

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
магістр

на тему: «Обґрунтування конструктивних параметрів комбінованого
культиватора з тросовим та котковим робочими органами»

КРМ.133ГМмд_23.68.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_23
СМОЛЯНОВ Євгеній

Керівник: докт. техн. наук, професор
КОСТЕНКО Олена

Рецензент: к.т.н., доцент
ГОРБЕНКО Олександр

Полтава – 2024 року

ВСТУП

Актуальність теми. Метою сучасного сільськогосподарського виробництва є пошук шляхів зниження енерговитрат і впровадження нових методів у технологіях обробки сільськогосподарських культур, орієнтованих на збереження родючості ґрунту та підвищення врожайності. Врожайність сільськогосподарських культур багато в чому залежить від якості передпосівної обробки ґрунту [3, 4].

В останні роки все частіше для обробки ґрунту перед посівом застосовуються комбіновані машини. Вони здатні забезпечити скорочення термінів весняно-польових робіт, зменшити ущільнення ґрунту колесами агрегатів, також суттєво знизити витрати на паливо та підвищити продуктивність праці за рахунок зменшення кількості проходів агрегату по полю. Зазвичай застосовують робочі органи у наступних комбінаціях: пружинні розпушувальні лапи, вирівнюючий брус, котки; голчаста ротаційна мотика, вирівнююча дошка, кільчасто-зубчаста ковзанка; дискова борона, універсальні стрічасті лапи, прикочуючи котки та інші [3,13].

Перспективним напрямком у розвитку механізації передпосівної обробки ґрунту є застосування комбінованих машин, що дозволяють в одному технологічному процесі виконувати декілька операцій із точним дотриманням агротехнічних вимог.

Передпосівна обробка ґрунту є одним з головних елементів у технології обробки сільськогосподарських культур. Від якості та своєчасного проведення передпосівної обробки ґрунту залежить збереження вологи в ґрунті, вирівняність поверхні поля, знищення бур'янів та глибина посіву оброблюваних культур. Особливо це стосується посіву дрібнонасіненних культур (ріпак, люцерна та ін.), які потребують малу глибину закладання насіння.

Не дивлячись на високий рівень конструктивної розробки робочих органів та машин для передпосівної обробки ґрунту, слід зазначити недоліки у показниках якості підготовки ґрунту до посіву. Конструктивні особливості

лапових, стрілчастих універсальних і розпушувальних робочих органів культиваторів не дозволяють проводити обробку ґрунту без винесення вологих шарів ґрунту на поверхню поля. Традиційні культиватори не забезпечують необхідної диференціації структури ґрунту в посівному шарі, відмічається приживання зрізаних бур'янів після обробки. Отже, виникає потреба у розробці таких робочих органів культиватора, які забезпечують виконання вимог до передпосівної обробки ґрунту, зокрема для дрібнонасіньових культур. Тому розробка та обґрунтування параметрів культиватора для передпосівної обробки ґрунту з тросовим та котковим робочими органами, які дозволяють забезпечити умови для росту та розвитку дрібнонасіньових культур, є актуальною.

Об'єкт розробки – технологічний процес обробки ґрунту експериментальним культиватором з тросовим і котковим робочими органами.

Предмет розробки – закономірності якісних показників обробки ґрунту експериментальним культиватором та його тягового опору при різних конструктивних параметрах.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – підвищення ефективності передпосівної обробки ґрунту при вирощуванні дрібнонасіньових культур.

Для досягненні поставленої мети роботи необхідно вирішити наступні **завдання**:

- встановити закономірності енергетичних показників поверхневої обробки ґрунту від конструктивних параметрів культиватора з тросовим та котковим робочими органами;

- розробити розрахункову схему для визначення тягового опору тросового та коткового робочих органів комбінованого культиватора для передпосівної обробки ґрунту та обґрунтувати його конструктивні параметри;

- розробити конструкцію культиватора з тросовим та котковим робочими органами;

- розрахувати економічну ефективність застосування експериментального культиватора.

Наукова новизна дослідження – встановленні закономірності якісних та енергетичних показників поверхневої обробки ґрунту від конструктивних

параметрів культиватора з тросовим та котковим робочими органами; обґрунтуванні конструктивних параметрів культиватора з тросовим та котковим робочими органами.

Новизна теоретичного дослідження.

Обґрунтовані оптимальні конструктивні параметрами запропонованого культиватора з тросовим та котковим робочими органами, що дозволяють забезпечити якісну передпосівну обробку зі зниженням енерговитрат, мінімальним винесенням вологих шарів ґрунту на поверхню поля та створенням диференційованого складання посівного шару для посіву дрібнонасіньових культур.

На захист виносяться такі питання:

- конструктивна схема культиватора з тросовим та котковим робочими органами;
- залежності тягового опору тросового та коткового робочих органів від їх конструктивних параметрів;
- результати досліджень культиватора з тросовим та котковим робочими органами;
- показники економічної ефективності застосування культиватора з тросовим та котковим робочими органами для обробки ґрунту під посів дрібнонасіньових культур.

Публікації:

1. Смолянов Є.А., Костенко О.М., Дрожчана О.У. Огляд існуючих конструкцій машин для передпосівного обробітку ґрунту. Матеріали III Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції *Актуальні напрями та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва* (м. Полтава 28 листопада 2024р.). Полтава: РВВ ПДАУ, 2024. С. 66-71.

2. Смолянов Є.А., Костенко О.М., Дрожчана О.У. Обґрунтування оптимального кута розхилу тросового робочого органу. Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції *Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування* (м. Полтава 10 грудня 2024 р.). Полтава: РВВ ПДАУ, 2024. С. 184-189.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Огляд конструкцій машин для передпосівної обробки ґрунту

Для передпосівної обробки ґрунту використовують парові луцильники, культиватори, борони, фрези, котки та комбіновані агрегати, які виконують кілька технічних операцій за один прохід.

На легких піщаних і супіщаних ґрунтах в районах з достатнім зволоженням при вирощуванні ярих культур після боронування достатньо однієї передпосівної культивації на глибину закладання насіння (5-6 см) з боронуванням та вирівнюванням поверхні ґрунту. Для цього можна використовувати парові культиватори КПС-4А, КШУ-6-12, КШП-8 та інші обладнані стрілами з жорсткими і пружинними стойками, розпушувачами і додатковими вирівнюючими робочими органами (боронами і котками різних конструкцій).

На важких глинистих і суглинних ґрунтах для покращення аерації та прогрівання рекомендується більш глибоке розпушування – до 10-12 см. Використовують важкі дискові борони, важкі культиватори типу КПЕ-3,8, чизельні культиватори та інші знаряддя.

Для обробки поля після багаторічних трав використовуються важкі дискові борони БДТ-3, БДТ-7 або БДТ-10 в поєднанні з зубовими боронами.

Ефективне застосування комбінованих ґрунтообробних машин типу РВК-3,6 та РВК-5,4, а також фрез та фрезерних культиваторів КФГ-3,6, які за один прохід розпушують ґрунт, подрібнюють грудки, вирівнюють та ущільнюють поверхню. Це забезпечує рівномірне закладення насіння, покращує схожість і підвищує врожайність вирощуваних культур.

Дрібнонасіневі культури – льон, ріпак, конюшина, люцерна та овочеві культури, потребують більш ретельного розпушування та вирівнювання верхнього шару ґрунту. Тому під ці культури проводять дві культивації з боронуванням та прикочуванням або застосовують комбіновані агрегати, які

поєднують розпушення, вирівнювання та прикочування ґрунту [3,5,12,16].

Класифікація існуючих культиваторів для суцільної обробки ґрунту за типом та комбінацією робочих органів наведена на рисунку 1.1.

Рисунок 1.1 – Класифікація культиваторів для суцільної обробки ґрунту

Робочі органи культиваторів випускають трьох типів: плоскорізні, універсальні та розпушуючі. Вони розрізняються конструктивними параметрами, які визначають характер їх впливу на ґрунт.

Лапи плоскорізних культиваторів підрізають бур'яни на глибину 4-6 см без значного розпушування оброблюваного шару і виносу вологих шарів ґрунту на поверхню поля завдяки малому куту подрібнення $\alpha = 9-10^\circ$.

Стрілчасті універсальні лапи використовуються для суцільної та міжрядної обробки ґрунту на глибину до 12 см. Застосовуються для підрізання бур'янів і розпушування ґрунту, з кутом подрібнення $\alpha = 16-18^\circ$.

Розпушувальні лапи використовуються для суцільної і міжрядної обробки ґрунту на глибину до 16 см, кут подрібнення – α до 45° [14].

Суттєвим недоліком цих робочих органів є значний вплив на посівний шар ґрунту. Через конструктивні параметри вони сприяють виносу нижніх вологих шарів ґрунту на поверхню поля, що призводить до значних втрат вологи посівного шару.

Великий вплив на якість передпосівної обробки має схема розміщення робочих органів на рамі культиватора. Питанням обґрунтування схем розміщення робочих органів займалися в різний час багато дослідників [14].

Проведений аналіз основних існуючих культиваторів показав, що робочі органи культиваторів в основному розміщують за клиноподібною або шеренговою схемам. У вітчизняних культиваторах для суцільної обробки прийнята дво- або трирядна шеренгова розстановка лап на рамі культиваторів. Така схема, з одного боку, забезпечує обробіток ґрунту без огрехів за рахунок розміщення робочих органів з перекриттям c (рис. 1.2, а, б), а з іншого боку, виключає забивання робочих органів ґрунтом і рослинними рештками. У разі застосування розпушувальних лап (рис. 1.2, в) перекриття забезпечується за рахунок більшої зони деформації ґрунту, ніж ширина стойки.

Рисунок 1.2 – Схема розміщення лап культиватора для суцільної обробки:
 а – з лапами однієї ширини захвату; б – з лапами різної ширини захвату;
 в – з розпушувальними лапами

Культиватор КПС-4 (рис. 1.3) – найбільш поширений агрегат, призначений для суцільної передпосівної обробки та обробки парів, не засмічених камінням, з одночасним боронуванням. Агрегатується з тракторами тягового класу 1,4. Випускається в навісному та причіпному варіантах. Окремі модифікації комплектуються стрілочастими універсальними лапами та розпушуючими лапами з пружинними дугоподібними та S-подібними стойками.

Рисунок 1.3 – Культиватор КПС-4 з боронами

Всі модифікації культиватора КПС-4 обладнані пристроєм для навішування борін.

Недоліки культиваторів типу КПС-4 – невелика ширина захвату, висока металоємність, складна конструкція [3].

Культиватор КПЕ-3,8 (рис. 1.4) призначений для виконання суцільної передпосівної та осінньої обробки ґрунту із збереженням на її поверхні стерні для захисту ґрунту від вітрової ерозії. Культиватор застосовується у всіх ґрунтово-кліматичних зонах та агрегатується з тракторами тягового класу 3, а зчіпка з двох і більше культиваторів з тракторами тягового класу 5.

Рисунок 1.4 – Культиватор КПЕ-3,8

Модифікація культиватора КПЕ-3,8В-01 з мульчуючим пристосуванням МП-2-3,8 забезпечує зменшення тягового опору, кращого збереження стерні, меншого винесення вологих шарів ґрунту на поверхню поля за рахунок більш тонких стійок у зоні взаємодії з ґрунтом (20 мм замість 50 мм), зменшеного кута нахилу хвостовика лапи (від 53 до 30 °). Мульчуюче пристосування складається з пластинчастої ковзанки і дворядної пружинної борони.

Культиватор КПЕ-3,8 може бути оснащений штанговим пристосуванням ПШП-3,8 (рис. 1.5).

Рисунок 1.5 – Пристосування штангове ПШП-3,8 до культиватора КПЕ-3,8

Пристосування ПШП-3,8 застосовується при передпосівній та паровій обробці стерньових полів, забезпечує винос на поверхню стерні лапою при обробці, знищенні бур'янів, вирівнювання ґрунту, підтримування комкуватої структури верхнього шару ґрунту та ущільнення нижніх шарів. Робочий орган має вигляд штанги квадратного перерізу, яка приводиться в обертання за допомогою ланцюгової передачі від голчастих дисків і обертається у бік, зворотний коченню привідних дисків.

Недоліки: утворення гребенистої поверхні, низька продуктивність [6,14].

