочих органів в залежності від глибини обробітку наведений на рис. 3.7.



○ - активний робочий орган; ◊ - нерухомо закріплений робочий орган

Рисунок 3.7 – Залежності тягового опору від глибини обробітку

Тяговий опір існуючого та експериментального робочих органів збільшується у відповідності із збільшенням глибини обробітку. Дослідження показали, що активний робочий орган, що має можливість обмеженого (в крайніх точках з ударом) повертання у вертикальній площині має зменшення тягового опору на глибині 10 см – 12,3%, 20 см – 17,98%, 30 см – 20,03% при інших однакових умовах. Порівнюючи отримані в повторюваннях результати тягового опору існуючого робочого органу та експериментального активного робочого органу, можливо зазначити, що їх відхилення знаходяться в межах похибки експерименту. Поясненням незначних відхилень є те, що в умовах лабораторної установки типу ґрунтового канал змоделювати нерівномірність опору ґрунту за рахунок різної щільності та хаотичного розташування рослин неможливо. Тому, таке дослідження проводимо за допомогою лабораторно – польової установки в умовах реального поля.

З графіка 3.7 видно, що значення  $P=1035\text{Н}$  тягового опору активного робочого органу відповідає глибині ходу робочого органу на рівні 0,2 м, що узгоджується з агротехнічними вимогами до смугового безвідвального обробітку ґрунту (0,2...0,4 м).

Отримані значення дають можливість стверджувати, що активний робочий орган працюватиме в умовах ґрунтового каналу з найменшим тяговим опором ґрунту при умовах: глибина ходу – 0,2 м, швидкість руху – 0,9 м/с. В результаті досліджень пошуку значень оптимальних параметрів (жорсткість торсіону, величина зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення) та їх впливу на тяговий опір активного робочого органу, та опрацювавши експериментальні дані було отримано рівняння регресії в кодованій формі.

Для середнього тягового опору активного робочого органу:

$$y = 1051,11 - 72,50x_1 + 3,33x_2 + 80,83x_1^2 - 42,50x_1x_2 + 148,33x_2^2, \quad (3.43)$$

де  $x_1$  – параметр жорсткості торсіону ножа активного робочого органу в кодованій формі;

$x_2$  – параметр величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення в кодованій формі

$$x_1 = \frac{c - 20000}{20000}, \quad x_2 = \frac{d - 0,025}{0,025}.$$

Отримані рівняння досліджувались за допомогою програмного пакету Statistika [89]. Графічна інтерпретація та рівні регресії залежності тягового опору експериментального робочого органу від жорсткості торсіону та зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення наведено на (рис. 3.8, 3.9).

Як видно із рис 3.8, жорсткість торсіону (параметр  $c$ ) має значний вплив на тяговий опір активного робочого органу. Із зменшенням жорсткості торсіону тяговий опір збільшується. Із збільшенням величини зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення (параметр  $d$ ), тяговий опір теж збільшується. Після переходу від кодованих позначень параметрів до натуральних, рівняння регресії набуло вигляду:

$$P = 1296,49 - 0,0096c + 9366,74d + 2,02 \cdot 10^{-7} c^2 - 0,08cd + 2,28 \cdot 10^5 d^2, \quad (3.44)$$

де  $P$  – середній тяговий опір, Н;

$c$  – жорсткість торсіонної системи Н/м;

$d$  – зазор між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення, м.

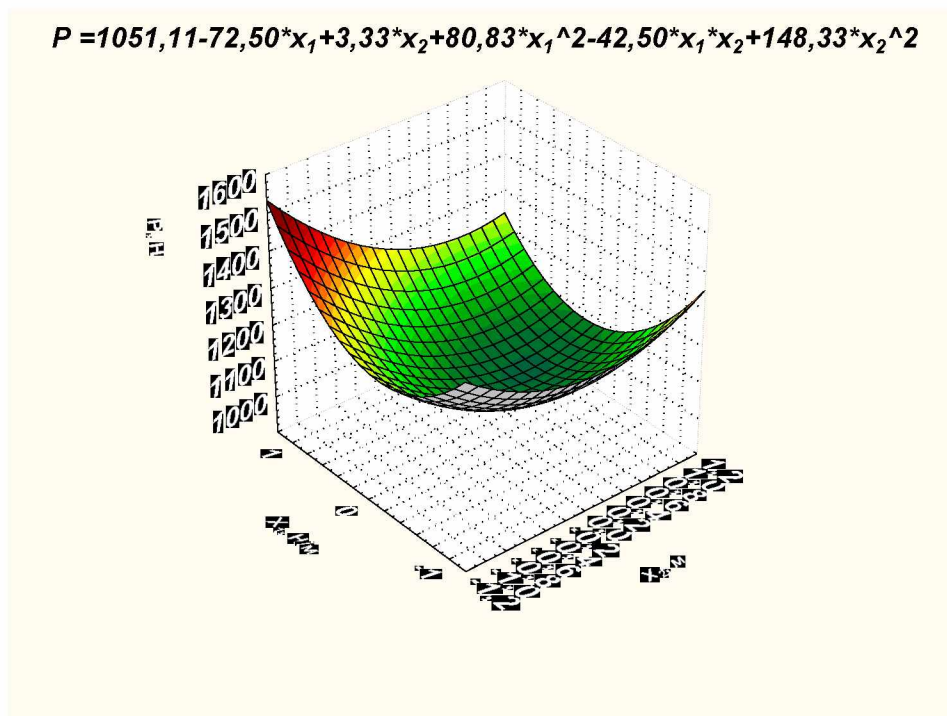


Рисунок 3.8 – Графічна інтерпретація залежності тягового опору активного робочого органу від жорсткості торсіону  $c$  та зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення  $d$ .

$$P = 1051,11 - 72,50 \cdot x_1 + 3,33 \cdot x_2 + 80,83 \cdot x_1 \cdot x_1 - 42,50 \cdot x_1 \cdot x_2 + 148,33 \cdot x_2 \cdot x_2$$

