

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр»  
на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів  
для прикочування ґрунту**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-2-20  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Раєвський Олексій Олегович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Теслюк Геннадій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Поляков Олександр Іванович

Дніпро, 2021



5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. Аналіз (4 аркуша, А4). 2. Теоретичні дослідження (1 аркуш, А4). 3. Експериментальні дослідження (5 аркушів, А4). 4. Економічні показники (1 аркуш, А4). 5. Висновки (2 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
2	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
3	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
4	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
5	Кравець В. В., доцент		
6	Вінніченко І. І., професор		
Нормоконтроль	Волик Б.А., доцент		

7. Дата видачі завдання: \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний		
2	Теоретичний		
3	Експериментальний		
4	Охорона праці		
5	Економічний		
6	Демонстраційна частина		

**Студент**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Раєвський О.О.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Теслюк Г.В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)



## РЕФЕРАТ

Раєвський О. О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів для прикочування ґрунту. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

Вступна частина дипломної роботи містить обґрунтування актуальності теми, сформульовані мета та задачі, приведено методи досліджень. Аналіз агротехнологічних вимог і засобів механізації прикочування ґрунту дозволив обґрунтувати напрямки вирішення поставленої мети та задач. В другому розділі проведено теоретичні дослідження процесу прикочування ґрунту. Визначено розподіл тиску на ґрунт під дією робочих органів для прикочування. В результаті експериментальних досліджень ущільнюючих робочих органів визначено вплив типів котків та режимів їх роботи на щільність ґрунту і диференційований її розподіл в орному горизонті. Досліджено вплив режиму роботи кільчато-зубового (кембриджського) котка на щільність ґрунту, неоднорідність її розподілу в посівному шарі та врожайність вівсяно-горохової суміші. Проведено дослідження охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях під час виконання польових робіт. Виконано економічне обґрунтування розробки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

**Ключові слова:** ґрунт, обробка, котки, робочі органи, конструкція, параметри, дослідження, ефективність

## ЗМІСТ

Вступ .....	8
<b>1 АНАЛІЗ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИМОГ І ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРИКОЧУВАННЯ ҐРУНТУ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Агротехнічні вимоги до технологічних операцій: посіву та прикочування .....	9
1.2 Аналіз засобів механізації прикочування ґрунту .....	14
1.3 Мета і задачі досліджень .....	20
1.4 Висновки з розділу .....	21
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИКОЧУВАННЯ ҐРУНТУ.....</b>	<b>22</b>
2.1 Постановка задачі теоретичних досліджень.....	22
2.2 Визначення розподілу тиску на ґрунт під дією робочих органів для прикочування .....	22
2.3 Визначення щільності ґрунту під робочими органами для прикочування .....	27
2.4 Висновки з розділу .....	32
<b>3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ .....</b>	<b>33</b>
3.1 Методика дослідження впливу різних типів котків на пошарову щільність ґрунту та рівномірність її розподілу в орному горизонті .....	33
3.2 Методика визначення впливу ущільнюючих робочих органів на врожайність сільськогосподарських культур.....	38
<b>4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УЩІЛЬНЮЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ .....</b>	<b>41</b>
4.1 Експериментальні дослідження впливу типів котків та режимів їх роботи на щільність ґрунту і диференційований її розподіл в орному горизонті .....	41
4.2 Дослідження впливу режиму роботи кільчасто-зубового (кембриджського) котка на щільність ґрунту, неоднорідність її розподілу в посівному шарі та врожайність вівсяно-горохової суміші.	54

4.3 Висновки з розділу .....	58
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>59</b>
5.1 Основні проблеми та завдання охорони праці в сучасних умовах...	59
5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при обробці ґрунту та посіві .....	59
5.3 Розробка заходів щодо створення здорових та безпечних умов праці при підготовці поля та посіву .....	61
5.4 Висновки з розділу .....	65
<b>6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>66</b>
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>71</b>
Список використаних джерел .....	73
Додатки .....	82

## ВСТУП

Технології виробництва сільськогосподарської продукції на сьогодні засновані на багаторазових обробках одного поля одноопераційними агрегатами, що негативно впливає ґрунт. Посилюється водна та вітрова ерозії, а також виникає переущільнення нижнього шару ґрунту. Поліпшити ситуацію можна за допомогою комбінованих агрегатів, на яких встановлені нові комплекти багатофункціональних та універсальних робочих органів. В цьому випадку стає можливим виконання всього необхідного комплекту технологічних операцій процесу обробітку ґрунту за один прохід агрегату.

Найважливішою операцією процесу обробітку ґрунту є коткування, при якісній реалізації якого забезпечується підвищення врожайності оброблюваних культур. Його застосовують при обробці всіх типів ґрунтів та у всіх кліматичних зонах країни з метою забезпечення необхідної щільності та структури ґрунту. Прикочування сприяє поліпшенню надходження вологи до насіння, що підвищує схожість і сприяє одночасному появі сходів. Прикочування зменшує втрати вологи, а також прискорює прогрів ґрунту. Однак катки, що застосовуються в даний час, не завжди забезпечують виконання агротехнічних вимог.

Конструкції котків для прикочування ґрунту недосконалі і мають низку недоліків. Зокрема, вони мають велику металомісткість, незадовільно працюють на ґрунтах із підвищеною вологістю, погано кришать грудки ґрунту. Це знижує врожайність оброблюваних культур.

Тому завдання створення ґрунтообробного котка, що забезпечує виконання агротехнічних вимог та підвищення врожайності культурних рослин, є важливим, актуальним і має велике значення для розвитку країни.



# 1 АНАЛІЗ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИМОГ І ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРИКОЧУВАННЯ ҐРУНТУ

## 1.1 Агротехнічні вимоги до технологічних операцій: посіву та прикочування

Урожайність оброблюваних культур залежить від великої кількості факторів, наприклад, від кліматичних умов, виду ґрунту, від якості насіння, а також від технологічних операцій, що проводяться.

Одним із найважливіших факторів одержання високих урожаїв сільськогосподарської продукції є використання застосування якісного посівного матеріалу. До основних посівних якостей насіння відносяться: чистота, схожість, енергія проростання, вологість, маса 1000 насінин, зараженість хворобами та шкідниками [1, 2]. Для отримання хорошого врожаю необхідно, щоб вищезазначені показники насіння задовольняли вимогам відповідних стандартів [3].