Котки розрізняють за типом робочих органів (гладкі; кільчасто-зубчасті; кільчасто-шпорові та ін) і по заповненню (суцільні, порожнисті). Вони можуть виступати як самостійні знаряддя, так і в зчипці з культиваторами. Їх вибір залежить від мети прикочування, властивостей та стану ґрунту.

Коток гідрофікований секційний КГС-10 (рис. 1.6) напівнавісний, служить для прикочування ґрунту до або після посівів, здійснює розпушування верхнього та ущільнення посівного шарів ґрунту, руйнування кірки та часткове вирівнювання поверхні поля. Коток складається з трьох секцій: одної центральної та двох бічних, з'єднаних між собою за допомогою шарнірів. Має причіпний пристрій, два ходові колеса, сім секцій катків та гідросистему.

Рисунок 1.6 – Коток гідрофікований секційний КГС-10

Секція котків складається з двох розташованих один за одним батареї. Катки задньої батареї зміщені щодо котків передньої, а відстань між осями котків у секції менше діаметра котка, що виключає забивання котків ґрунтом та рослинними залишками [6,12].

Як недоліки даних котків можна відзначити нерівномірний тиск на ґрунт по ширині захвату агрегату, а також складність конструкції.

Коток кільчастий-зубчастий ККЗ-6 (рис. 1.7) призначений для подрібнення грудок, руйнування ґрунтової кірки, прикочування ґрунту, вирівнювання поверхні поля, ущільнення на глибину до 10 см підповерхневого та розпушування на глибину до 4 см поверхневого шару ґрунту. Коток представляє собою причіпну машину, що складається рами, двох ходових коліс,

причіпного пристрою.

Недоліки: складність конструкції робочих органів.

З метою підвищення продуктивності, зниження енерговитрат і зменшення ущільнення ґрунту колесами ґрунтообробних агрегатів за рахунок зменшення кількості проходів агрегату по полю застосовують культиватори з комбінованими робочими органами.

Рисунок 1.7 – Коток зубчасто-кільчатий КЗК-10

Агрегат для передпосівного обробітку ґрунту РВК-5,4 (рис 1.8) напівнавісний. Складається з рами, брусів з розпушувальними робочими органами, передньої та задньої секцій з голчастими дисками, вирівнювача, транспортних пневмоколіс, опорних коліс, гідросистеми та секцій котків. Розпушувальний робочий орган складається з С-подібної стойки з підпружинником і розпушувальної лапи, секція котків - з набору кільчато-шпорових котків [12].

а

б

Рисунок 1.8 – Агрегат для передпосівного обробітку ґрунту РВК-5,4:
а – загальний вигляд; б – схема розміщення робочих органів: 1 – ковзанки;
2 – розпушувальні лапи; 3 – вирівнювальні бруси

Практика застосування агрегатів РВК показала, що вони забезпечують повною мірою виконання агротехнічних вимог. На вологих і засмічених багаторічними бур'янами ґрунтах ковзанки забиваються і занадто переуцільнюють ґрунт.

Агрегат комбінований ґрунтообробний навісний «Лідер- 7,2Н» (рис. 1.9) призначений для суцільної обробки ґрунту по стерновим, зяблевим і паровим фонам з виконанням операцій кришення ґрунту, підрізання і вичісування бур'янів, створення ущільненого насіннєвого ложа, а над ним – пухкого шару, що мульчує, з вирівнюванням поверхні поля. Може працювати у всіх кліматичних зонах при вологості не більше 30% та твердості ґрунту не більше 4,5 МПа, на полях з ухилом до 8°. Агрегат являє собою навісну гідрофіковану зброю з шарнірною три- секційною рамою. На кронштейнах поперечних брусів рами кріпляться робочі органи – стрілчасті лапи. На задніх поперечних брусах рами приварені кронштейни для під'єднання чотирьох батарей конусних багатоопераційних котків. Ковзанки призначені для вирівнювання поверхні поля. Залежно від стану фону та виду роботи котки можуть встановлюватися як у «пасивне» так і в «активне» положення [4].

Рисунок 1.9 – Агрегат комбінований ґрунтообробний навісний «Лідер-7,2Н»

Провідні зарубіжні фірми (Lemken, Amazone, Kongskilde, John Deere та ін.) випускають сільськогосподарські машини різної конструкції, які придатні для використання на полях нашої країни. Це, як правило, комбіновані гідрофіковані агрегати з шарнірними багатосекційними рамами. Робочими

органами є стрілчасті лапи, для вирівнювання поверхні застосовуються котки різних конструкцій і планки [6, 12,20].

Недоліком таких агрегатів є їхня висока вартість і великі витрати на ремонт та технічне обслуговування.

Комбіновані культиватори забезпечують передпосівну обробку відповідно до агротехнічних вимог вони гарантують відсутність брил і гребнів з мульчованим поверхневим шаром, ущільнення посівного шару ґрунту, повне підрізання бур'янів, що забезпечує сприятливі умови для швидких і гарних сходів, зростання та розвитку культурних рослин. Поєднання технологічних операцій забезпечує покращення термінів весняно-польових робіт.

Висновки.

Проведений огляд конструкцій ґрунтообробних машин показав, що більшість сучасних агрегатів мають комбінації робочих органів. Такі машини здатні за один прохід виконувати підрізання бур'янів, вирівнювання та коткування ґрунту. Це дозволяє скоротити терміни весняно-польових робіт, підвищити продуктивність агрегатів, скоротити енерговитрати на підготовку ґрунту до посіву сільськогосподарських культур.

Комбіновані культиватори забезпечують передпосівну обробку відповідно до агротехнічних вимог вони гарантують відсутність брил і гребенів з мульчованим поверхневим шаром, ущільнення посівного шару ґрунту, повне підрізання бур'янів, що забезпечує сприятливі умови для швидких і гарних сходів, зростання та розвитку культурних рослин. Поєднання технологічних операцій забезпечує покращення термінів весняно-польових робіт.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

2.1 Обґрунтування параметрів культиватора з тросовим і котковим робочими органами для поверхневої обробки ґрунту

Напрями досліджень зі створення ґрунтообробних машин для передпосівної обробки визначаються насамперед потребами культурних рослин у сприятливих умовах для зростання та розвитку. Це в першу чергу диференціація структурного складу і щільності за глибиною посівного шару. Вона має виглядати так: у поверхневому шарі повинні переважати агрегати від 5 до 20 мм, а в посівному – від 0,25 до 5 мм; наднасіньевий прошарок повинен бути помірно ущільненим 1,2-1,3 г/см³, насінньевий та піднасіньевий шари повинні мати щільність 1,1-1,2 г/см³, а щільність поверхневого шару в межах 1,0-1,1 г/см³.

Будова таких умов особливо актуальна при посіві дрібнонасіньєвих культур, що вимагають незначної глибини загортання [4].

Так як період фізичної стиглості ґрунту, за який необхідно підготувати ґрунт до посіву, нетривалий, виникає необхідність у створенні комбінованих ґрунтообробних машин і агрегатів, які виконують за один прохід кілька технологічних операцій при високій продуктивності. Робочі органи таких культиваторів повинні мінімально впливати на ґрунт з метою збереження його родючості, зменшення виносу вологих шарів на поверхню поля та зниження енерговитрат [14].

Технічна новизна культиватора з тросовим і котковим робочими органами полягає в тому, що він складається з рами 2 з трьома жорсткими вертикальними стойками 1, встановленими в два ряди зі зміщенням в поперечному напрямку на половину кроку між ними в ряду. У нижній частині стійок через напрямні ролики натягнутий трос 3, кінці якого з'єднані з рамою через пружний елемент. Гілки троса утворюють стрілоподібну форму з постійним кутом відхилення 2γ. Для зміни величини кута розчину троса вздовж лінії бісектриси цього кута жорстко закріплений брус 4 регулювання з рядом отворів для знімного кріплення

передньої стойки. За рамою встановлений каток 5, що складається із зовнішнього барабана, у внутрішній порожнині якого розташований внутрішній барабан, з'єднаний з рамою шарнірно-повідковим пристроєм (рис 2.1) [12,20].

1 – стійка кріплення троса; 2 – рама культиватора; 3 – трос; 4 – брус регулювання положення передньої стойки; 5 – двобарабанний планчатий каток

Рисунок 2.1 – Конструктивна схема культиватора з тросовим і котковим робочими органами

Така конструкція тросового робочого органу забезпечить повне знищення бур'янів по всій ширині захвату культиватора без винесення вологих шарів на поверхню поля, вільний схід бур'янів з троса в процесі роботи, можливість зміни кута розташування троса дозволить регулювати режим різання без зміни ширини захвату. Планчатий двобарабанний каток планками зовнішнього барабана подрібнить великі ґрунтові грудки, створить ущільнений передпосівний шар і забезпечить мульчуючий верхній шар за рахунок подрібнення ґрунтових грудок, що потрапили під вплив планок внутрішнього барабана.

Для вивчення процесу поверхневого обробітку ґрунту культиватором з тросовим та котковим робочими органами необхідно визначити основні конструктивні параметри тросового робочого органу та планчатого двобарабанного котка з урахуванням агротехнічних вимог до поверхневої обробки та тяговий опір тросового та коткового робочих органів при поверхневій обробці ґрунту.

Кут розхилу лез робочих органів культиваторів 2γ має велике значення для якості виконуваної роботи. При великих значеннях кута розташування часто спостерігається обволікання робочого органу бур'янами та ґрунтом, що призводить до порушення технологічного процесу. Кут розхилу треба вибирати таким, щоб бур'яни в процесі руху агрегату ковзали вздовж леза [8].

Тросовий робочий орган, на відміну від універсальної стрілчастої лапи, знищує бур'яни переважно не підрізанням, а витягуванням із коренем. Це з відсутністю гострої ріжучої кромки. При зустрічі з бур'яном трос вдавлює стебло бур'яну в його прикореневій частині в ґрунт, при цьому коренева система бур'ян ще не втрачає зв'язку з ґрунтом. Так верхня і нижня частини бур'яну, перегнувшись на тросі і втративши стійкий зв'язок із ґрунтом, захоплюються тросом (рис. 2.2).

Рисунок 2.2 – Вплив троса на рослин

Щоб не сталося забивання троса, ґрунт і вирвані рослини повинні ковзати вздовж троса і сходити з нього, тобто трос повинен самоочищатись. Отже, умова ковзання повинна враховувати фрикційні властивості і коренів, і ґрунту, в якому вони розташовані, а в розрахунках кута розташування використовувати той, який більше:

$$\xi > \max(\varphi_{\text{к}}, \varphi_{\text{п}}) \quad (2.1)$$

де $\varphi_{\text{к}}$ та $\varphi_{\text{п}}$ – кут тертя коренів бур'янів та ґрунту відповідно.

Враховуючи вище сказане, необхідно визначити максимально можливий кут розхилу троса, при якому ймовірність забивання троса відсутня.

Конструктивно трос закріплений на трьох жорстких вертикальних стойках у точках С, А і В (рис. 2.3), що лежать в одній горизонтальній площині та утворюють рівнобедрений трикутник з основою СВ.

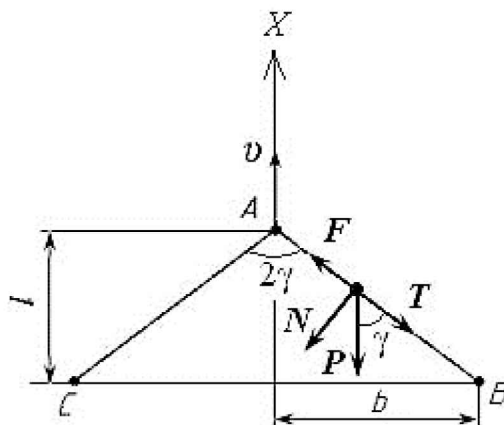


Рисунок 2.3 – Схема визначення оптимального кута відхилення трос

Нехай гілка троса АВ переміщається у бік осі X зі швидкістю руху агрегату v . При цьому на частинку ґрунту (або корінь бур'яну), що діють у контакті з тросом, діє сила опору P . Розкладемо силу P на складові – силу нормального тиску N та дотичну силу T . Ці складові можна визначити як

$$T = P \cos \gamma, \quad (2.2)$$

$$N = P \sin \gamma. \quad (2.3)$$

Сила T прагне перемістити частинку ґрунту (або корінь бур'янів) вздовж троса. Сила N притискає частинку до троса, від чого виникає сила тертя частинки F , яка спрямована в протилежний бік.