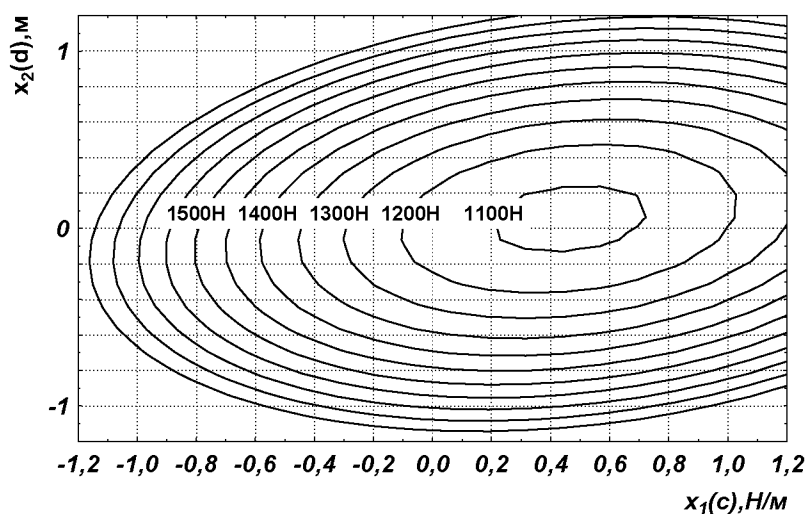


Рисунок 3.9 – Рівні регресії середнього тягового опору активного робочого органу

Отримані рівняння досліджувались за допомогою програмного пакету Mathcad 13 [90], та представлені (додаток Б). В результаті опрацювання графіка поверхні рівня регресії та карти ліній рівня регресії отримали, що при  $d = 0,026$  м, і  $c = 2,9 \cdot 10^4$  Н/м, тяговий опір активного робочого органу становитиме 1035 Н, що є оптимальним.

3.3.1 Аналіз якісних показників роботи активного робочого органу за результатами лабораторних досліджень.

Метою аналізу є перевірка відповідності якості виконання смугового обробітку ґрунту активним робочим органом в лабораторних умовах. Якість обробітку ґрунту експериментальним робочим органом, в порівнянні з прототипом, оцінювали за такими показниками: глибина і ширина розвальної борозни за робочим органом. Ці показники визначали за методиками згідно із стандартами на випробування сільськогосподарської техніки [67-70].

Дослідження розмірів розвальної борозни по ширині та глибини після проходу прототипу та експериментального робочого органів приведені в таблицях В.1 та В.2. (додаток В). Дані табл. В.1 свідчать, що найбільша розвальна борозна по ширині утворюється після проходу нерухомо закріпленого робочого органу (рис. 3.10 а).



а)



б)

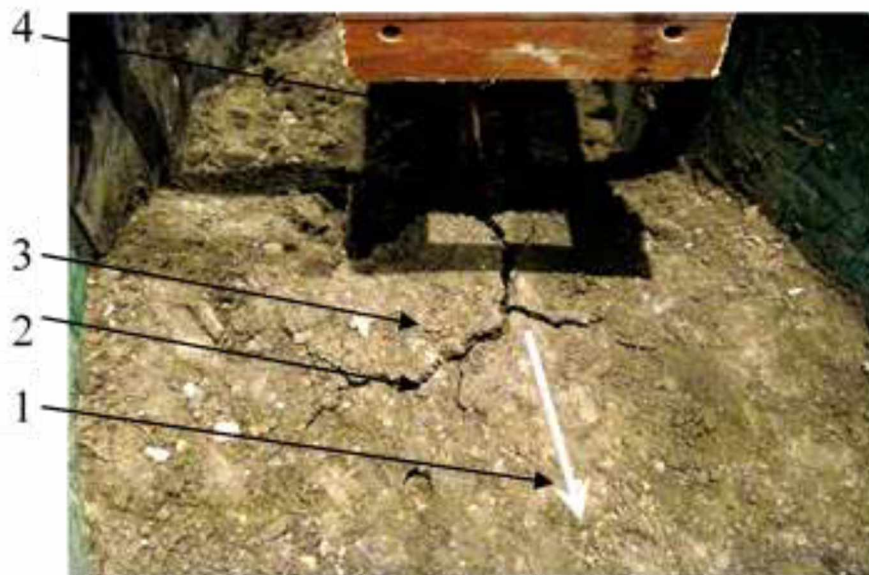
а) нерухомо закріплений робочий орган; б) активний робочий орган

Рисунок 3.10 – Визначення ширини та глибини розвальної борозни після обробітку

По нерухомо закріпленому робочому органі ґрунт ковзає по нижній його частині вгору і, розкидаючись стійкою за денною поверхнею, утворює великі розвальні борозни. Досліджуючи роботу активного робочого органу, встановили, що ширина розвальної борозни, яка утворюється після його проходу, на 11% менша ніж після обробітку нерухомо закріпленим робочим органом (рис. 3.10 б). Порівняльні результати вимірювань показників глибини розвальної борозни приведені в таблиці В.2 (додаток В).

Мінімальну глибину розвальної борозни забезпечує робота активного робочого органу при оптимальних параметрах, яка становить в середньому 5,19 см, що в 1,5 рази менше, ніж глибина розвальної борозни при обробітку нерухомо закріпленим робочим органом прототипу (рис. 3.10 а, б).

Активний робочий орган з винесенням долота вперед відносно вісі коливань розрізає шар ґрунту, при цьому під час удару до руйнування утворюється сітчаста тріщина з багатьма відгалуженням. Крім того, плоска бічна поверхня такого робочого органу сприяє проникненню деформацій в ґрунт нижче денної поверхні, що підтверджує фотозйомка, виконана під час лабораторних досліджень (рис. 3.11). Поліпшення якісних показників роботи активного робочого органу порівняно із серійними (нерухомо-закріпленими) робочими органами, пояснюється кращими умовами підрізання пласта ґрунту і якіснішим виконанням технологічного процесу.