Також для отримання хорошого врожаю дуже важливо своєчасно та якісно провести технологічну операцію посіву. Наукові джерела [4, 5, 6, 7, 8, 9] виділяють основні завдання посіву: створення найбільш комфортних умов для проростання насіння та подальшого зростання культурних рослин, а також забезпечення необхідної норми висіву при рівномірному розподілі насіння площею ґрунту.

Посів насіння вище або нижче за норму веде до зниження врожайності: через зайву густоту в першому випадку, через розрідженість у другому. За агротехнічними вимогами допускається відхилення від норми посіву трохи більше 3-х відсотків [10].

Не менш важливу роль при посіві сільськогосподарських культур відіграє глибина закладення насіння, яке також задається агротехнічними вимогами. При зменшенні глибини загорання (порівняно з оптимальною), відбувається розрідженість сходів ярих і вимерзання озимини, перевищення норми глибини

загортання насіння призводить до послаблення рослин. Допускається відхилення від заданої глибини  $\pm 10-15$  відсотків. Відхилення від заданої агротехнічними вимогами глибини посіву на 25-30 відсотків веде до зниження врожайності сільськогосподарських культур, що вирощуються, на 10-25 відсотків, а в посушливі роки – на 30-40 відсотків, а також порушує оптимальні умови проростання насіння [11, 12, 13, 14, 15]. При відхиленні глибини загортання насіння виникає необхідність збільшення норми висіву на 5-10 відсотків через зниження польової схожості насіння або виникнення ослаблених сходів [16].

Дуже важливо проводити посів у оптимальні терміни даної культури у цьому районі [17]. Для нормальної роботи посівного агрегату вологість ґрунту має становити 17-20 відсотків (у шарі ґрунту 0-150 мм) [16].

Якщо вологість перевищує передбачену норму, виконання механізованих робіт ускладнюється. Внаслідок закладення насіння в ґрунт, з недостатньою вологістю, виникає зрідженість посівів.

Посів сільськогосподарських культур, як правило, проводиться в прогрітій ґрунт. У міру зростання температури ґрунту процес проростання насіння відбувається більш активно. Якщо ж ґрунт не прогрітий, активність розвитку паростків є нижчою. Посів зернових: вівса, ячменю, ярої пшениці та ін. починається, як правило, після стійкого прогрівання посівного шару ґрунту до 6-8 градусів Цельсія [18]. Сівбу культур пізнього терміну посіву: соняшнику, квасолі, сої, кукурудзи слід здійснювати, коли температура ґрунту досягає 10-12 градусів Цельсія [19-22].

Таким чином, необхідно, щоб за рахунок реалізації прийомів підготовки ґрунтів перед посівом формувалася температурний режим ґрунту, який є оптимальним для конкретної культури згідно з агровимогами.

Існують такі критерії класифікації способів посіву: розміщення посівного матеріалу у вертикальному напрямку (за площею денної поверхні) та в горизонтальному напрямку (по ширині міжрядь та в рядках).

Такий критерій, як розміщення посівного матеріалу по ширині міжрядь і в рядках, становить основу виділення пунктирного, рядового, квадратно-гніздового,

вужькорядного, гніздового, перехресного, широкорядного та стрічкового способів [23].

Прикочування грає істотну роль при проведенні посівних робіт. Прикочування вкрай важлива технічна операція, що забезпечує підвищення врожайності культур. Застосування прикочування для руйнування грудок ґрунту, ущільнення ґрунту здійснюється в кожній із ґрунтово-кліматичних зон України.

Різні фізико-механічні властивості та особливості вирощування оброблюваних сільськогосподарських культур вимагають індивідуального підходу до застосування ґрунтообробних котків у різних ґрунтово-кліматичних умовах. Так як, наприклад, при ущільненні ґрунту вище допустимої норми для певної сільськогосподарської культури, паростки можуть не пробитися на поверхню ґрунту та гинуть. А на надмірно розпушеному ґрунті, за наявності значних повітряних просторів між камінцями, посіяне насіння не отримує необхідного контакту з ґрунтовим середовищем і також гине.

Щоб успішно керувати процесом обробітку ґрунту, домагаючись успішного результату, необхідне знання окремих факторів, що визначають цей процес.

Як свідчить Д.І. Буров [24-25], процес ущільнення ґрунту полягає в наступному – під катком відбувається формування ущільненої зони. Дана зона захищає верхні ґрунтові шари від вітрової ерозії, забезпечує конденсацію парів води, що піднімаються знизу в процесі охолодження поверхні поля. В результаті коренева система рослин оберігається від вимерзання. Якщо ґрунт ущільнений, протікання ґрунтоутворюваного процесу є сприятливішим як у районах, де зволоження є нормальним, і у посушливих районах.

Значна кількість дослідників вказує [27, 28, 29], що ущільнення ґрунту супроводжується скороченням відстані між твердими частинками. Також відбувається зменшення обсягу пір та збільшення щільності. Наслідком впливу котків на ораний горизонт є утворення ущільненої зони. Спостерігається перехід води з даної зони розташовані нижче шари, внаслідок чого відбувається формування додаткового резерву вологи в зоні, де знаходиться насіння.

Якщо ґрунт є вологим, отже, його пори наповнені водою або парами. Тоді

одночасно з ущільненням ґрунту з нього видаляються вода та повітря. В результаті застосування до ґрунту навантаження в порах відбувається формування додаткового тиску. За рахунок додаткового тиску відбувається переміщення повітря, води в інші шари ґрунту, що зумовлює зростання щільності в зоні, що ущільнюються, і зниження її вологості. Так як ущільненню під дією котків піддається верхній шар ґрунту, то вода з ущільнених верхніх шарів переміщається в розташовані нижче шари орного горизонту.

Фактором, що характеризує ступінь ущільнення, є швидкість, з якою повітря, вода переходять у нижні шари ґрунту із верхніх. У міру того, як зростає навантаження на одиницю площі котків, ущільнення прискорюється. Однак у результаті прикочування ґрунту за допомогою сільськогосподарських котків ущільнення верхнього шару ґрунту не повинно бути надмірним. Частина пір у цьому шарі повинна залишатися вільною. Дані пори будуть згодом насичуватися повітрям і водою, що дозволить ґрунту відновити обсяг, що існував раніше.