Тоді умовою ковзання частинки ґрунту (або коріння бур'янів) по тросу є:

$$T \geq F. \quad (2.4)$$

Сила тертя F обчислюється за формулою [16]:

$$F = Nf = P \sin \gamma \operatorname{tg} \varphi \quad (2.5)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту або коренів бур'янів об сталь ($f = \operatorname{tg} \varphi$, де φ – кут тертя; f і φ залежать від механічного складу та вологості ґрунту: $f =$ від 0,25 до 0,90, $\varphi =$ від 14° до 42°) [5].

Підставляючи значення T і F з формул (2.2) і (2.5) за умови (2.4), маємо:

$$\cos \gamma \geq \sin \gamma \operatorname{tg} \varphi$$

або

$$\operatorname{tg}(90 - \gamma) \geq \operatorname{tg} \varphi,$$

звідси

$$\gamma \leq 90 - \varphi.$$

Таким чином, кут розхилу троса 2γ повинен встановлюватися з умовою:

$$2\gamma \leq 2(90 - \varphi) \quad (2.6)$$

При відомих значеннях кута тертя φ ґрунту різного механічного складу від вологості ґрунту [14] згідно з умовою (2.6), побудуємо залежність (рис. 2.4), що дозволяють визначити кут розхилу троса при роботі в різних ґрунтових умовах.

Рисунок 2.4 – Залежність кута розташування троса від вологості ґрунтів різного механічного складу: 1 – піщана; 2 – супіщана; 3 – чорнозем

З наведених даних випливає, що для забезпечення роботи тросового робочого органу з дотриманням агротехнічних вимог кут розхилу троса повинен регулюватися в межах $2\gamma = 90-150^\circ$. Для цього кронштейн кріплення передньої стойки машини повинен мати можливість переміщатися по рамі в межах від l_{\min} до l_{\max} .

Значення l_{\min} та l_{\max} визначаються за формулами:

$$l_{\max} = \frac{b}{2tg\left(\frac{2\gamma_{\max}}{2}\right)}, \text{ м}; \quad l_{\min} = \frac{b}{2tg\left(\frac{2\gamma_{\min}}{2}\right)}, \quad (2.7)$$

де b – ширина захвату машини, м.

Параметри l , м при різних значеннях ширини захвату машини b і кута розташування троса 2γ представлені у вигляді графіків на рисунку 2.5.

Рисунок 2.5 – Залежність відстаней установки передньої стойки l (l_{\min} та l_{\max}) від ширини захвату машини b для різних значень кута розташування троса 2γ

Таким чином, згідно з рисунком 2.5, для різних типів ґрунтів можна визначити раціональні значення l , що визначають кут розхилу троса. Конструктивно зміна кута розташування троса в межах $2\gamma = 90-150^\circ$ для обробки різних типів ґрунтів може бути забезпечено переміщенням передньої стойки вздовж бруса регулювання від l_{\min} до l_{\max} .

2.2 Визначення тягового опору робочого органу

У процесі роботи трос є ріжучою кромкою робочого органу з циліндричною робочою поверхнею малого радіусу, на якій у процесі обробки ґрунту можливе утворення ґрунтового клину. Тому обробіток ґрунту тросовим

робочим органом можна розглядати як різання клином з певними параметрами (рис. 2.6).

Рисунок 2.6 – Схема взаємодії тросового робочого органу із ґрунтом

Оскільки тросовий робочий орган розташований до напрямку руху V_a під кутом γ , клиноутворюючий переріз циліндра буде еліпс, а довжина ріжучої кромки ґрунтового клину [16]:

$$b' = \frac{b}{\sin \gamma'}$$

де b – ширина захвату тросового робочого органу, м.

Згідно з дослідженнями у процесі роботи на суглинистих чорноземах параметри клину становлять $\varphi_2=40,1^\circ$, $\alpha = 49,9^\circ$. При малих значеннях діаметра троса $d = 2-6$ мм, довжина ріжучої поверхні клину $B'C = d / \sin \alpha = 3-8$ мм.

У процесі роботи горизонтальна складова тягового опору тросового робочого органу P_x визначається за наступною залежністю:

$$P_x = P_\tau + P_g + P_V + P_c, \quad (2.8)$$

де P_τ – сила опору зсуву ґрунту, кН,

P_g – сила опору від тяжіння ґрунту на клину, кН,

P_V – сила опору від динамічного тиску ґрунту, кН,

Для визначення сил P_τ , P_g та P_V розглянемо взаємодію ґрунтового клину, утвореного тросовим робочим органом, із ґрунтом.

Під впливом робочої грані $B'C$ ґрунтового клину $B'CD'$ на пласт виникає деформація зсуву ґрунту по лінії uv , нахиленої на дно борозди під кутом α . При цьому величину сили опору зсуву ґрунту P_τ можна розкласти на нормальну силу

P_{tn} і рушійну силу дотичну пласту ґрунту T_τ . У процесі переміщення пласта по клину при русі агрегату під дією сили T_τ виникає сила тертя $P'_{\tau f}$, яка дорівнює:

$$P_{\tau f} = P_{\tau n} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2, \quad (2.9)$$

$$P_\tau = \frac{P_{\tau n}}{\cos \varphi_2}. \quad (2.10)$$

Величина сили T_τ дорівнює:

$$T_\tau = P_\tau \cdot \cos \alpha = \frac{P_{\tau n} \cdot \cos \alpha}{\cos \varphi_2}, \quad (2.11)$$

На поверхні зсуву uv при переміщенні пласта по площині В'С діє напруга зсуву τ_f , що описується законом Кулона:

$$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_2, \quad (2.12)$$

де c – сила зчеплення, кН/м² (при вологості ґрунту $w=12-30\%$, $c=20$ кН/м²);
 σ_n – нормальна напруга в площині руйнування, кН/м².

Нормальна напруга створюється силою $P_{\tau f}$, тоді:

$$\sigma_n = \frac{P_{\tau f}}{F} = \frac{P_{\tau n} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2}{F}, \quad (2.13)$$

де F – площа зсуву, м².

$$F = B'C \cdot b = \frac{d \cdot b}{\sin \alpha}, \quad (2.14)$$

тоді

$$\sigma_n = \frac{P_{\tau n} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \sin \alpha}{d \cdot b}. \quad (2.15)$$

Сила опору зсуву P_τ визначається з виразу:

$$P_\tau = \tau_f \cdot F = \frac{c \cdot d \cdot b}{\sin \alpha} + P_{\tau n} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (2.16)$$

На площині зсуву $T_\tau = P_\tau$, тоді

$$\frac{P_{\tau n} \cdot \cos \alpha}{\cos \varphi_2} = \frac{c \cdot d \cdot b}{\sin \alpha} + P_{\tau n} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2;$$

$$P_{\tau n} \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi_2} - \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \right) = \frac{c \cdot d \cdot b}{\sin \alpha};$$

$$P_{\tau n} = \frac{c \cdot d \cdot b}{\sin \alpha \cdot \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi_2} - \operatorname{tg} \varphi_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \right)};$$

$$P_\tau = \frac{P_{\tau n}}{\cos \varphi_2} = \frac{c \cdot d \cdot b}{\sin \alpha \cdot \cos \varphi_2 \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi_2} - \operatorname{tg}^2 \varphi_2 \right)}. \quad (2.17)$$

При ковзанні ґрунту по поверхні клину $B'CD'$ її сила тяжіння викликає нормальну силу P_{gn} реакції поверхні $B'C$ та силу тертя P_{gf} (рис. 2.7).

Рисунок 2.7 – Схема сил, що діють на ґрунтовий клин від сили тяжіння пласта

Розкладемо силу тяжкості пласта G на нормальну G_n та дотичну G_τ складові до поверхні $B'C$. Вони відповідно дорівнюють:

$$\begin{aligned} G_n &= G \cdot \sin\varphi_2 \\ G_\tau &= G \cdot \cos\varphi_2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Перша сила викликає нормальну реакцію поверхні клину $P_{gn} = G_n$, а друга – перешкоджає руху пласта площиною $B'C$. При русі пласта поверхнею клину нормальна сила P_{gn} створює силу тертя P_{gf} , що дорівнює:

$$P_{gf} = P_{gn} \cdot \operatorname{tg}\varphi_2.$$

Результуюча сил P_{gn} та P_{gf} реакція поверхні клину від дії сили тяжіння пласта P_g дорівнює

$$P_g = P_{gn} / \cos\varphi_2$$

або

$$P_g = G \operatorname{tg}\varphi_2.$$

Сила тяжіння на площині $B'C$.

$$G = B'C \rho b a = \frac{d \cdot \rho \cdot b \cdot a}{\sin\alpha}.$$

Тоді

$$P_g = \frac{d \cdot \rho \cdot b \cdot a \operatorname{tg}\varphi_2}{\sin\alpha}. \quad (2.19)$$

При дії сили тяжіння пласта на поверхню ґрунтового клину виникають сили реакції, результуюча яких горизонтальна і ставить тяговий опір, а вертикальна реакція відсутня.

Визначимо силу динамічного тиску ґрунту на поверхню $B'C$ ґрунтового клину $B'CD'$ (рис. 2.8).

Рисунок 2.8 – Схема визначення сил динамічного тиску ґрунту

Повна реакція P_V поверхні $B'C$ на динамічний тиск ґрунту з урахуванням сили тертя, що виникає P_{Vf} дорівнює:

$$P_V = \frac{P_{Vn}}{\cos \varphi_2} = \frac{mV}{\cos \varphi_2} = \frac{\rho b d V}{\cos \varphi_2}. \quad (2.20)$$

Тяговий опір стійок тросового робочого органу P_c залежить від площі деформації ґрунту F та від питомого опору ґрунту.

$$P_c = F \cdot k. \quad (2.21)$$

Площа деформації F дорівнює:

$$F = (\alpha + \Delta\alpha) \cdot 2[(\alpha + \Delta\alpha) \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + l],$$

де a – глибина ходу тросового робочого органу, м;

$\Delta\alpha$ – глибина ходу долота нижче глибини ходу троса, м;

φ_2 – кут тертя ґрунту об ґрунт;

l – ширина долота стійки, м.

Тоді

$$P_c = 2[(\alpha + \Delta\alpha)\operatorname{tg} \varphi_2 + l](\alpha + \Delta\alpha)k \cdot n, \quad (2.22)$$

де n – кількість стійок кріплення тросу, шт.

Згідно з формулою (2.8) горизонтальна складова тягового опору P_x тросового робочого органу визначається як сума сил опору зсуву ґрунту P_τ , опору

від тяжкості ґрунту на клині P_g , опору від динамічного тиску ґрунту P_v , опору стійок тросового робочого органу P_c :

$$P_x = \frac{cdb}{\sin \alpha \cos \varphi_2 \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \varphi_2} - \operatorname{tg}^2 \varphi_2 \right)} + \frac{dpbatg\varphi_2}{\sin \alpha} = \frac{\rho bdV}{\cos \varphi_2} + 2[(\alpha + \Delta a)\operatorname{tg}\varphi_2 + l](a + \Delta a)k \cdot n \quad (2.23)$$

Розглянемо частку впливу кожного з доданків (P_τ , P_g , P_v і P_3), % на тяговий опір тросового робочого органу від ширини захвату b культиватора.

Результати представлено у вигляді графіків (рис. 2.9).

Рисунок 2.9 – Частка складових тягового опору залежно від ширини захвату b культиватор

Отримані дані та їх аналіз показують, що на горизонтальну складову тягового опору тросового робочого органу більшою мірою впливають сили опору зсуву ґрунту P_τ і опір стійок тросового робочого органу P_3 . Зі збільшенням ширини захвату культиватора від 1 до 3 м частка впливу сили опору зсуву ґрунту P_τ істотно збільшується (з 31,0 до 51,7%), тоді як з тією ж динамікою зменшується (з 60,0 до 33,4%) частка впливу сили опору стійок P_3 тросового робочого органу.