1 – напрямок руху активного розпушувача ґрунту; 2 – тріщина; 3 – ґрунт;  
4 – активний робочий орган

Рисунок 3.11 – Загальний вигляд деформації ґрунту після взаємодії його з активним робочим органом в умовах ґрунтового каналу

### 3.4 Результати польових досліджень.

Польові дослідження активного щільувача ґрунту проводилися на ділянці 20 соток. Досліджуваний активний робочий орган на торсіонно-ударній підвісці, що має в своїй нижній частині долотоподібний розпушувач (рис. 3.12).



Рисунок 3.12 – Загальний вид агрегату з активним робочим органом.

Тип ґрунту – чорнозем опідзолений середньо суглинистий. Рельєф місцевості слабо хвилястий. Фон – рослинні залишки після збирання урожаю. Значення вологості, твердості ґрунту в день проведення досліджень приведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Показники ґрунту отримані в польових умовах

Глибина, м	Вологість ґрунту, відсотки	Твердість ґрунту, МПа
0...0,1	21,75 ± 1,56	1,20 ± 0,13
0,1...0,2	19,96 ± 1,05	2,30 ± 0,10
0,2...0,3	18,67 ± 0,18	3,54 ± 0,27

Отримані результати свідчать про те, що активний робочий орган працює з найменшим тяговим опором ґрунту при глибині ходу – 0,2 м, та швидкості руху – 2,0 м/с. Після обробки експериментальних даних було отримано рівняння регресії в кодованій формі.

Для середнього тягового опору:

$$y = 2275,78 - 187,00x_1 + 7,33x_2 + 150,33x_1^2 - 93,50x_1x_2 + 381,33x_2^2, \quad (3.45)$$

де  $x_1$  – параметр жорсткості торсіону робочого органу в кодованій формі;

$x_2$  – параметр зазору між робочим органом і обмежувачем його переміщення в код. формі.

$$x_1 = \frac{c - 40000}{40000}, \quad x_2 = \frac{d - 0,025}{0,025}.$$

Поверхня відгуку та рівні регресії наведено на (рис. 3.13, 3.14)

$$P = 2275,78 - 187,00 * x_1 - 7,33 * x_2 + 150,33 * x_1^2 - 93,50 * x_1 * x_2 + 381,33 * x_2^2$$

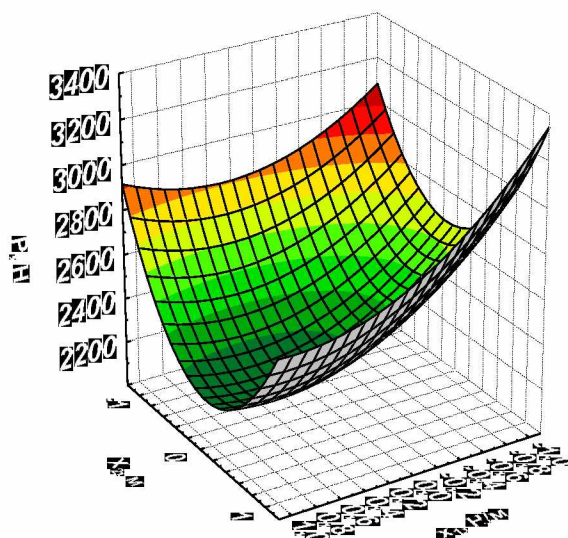


Рисунок 3.13 – Графічна інтерпретація залежності P від c та d.

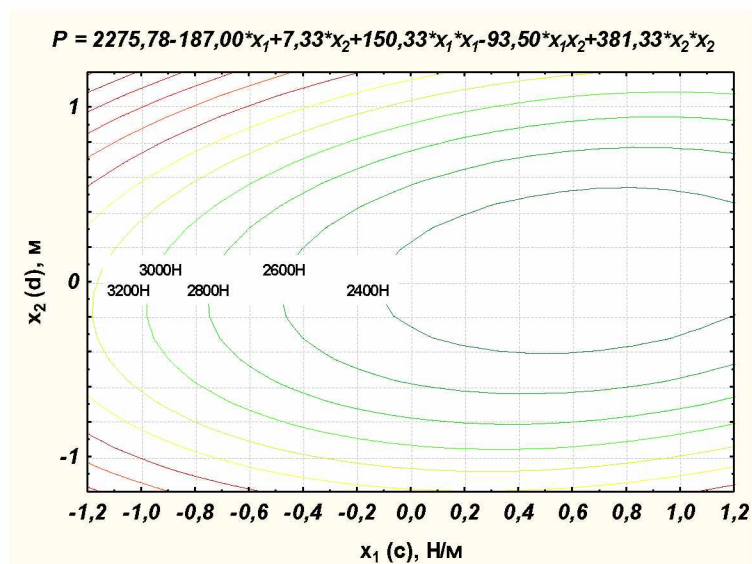
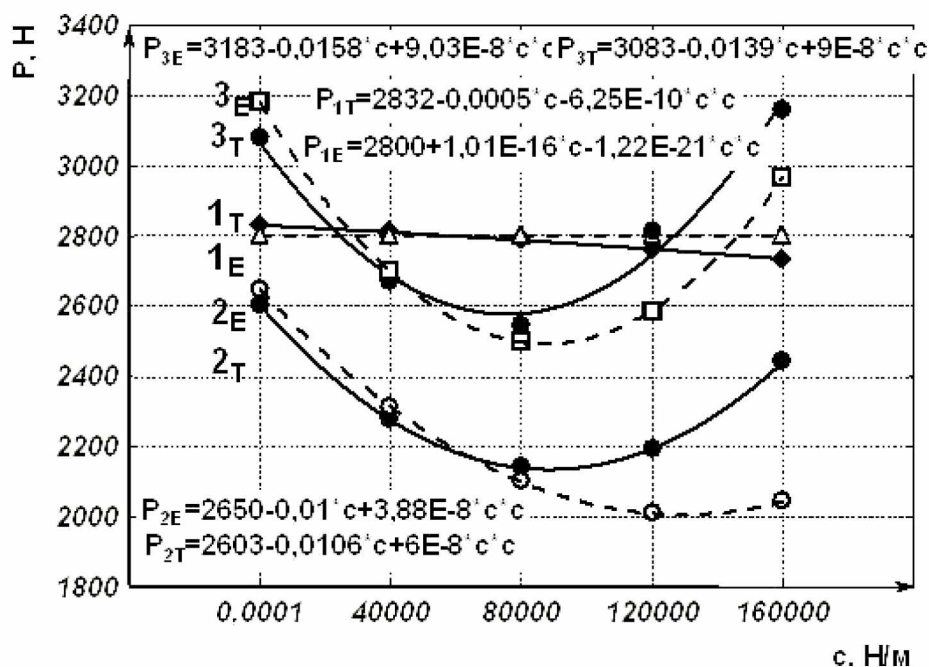