При ущільненні верхнього шару ґрунту відбувається зростання кількості вологи, доступної для рослин. Якщо вологість ґрунту становить на глибині 10 см 25 %, а щільність –  $800 \text{ кг/м}^3$ , то величина доступної вологи становить 9,9 мм. У випадку, якщо проводиться ущільнення ґрунту і щільність, що досягається  $1300 \text{ кг/м}^3$  то величина доступної вологи становить 12,4 мм. [30, 31]

Як свідчить А.Н. Гіль [32], процес ущільнення ґрунту прикочуванням котками є одним з найбільш ефективних способів боротьби з бур'янами. На ґрунті сходи бур'янів з'являються набагато раніше зростання культурних рослин. У середньому бур'яни починають сходити на вісім – десять днів раніше, і внаслідок цього вони можуть бути знищені ще до того, як з'являться сходи культурних рослин.

А.О. Лісенковим [34] зазначено, що значний агротехнічний ефект від прикочування ґрунту виникає як у рамках системи підготовки ґрунту до посіву, так і при сівбі, а також при здійсненні догляду щодо культур. Ущільнюючи до посіву пухку ґрунтову поверхню, виробляючи її вирівнювання, можна забезпечити більш рівномірне загортання насіння з погляду глибини. Завдяки

гарному контакту насіння з ґрунтом, створеному прикочуванням, сходи більш ранні та дружні, також на вирівняних і прикатаних площах створюються кращі умови для роботи збиральних машин, оскільки сільськогосподарські агрегати менше піддаються вібрації та динамічним навантаженням.

Н.М. Третьяков [35] вказує, що ущільнення ґрунту за допомогою коткування забезпечує зволоження верхнього шару, яке сприятливо позначається на розвитку процесів мікробіологічного розкладання органічних речовин, в тому числі гною. Виявлено, що після того, як озимі культури багаторічні трави виходять навесні з-під снігового покриву, за рахунок прикочування забезпечується ущільнення ґрунту навколо кореневих систем. В результаті з'являються вторинне коріння, відбувається більш активне кущіння, розвиток протікає інтенсивніше. Утворення вторинного коріння відбувається на вузлах кущіння, найбільш близько розташованих до поверхні ґрунту. Якщо ґрунт є пухким, і контакт кореневої системи рослин із середовищем не є досить активним, втрачається можливість оперативного просихання верхнього шару та утворення вторинних коренів, у тому числі і тоді, коли глибші шари насичені вологою у достатній кількості. Ущільнення ґрунту сприяє підйому у верхні горизонти води з розчиненими в ній солями, що живить кореневі системи.

Як вважає А.С. Роктанен [36, 37], що формується внаслідок осідання ґрунту під його вагою, ущільнення припиняється після того, як досягається «рівноважна шпаруватість». Подібна шпаруватість може відповідати оптимальній шпаруватості або відрізнятись від неї, що обумовлюється погодними умовами та властивими ґрунту особливостями.

Встановлено [38, 39], що відхилення глибини закладення на  $\pm 10$  мм від агротехнічної норми призводить до зниження врожайності приблизно на 11-12 відсотків, а відхилення на  $\pm 25$  мм знижують врожайність на 25-30 відсотків.

Також зазначено [40-43], якісне вирівнювання поверхневого шару ґрунту прискорює появу сходів на 2...3 дні, і збільшується кількість зерен на 7-18 відсотків, втрати зерна за комбайном зменшуються у 4-5 разів. Вирівнювання поверхні дозволяє продовжити термін служби знарядь та машин, а також

підвищити швидкість обробки агрегатів до 30 відсотків.

Прикочування сприяє забезпеченню сприятливого складу ґрунту в гранулометричному відношенні, дозволяє підвищувати щільність, вирівнювати її.

Аналіз наукових публікацій [44, 45], свідчить, що коткування ґрунту одночасно з посівом прискорює момент появи дружних сходів, в середньому, на 1 - 4 дні. Так як при прикочуванні ґрунту підвищується рівномірність загортання насіння з погляду глибини, контакт насіння зі структурними компонентами ґрунту, що покращує режим харчування рослин.

Внаслідок проведення прикочування вологість та температура ґрунту в посівному шарі підвищується [46]. У середньому температура прикоченого ґрунту в шарі до 100 мм вища порівняно з неприкатаним ґрунтом на 1,4 °С. При ущільненні структурні агрегати ґрунту зближуються.

## **1.2 Аналіз засобів механізації прикочування ґрунту**

Технологічну операцію прикочування виробляють за допомогою ґрунтообробних котків, знарядь для прикочування ґрунту, а також комбінованих ґрунтообробних агрегатів, які містять ґрунтообробні котки та інші пристрої.

Ґрунтообробні котки мають схожий характер впливу на ґрунт, проте мають велике різноманіття конструкцій, яке, в першу чергу, зумовлене різницею в їхньому технологічному призначенні.

Ґрунтообробні котки можна класифікувати за шістьма основними ознаками. За конструкцією робочих елементів, за масою, за геометричною формою робочої поверхні, за видом впливу на ґрунт, за способом використання енергії та за принципом руйнування грудок ґрунту.

За конструкцією робочих елементів можна поділити на такі види ґрунтообробних котків: кільчасті, ґратчасті, зубчасті, зірчасті, тросові та спіральні.

Кільчасті котки зазвичай складається з трьох секцій, на кожній секції встановлено пару батарей, які зібрані з окремих дисків, що вільно обертаються на

своїй осі [47-50]. Кільчасті котки діляться на клиноподібні, кільчасто-зубчасті та кільчасто-шпорові.

Клиноподібні котки складаються тільки з дисків з робочою поверхнею клиноподібної форми. Кільчасто-зубчасті котки (рисунок 1.1) складаються з дисків, що чергуються з робочою клиноподібною і зубчастою поверхнею.



Рисунок 1.1 – Коток кільчасто-зубчастий

Кільчасто-шпорові (рисунок 1.2) у свою чергу складаються з дисків, по обіду яких з обох боків рівномірно розміщені клиноподібні шпори.