Вплив сили опору від динамічного тиску ґрунту P_v збільшується на 5,9% (з 8,8 до 14,7%). Сила опору від тяжкості ґрунту на клині P_g впливає незначно і збільшується несуттєво (з 02 до 03%).

При ширині захвату культиватора $b = 2$ м частки впливу сил опору зсуву ґрунту P_7 та опору стійок тросового робочого органу P_3 на тяговий опір тросового робочого органу вирівнюються. Це говорить про те, що ширина захвату $b = 2$ м є оптимальною для тросового культиватора.

Для визначення впливу основних конструктивних параметрів тросового робочого органу на його тяговий опір скористаємося формулою (2.23). Вихідні дані для розрахунків представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунків

Параметр	Позначення	Величина
Кут тертя ґрунту об ґрунт, град.	φ_2	40,1
Кут нахилу поверхні зсуву до горизонталі, град.	α	49,9
Сила зчеплення (при вологості ґрунту $w=12\div30\%$), кН/м^2	c	20
Питома вага ґрунту, кН/м^2	ρ	25,5
Питомий опір ґрунту стійкі робочого органу, кН/м^2	k	15-20
Швидкість руху агрегату, м/с	V	2,8
Кількість стійок кріплення тросу, шт.	n	3
Глибина ходу долота стійки відносно глибини руху троса, м	$\Delta\alpha$	0,02
Ширина долота робочого органу, м	l	0,05
Глибина обробки, м	a	0,05
Ширина захвату агрегату, м	b	1,0-3,0
Діаметр тросу, м	d	0,002-0,006

Використовуючи залежність, провели орієнтовну оцінку тягового опору культиватора $P_{кр}$ (рис. 2.10) для суцільної обробки ґрунту при тих же вихідних даних де k – питомий опір ґрунту при обробці даними робітниками органами; a – глибина обробки, м; b – ширина захоплення зброї, м; ε - коефіцієнт, що враховує форму робочого органу (приймаємо $\varepsilon = 1 \text{ кНс}^2 / \text{м}^2$); V – швидкість руху агрегату під час роботи, м/с; 1,3 – орієнтовний коефіцієнт, що враховує вагу агрегату.

Рисунок 2.10 – Залежність горизонтальної складової тягового опору P_x тросового робочого органу від ширини захвату b культиватора при різному діаметрі троса d

Для обґрунтування вибору діаметра d троса, як основного конструктивного параметра тросового культиватора, приймемо умову:

$$P_x \leq P_{кр.}$$

Тоді для культиватора шириною захвату $b=2$ м необхідно використовувати трос діаметром $d = 3$ мм (рис. 2.10).

2.3 Обґрунтування кінематичних і конструктивних параметрів планчатого двобарабанного котка

Для забезпечення якісного передпосівного обробітку ґрунту, зокрема отримання вирівняної поверхні поля, дрібногрудкуватої структури застосовуються котки. Найкращі показники з підготовки ґрунту до сівби дрібнонасіневих культур забезпечують двобарабанні котки.

У процесі роботи на двобарабанний коток діють такі сили (рис. 2.11):

G_1 – сила тяжіння зовнішнього барабану, кН;

- G_2 – сила тяжіння внутрішнього барабану, кН;
 P – сила опору катка, яка діє вздовж повідця, кН;
 R – сила опору ґрунту вдавлюванню планок котка в ґрунт, кН;
 R_x – сила взаємодії планок котка з ґрунтом, кН;
 T – сила взаємодії між барабанами, кН;
 F – сила тертя між барабанами, кН;
 F_0 – сила стиску пружини довантажувача, кН.

Рисунок 2.11 – Схема до визначення сил, що діють на двобарабанний коток

Під час руху агрегату зі швидкістю V_a зовнішній барабан перекочується по поверхні ґрунту з лінійною швидкістю V_{k1} :

$$V_{k1} = V_a \cdot \eta_{k1} = \frac{\pi \cdot n_{k1} \cdot D_{k130B}}{60}, \quad (2.24)$$

де V_a – швидкість руху агрегату, м/с;

η_{k1} - коефіцієнт перекочування барабану ($\eta_{k1}=0,95$);

D_{k130B} – діаметр зовнішнього барабану по зовнішній поверхні планок, м;

n_{k1} – число обертів зовнішнього барабану, об/хв.

Звідси

$$n_{k1} = \frac{60 \cdot V_a \cdot \eta_{k1}}{\pi \cdot D_{k130B}}. \quad (2.25)$$

Під час руху агрегату внутрішній барабан притискається до зовнішнього барабану з внутрішньої сторони в площині, перпендикулярній напрямку сили опору котка (сили P , кН), і перекочується по внутрішній поверхні планок зовнішнього барабану з діаметром D_{k1BH} з лінійною швидкістю V_{k2} :

$$V_{k2} = V_{k1BH} \cdot \eta_{k2} = \frac{\pi \cdot n_{k2} \cdot D_{k2}}{60}, \quad \frac{V_{k1BH}}{V_{k1}} = \frac{D_{k1BH}}{D_{k130B}}, \quad V_{k1BH} = \frac{V_{k1} \cdot D_{k1BH}}{D_{k130B}}, \quad (2.26)$$

де η_{k2} – коефіцієнт перекочування ободка внутрішнього барабану по внутрішній частині планок зовнішнього барабану (приймаємо $\eta_{k2} = 0,9$);

D_{k2} – діаметр внутрішнього барабану, м;

n_{k2} – число обертів внутрішнього барабану, об/хв.

Звідси

$$n_{k2} = \frac{60 \cdot V_{k1BH} \cdot \eta_{k2}}{\pi \cdot D_{k2}} = \frac{60 \cdot V_a \cdot \eta_{k1} \cdot \eta_{k2}}{\pi \cdot D_{k2}} \quad (2.27)$$

Дослідними даними встановлено, що передавальне відношення кутових швидкостей зовнішнього ω_1 і внутрішнього ω_2 барабанів $i \approx 0,5$ [8].

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_{k2}}{D_{k130B}} = 0,5.$$

Тоді

$$D_{k2} = i \cdot D_{k130B} = 0,5 \cdot D_{k130B} \quad (2.28)$$

Під дією сили опору котка P , що діє вздовж повідця внутрішній барабан притискається до внутрішньої частини планок зовнішнього барабану і виникає сила тертя F , яка дорівнює:

$$F = P \cdot f_l, \quad (2.29)$$

де f_l – коефіцієнт тертя (сталі об сталь $f_l = 0,15$; сталі об резину $f_l = 0,6-0,8$).

При цьому горизонтальна складова тягового опору котка P_x визначається за виразом:

$$P_x = P \cdot \cos \alpha = P \cdot \frac{L - (D_{k1BH} - D_{k2})}{H - D_{k130B} + a}, \quad (2.30)$$

де α – кут нахилу повідця, град.,

a – глибина ходу катка, м

Обертання зовнішнього барабану відбувається за рахунок взаємодії його планок із ґрунтом. При цьому великі грудки ґрунту розбиваються на більш дрібні

розміром, що дорівнює відстані між планками $l_{п1}$ і проникають всередину котка. Тоді кількість планок на зовнішньому барабані $n_{п1}$ можна визначити за формулою:

$$n_{п1} = \frac{\pi \cdot D_{k130B}}{l_{п1}}. \quad (2.31)$$

Кутова швидкість внутрішнього барабану ω_2 вище кутової швидкості зовнішнього барабану ω_1 , що призводить до більш інтенсивної дії планок внутрішнього барабану на частинки ґрунту та розбиванню їх на більш дрібні частинки. При цьому величина подрібнення залежить від кількості планок $n_{п2}$ на внутрішньому барабані

$$n_{п2} = \frac{\pi \cdot D_{k2}}{l_{п2}}, \quad (2.32)$$

де $l_{п2}$ – відстань між планками внутрішнього барабану, м.

Виходячи з агротехнічних вимог до якості передпосівного обробітку що до того, що на поверхні поля не допускається наявність грудок ґрунту розміром понад 10 см, а в обробленому шарі мають переважати частинки розміром до 2,6 см, рекомендується прийняти відстань між планками зовнішнього барабана $l_{п1} = 10$ см, внутрішнього $l_{п2} = 2,6$ см.

Ширина планок зовнішнього барабана, зокрема їхня частина, що виступає за бічні диски, визначається глибиною посіву, оскільки планки ущільнюють передпосівний шар ґрунту. Планки розташовані по колу радіально.

Силу взаємодії котка з ґрунтом можна визначити за залежністю:

$$R_x = F_1 + F_2 = f \cdot N + \delta \cdot S, \quad (2.33)$$

де F_1 – сила опору котка перекочуванню (сила тертя ґрунту об сталь) кН;

F_2 – сила опору планок котка, кН;

f – коефіцієнт тертя ґрунту об сталь ($f = 0,5 \div 0,8$ – залежить від вологості ґрунту);

N – сила нормального тиску, кН;

δ – коефіцієнт опору зсуву ґрунту ($\delta = 0,1 - 0,3$ кг/см² = 10-30 кН/м²);

S – площа контакту планок котка з ґрунтом, що викликає зсув ґрунту, м².

Сила нормального тиску на ґрунт зі сторони котка N дорівнює:

$$N = G_l - P_z + G_n \quad (2.34)$$

де G_n – сила тяжіння ґрунту, що знаходиться у внутрішній порожнині котка, кН.

$$G_n = \frac{\pi \cdot D_{k1\text{ВН}}^2 \cdot b \cdot c \cdot \rho}{4}, \quad (2.35)$$

де b – ширина захвату культиватора, м;

c – коефіцієнт наповнення котка ($c = 0,1-0,2$);

ρ – питома вага ґрунту, кН/м³.

Площа контакту планок котка з ґрунтом S залежить від глибини ходу a та параметрів котка. Одночасно в контакті з ґрунтом перебувають планки, охоплені кутом α° . Величина кут α° визначається як:

$$\cos\alpha_0 = \frac{\frac{D_{k1} - a}{2}}{\frac{D_{k1}}{2}} = 1 - \frac{2a}{D_{k1}} \quad (2.36)$$

Тоді кількість планок, які знаходяться в контакті з ґрунтом:

$$n_{п0} = \left(\frac{\arccos\alpha_0}{57} \right) \frac{D_{k1}}{l_{n1}}, \quad (2.37)$$

де l_{n1} – відстань між планками зовнішнього барабану, м.

Площа контакту S , м², визначається як

$$S = b \cdot l_{n.зоб} \cdot n_{п0} \cdot \cos\alpha_0, \quad (2.38)$$

де $l_{n.зоб}$ – товщина планки зовнішнього барабану, м.

Тоді

$$N = G_l - P \cdot \sin\alpha + \frac{\pi \cdot D_{k1\text{ВН}}^2 \cdot b \cdot c \cdot \rho}{4};$$

$$R_x = f \left(G_l - P \cdot \sin\alpha + \frac{\pi \cdot D_{k1\text{ВН}}^2 \cdot b \cdot c \cdot \rho}{4} \right) + \delta \cdot b \cdot l_{n.зоб} \cdot n_{п0} \cdot \cos\alpha_0. \quad (2.39)$$

Звідси

$$P = \frac{G_l}{\sin\alpha} - \frac{R_x - \delta \cdot b \cdot l_{n.зоб} \cdot n_{п0} \cdot \cos\alpha_0}{f \cdot \sin\alpha} + \frac{\pi \cdot D_{k1\text{ВН}}^2 \cdot b \cdot c \cdot \rho}{4 \sin\alpha}. \quad (2.40)$$

Тоді горизонтальна складова P_x тягового опору дорівнює:

$$P_x = \left(\frac{G_l}{\sin\alpha} - \frac{R_x - \delta \cdot b \cdot l_{n.зоб} \cdot n_{п0} \cdot \cos\alpha_0}{f \cdot \sin\alpha} + \frac{\pi \cdot D_{k1\text{ВН}}^2 \cdot b \cdot c \cdot \rho}{4 \sin\alpha} \right) \cdot \cos\alpha. \quad (2.41)$$

Момент, створюваний силою R_x витрачається на обертання внутрішнього барабана та подолання моменту опору (подрібнення) грудок ґрунту, що знаходяться всередині котка. Тобто [8]:

$$M_{\text{подр}} = \frac{D_{k2} - 2l_1}{2} \cdot b \cdot l_{n.вн} \cdot n_{вн} \cdot \delta, \quad (2.42)$$

де l_1 – ширина планки наружного барабану, м;

$l_{n.вн}$ – товщина планки внутрішнього барабану, м;

$n_{вн}$ – кількість планок внутрішнього барабану, які знаходяться в контактi з ґрунтом, шт.;

δ – коефіцієнт опору зсуву ґрунту, кН/м².