Рисунок 3.14 – Рівні регресії середнього тягового опору активного робочого органу (дослідження проводилися в польових умовах)

Як видно з (рис. 3.13, 3.14) жорсткість торсіону (параметр  $c$ ) в польових умовах має значний вплив на тяговий опір активного робочого органу.

На рис. 3.15 представлено теоретичні та експериментальні залежності тягового опору активного робочого органу від жорсткості торсіону.



— теоретична; - - - - експериментальна

Рисунок 3.15 – Залежності тягового опору  $P$  активного робочого органу від жорсткості торсіону  $c$  при величині зазору між робочим органом і обмежувачем його переміщення –  $d_1=0,001$  м;  $d_2=0,025$  м;  $d_3=0,05$  м;

Із графіків видно, що із зменшенням жорсткості торсіону тяговий опір значно збільшується. Із збільшенням зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення (параметр  $d$ ), тяговий опір теж збільшується.

Теоретична та експериментальна залежності графіків №2 ( $d_2=0,025$  м) вказують на те, що при збільшенні жорсткості торсіону тяговий опір зменшується від 2603, до 2000 Н, що є характерним значенням активного робочого органу.

Після переходу від кодованих позначень параметрів до натуральних, рівняння регресії набуде виду:

$$P = 2923,88 - 0,0098c + 28363,37d + 9,39 \cdot 10^{-8}c^2 - 0,0934cd + 6,35 \cdot 10^5 d^2, \quad (3.50)$$

де  $P$  – середній тяговий опір, Н;

$c$  – жорсткість торсіону, Н/м;

$d$  – зазор між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення, м.

Отримані рівняння досліджувались за допомогою програмного пакету Mathcad 13 [90] додаток Д.

В результаті опрацювання графіка поверхні рівня регресії та карти ліній рівня регресії отримали, що при  $d = 0,0275$  м, і  $c = 6,50 \cdot 10^4$  Н/м, тяговий опір активного робочого органу становитиме 2200 Н, що є оптимальним значенням.

Дослідження показали, що активний робочий орган для смугового обробітку ґрунту відмінно працює навіть у важких ґрунтових умовах, виконуючи обробіток ґрунту на необхідну глибину. При цьому відхилення фактичної глибини обробітку ґрунту від заданої 0,3 м, знаходиться в допустимих межах.

Як свідчать дані досліджень, робота активного робочого органу по глибині більш рівномірною, на відміну від серійного робочого органу, в якого спостерігається значна нерівномірність в обробітку ґрунту по глибині, але вона знаходиться в межах агротехнічних вимог.

Тяговий опір досліджуваного активного робочого органу, що комплектувався 1-м комплектом на торсіонно-ударній підвісці, склав 2250 Н при глибині обробітку  $h = 0,3$  м, та швидкості руху  $V = 3,5$  км/год,. Порівнюючи отримані результати з прототипом, слід відмітити, що при однаковій комплектації робочих органів з нерухомо закріпленими робочими органами агрегувався навісним способом з

мотоблоком «ZIRKA IZ 105», та при однакових інших умовах на швидкості  $V = 3,5$  км/год рух останнього був неможливим: спостерігалось підвищене буксування мотоблока.

При п'ятикратній повторності експерименту середнє значення коефіцієнта варіації мало значення 12,5%, точність дослідження 4,6%, середнє значення розбіжності теоретичних і експериментальних даних було 4,2%.

Порівняльні дослідження показали зменшення тягового опору активного робочого органу укомплектованого 1-м комплектом при однаковій ширині захвату в порівнянні з прототипом на 16...18%.

### 3.4.1 Аналіз якісних показників роботи активного робочого органу за результатами польових досліджень

Метою аналізу були перевірка відповідності якості виконання смугового обробітку ґрунту активним робочим органом в польових умовах. Якість обробітку ґрунту активним робочим органом, в порівнянні з прототипом, оцінювали за такими показниками: глибина обробітку, глибина і ширина розвальної борозни за робочим органом, а також фіксувались забивання та налипання робочих органів. Ці показники визначались за методиками згідно із стандартами на випробування сільськогосподарської техніки [67-70].

Дослідження розмірів розвальної борозни по ширині та глибини після проходу робочого органу прототипу та запропонованого активного робочого органу приведені в таблиці Ж.1 та Ж.2 (додаток Ж).

Дані таблиці Ж.1 показують, що найбільші розгінні борозни по ширині утворюються після проходу нерухомо закріпленого робочого органу. По таких стояках ґрунт ковзає по нижній їх частині вгору і, розкидаючись стояком за денною поверхнею, утворює значну розвальну борозну. За розмірами утворених розвальних борозен нерухомо закріпленого робочого органу та активного робочого органу практично не відрізняються (рис. 3.16). Мінімальну розвальну борозну і розкидання ґрунту та післяжнивних решток забезпечує активний робочий орган.