Рисунок 1.2 – Котки кільчасто-шпорові

«Клиноподібні котки та кільчасто-зубчасті котки застосовують у складі конструкції посівних машин для рядкового прикочування ґрунту при сівбі сільськогосподарських культур» [14] Кільця цих котків ущільнюють підповерхневий шар ґрунту. Однак ґрунтові гребінці, що утворили після обробки

агрегатом, неміцні і швидко обсіпаються в канавки, при цьому утворюється пухкий поверхневий шар гранту. «Кільчасто-шпорові котки застосовують перед посівом для ущільнення ґрунту, розпушування верхнього шару та руйнування ґрунтових грудок» [14].

«Незважаючи на широку популярність даного виду котків, конструкція цих котків має недоліки, до них відносять сильне переущільнення ґрунту кільцями або дисками, що знижує вміст повітря у ґрунті, що негативно позначається на зростанні та розвитку рослин» [51].

Гратчасті котки (рисунок 1.3) складаються з двох основних елементів: дисків, закріплених на осі з можливістю їх обертання, та робочих елементів, які з'єднують ці диски. Гратчасті котки поділяються на три групи, залежно від типу робочих елементів: планчасті, пруткові та сітчасті [52-54].

«За способом розташування робочих елементів гратчасті котки можна розділити на похилі, гвинтові, паралельні, перехресні та v-подібні. Також за способом кріплення та за способом з'єднання робочих елементів решітчасті катки відповідно ділять на жорстко і пружно закріплені і нерухомо і рухомо з'єднані» [55-58]

«Залежно від форми робочих елементів решітчасті котки застосовують для різних видів впливу на ґрунт у складі комбінованого агрегату, таких як фарбування, вирівнювання, поверхнєве розпушування та ущільнення, а також можливе комбінування кількох видів» [59].



**а**



**б**

Рисунок 1.3 – Гратчасті котки: а) з планками; б) з гратчастим полотном



«Головним недоліком решітчастих котків є наступне явище - ґрунтові грудки, що потрапляють між решіт, вилітають із внутрішнього простору котка і залишаються на поверхні ґрунту не зруйнованими» [50].

Конструкція котків зубчастого типу (рисунок 1.4) характеризується наявністю великопрофільного зубчастого заточування, що має хвилеподібну або трикутну форму.

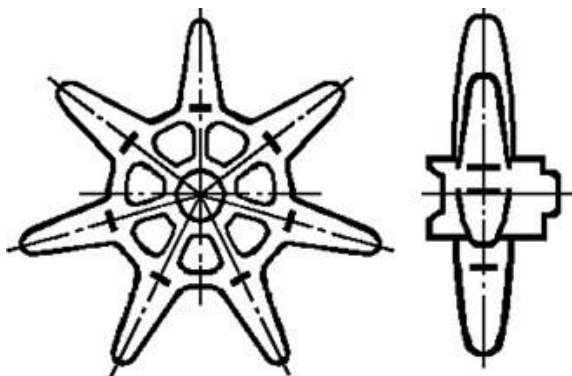


Рисунок 1.4 – Зубчаста котки

Подані на рисунку 1.5 зірчасті та зубчасті котки використовуються для того, щоб обробляти ґрунтову поверхню та якісно руйнувати грудки [60]. Після того, як проведена обробка за допомогою зазначених котків, на поверхні відбувається утворення мульчованого верхнього шару ґрунту, що скорочує обсяг випаровується води. При цьому використання зазначених котків не дозволяє домогтися необхідної щільності ґрунту в зоні, де розташовується насіння. Це призводить до зменшення схожості насіння, і внаслідок до нижчої врожайності.

Тросові котки, (рисунок 1.6) зазвичай складаються з низки дисків, встановлених на осі, і тросів, які пройдені крізь диски. [61]. Диски можуть бути жорстко закріплені на осі або встановлені з можливістю обертання на осі. Тросові котки класифікуються на такі види: з гвинтовою, перехресною та паралельною навивкою троса. Тросові котки використовуються для кришення великих

грунтових грудок, розташованих на поверхні ґрунту. Однак ці котки погано ущільнюють ґрунт, оскільки мають недостатню масу.



Рисунка 1.5 – Зоряні котки

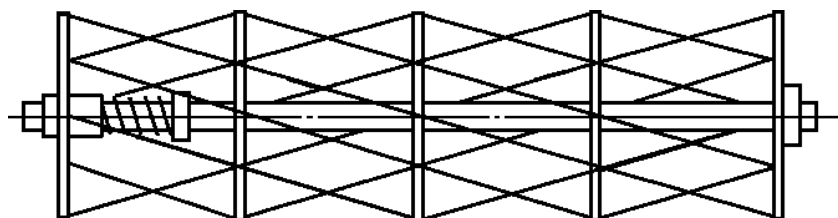


Рисунок 1.6 – Тросові котки

Конструкція спіральних котків (рисунок 1.7) включає диски з спіралями, що розташовуються між ними, форма перерізу яких є різною (прямокутна, трикутна, трапецієподібна, кругла) [63-65].

Навивка може бути спрямована ліворуч, праворуч. Також можливе поєднане виконання навивки. За рахунок застосування даних котків формується верхній пухкий шар, що має дрібногребнистий профіль. Формування подібного шару надає позитивний вплив на якість структурного посівного шару. Але дана конструкція не дозволяє досягти оптимального значення щільності ґрунту та його рівномірності за площею поля.

За геометричною формою робочої поверхні ґрунтообробні котки можна поділити на такі види: циліндричні, конічні, і бочкоподібні котки.



Рисунок 1.7 – Спіральна ґрунтообробні котки

«Циліндричні котки (рисунок 1.8) можуть бути виконані з гладкою поверхнею, еластичними робочими елементами, виступами, спіраллю та зубами» [67-68]. Недолік гладких котків – після прикочування вологих глинистих ґрунтів утворюється тверда ґрунтова кірка, що перешкоджає проростанню насіння. Гладкі циліндричні котки служать для ущільнення поверхневого шару ґрунту та кришення грудок. Тиск на ґрунт регулюється за допомогою додавання баласту піску або води. «Однак котки має суттєві недоліки: після проходу гладких котків по поверхні ґрунту, великі грудки ґрунту вдавлюються в поверхню ґрунту, залишившись не зруйнованими; а також після проходу гладкого ґрунтообробного на поверхні ґрунту утворюється ґрунтова кірка, що заважає проростанню насіння» [69-70].