Для забезпечення роботоздатності котка обертальний момент $M_{об}$, створюваний силою тертя F між дотичними поверхнями внутрішнього і зовнішнього барабанів, має бути більшим за момент подрібнення $M_{\text{подр}}$, тобто

$$M_0 \geq M_{об} \quad (2.43)$$

або

$$R_x \cdot D_{k1} \geq F \cdot D_{k2}$$

Звідси

$$R_x \geq \frac{F \cdot D_{k2}}{D_{k1}}. \quad (2.44)$$

Тоді, знаючи величину сили R_x , згідно з формулою (2.44) можна визначити горизонтальну складову тягового опору котка і обґрунтувати його основні конструктивні параметри. Вихідні дані для розрахунків наведені в **таблиці А.1**.

Результати розрахунків подано у вигляді графіків (рис. 2.12).

Виходячи з того, що питомий опір традиційного котка з негладкою поверхнею $k_{\text{шт}} = 0,6-0,9$ кН/м [8], то його критичний тяговий опір P_k (див.рис. 2.12) можна визначити як:

$$P_{кр} = k_{\text{шт}} \cdot b, \text{ кН}$$

де b – ширина захвату, м.

Для обґрунтування діаметра експериментального двобарабанного котка приймемо умову:

$$P_x \leq P_{кр}$$

Рисунок 2.12 – Залежність горизонтальної складової тягового опору котка P_x від ширини захвату b культиватора при різному діаметрі внутрішнього барабана D_{k2} (при $f_1 = 0,15$)

Для виконання цієї умови рекомендується прийняти діаметр внутрішнього барабана $D_{k2}=0,25$ м (див. рис. 2.12); діаметр зовнішнього барабана $D_{k1зов} = 2D_{k2} = 0,5$ м.

Кількість планок на барабанах можна визначити за формулами (2.34) і (2.35). При $D_{k2} = 0,25$ м і $D_{k1зов} = 0,5$ м їх кількість на зовнішньому барабані $n_{п1} = 16$ шт., на внутрішньому – $n_{п2} = 30$ шт.

Коефіцієнт тертя f_1 між дотичними поверхнями барабанів котка може бути в межах 0,15-0,8 залежно від фрикційних властивостей матеріалу барабанів. З формули (2.44) отримано, що в разі збільшення коефіцієнта тертя f_1 тяговий опір двобарабанного котка може бути значно знижений (рис. 2.13).

Збільшення коефіцієнта тертя f_1 може бути досягнуто нанесенням на дотичні поверхні барабанів фрикційного покриття. Це забезпечить стійке обертання (без прослизання) внутрішнього барабана і виконання умови (2.39).

Рисунок 2.13 – Залежність горизонтальної складової тягового опору котка P_x від ширини захвату b при різному коефіцієнті тертя f_1 між дотичними поверхнями барабанів котка (за $D_{k2} = 0,25$ м)

У разі недостатності зусилля R_x , для забезпечення роботоздатності котка в конструкції передбачена можливість збільшення сили R_x на величину ΔR_x за рахунок підтиснення котка силою F_0 з боку пружини. Величину сили F_0 для подолання відсутньої сили ΔR_x , можна визначити складанням рівняння моментів відносно точки O :

$$\sum M_0 = F_0 \cdot L_0 - \Delta R_x \left(H + \frac{\alpha}{2} \right) = 0.$$

Звідси

$$F_0 = \frac{\Delta R_x \left(H + \frac{\alpha}{2} \right)}{L_0}. \quad (2.45)$$

Висновки. Кут розхилу троса, закріпленого в горизонтальній площині на трьох жорстких вертикальних стойках, повинен регулюватися в межах $90-150^\circ$ за рахунок переміщення передньої стойки вздовж бруса регулювання. Для обробітки ґрунтів вологістю 12 % кут відхилення троса 2γ дорівнює: для важкосуглинистих ґрунтів -120° , супіщаних -130° ; піщаних -140° .

На горизонтальну складову тягового опору тросового робочого органу більшою мірою впливають сили опору зсуву ґрунту P_τ і опору стоек тросового

робочого органу P_c . Ширина захвату культиватора $b = 2$ м є оптимальною, оскільки за цього значення частки впливу зазначених сил вирівнюються.

Виходячи з умов зниження тягового опору культиватора, для культиватора шириною захвату $b = 2$ м необхідно використовувати трос діаметром $d = 3$ мм.

З метою зменшення тягового опору двобарабанного планчатого котка та забезпечення його роботоздатності рекомендується прийняти діаметр внутрішнього барабана $D_{к2} = 0,25$ м; діаметр зовнішнього барабана $D_{к1нар} = 0,5$ м.

Планки на барабанах розташовані по колу радіально, рівномірно. Частина планок зовнішнього барабана, що виступає за бічні диски визначається глибиною посіву і дорівнює 2 см.

Кількість планок на барабанах визначається виходячи з агротехнічних вимог до якості подрібнення ґрунту. Залежно від рекомендованих діаметрів барабанів кількість планок на зовнішньому барабані $n_{п1} = 16$ шт., на внутрішньому – $n_{п2} = 30$ шт.

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Робочі органи всіх сільськогосподарських машин та знарядь, взаємодіючи з оброблюваним матеріалом, виконують технологічні процеси, у яких відбуваються якісні зміни оброблюваного матеріалу – його структури, фізичних і біологічних властивостей. У процесі обробки робочі органи вступають у безпосередній контакт із живою природою: ґрунтом, рослинами, насінням. Зважаючи на складність цих взаємодій, багато питань механізації сільського господарства мало піддаються теоретичним методам дослідження, у цих випадках перевага віддається експериментальним [15].

Предметом дослідження є культиватор з тросовим та котковим робочими органами для передпосівної обробки ґрунту.

Метою проведення експериментальних досліджень є:

- порівняльна оцінка якісних показників обробітку ґрунту після проходу агрегатів з традиційними та експериментальними робочими органами [19];
- визначення впливу якості передпосівної обробки ґрунту на розвиток та врожайність сільськогосподарських культур;
- порівняльна оцінка тягових характеристик традиційних та експериментальних робочих органів [19].

Завданням експериментальних досліджень щодо процесу поверхневого обробітку ґрунту культиватором з тросовим і котковим робочими органами є:

- проведення оцінки якісних показників обробітку ґрунту: структурного складу ґрунту, вологості поверхневого шару, гребнистості, ступеня підрізання та приживання бур'янів – до та після проходу агрегатів;
- проведення досліджень тягових характеристик традиційних та експериментальних робочих органів.

3.2 Експериментальна установка

На підставі проведених теоретичних досліджень з обґрунтованими конструктивними параметрами була виготовлена експериментальна установка (рис. 3.1) на рамі модуля культиватора КУБМ-14,7 і представлена як один із можливих варіантів змінних модулів [8].

Рисунок 3.1 – Експериментальна установка

Експериментальна установка (рис. 3.2) складається з рами 1, на якій закріплені три спеціальні стойки: дві крайні 12 і одна центральна 14. Робочим органом, що підрізає, є трос 13, який натягнутий між цими стойками через напрямні ролики. На крайніх стойках (рис. 3.3) за наральниками 5 встановлені ролики 1, що обертаються в горизонтальній площині, і бічні ролики 2. На центральній стойці встановлений один горизонтальний ролик. Натяг троса забезпечується пружинно-гвинтовим пристроєм 4.

Позаду тросового робочого органу встановлено двобарабанний планчатий коток (рис. 3.4), що забезпечує суцільну обробку по ширині захвату модуля. Коток складається з внутрішнього барабана 1, який з'єднаний з рамою 4 культиватора шарнірно-повідковим пристроєм 2, забезпеченим пружинним довантажувачем 3. Цей барабан 1 розміщений у внутрішній порожнині зовнішнього барабана 5, з яким не має жорсткого кінематичного зв'язку.

1 – рама; 2 –повідковий пристрій; 3 – зовнішній барабан; 4 – внутрішній барабан;
5 – планка зовнішнього барабана; 6 – бічний диск зовнішнього барабана;
7 – планка внутрішнього барабана; 8 – вісь; 9 – підшипник; 10 – бічний диск
внутрішнього барабана; 11 – шплінтове з'єднання; 12 – крайня стойка з
наральником; 13 – трос; 14 – центральна стойка з наральником

Рисунок 3.2 – Схема культиватора з тросовим та котковим робочими
органами

1 – горизонтальний ролик; 2 – бічний ролик; 3 – трос; 4 – пружинно-
гвинтовий пристрій; 5 – стойка; 6 – наральник

Рисунок 3.3 – Схема кріплення троса на крайній стойці

1 – внутрішній барабан; 2 – шарнірно-поводковий пристрій; 3 – довантажувач; 4 – рама; 5 – зовнішній барабан; 6 – планка зовнішнього барабана; 7 – планка внутрішнього барабана

Рисунок 3.4 – Двобарабанний планчатий коток (вид збоку)

Робочі поверхні обох барабанів утворені планками 6 і 7 жорстко закріпленими в бічних дисках. Діаметр бічних дисків внутрішнього барабана 1 більше діаметра робочої поверхні, утвореної планками 7, а у зовнішнього барабана 5 – навпаки. Така конструкція забезпечує стійке обертання обох барабанів у процесі роботи та самоочищення котка в процесі роботи.

Загальний вид модуля експериментального культиватора представлений на рисунку 3.5.

Рисунок 3.5. – Загальний вид експериментальної установки

Технологічний процес роботи культиватора (рис.3.6). При русі агрегату тросовий робочий орган підрізає оброблюваний шар ґрунту на встановленій глибині без суттєвого розпушування його з повним знищенням бур'янів і без винесення на поверхню вологих шарів ґрунту.

a – вид зверху

б – вид збоку

Рисунок 3.6. – Технологічний процес роботи культиватора

Двобарабанний планчатий коток, що йде слідом, планками зовнішнього барабана ущільнює передпосівний шар ґрунту і руйнує великі ґрунтові грудки. Грудки ґрунту, що пройшли між планками всередину катка, потрапляють під вплив планок внутрішнього барабана. Подрібнений таким чином ґрунт викидається на поверхню поля, створюючи розпушений мульчуючий шар. Тим самим створюється необхідна диференціація посівного шару за щільністю та структурним складом із збереженням ґрунтової вологи.

3.3 Порівняльна оцінка якісних показників обробки ґрунту

До і після обробки поля агрегатами з традиційними та експериментальними робочими органами проводилося визначення структурного складу, вологості, гребнистості та засміченості бур'яном. Методика визначення цих показників наведена нижче.

Структурний склад ґрунту визначався сухим просіюванням за методу Н.І. Саввінова [15]. Проби ґрунту масою 1,5-2,0 кг просіювали через колонку сит з діаметром отворів: 10; 7; 5; 3; 2мм. На нижнє сито одягли піддон. Після просіювання агрегати, що залишилися на кожному ситі, зважували та визначали вміст кожної фракції у відсотках до маси ґрунту, взятого для просіювання. Повторність у кожному варіанті триразова.

Вологість ґрунту оцінювалася ваговим методом. Проби ґрунту відбиралися рівномірно по ширині захвату агрегату через 10 см з поверхневого шару спеціальним голчастим буром, занурюючи його в ґрунт на глибину від 0 до 5 см. Вилучений ґрунт поміщали в попередньо зважені стаканчики, які зважували з точністю до 0,01 г. Потім стаканчики з ґрунтом сушили до постійної маси при температурі 105 °С протягом 6 годин, після чого знову зважували.

Вологість ґрунту (B_0 , %) визначали за формулою:

$$B_0 = \frac{B_1 - B_2}{B_2 - B} 100, \quad (3.1)$$

де B – маса алюмінієвого стаканчика, г;

B_1 – маса стаканчика з ґрунтом до сушіння, г;

B_2 – маса стаканчика із сухим ґрунтом, г.