а)



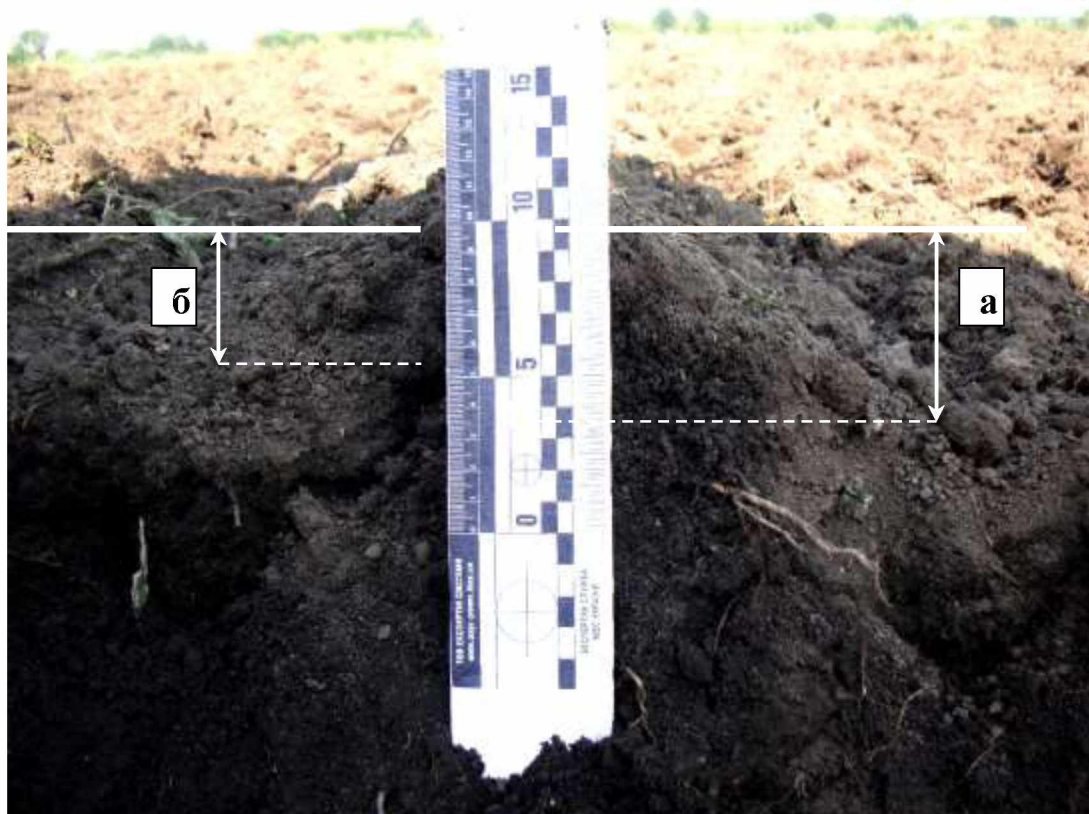
б)

а) нерухомо закріплений робочий орган; б) активний робочий орган

Рисунок 3.16 – Загальний вигляд ширини розвальної борозни виміряної в польових умовах після проходу агрегату

При збільшенні швидкості руху після проходження агрегату з нерухомо закріпленим робочим органом істотної зміни у розмірах розвальної борозни не спостерігається. Збільшення швидкості при проходженні агрегату з нерухомо закріпленим робочим органом призводить до значного збільшення ширини та глибини розвальної борозни внаслідок винесення ґрунту вгору і розкидання його лобовою поверхнею. Під час роботи долота активного робочого органу, винесене вперед відносно вісі коливання, розрізає шар ґрунту до руйнування його лобовою частиною, а різально-кришильні елементи сприяють струшуванню ґрунту у вузьку щілину, яка трохи закривається ґрунтом, що сходить з активного робочого органу. Досліджуючи роботу активного робочого органу, встановили, що ширина розвальної борозни, яка утворюється після його проходу, на 10% менша, ніж після обробітку нерухомо закріпленим робочим органом прототипу.

Порівняльні результати вимірювань показників глибини розвальної борозни приведені в таблиці Ж.2 (додаток Ж). Мінімальну глибину розвальної борозни забезпечує робота активного робочого органу при оптимальних параметрах, яка становить в середньому 3,89 см, що в 1,6 рази менше, ніж глибина розвальної борозни при обробітку нерухомо закріпленим робочим органом прототипу. Результати підтверджує фотозйомка, виконана під час польових досліджень (рис. 3.17).



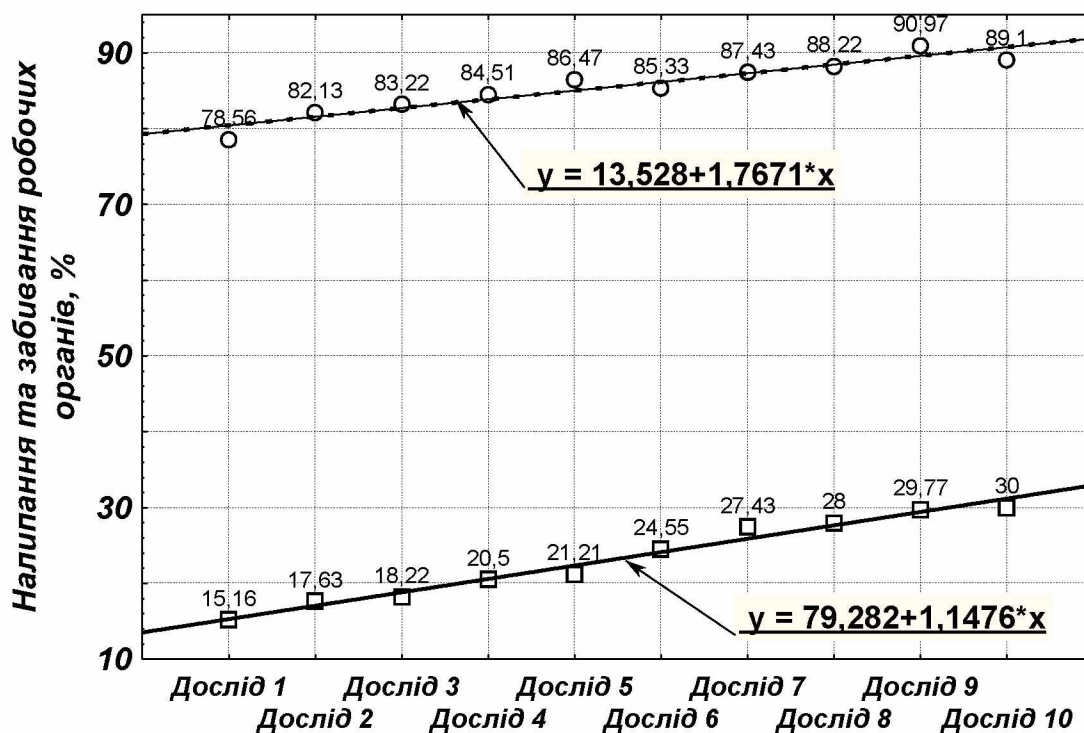
а) нерухомо закріплений робочий орган; б) активного робочий орган.