Для поліпшення якості прикочування циліндричними котками на його зовнішній поверхні вирізають отвори різної форми. Також циліндричні котки додатково оснащують робочими елементами (ножами, молотками та іншими), які покращують процес кришування грудок ґрунту, що потрапляють через отвори у внутрішню поверхню котка.

На основі аналізу конструктивних рішень, на основі яких створюються ґрунтообробні котки, визначено склад ознак, відповідно до яких слід здійснювати дослідження, орієнтоване на оптимізацію конструкції.

Нові конструктивні рішення повинні забезпечувати більш високі якісні показники використання агрегатів для обробки ґрунту. Для того, щоб підвищити

якість їх використання, потрібно удосконалювати конструктивно-режимні параметри з урахуванням різних ґрунтово-кліматичних умов. Таким чином, необхідно забезпечити універсальність конструкцій знарядь, машин, що використовуються для обробки ґрунту, з урахуванням особливостей середовища, в якому здійснюється обробка. Конструкції, що розробляються, повинні з найменшими експлуатаційними витратами забезпечити оптимальну щільність і структуру ґранту при виконанні вимог безпеки для природного середовища.

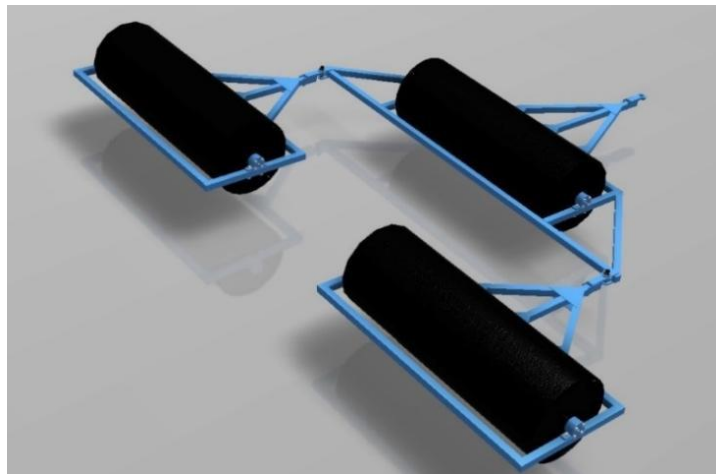


Рисунок 1.8 – Зчеплення гладких ґрунтообробних котків

### **1.3 Мета і задачі досліджень**

Метою даної роботи є покращення якості технологічної операції прикочування шляхом розробки нового ґрунтообробного котка, який здатен забезпечити виконання агротехнічних вимог до поверхневої обробки ґрунту та підвищити врожайність вирощуваних культур. Для досягнення поставленої мети розроблено наступний план досліджень:

- 1) провести аналіз засобів механізації поверхневого обробітку ґрунту та визначити шляхи поліпшення їх конструкцій;
- 2) розробити ґрунтообробний коток, теоретично обґрунтувати його конструктивно-режимні параметри;
- 3) провести експериментальні дослідження розробленого ґрунтообробного

котка з подальшим визначенням оптимальних параметрів та режимів його роботи;

4) розрахувати економічний ефект від впровадження розробленого котка у виробництво.

#### **1.4 Висновки з розділу**

1. На основі проведеного глибокого аналізу літератури, в якій описувалися способи підготовки ґрунту до посіву, зокрема, було виявлено, що багато вчених приділили велику увагу процесу прикочування ґрунту за допомогою ґрунтообробних котків.

2. Аналіз багатьох джерел науково-технічної літератури, присвяченої технологічному процесу прикочування ґрунту ґрунтообробними котками, показав, що ця тематика досить добре вивчена. Однак було виявлено, що конструкції сучасних ґрунтообробних котків мають безліч недоліків, що не дозволяє їм виконати вимоги щодо якості, пред'явлені до цієї операції.

3. Встановлено, що сучасні конструкції котків мало універсальні і не мають необхідних регулювань, конструктивно-режимних параметрів, які дозволяють розширити їх технологічні можливості.

## **2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИКОЧУВАННЯ ГРУНТУ**

### **2.1 Постановка задачі теоретичних досліджень**

Існуючий типаж котків і рекомендовані режими роботи не завжди відповідають тим задачам, які перед ними ставляться. Це, насамперед, створення заданої щільності ґрунту під конкретні культури в посівному шарі, а також рівномірність розподілу щільності після операції прикочування. Отже, дослідження повинні бути спрямовані на обґрунтування параметрів і режимів роботи робочих органів для прикочування в конкретних умовах і технологічних процесах.

Однією з основних функцій котків є створення в ґрунті раціональної та однорідної щільності ґрунту. Для виконання робочими органами для прикочування цих вимог, необхідно знати закономірність розподілу тиску на межі “робочий орган – ґрунт”.

Рішенням цієї задачі займалися багато вчених [71-77]. На підставі їх досліджень можна зробити висновок, що найбільш близькою основою для визначення означеної закономірності є теорія періодичної контактної задачі для пружних тіл із введенням принципу пружної аналогії. Цю теорію розвинув і виділив в окреме вчення І.Я. Штаєрман [78].

### **2.2 Визначення розподілу тиску на ґрунт під дією робочих органів для прикочування**

Розглянемо взаємодію віссе-симетричного котка з лінійно-деформованим півпростором без урахування сил тертя. Для цього скористаємося плоскими рішеннями в двох взаємно перпендикулярних площинах, оскільки рішення конкретної просторової контактної задачі пов'язане з математичними труднощами (рис. 2.1).