Гребнистість поля визначали профілемером до і після проходу агрегатів у триразовій повторності. Двометрову рейку розміщували впоперек проходу агрегатів і заміряли відстані від поверхні поля до рейки через кожні 10 см.

За отриманими даними визначали середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

де X_i – результати вимірів; X_{cp} – середнє значення; n – кількість вимірів.

Засміченість поля бур'яном визначали кількісним методом до обробки, ступінь підрізування бур'янів встановлювали через сім днів після обробки. Цей метод дозволяє отримати відомості не тільки про видовий склад бур'янів, а й про їх кількість на одиницю площі. Для цього по діагоналі ділянки через рівномірні проміжки на поверхню ґрунту накладали рамку площею 1 м² і в межах рамки підраховували загальну кількість бур'янів, виділяючи малолітні та багаторічні. Повторення на кожній ділянці триразова. Крім того, серед цих груп визначали число одно-і дводольних бур'янів.

Облік урожайності ріпаку проводили по зеленій та сухій масі. Зелену масу враховували зважуванням урожаю, зібраного в межах рамки площею 1 м² з кожної ділянки у триразовій повторності. Потім оформляли зелену масу в снопи і, після висушування в добре провітрюваному приміщенні до повітряно-сухого стану, знову зважували для визначення врожайності сіна/

3.4. Порівняльна оцінка тягових опорів агрегатів з традиційними та експериментальними робочими органами

Випробування щодо порівняльної оцінки тягових опорів агрегатів з традиційним та експериментальним культиватором проводилися за ДСТУ 20915-2011. Визначали характеристику поля (схил, засміченість ґрунту пожнивними залишками), характеристику ґрунту (агрегатний склад, вологість, твердість, щільність) [14].

Схил поля визначали нівеліром способом квадратів. Намітивши базову лінію на ділянці випробувань за допомогою теодоліту та вимірювальної лінійки розбили від базової лінії квадрати розміром 40×40 м. Кутові точки квадратів пронумерували, рівень яких виміряли нівеліром.

Забрудненість ґрунту рослинними рештками (стернею, пожнивними рештками, кореневищами та висохлими бур'янами) вимірювали на п'яти дослідних ділянках, розташованих на однаковій відстані по діагоналі дослідних ділянок. Розмір дослідних ділянок становив 1x1 м. На виділених ділянках з

верхнього шару ґрунту (на глибину обробітку) знімали пожнивні рештки та зважували їх, розраховували середню масу пожнивних решток на м².

Для визначення зв'язного складу ґрунту було відібрано п'ять зразків ґрунту масою не менше 0,5 кг кожен по діагоналі з шару, що відповідає робочій глибині культиватора. Зразки висушували на повітрі, зважували і поміщали на сито з отворами 25 мм. Після просіювання вміст сит зважували і визначали масову частку грубих зерен у зразках.

Зразки вологи відбирали зі стінок ґрунтових розрізів у п'яти місцях на глибині 0-5 см і 5-10 см. Пробірки з ґрунтом закривали кришками, нумерували і зважували, поміщали у відкриту сушильну шафу для сушіння протягом 6-8 годин при температурі 105°C і знову зважували. Абсолютну вологість ґрунту визначали за формулою (3.3).

Твердість ґрунту вимірювали на глибині 10 см за допомогою твердоміра в точці вимірювання вологості. Твердість визначалася за наступним рівнянням:

$$P_{\text{гр}} = \frac{h_{\text{сер}} a_{\text{п}}}{10 S_{\text{п}}} \quad (3.3)$$

де $h_{\text{сер}}$ – середнє значення по вертикальній осі діаграми твердості, см;

$a_{\text{п}}$ – коефіцієнт жорсткості пружини, кг/см;

$S_{\text{п}}$ – площа поперечного перерізу плунжера, см².

Середня поздовжня вісь визначалася шляхом вимірювання серії поздовжніх осей через кожні 1 см довжини ділянки та обчислення середнього значення.

Зразки для визначення об'ємної маси (щільності) ґрунту відбирали в п'яти точках по діагоналі ділянки на глибину 10 см. Циліндри з ґрунтом висушували до постійної маси при температурі 105 °С. Об'єм (см³) ґрунту, що містить непорушені домішки в циліндрі $V_{\text{гр}}$, розраховували за наступним рівнянням:

$$V_{\text{гр}} = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (3.4)$$

де d – діаметр циліндра, см;

h – висота ґрунту в стакані, см.

Об'ємну масу ρ , г/см³ визначали за формулою:

$$\rho = \frac{m_{\Pi}}{V_{\Gamma P}}. \quad (3.5)$$

Крім стандартних показників, були визначені значення профілю поверхні поля (поперечного та поздовжнього), рівномірності обробітку поля за глибиною та стану ґрунтових грудок до і після обробітку традиційним чизельним культиватором та культиватором з тросовими та котковими робочими органами.

Визначення показників енергетичної оцінки полягало у порівняльній оцінці тягового зусилля експериментального культиватора з тросовим та котковим робочими органами та традиційного культиватора при суцільній обробці ґрунту. Ці показники визначалися за допомогою універсального переносного багатоканального вимірювально-обчислювального комплексу МІС-400D, оснащеного програмним забезпеченням для запису та обробки вимірювальної інформації.

Оцінка тягових опорів окремих робочих органів виконувалась у наступній послідовності.

1. Визначення зусилля на перекочування агрегату з культиватором в транспортному положенні.

2. Визначення тягового опору при виконанні суцільної обробки експериментальним культиватором у повній комплектації (тросовий робочий орган з планчатим котком).

3. Визначення тягового опору при виконанні суцільної обробки тросовим робочим органом без катка.

4. Визначення тягового опору під час обробки без тросового робочого органу.

5. Визначення тягового опору при виконанні суцільної обробки традиційним культиватором.

Кожен варіант виконувався чотириразової повторності.

Тяговий опір кожного із зазначених варіантів визначався як різниця значень тягового опору попереднього варіанту і наступного:

$$R = R_i - R_{i+1}, \quad (3.6)$$

де R_i – тяговий опір попереднього варіанту;

R_{i+1} – тяговий опір наступного варіанту.

Під час випробувань обчислювали поступальну швидкість руху агрегату V . Для цього заміряли час проходження ним гону завдовжки 40 м. Значення швидкості визначали за формулою:

$$V = \frac{S}{t}, \quad (3.7)$$

де S – довжина шляху, пройденого агрегатом, м; t – час вимірювання, с.

Висновки. Визначені методики експериментальних досліджень за якими проводилися дослідження.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Вплив тросового та коткового робочих органів на структурний склад та гребнистість поверхні поля

Структура є фундаментальною властивістю ґрунтів, оскільки впливає на їхні екологічні та продуктивні функції [14].

Результати дослідження показали, що структурно-агрегатний склад ґрунтів змінювався залежно від способу поверхневого обробітку. Порівняльна оцінка структурного складу ґрунтів за різних способів обробки наведена на **рисунку Б.1.**

Як традиційний використовувався культиватор КПЕ-3,8, оснащений робочими органами для передпосівної обробки ґрунту з кутом кришення 12-18°.

До боронування 37,6% поверхневого шару на глибині 10 см мали глибоку структуру (агрегати розміром більше 10 мм). Після обробітку боронуванням частка таких агрегатів зросла до 45,8%.

Таблиця 4.1 – Вплив обробки ґрунту на його структурний склад

Вид обробки	Вміст фракцій, %					
	> 10мм	7-10мм	5-7мм	3-5мм	2-3мм	> 2мм
До обробки	37,6	6,5	7,7	9,5	28,4	10,3
Традиційна культивуація з боронуванням	45,5	3,8	5,6	9,3	27,3	8,1
Культивуація експериментальною установкою	28,8	7,5	15,1	36,4	9,5	3,1
Традиційна культивуація з експериментальним котком	28,2	5,9	6,8	20,8	30,3	8,0

Після проходу тросового та коткового робочих органів і традиційного культиватора, оснащеного експериментальним котком, відсоток агрегатів більше 10 мм значно зменшився до 28,2-28,4 %, і грудки ґрунту розміром більше 50 мм взагалі не були виявлені. Майже половину загального об'єму зразка займали

агрегати розміром 2-5 мм. Таким чином, виконується умова В. В. Медведєва про те, що «розмір ґрунтових агрегатів, які переважають в посівному шарі, приблизно відповідає розміру висіяного насіння» [4].

Оранка експериментальним культиватором з тросовими та котковими робочими органами забезпечує більш рівну поверхню поля порівняно з традиційними методами обробки. Хороші результати також були отримані при використанні експериментального двобарабанного пластинчатого котка після звичайного культиватора (табл. 4.2, рис. 4.1). Це означає, що стандартне відхилення нерівностей поверхні поля після обробки експериментальними котками становило 1,6-1,7 см, що на 37% менше, ніж при оранці бороною.

Таблиця 4.2 – Гребнистість поверхні поля

Вид обробки	Середньоквадратичне відхилення, σ , см
Традиційна культивація з боронуванням	2,7
Культивація експериментальною установкою	1,6
Традиційна культивація з експериментальним котком	1,7

a

б

в

Рисунок 4.1 – Гребнистість поверхні поля: *a* – культивація традиційним культиватором із боронуванням; *б* – культивація експериментальною установкою; *в* – культивація традиційним культиватором із експериментальним катком

4.2 Вплив різних способів обробки на засміченість

Передпосівний обробіток ґрунту повинен повністю знищити бур'яни і зменшити їх шанси на виживання, що є одним з найважливіших показників ефективності передпосівного обробітку ґрунту.

Кількість бур'янів на 1 м² відразу після обробки та через 7 днів після обробки (табл. 4.3).

Повне знищення бур'янів в більшій або меншій мірі забезпечували всі культиватори, що приймали участь в експерименті. Через сім днів на ділянках, оброблених традиційними методами, було 5,3 бур'янів/м², тоді як на ділянках, оброблених експериментальним агрегатом у поєднанні зі звичайним культиватором та експериментальним котком, було лише 1,0-1,3 бур'янів/м².

Таблиця 4.3 – Вплив способів передпосівної підготовки ґрунту на забур'яненість посівів

Вид обробки	Кількість бур'янів на 1 см ²	
	відразу після обробки	через 7 днів після обробки
Традиційна культивуація з боронуванням	0,5	5,3
Культивуація експериментальною установкою	0	1,0
Традиційна культивуація з експериментальним котком	0,1	1,3

На відміну від універсальної стрілчастої лапи, тросовий робочий орган знищує бур'яни шляхом «вичісування», а не підрізання. Конструкція експериментального котка також дозволяє більш ефективно викидати бур'яни на поверхню поля, де вони гинуть (рис. 4.2). Таким чином, комбінація тросового та коткового робочих органів знижує рівень виживання бур'янів майже до нуля. Крім того, коли експериментальний коток використовується після звичайного культиватора, виживання бур'янів значно знижується, оскільки бур'яни видаляються з поверхні поля планками зовнішнього котка.

Рисунок 4.2 – Винесення бур'янів на поверхню під час обробки експериментальною установкою

4.3. Вплив передпосівної обробки на вологість поверхневих шарів ґрунту

Згідно з агротехнічними вимогами, передпосівна обробка ґрунту повинна забезпечити розпушення шару ґрунту перед посівом і повне очищення від бур'янів без винесення вологого шару ґрунту на поверхню поля. Однак універсальні стрілчасті лапи, що встановлюються на звичайні культиватори, не в повній мірі задовольняють вимогу видалення вологого шару ґрунту на поверхню поля через досить широкі елементи кріплення лап до стійок і велику ширину стійок.

Запропонований тросовий культиватор виконує суцільний обробіток ґрунту без зняття вологого шару ґрунту на поверхню поля, за винятком смуги вздовж колії стійки біля борони.