Рисунок 3.17 – Загальний вигляд глибини розвальної борозни виміряної в польових умовах після проходу агрегату

В польових умовах встановлено, що налипання ґрунту є прямим наслідком подальшого накопичення бур'янів та пожнивних решток на нерухомо закріпленому робочому органі прототипу, що в подальшому, призводить до забивання робочого органу, його виглиблення, та зупинку тягового агрегату.

Залежності забивання та налипання робочих органів з нерухомо закріпленим та активним робочими органами приведений на рис. 3.18.

З графіка видно, що при обробі залікових ділянок робочими органами із нерухомо закріпленим робочим органом забивання та налипання ґрунту спостерігається більше на 63% в порівнянні з обробітком активного робочого органу, що виконують обмежені коливальні рухи у вертикальній площині у крайніх точках з ударами. Із збільшенням засміченості бур'янами залікових ділянок (досліди 8, 9 та 10) (рис. 3.18) тенденція до налипання ґрунту та забивання збільшується відповідно до 82%.



○ - нерухомо закріплений робочий орган; □ - активний робочий орган.

Рисунок 3.18 – Залежності налипання та забивання робочих органів при виконанні технологічної операції смугового обробітку ґрунтів

### 3.5. Висновки за розділом 3

1. Встановлено, що мінімальні енерговитрати активного робочого органу при глибині смугового обробітку ґрунту  $H = (0,25 \dots 0,35)$  м та швидкості руху  $V = (1,0 \dots 2,0)$  м/с матиме при величині зазору між робочим органом і обмежувачем його переміщення  $d = (0,011 \dots 0,039)$  м, та жорсткості торсіону  $c = (3,36 \dots 8,36) \cdot 10^4$  Н/м.

2. В умовах експерименту при жорсткості торсіону  $6,5 \cdot 10^4$  Н/м і зазору між робочим органом і обмежувачем його переміщення 0,0275 м, зафіксоване зменшення сили тягового опору на 17%, а очищення активного робочого органу від ґрунту та рослин покращилося на 63%. Сила тягового опору активного робочого органу в процесі виконання технологічної операції змінюється в межах 14...19%. Якість обробітку ґрунту відповідає агротехнічним вимогам до смугового обробітку ґрунту.

## 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Екологічна експертиза

Проведення екологічної експертизи передбачено Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» (від 25.06.1991 р.), та «Про екологічну експертизу» (від 09.02.1995р.) Закон передбачає (розділ 6, стаття 26, 27) обов'язкове проведення екологічної експертизи в процесі господарської, управлінської та іншої діяльності, що впливає на стан природного оточуючого середовища, а також проекти на будівництво, реконструкцію виробництв і об'єктів, які можуть мати негативний вплив на оточуюче середовище [91].

Проведення екологічної експертизи діяльності сільськогосподарських комплексів базується на основі вимог «Водного» та «Земельного» кодексів України (від 6.06.95 р. та 13.03.92 р. відповідно), «Основ земельного законодавства», «Основ водного законодавства», Закону «Про охорону атмосферного повітря» (від 16.10.1992 р.) і т.д.

Оскільки дослідно-виробнича перевірка результатів роботи проводилися безпосередньо з використанням мотоблока ZIRKA IZ 105 та активного робочого органу для смугового обробітку ґрунту АРОСОГ-0,5 на ділянці 20 соток, тому дослідження по екологічній експертизі безпосередньо пов'язані з виконаннями операцій технічного обслуговування агрегату ZIRKA IZ 105+АРОСОГ-0,5.

Виконання операцій технічного обслуговування в умовах пристосованого пункту технічного обслуговування а також подальша робота агрегата на ділянці впливає на стан оточуючого середовища, тому ми здійснюємо його громадську експертизу. [91]

Для покращення екологічного стану в пристосованому пункті технічного обслуговування ми передбачили:

1. Територію пункту технічного обслуговування техніки необхідно обладнати спеціальними уловлювачами забруднених поверхневих стоків (ямами, канавами), які розміщуємо в нижній частині території з врахуванням природних ухилів поверхні.

2. Місце миття машин необхідно забезпечити оборотним водопостачанням, а їх майданчики обладнати бортами, що запобігають стіканню забрудненої води і мийних розчинів за межі майданчика.

3. Для більш ефективного використання води і мийних розчинів рекомендуємо застосовувати метод електрохімічної коагуляції і подачі розчину коагулянта в відстійник-нейтралізатор, що захищає осадок та оборотну воду від загнивання. Така комбінована схема відведення та очищення води запобігає насиченню основної маси стічних вод та осадка патогенними мікробами.

4. Осадок з грязевідстійників рекомендуємо захоронювати у відпрацьованих кар'єрах, та інших місцях по узгодженню з органами санітарного нагляду.

5. Під час діагностування та випробування машини систему відведення відпрацьованих газів двигунів необхідно обладнати глушниками та вловлювачами сажі (кіптяви), що значно зменшить забруднення токсичними викидами двигунів.

6. В приміщеннях пристосованого пункту технічного обслуговування спроектувати витяжну вентиляцію, яка забезпечуватиме необхідний мікроклімат (температура повітря 16–18°C, вологість 70%, швидкість руху повітря 0,015...0,02 м/с).