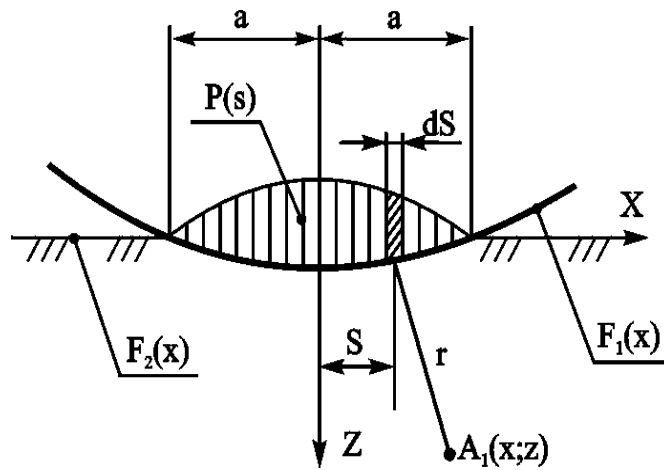


Рисунок 2.1 – Схема взаємодії котка з ґрунтом у поздовжньо-вертикальній площині

У площині, перпендикулярній напрямку руху, поверхню деформатору представимо суцільною кривою виду:

$$F_1(x) = b_3 X^3 + b_2 X^2 + b_1 X + X_0. \quad (2.1)$$

Припустимо, що ґрунт перед котком деформується незначно, і хвиля сколу не утворюється. У площині, перпендикулярній напрямку руху, поверхню, яка деформується, представимо прямою лінією

$$F_2(x) = h = const. \quad (2.2)$$

У загальній постановці рівняння плоскої контактної задачі для лінійно-деформованого середовища має вигляд [44]:

$$\int_{-a}^a P(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt = f(x), \quad (2.3)$$

де  $P(t)$  – невідома функція, яку необхідно визначити всередині інтервалу  $(a \dots -a)$  ділянки взаємодії котка з ґрунтом, а  $f(x)$  визначається як:

$$f(x) = \frac{c - F_1(x) - F_2(x)}{\nu_1 + \nu_2}, \quad (2.4)$$

де  $f(x)$  – функція, задана усередині інтервалу  $(-a \dots a)$  і залежна від форми котка та деформативних постійних робочого органа й ґрунту;  $c$  – деяка постійна;  $\nu_1$  і  $\nu_2$  – деформативні постійні ґрунту та робочого органа [79]:

$$\nu_1 = \frac{2}{\pi \cdot E_{d_1}} (1 - \mu_1^2), \quad \nu_2 = \frac{2}{\pi \cdot E_{d_2}} (1 - \mu_2^2), \quad (2.5)$$

де  $E_{d1}$  – модуль деформації для першого лінійно-деформованого середовища (матеріал робочого органа котка – сталь);  $E_{d2}$  – модуль деформації для другого лінійно-деформованого середовища (грунт):

$$E_{d2} = E \cdot \mu_v / (\mu_v + E \cdot \tau),$$

де  $\mu_v$  – коефіцієнт в'язкості при об'ємних деформаціях;  $\tau$  – час деформації;  $E$  – модуль пружності ґрунту при об'ємних деформаціях;  $\mu_1$  – коефіцієнт бічного розширення для сталі;  $\mu_2$  – коефіцієнт бічного розширення для ґрунту [79]:

$$\mu_2 = \frac{E_{d2}}{2 \cdot G_{d2}} - 1, \quad (2.6)$$

де  $G_{d2}$  – модуль деформації зрушення для другого лінійно-деформованого середовища:

$$G_{d2} = G \cdot \eta / (\eta + G_y \cdot \tau),$$

$\eta$  – коефіцієнт в'язкості при деформаціях зрушення;  $G_y$  – модуль пружності ґрунту при деформаціях зрушення.

Для сталі модуль деформації дорівнює модулю пружності  $E_{d1} = E$ , величина якого в  $10^3$ - $10^6$  разів більша за модуль деформації ґрунтів і складає  $2 \cdot 10^7$  Н/см<sup>2</sup>. Тому можна прийняти, що  $\nu_1 = 0$ , а  $\nu_2$ , ураховуючи вираз (7.6), буде дорівнювати:

$$\nu_2 = \frac{2 \cdot G_{d2} - E_{d2} / 2}{\pi \cdot G_{d2}}. \quad (2.7)$$

М.Я. Штаерман [80] надає рішення рівняння (2.3) у вигляді:

$$P(x) = -\frac{1}{\pi^2} \sqrt{a^2 - x^2} \int_{-a}^a \frac{f'(t) dt}{\sqrt{a^2 - t^2} \cdot (t - x)}, \quad (7.8)$$

де  $a = \sqrt{\frac{2P(\nu_1 + \nu_2)}{f_1''(0) + f_2''(0)}}$ , або  $a = \sqrt{\frac{P \cdot \nu_2}{3b_3 x + b_2}}$ .

У рівняння (2.4) підставимо вираз (2.1) і (2.2):

$$f(x) = \frac{c - b_3 x^3 - b_2 x^2 - b_1 x - b_0 - h}{\nu_1 + \nu_2}. \quad (2.9)$$

Тоді

$$f'(x) = \frac{-3b_3 x^2 - 2b_2 x - b_1}{\nu_1 + \nu_2}. \quad (2.10)$$

Отже, [79]



$$f'(t) = \frac{-3b_3 t^2 - 2b_2 t - b_1}{v_1 + v_2}. \quad (2.11)$$

Візьмемо позитивну частку функції в умовах віссє-симетричної задачі. Підставимо значення (2.11) в рівняння (2.8):

$$P(x) = -\frac{1}{\pi^2} \sqrt{a^2 - x^2} \int_{-a}^a \frac{3b_3 t^2 + 2b_2 t + b_1}{\sqrt{a^2 - t^2} \cdot (t - x)} dt \quad (2.12)$$

Приймаємо в рівнянні:

$$J = \int_{-a}^a \frac{3b_3 t^2 + 2b_2 t + b_1}{\sqrt{a^2 - t^2} \cdot (t - x)} dt. \quad (2.13)$$

Зробимо в рівнянні (2.13) такі заміни:  $d = 3b_3$ ;  $b = -2b_2$ ;  $c = -b_1$ .