Вологоутримання ґрунту оцінювали гравіметричним методом. Зразки ґрунту відбирали з поверхневого шару (на глибину 5 см) рівномірно по ширині захвату до і після проходу агрегату. Середні значення поверхневої вологості для різних способів обробки ґрунту наведені в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Вплив способів передпосівної підготовки ґрунту на поверхневу вологість ґрунту

Вид обробки	Середні значення вологості поверхневого шару ґрунту, %
До обробки	9,6
Традиційна культивуація з боронуванням	19,7
Культивуація з експериментальною установкою	15,1
Традиційна культивуація з експериментальним котком	18,0

Дослідження показують, що після проходження через експериментальний агрегат вологість поверхневого шару ґрунту суттєво зростає лише після стопок (до 20-21%), тоді як між стойками вона залишається майже такою ж, як і до обробки (9-10%). Таким чином, середня вологість поверхневого шару ґрунту після оранки експериментальним культиватором значно нижча (15,1%), ніж після оранки звичайним культиватором (19,7%) (рис. Б.2).

4.4 Оцінка енергетичних показників роботи культиватора з тросовими та котковими робочими органами

Метою даного випробування була порівняльна оцінка тягового опору експериментального культиватора з тросовим і котковим робочими органами та традиційного культиватора при суцільній обробці ґрунту.

Характеристику ділянки проведення випробувань наведено у таблиці 4.5.

В експерименті використовувався універсальний переносний багатоканальний вимірювально-обчислювальний комплекс МІС-400D з тензометричною ланкою Т-5, оснащений програмним забезпеченням для запису та обробки вимірювальної інформації (рис. Б.3).

У процесі експерименту були визначені горизонтальні складові тягового опору при переміщенні укомплектованого експериментального культиватора в транспортному положенні і при суцільній обробці культиватором у різній комплектації при встановленій глибині обробки 5 см та швидкості руху агрегату 2,8 м/с.

Таблиця 4.5 – Показники агрофону ділянки проведення випробувань

Показник	Середні значення
Схил поля, град.	1
Профіль поля поперечний/поздовжній, см	1,35/0,93
Засміченість ґрунту пожнивними залишками, г/м ²	340,2
Масова частка фракцій (0-10 см): до 25 мм/більше 25мм, %	47,4/52,6
Вологість ґрунту (0-10 см), %	10,9
Твердість ґрунту (0-5/5-10 см), кг/см ²	7,3/21,2

Експеримент проводився за наступною схемою (рис. 4.3):

1) переміщення укомплектованого експериментального культиватора в транспортному положенні;

2) виконання суцільної обробки експериментальним культиватором у повній комплектації (тросовий робочий орган з планчатим котком), ширина захвату 1 м (рис. 4.3 *а*);

3) виконання суцільної обробки тросовим робочим органом без котка, ширина захвату 1 м (рис. 4.6, *б*);

4) виконання суцільної обробки п'ятьма розпушувальними робочими органами, ширина захвату 1 м (рис. 4.ц, *в*).

*а**б**в*

Рисунок 4.3 – Варіанти експерименту: *а* – укомплектований експериментальний культиватор; *б* – тросовий робочий орган; *в* – розпушувальні робочі органи, ширина захвату 1 м

Переобладнання культиватора для отримання різних варіантів експерименту здійснювалося безпосередньо в польових умовах. Процес проведення експерименту представлений на рисунку 4.4.

Рисунок 4.4 – Процес енергетичної оцінки

Тяговий опір при суцільній обробці традиційним культиватором (4,29 кН) більше, ніж при обробці експериментальним культивуванням (3,36 кН) на 21,7%. Це спричиняє зниження енергетичних витрат і дозволяє очікувати на економічну ефективність експериментального культиватора.

Вибрана схема експерименту дозволяє визначити значення тягових опорів, що припадають на тросовий та котковий робочі органи окремо, шляхом віднімання відповідних значень.

Так, за даними експерименту на тросовий робочий орган припадає 2,64кН. На котковий робочий орган (різниця між другим і третім варіантами) припадає 0,72 кН.

Розбіжність теоретичних та експериментальних даних знаходиться у допустимих межах – 10 % (рис. Б.4).

Висновки:

1. При роботі культиватора відзначається високий ступінь кришення брил та повне самоочищення котка за рахунок взаємодії планок зовнішнього та внутрішнього барабанів. Бур'яни витягується з коренем тросовим робочим органом і планками котка виноситься на поверхню поля.

3. Культиватор з тросовим та котковим робочими органами забезпечує одержання якісного структурного складу посівного шару ґрунту. З отриманням агрегатів понад 10 мм становило 28,4 % від загального обсягу проби, причому спостерігається повна відсутність грудок ґрунту понад 50 мм. Отримання агрегатів розміром 2-5 мм, порівнянним із середнім розміром насіння, склало 45,9%.

4. Експериментальний культиватор створив більш рівну поверхню поля, ніж традиційний. Середньоквадратичне відхилення нерівностей поверхні поля після обробки експериментальним культиватором становило 1,7 см, що на 37% менше, ніж гребнистість поля після звичайної обробки.

5. Комбінація тросового та коткового робочих органів забезпечує повне знищення бур'янів по всій ширині захвату і зводить приживання бур'янів практично до нуля.

6. Застосування тросового робочого органу в передпосівній обробці ґрунту забезпечує максимальне збереження ґрунтової вологи. Середнє значення вологості поверхневого шару ґрунту після обробки експериментальним культиватором значно менше (15,1%), ніж після обробки традиційним (19,7%).

7. Тяговий опір при суцільній обробці експериментальним культиватором менше (3,36 кН), ніж при обробці традиційним культиватором (4,29 кН) на 21,7%.

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Екологічна експертиза

Екологічна експертиза — це комплексний аналіз технологій, матеріалів, устаткування, техніки, проектів, планів, прогнозів та іншої документації, аналіз та оцінка результатів запланованої або існуючої господарської діяльності, що чинить чи може чинити негативний вплив на навколишнє природне середовище, який проводять висококваліфіковані спеціалісти-експерти для визначення відповідності поданих матеріалів чинному законодавству і розробки конструктивних пропозицій щодо охорони навколишнього середовища. [18].

Спрямована екологічна експертиза на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам та вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Проведення екологічної експертизи передбачено Законом України «Про оцінку впливу на довкілля» від 2017 р. [18].

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Основними завданнями екологічної експертизи є:

- 1) визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;
- 2) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;
- 3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил;
- 4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан

навколишнього природного середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів;

5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього середовища і здоров'я людей;

6) підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Об'єктами екологічної експертизи є: проекти законодавчих та інших нормативно-правових актів, передпроектні, проектні матеріали, документація по впровадженню нової техніки, технологій, матеріалів, речовин, продукції, реалізація яких може призвести до порушення екологічних нормативів, негативного впливу на стан навколишнього природного середовища, створення загрози здоров'ю людей.

Екологічній експертизі можуть підлягати екологічні ситуації, що склалися в окремих населених пунктах і регіонах, а також діючі об'єкти та комплекси, що мають значний негативний вплив на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей.

Для забезпечення екологічності при проведенні польових робіт необхідно дотримуватися наступних заходів:

- при виконанні польових робіт використовують техніку з мінімальним тиском на ґрунт;

- впроваджувати високу культуру землеробства особливо обробіток ґрунту з метою зменшення хімічного захисту рослин;

- запроваджувати смугове внесення гербіцидів і пестицидів;

- виключати приготування розчинів отрутохімікатів на краю поля, а не в спеціально відведених місцях і обладнати агрегати для внесення спеціальними відсікачами;

- застосовувати біологічні методи боротьби з шкідниками та хворобами рослин;

- проводити культурно-технічні роботи по попередженню водної і повітряної ерозії;

- обладнати всі агрегати по внесенню розчинів гербіцидів, отрутохімікатів пристроями, що запобігають розливанню розчинів на ґрунт;
- обладнати в тракторній бригаді мийну установку з масловловлюючим та зворотнім постачанням води;
- забезпечувати справність приладів систем живлення двигунів тракторів та інших самохідних машин для запобігання перевитрат палива та енергії;
- заробляти в ґрунт поживні речовини рештки рослин для підтримання рівня родючості ґрунту;
- заправляти МТА паливно-мастильними матеріалами лише закритим способом;
- організувати збирання відпрацьованих нафтопродуктів та відправлення їх на регенерацію;
- обладнати об'єкти ТО та ремонту вентиляцією з пиловловлювачами.

5.2 Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних та оздоровчих заходів, що ґрунтуються на наукових даних і забезпечують збереження здоров'я та працездатності людини в процесі виробничої діяльності [17].

Основна мета охорони праці – створення здорових і безпечних умов праці у виробничих комплексах.

Умови праці сільського механізатора навіть протягом однієї робочої зміни можуть різко і зненацька змінюватися через випадання опадів, зміни температури, швидкості вітру і т.д. Тракторні агрегати і самохідні машини часто доводиться переміщати на великі відстані по бездоріжжю, різко пересіченій місцевості. Усе це при недотриманні правил і інструкцій з охорони праці може привести до нещасних випадків.

Розглянемо вимоги безпеки до технічного стану сільськогосподарських машин та при виконанні робіт комбінованим агрегатом.

Вимоги безпеки праці до технічного стану машин

Трактор, комбайн, автомобіль і кожна сільськогосподарська машина, що призначена для роботи, повинна бути справною і цілком укомплектованою, включаючи набір інструментів, пристосувань і медичної аптечки, відповідно до вимог охорони праці.

Перед роботою в пожежонебезпечних місцях на випускні труби двигунів потрібно встановити іскрогасники і обладнати агрегати засобами гасіння пожежі: металевими лопатами, ручними вогнегасниками і т.д. Не можна використовувати машини, що мають підтікання масла і палива.

Місця, де можливе травмування, називають небезпечними зонами машин. Щоб виключити травматизм, усі небезпечні зони закривають (де можливо) захисними огороженнями стандартного типу.

Усі машини перед роботою потрібно обкатувати. Справність механізмів тракторів, комбайнів і автомобілів (рульового керування, гальма, ходової частини, зчеплення, коробки передач, навісної системи, причіпного пристрою, систем сигналізації і освітлення) – необхідна умова безпечної роботи.

При нормальному вільному ході рульового колеса рульовий механізм повинний легко забезпечувати поворот машини в обидва боки.

Вільний і повний хід гальмівних педалей у машин повинний бути в межах, рекомендованих заводами-виготовлювачами. Ліві і праві гальма всіх колісних машин повинні діяти однаково; педалі легко блокуватися і надійно утримуватися у включеному стані засувкою, гребінкою (гірським гальмом). Шлях гальмування колісного трактора на сухій рівній бетонованій дорозі при швидкості руху 20 км/год (5,5 м/с) і масі агрегату до 4 т допускається до 6 м, а при масі понад 4 т – до 6,5 м.

У тракторних вантажних візків (причепів) повинне бути гальмо з приводом із кабіни водія. Незагальмований причіп великої маси може змусити рухатися навіть загальмований трактор і перекинути його.

Гальмівний шлях комбайна при русі по твердому ґрунті з максимальною швидкістю не повинний бути більш 8 м.

Під час руху машини гальма не повинні нагріватися і при гальмуванні заклинювати.

Техніка безпеки при виконанні робіт комбінованим агрегатом

1. Забороняється знаходитись під час роботи попереду агрегату, сидіти на рамі та інших частинах агрегату.
 2. Під час роботи агрегату забороняється:
 - проводити регулювання робочих органів;
 - очищувати від залишків ґрунту та технологічних матеріалів робочі органи комбінованого агрегату;
 - сідати в трактор та виходити з нього;
 - змінювати положення робочих органів вручну.
 3. Монтажні роботи, технічне обслуговування агрегату, усунення несправностей необхідно проводити при зупиненому двигуні.
 4. Забороняється знаходитись між трактором і агрегатом під час його монтажу на гідронавіску трактора.
 5. Транспортування агрегату на великі відстані необхідно проводити тільки при позначені габаритів агрегату відповідними знаками, які передбачені Правилами дорожнього руху.
 6. Вимоги безпеки при підготовці комбінованого агрегату для передпосівної обробки ґрунту:
 - до роботи з агрегатом допускаються особи, які ознайомлені з будовою агрегату, його регулюваннями і організацією проведення робіт;
 - підняти агрегат у зборі, забрати підпірки й оглянути весь агрегат.
 - заїхати на регульовальний майданчик, відкинути підставки, опустити агрегат на опорні колеса.
 - установити підпірки таким чином, щоб вони торкалися майданчика, при цьому агрегат ними підтримується.
 - установити глибину заглиблення культиватора.
- Перед виїздом із регульовального майданчика переконатися, що в зоні маневрування немає сторонніх і об'єктів, що заважають руху.