7. Територія, що прилягає до пункту технічного обслуговування техніки повинна бути впорядкована, для того передбачено: обладнати землі газонами впродовж під'їзних шляхів, навколо мийки машин; територію огородити та обсадити деревами листяних порід по його периметру; при можливості обладнати зону відпочинку чи спортивний майданчик.

Дані заходи, які передбачені в пункту технічного обслуговування техніки дозволять зменшити вплив шкідливих факторів на оточуюче середовище.

Отже запропоновані заходи в даній роботі, не несуть загрози навколишньому середовищу, а полегшують роботу при виконанні технічного обслуговування.

Висновком є виконання передбачених заходів які дадуть можливість зберегти навколишнє середовище, зменшивши вплив шкідливих факторів як на організм людини, так і на оточуюче його навколишнє середовище.

## 4.2 Охорона праці

Технічний регламент та вимоги безпеки під час роботи з машинами для смугового обробітку ґрунту. При використанні активних робочих органів до роботи можна допускати тільки тих осіб, яким виповнилося 18 років, та які пройшли інструктаж з безпечних способів праці, знають конструкцію і регулювання знарядь і мають посвідчення тракториста-машиніста з талонами попередження і відповідними категоріями [92].

Тракторист повинен бути забезпечений спецодягом: костюмом з пилонепроникної тканини або комбінезоном, комбінованими рукавицями.

Перед початком руху тракторист подає сигнал. Під час роботи агрегату не можна стояти на рамі чи на знарядді, усувати буд-які несправності, очищати руками робочі органи, регулювати глибину обробітку та змашувати будь-які вузли та деталі. Перед тим як зійти з трактора тракторист вимикає важіль гідропіднімача та опускає на землю начіпну машину. Категорично забороняється вмикати важіль гідропіднімача, стоячи на землі біля ґрунтообробної машини. Важіль вмикають тільки із сидіння трактора. Не можна працювати, якщо несправні знаряддя або гідросистема трактора.

Не дозволяється передавати управління трактором стороннім особам, встановлювати на трактор додаткові сидіння.

Тракториста треба забезпечити повним комплектом справного інструменту, який повинен зберігатися в спеціальному ящику. Для відпочинку необхідно відвести місце за межами поля. Не дозволяється відпочивати на ділянках, де працюють трактори, в загінках, на узбіччях, на розворот них смугах.

Не можна дозволяти стороннім особам перебувати в тракторі чи на сільськогосподарських машинах як під час роботи, так і при переїздах.

Не допускається керування тракторами після вживання алкогольних напоїв.

У випадках недомагання необхідно припинити роботу, попередити посадову особу, звернутися у лікарню.

На кожному тракторі має бути невеличка аптечка. Працівники

повинні бути навчені прийомам надання долікарської допомоги.

Трактори обладнуються засобами пожежогасіння: вогнегасником та лопатою.

Під час грози роботу тракторів зупиняють, після дощу переїжджають через канави, рухаються вздовж схилів, на поворотах тільки на першій передачі.

Не передавати керування трактором особам не закріпленим за даним енергетичним засобом.

Перевіряти і регулювати робочі органи і механізми, встановлювати або замінювати ножі активного щілювача, усувати несправності, проводити змащування, очищати ріжучі поверхні активного робочого органу, тільки при заглушеному двигуні. Перед виконанням цих робіт на рульовому колесі вивішують табличку «Не включати! «Працюють люди!»».

Забороняється керувати трактором стоячи. Постійно стежити за активним робочим органом, де можливе накопичення поживних решток чи бур'янів. Очищення проводити спеціальними крючками і обов'язково в рукавицях.

Висновки щодо підвищення стану охорони праці.

1. Збільшити кількість засобів пожежогасіння на тракторі.
2. Обладнати спеціальні місця для відпочинку за межами поля.
3. Забезпечити тракториста засобами індивідуального захисту.
4. Організувати вчасне проведення періодичних медичних оглядів.
5. Забезпечити оптиматі мікрокліматичні умови в кабіні трактора для відчуття теплового комфорту, та створити передумови для високого рівня працездатності.
6. Стежити та вчасно усувати підтікання мастила на тракторі та сільськогосподарській машині.
7. Забезпечити надійну роботу світлових та світло відбивних засобів у темну пору доби під час транспортування широкозахватних агрегатів.

#### 4.3 Техніко-економічне обґрунтуванням розробки

Техніко-економічні розрахунки проводилися за методиками [93] та основними положеннями та показникам економічної оцінки [94].

Виробіток за годину основного часу агрегату у складі МТЗ-80 та активного робочого органу при виконанні технологічної операції смугового обробітку ґрунту розраховуємо за формулою:

$$W = 0,1B_p V_p , \quad (4.1)$$

де  $B_p$  – робоча ширина захвата агрегату, м;

$V_p$  – робоча швидкість руху, км/год

Норма виробітку на механізовані польові роботи визначається за формулою:

$$H_b = \frac{T_{зм} - (T_{н.з} + T_{від} + T_{ос.н} + T_{обс})}{60(1 + r_{пов} + r_{пер} + r_{дон.р})} W , \quad (4.2)$$

де  $T_{зм}$  – тривалість зміни, хв. (420 хв.);

$T_{н.з}$  – тривалість підготовчо-заклучних робіт, (40хв.);

$T_{від}$  – норматив на тривалість відпочинку на протязі зміни, (25 хв.);

$T_{ос.н}$  – час на особисті потреби, (10 хв.);

$T_{обс}$  – час обслуговування агрегату протягом зміни, (20 хв.);

$r$  – коефіцієнт поворотів, переїздів, та допоміжних робіт, (0,2 год.);

$B_p = 1,8$  м (конструкційні параметри);

$V_p = 7,5$  км/год (рекомендована по експлуатаційним показникам),

$$W = 0,1 \cdot 1,8 \cdot 7,5 = 1,35 \text{ га/год.}$$

Норму виробітку на щілювання ґрунту визначаємо як:

$$H_b = \frac{420 - (40 + 25 + 10 + 27)}{60 \cdot (1 + 0,2)} \cdot 1,35 = 5,97 \text{ га.}$$