Тоді

$$J = \int_{-a}^a \frac{(d \cdot t^2 + bt + c)}{\sqrt{a^2 - t^2} \cdot (t - x)} dt. \quad (2.14)$$

Зробимо заміну  $t = a \sin V$ ,  $dt = a \cos V \cdot dV$ :

$$\begin{aligned} J &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d \cdot a^2 \sin^2 V + b \cdot a \cdot \sin V + c}{a \cdot \cos V (a \cdot \sin V - x)} a \cdot \cos V \cdot dV = \\ &= \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d \cdot a^2 \sin^2 V - x^2 d + x^2 d + b a \sin V - b x + b x + c}{a \sin V - x} dV. \end{aligned}$$

У цьому рівнянні проводимо заміну  $D = x^2 d + bx + c$ . Отримаємо вираз:

$$\begin{aligned} J &= d \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (a \sin V + x) dV + b \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} dV + D \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{dV}{a \sin V - x} = \\ &= d \left( -a \cos V \Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} + x V \Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \right) + \frac{D}{a} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{dV}{\sin V - \frac{x}{a}}. \end{aligned}$$

Зробивши такі заміни:  $V = \operatorname{tg} \frac{z}{2}$ ,  $\sin V = \frac{2z}{1+z^2}$  і  $dV = \frac{2dz}{1+z^2}$ , одержимо:

$$\begin{aligned} J &= d \cdot x\pi + b\pi + \frac{D}{a} \int_{-1}^1 \frac{2dz}{(1+z^2) \left( \frac{2z}{1+z^2} - \frac{x}{a} \right)} = \\ &= \pi(d \cdot x + b) + \frac{2D}{a} \int_{-1}^1 \frac{dz}{\left[ 2z - \frac{x}{a} (1+z^2) \right]} = \pi(d \cdot x + b) - \frac{2D}{x} \int_{-1}^1 \frac{dz}{\left( -\frac{2za}{x} + 1 + z^2 \right)} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{2D}{x} \int_{-1}^1 \frac{d\left(\frac{z-a}{x}\right)}{\left(\frac{z-a}{x}\right)^2 + 1 - \frac{a^2}{x^2}} = \left\{ \text{если } 1 - \frac{a^2}{x^2} > 0 \right\} = \\
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{2D}{x\sqrt{1-\frac{a^2}{x^2}}} \operatorname{arctg} \frac{\frac{z-a}{x}}{\sqrt{1-\frac{a^2}{x^2}}} \Bigg|_{-1}^1 = \\
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{2D}{\sqrt{x^2 - a^2}} \left[ \operatorname{arctg} \frac{x-a}{\sqrt{x^2 - a^2}} + \operatorname{arctg} \frac{x+a}{\sqrt{x^2 - a^2}} \right] = \\
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{2D}{\sqrt{x^2 - 1}} \left[ \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x-1}{x^2 + 1}} + \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{x+1}{x^2 - 1}} \right] = \\
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{D}{\sqrt{\frac{a^2}{x^2} - 1}} \ln \left| \frac{\frac{z-a}{x} - \sqrt{\frac{a^2}{x^2} - 1}}{\frac{z-a}{x} + \sqrt{\frac{a^2}{x^2} - 1}} \right| \Bigg|_{-1}^1 = \\
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{D}{\sqrt{a^2 - x^2}} \left[ \ln \left| \frac{x-a-\sqrt{a^2-x^2}}{x-a+\sqrt{a^2-x^2}} \right| - \ln \left| \frac{-x-a-\sqrt{a^2-x^2}}{-x-a+\sqrt{a^2-x^2}} \right| \right] = \\
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{D}{\sqrt{a^2 - x^2}} \left[ \ln \frac{x-a-\sqrt{a^2-x^2}}{x-a+\sqrt{a^2-x^2}} - \ln \frac{x+a+\sqrt{a^2-x^2}}{x+a-\sqrt{a^2-x^2}} \right] = \\
&= \pi(d \cdot x + b) - \frac{D}{\sqrt{a^2 - x^2}} \left[ \ln \frac{(x-a-\sqrt{a^2-x^2})(x+a-\sqrt{a^2-x^2})}{(x-a+\sqrt{a^2-x^2})(x+a+\sqrt{a^2-x^2})} \right]
\end{aligned}$$

При цьому,  $\ln \frac{(x-a-\sqrt{a^2-x^2})(x+a-\sqrt{a^2-x^2})}{(x-a+\sqrt{a^2-x^2})(x+a+\sqrt{a^2-x^2})} = 0$ .

Отже, рішенням інтеграла (2.14) буде вираз:

$$J = \pi(d \cdot x + b), \quad (2.15)$$

Таким чином, рішенням рівняння (2.12) буде вираз

$$\begin{aligned}
P(x) &= \frac{1}{\pi} \sqrt{a^2 - x^2} \cdot (3b_3 \cdot x - 2b_2) \\
P(x) &= \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{P \cdot v_2}{(3b_3 x + b_2)} - x^2} \cdot (3b_3 \cdot x - 2b_2), \quad (2.16)
\end{aligned}$$

де  $b_3$  і  $b_2$  – коефіцієнти кривої  $f_1(x) = b_3 X^3 + b_2 X^2 + b_1 X + X_0$ , що утворює поверхню деформатору в площині, перпендикулярній напрямку руху.

Задача про розподіл напруг у лінійно-деформованому масиві в ряді випадків спрощується, якщо вдається звести її рішення до плоскої задачі. Тобто до такого напруженого стану, коли напруги розподіляються в одній площині і не залежать від координат, перпендикулярних до розглянутої площини.

Для круглого деформатору закон розподілу тисків визначається [80]:

$$P(x) = \frac{2P}{\pi a^2} \sqrt{a^2 - x^2}. \quad (2.17)$$

### 2.3 Визначення щільності ґрунту під робочими органами для прикочування

Таким чином, для кільчасто-зубового котка розрахункова схема буде мати вигляд (рис. 2.2).

Надана схема дозволяє розглянути взаємодію віссі-симетричного котка з лінійно-деформованим напівпростором без урахування сил тертя. Оскільки рішення конкретної просторової контактної задачі пов'язано з математичними труднощами, використовувалися плоскі рішення в двох взаємно перпендикулярних площинах (рис. 2.2):

$$\begin{cases} P(x) = \frac{2P}{\pi a^2} \sqrt{a^2 - x^2}; \\ P(y) = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{P \cdot v_2}{(3b_3 y + b_2)} - y^2} \cdot (3b_3 \cdot y - 2b_2), \end{cases}$$

де  $b_3$  і  $b_2$  – коефіцієнти кривої  $f_1(y) = b_3 \cdot y^3 + b_2 \cdot y^2 + b_1 \cdot y + y_0$ , що утворює поверхню деформатору в площині, перпендикулярній напрямку руху.