Отже, дотримання вимог безпеки при роботі з технічними засобами дозволить уникнути травматизму.

5.3 Економічна ефективність розробки

Економічну оцінку експериментального культиватора проведено в порівнянні машино-тракторних агрегатів:

- базовий МТЗ-80.1+КПС-4 та проектний в складі трактора МТЗ-80.1 і експериментального комбінованого культиватора.

Балансова вартість базового варіанту складе 380000 грн; балансова вартість проектного варіанту складе 350000 грн.

По даним розрахунку операційної карти, продуктивність агрегату за годину робочої зміни складе:

$$W_{\text{год.}}^{\text{б}} = 1,8 \text{ га/год.},$$

$$W_{\text{год.}}^{\text{п}} = 1,8 \text{ га/год.}$$

Збільшення продуктивності досягнуто за рахунок покращення тягово-швидкісних характеристик машино-тракторного агрегату.

Тоді змінна продуктивності агрегату складатиме:

$$W_{\text{зм.}}^{\text{б}} = 1,8 \cdot 7 = 12,6 \text{ га/зм.},$$

$$W_{\text{зм.}}^{\text{п}} = 1,8 \cdot 7 = 12,6 \text{ га/зм.}$$

Витрати праці на одиницю роботи підрозділу визначають за формулою [9]:

$$B = \frac{mT_{\text{зм}}}{W_{\text{зм}}} \text{ люд}\cdot\text{год/га}, \quad (5.1)$$

де m – кількість механізаторів, чол.;

$T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год.

$$B^{\text{б}} = \frac{1 \cdot 7}{12,6} = 0,56 \text{ люд}\cdot\text{год/га},$$

$$B^{\text{п}} = \frac{1 \cdot 7}{12,6} = 0,56 \text{ люд}\cdot\text{год/га}.$$

Нормативне завантаження агрегату визначається за формулою:

$$T_{\text{н}} = \frac{W_{\text{р}}}{W_{\text{год}}}, \text{ га}, \quad (5.2)$$

де $W_{\text{р}}$ – річна продуктивність агрегату, га.

$$T_{\text{н}}^{\text{б}} = \frac{285}{1,8} = 158,33 \text{ га},$$

$$T_{\text{н}}^{\text{п}} = \frac{285}{1,8} = 158,33 \text{ га}.$$

Нормативні витрати на ТО, ПР, КР, зберігання визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ні}} = \frac{Б \cdot 9,7\%}{T_{\text{н}} W_{\text{год}} 100} \text{ грн/га}, \quad (5.3)$$

$$T_{\text{ні}}^{\text{н}} = \frac{350000 \cdot 9,7}{158,33 \cdot 1,8 \cdot 100} = 119,1 \text{ грн/га}$$

Визначаємо експлуатаційні витрати по формулі [9]:

$$V_{\Sigma e} = Z_{\text{п}} + G_{\text{пмм}} + T_{\text{н}}, \text{ грн/га} \quad (5.4)$$

де $Z_{\text{п}}$ – заробітна плата з нарахуваннями, грн/га;

A_i – амортизаційні відрахування, грн/га;

$G_{\text{пмм}}$ – витрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га;

$T_{\text{п}}$ – витрати на ТО, ПР, КР і зберігання, грн/га

Визначаємо заробітну платню по формулі:

$$Z_{\text{п}} = \frac{T_c \cdot 1,2 \cdot 1,375}{W_{\text{год}}}, \text{ грн/га} \quad (5.5)$$

де T_c – тарифна ставка, грн,год;

1,2 – коефіцієнт, що враховує розмір додаткової оплати до основної;

1,375 – коефіцієнт, що враховує розмір відрахувань на соціальне страхування.

Тарифна ставка по оплаті праці складе:

$$T_c = \frac{W_{\text{ф}} \cdot S_{\text{н}}}{W_{\text{н}}}, \text{ грн} \quad (5.6)$$

де $S_{\text{н}}$ – розцінка за норму, $S_{\text{н}} = 750$ грн

$W_{\text{н}}$ – норма змінної продуктивності роботи, га/зм.

$$W_{\text{н}} = 12,6 \text{ га/зм}$$

$$T_c^{\text{б}} = \frac{1,8 \cdot 750}{12,6} = 107,1 \text{ грн}$$

$$T_c^{\text{п}} = \frac{1,8 \cdot 750}{12,6} = 107,1 \text{ грн}$$

$$З_{\Pi}^{\text{Б}} = \frac{107,1 \cdot 1,2 \cdot 1,375}{1,8} = 98,2 \text{ грн/га}$$

$$З_{\Pi}^{\text{П}} = \frac{107,1 \cdot 1,2 \cdot 1,375}{1,8} = 98,2 \text{ грн/га}$$

Визначаємо норму амортизації по формулі:

$$A_i = \frac{Б \cdot a \cdot A_i}{T_{\text{н}} \cdot W_{\text{год}} \cdot 100} \text{ грн/га} \quad (5.7)$$

де A_i – норма відрахувань на амортизацію, %.

$$A_{\text{I}}^{\text{Б}} = \frac{380000 \cdot 15}{158,33 \cdot 1,8 \cdot 100} = 200 \text{ грн/га}$$

$$A_{\text{I}}^{\text{П}} = \frac{350000 \cdot 15}{158,33 \cdot 1,8 \cdot 100} = 184,2 \text{ грн/га}$$

Визначаємо витрати на паливно-мастильні матеріали по формулі:

$$G_{\text{пмм}} = g \cdot C, \text{ грн/га} \quad (5.8)$$

де g – витрати палива на 1 га, кг;

C – комплексна вартість паливно-мастильних матеріалів, грн/кг

Приймаємо $C = 49$ грн/кг.

Із операційно-технологічної карти на культивуацію маємо:

$$g^{\text{б}} = 10 \text{ кг/га}$$

Прогнозуючи зменшення витрати палива проектним трактором на 18 %,

Можна записати:

$$g^{\text{п}} = 10 \cdot 0,82 = 8,2 \text{ кг/га}$$

$$G_{\text{пмм}}^{\text{б}} = 10 \cdot 49 = 490 \text{ грн/га}$$

$$G_{\text{пмм}}^{\text{п}} = 8,2 \cdot 49 = 401,8 \text{ грн/га}$$

Визначаємо витрати на ТО, поточний ремонт і капітальний ремонт по формулі:

$$T_p = \frac{K \cdot T_{\text{ні}}}{W_{\text{год}}}, \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

де K – коефіцієнт переведення трактора в умовний еталонний трактор.

Приймаємо $K = 0,7$.

$$T_p^{\text{Б}} = \frac{129,3 \cdot 0,7}{1,8} = 50,2 \text{ грн/га}$$

$$T_p^{\text{П}} = \frac{119,1 \cdot 0,7}{1,8} = 46,3 \text{ грн/га}$$

Тоді сумарні експлуатаційні витрати складуть:

$$V_{\Sigma e}^B = 98,2 + 490 + 50,2 = 638,4 \text{ грн/га}$$

$$V_{\Sigma e}^П = 98,2 + 401,8 + 46,3 = 546,3 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на весь обсяг робіт визначаємо по формулі:

$$V_e = V_{se} \cdot W_p, \text{ грн} \quad (5.10)$$

$$V_e^B = 638,4 \cdot 285 = 181944 \text{ грн}$$

$$V_e^П = 546,3 \cdot 285 = 155695,5 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення на 1 га визначаємо по формулі:

$$K_B^B = \frac{B}{W_p}, \text{ грн} \quad (5.11)$$

$$K_B^B = \frac{380000}{285} = 1333,3, \text{ грн}$$

$$K_B^П = \frac{350000}{285} = 1228, \text{ грн}$$

Визначаємо приведені витрати на 1 га по формулі:

$$\Pi_{B1} = V_{\Sigma e} + 0,15 \cdot K_B, \text{ грн} \quad (5.12)$$

$$\Pi_{B1}^B = 638,4 + 0,15 \cdot 1333,3 = 838,39 \text{ грн}$$

$$\Pi_{B1}^П = 546,3 + 0,15 \cdot 1228 = 730,5 \text{ грн}$$

Визначаємо приведені витрати на весь обсяг робіт по формулі:

$$\Pi_{B2} = \Pi_{B1} \cdot W_p, \text{ грн} \quad (5.13)$$

$$\Pi_{B2}^B = 838,39 \cdot 285 = 238941,15 \text{ грн}$$

$$\Pi_{B2}^П = 730,5 \cdot 285 = 208192,5 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект визначаємо по формулі:

$$E_p = \Pi_{B2}^B - \Pi_{B2}^П, \text{ грн} \quad (5.14)$$

$$E_p = (238941,15 - 208192,5) = 30748,65 \text{ грн}$$

Термін окупності допоміжних капіталовкладень визначаємо по формулі:

$$T_{ок} = \frac{S_{заг}}{E_p}, \text{ років} \quad (5.15)$$

де $S_{заг}$ – загальні витрати на запровадження проекту, грн.

$$S_{заг} = (380000 - 350000) = 30000 \text{ грн}$$

$$T_{ок} = \frac{30000}{30748,65} = 0,98 \approx 1 \text{ рік}$$

Таблиця 5.1 – Результати техніко-економічних показників

Показники	Варіант	
	Базовий	Проектний
Об'єм робіт, га	285	285
Годинна продуктивність, га/год	1,8	1,8
Витрата палива на 1 га, кг	10	8,2
Балансова вартість машин, грн	380000	350000
Нормативне навантаження, год	158,33	158,33
Експлуатаційні витрати всього, грн/га	638,4	546,3
-основні і допоміжні, заробітна платня з нарахуваннями, грн/га	98,2	98,2
-амортизація основних засобів, грн/га	200	184,2
-паливо-мастильні матеріали, грн/га	490	401,8
-витрати на ТО, ПР, КР, зберігання, грн/га	50,2	46,3
Капітальні вкладення на 1га, грн	1333,3	1228

Отже, економічні розрахунки показали, що розроблений комбінований культиватор може бути впроваджений. Річний ефект становить 30748,65 грн. Термін окупності допоміжних інвестицій 1 рік.

ВИСНОВКИ

1. Встановлені закономірності тягового опору культиватора з тросовим і котковим робочими органами від його конструктивних параметрів.

На тяговий опір культиватора більшою мірою впливають ширина захвату культиватора, діаметр троса і діаметри барабанів котка. Тяговий опір тросового робочого органу культиватора шириною захвату $b = 2$ м з тросом діаметром d від 1 до 6 мм змінюється від 2,0 до 5,5 кН. Тяговий опір коткового робочого органу культиватора шириною захвату $b = 2$ м з внутрішнім катком діаметром D_{k2} від 0,20 до 0,35 м змінюється від 1,35 до 1,74 кН.

2. При постійній швидкості руху агрегату ($V = 10$ км/год) і глибині обробітки $a = 5$ см експериментальний культиватор забезпечує наступні технологічні і якісні показники:

- якісний структурний склад посівного шару ґрунту: вміст агрегатів більше 10 мм склало 28,4 % від загального об'єму проби, а також спостерігається повна відсутність грудок ґрунту більше 50 мм; вміст агрегатів розміром 2-5 мм склало 45,9%;

- кращу вирівняність поверхні поля в порівнянні з традиційним видом обробки середнє квадратичне відхилення нерівностей після обробки експериментальним культиватором склало 1,7 см, що менше за гребнистості поле після традиційної обробки на 37 %;

- повне знищення бур'янів по усій ширині захвату і виключає їх приживання;

- максимальне збереження ґрунтової вологості: вологість поверхневого шару ґрунту підвищується тільки по сліду стійок, тоді як в проміжках між стійками залишається практично такою ж, як до обробки;

- зниження тягового опору: при обробці експериментальним культиватором тяговий опір склав 3,36 кН, що на 21,7 % нижче, ніж при обробці традиційним культиватором (4,29 кН).

3. Економічні розрахунки довели, що розроблений комбінований культиватор може бути впроваджений у виробництво. Річний ефект становить 30748,65 грн. Термін окупності допоміжних інвестицій – 1 рік.