Витрати пального за зміну розраховуємо за формулою:

$$Q = \frac{q_x T_x + q_z T_z}{60} , \quad (4.3)$$

де  $q$  – витрата пального при роботі двигуна на різних режимах, кг/год.;

$T$  – тривалість робочого часу та часу зупинок.

$$Q = \frac{3,61 \cdot (40 + 25 + 10 + 27) + 14,8 \cdot (420 - (40 + 25 + 10 + 27))}{60} = 84,58 \text{ кг.}$$

Виходячи з розрахунку, що за нормо-зміну виконаної роботи механізатору нараховується заробітна плата в розмірі 64 грн. 13 коп., визначимо відрахування з

рахунків господарства на одного працівника при виконанні норми при смуговому обробітку ґрунту за допомогою агрегату у складі МТЗ-80 та сільськогосподарської машини з активними робочими органами та механізаторами при загальноприйнятій технології (17% податок на доходи; 33,2% - податок до пенсійного фонду; 0,5...2% - страховий фонд).

Таким чином, добова сума відрахувань складе:

$$64,13 \cdot (0,17 + 0,332 + 0,02) = 33,48 \text{ грн.}$$

Загальна витрата заробітної плати, відрахувань, пального при підготовці смугового обробітку ґрунту на площі 20 га склала 3772,6 грн. (в розрахунку на 1 га – 188,63 грн.). Також слід врахувати, що виконання смугового обробітку ґрунту проводилося в оптимальні агротехнічні строки з дотриманням якісних нормативів підготовки для подальшої культивування на весні.

Враховуючи визначені показники, одержимо значення економічного ефекту від застосування сільськогосподарської машини з використанням активних робочих органів, що прогнозується при використанні одного запропонованого агрегату на площі 20 га:  $E = [(9846 + 0,15 \cdot 9846) \cdot 1,52 \cdot 1 + (1722 - (12739 + 12739 \cdot 0,15))] \cdot 1 = 3515,00$  грн.

Результати розрахунків зводимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники використання знаряддя

Показник	ЩРП 1,4	АРОСОГ-1,8
Вартість виробництва, грн.	9846	12739
Ширина захвату, м	1,8	1,8
Експлуатаційна продуктивність за зміну, га/зм.	7,02	10,64
Експлуатаційна витрата палива, кг/га	11,50	9,87
Приріст продуктивності від застосування запропонованого робочого органу, га./зм.	0	3,62
Вартість 1 га обробітку щілювання, грн.	218,78	188,63
Вартість приросту виконаних робіт, грн./зм.	0	609,02
Вартість додаткових капіталовкладень на конструкцію агрегату, грн.	0	3985
Строк окупності запропонованих робочих органів, років	0	1,13
Норма виробітку на щілювання, га/зм.	4,78	5,97
Економічна ефективність, використання 1 агрегату, грн.	0	3515,00

Дотримання положень агротехнічних вимог, щодо роботи активного робочого органу для смугового обробітку ґрунту, відображається не лише на збільшенні врожайності сільськогосподарських культур, а й на підвищенні економічної ефективності роботи сільськогосподарської машини внаслідок зменшення питомих енерговитрат.

#### 4.4 Висновки за розділом 4

1. Застосування активного робочого органу для смугового обробітку ґрунту дозволяє зменшити затрати праці на 15%, а витрати на паливо-мастильні матеріали майже на 18,5% в порівнянні з використанням серійних нерухомо закріплених робочих органів.

2. Виробничі дослідження підтвердили високу експлуатаційну ефективність роботи активного робочого органу при смуговому обробітку ґрунту. Економічний ефект від застосування активного робочого органу на площі 20 га, склав 3515,00 грн., що становить у середньому 175,75 грн/га обробленого поля за рахунок зменшення технологічних простоїв та збільшення продуктивності праці та економії пального.

3. Використання запропонованого способу виконання основного смугового безвідвального обробітку ґрунту активними робочими органами в механізованих технологіях вирощування кукурудзи на зерно забезпечило приріст урожайності на 30...35 % порівняно з традиційним способом (оранка).

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконане теоретичне узагальнення та наведено нове вирішення задачі, яка полягає в удосконаленні механізованої технології смугового обробітку ґрунту, шляхом удосконалення сільськогосподарської машини з активним робочим органом.

1. Одним із перспективних напрямків розробки активних робочих органів є поєднання в їх конструкції можливості коливального й ударного рухів.

2. Теоретично обґрунтовано параметри активного робочого органу, визначено, що при величині зазору між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення  $d=(0,011..0,039)$  м і жорсткості торсіону  $c=(3,36..8,36)\cdot 10^4$  Н/м, в кінцевому результаті підвищується якість смугового обробітку ґрунту та знижується енерговитрати.

4. Розроблено методику й експериментально встановлено ефективність роботи активного робочого органу, що підтвердило збіг теоретичних положень та отриманих експериментальних результатів і визначило, що на полі з чорноземом опідзоленим середньосуглинистим вологістю 16...22% і твердістю 120...354 Н/см<sup>2</sup> при жорсткості торсіону  $6,5\cdot 10^4$  Н/м і зазорі між активним робочим органом і обмежувачем його переміщення 0,0275 м сила питомого опору становить 2200 Н, що на 17% менше відносно контрольних вимірювань (нерухомо закріплений робочий орган).

5. Польові дослідження активного робочого органу показали зменшення витрат праці на 20%, а витрат пального на 18,2%. Економічний ефект від застосування сільськогосподарської машини укомплектованої активними робочими органами в порівнянні з агрегатом, що має нерухомо фіксовані робочі органи при смуговому обробітку ґрунту на площі 20 га, склав 3515,00 грн., що становить у середньому 175,75 грн/га обробленого поля за рахунок зменшення технологічних простоїв і відповідно, збільшення продуктивності праці та економії пального.

6. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень удосконалено активний робочий орган для смугового безвідвального обробітку ґрунту, який рекомендовано до впровадження у Полтавській області.