Дані закономірності коректні для кільчастих, гладких та інших котків, які мають суцільну поверхню.

Наявність несучільної поверхні по периметру кільця, наприклад, пруткової чи кільчасто-шпорової, не дозволяє скористатись отриманими рішеннями.

Розглянемо взаємодію з ґрунтом котка (рис. 2.3), що не має суцільної поверхні за периметром кільця.

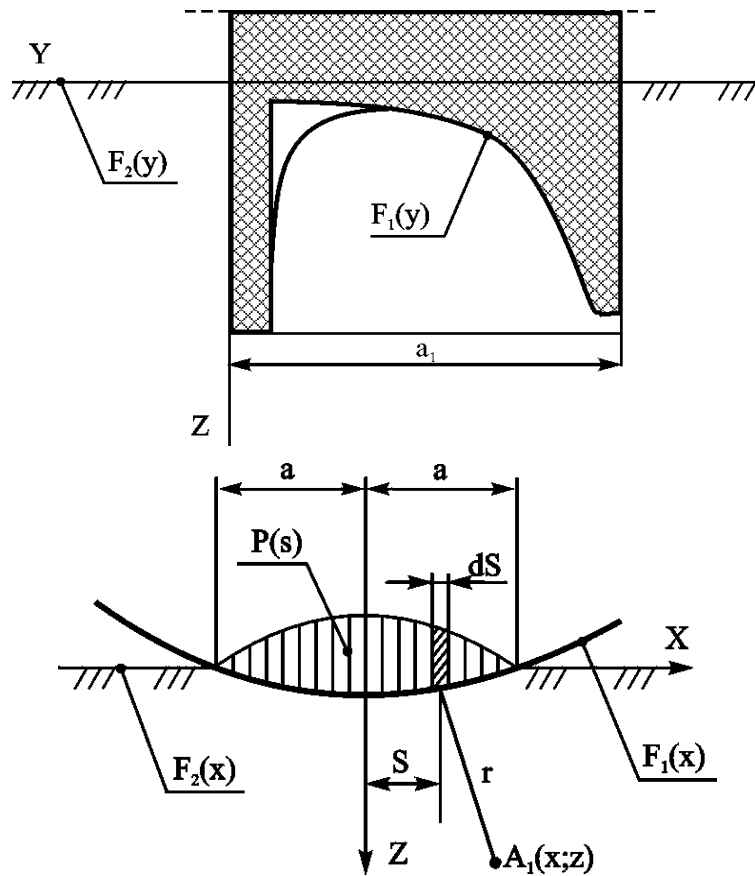


Рисунок 2.2 – Схема взаємодії кільчасто-зубового котка з ґрунтом у подовжньо-вертикальній площині ( $F(x)$ ) і поперечно-вертикальній площині ( $F(y)$ ), де  $F(x)$  і  $F(y)$  – функції, задані всередині інтервалу  $(-a, a)$  і залежні від форми котка та деформативних постійних робочого органа й ґрунту

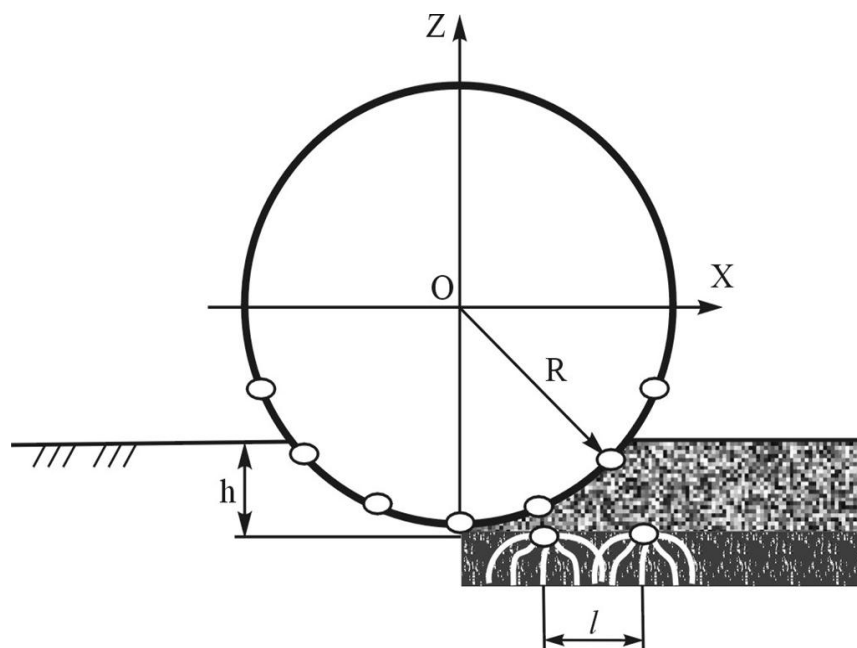


Рисунок 2.3 – Схема взаємодії пружкового котка з ґрунтом

Виходячи з залежностей, що описують усереднену глибину занурення котка [81]

$$h = m^{\frac{2}{3}} \cdot L^{\frac{2}{3}} \cdot D^{-\frac{1}{3}}$$

або

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{m}{L}\right)^2 \cdot \frac{1}{D}},$$

де  $m$  – маса котка;  $h$  – усереднена глибина занурення котка;  $L$  – довжина котка;  $D$  – діаметр котка.

Оскільки  $m/L = \rho$  – питоме навантаження котка, а діаметр котка  $D = 2R$ , то

$$h = \sqrt[3]{\frac{\rho^2}{2R}}.$$

Знайдемо половину довжини контакту котка з ґрунтом по осі  $x$ :

$$a \approx \sqrt{R^2 - (R - h)^2}.$$

Відстань між прутками виразимо через радіус котка й кількість прутків

$$l = 2R \sin \frac{\beta}{2},$$

де  $\beta$  – центральний кут між прутками,  $\beta = \frac{360^\circ}{n}$ ;  $l$  – відстань між прутками;  $n$  – кількість прутків.

Оскільки, як зазначалося вище, розподіл тиску на поверхні деформатору круглої форми описується рівнянням

$$P(x) = \frac{2P}{\pi a^2} \sqrt{a^2 - x^2},$$

а максимальний тиск деформатору на ґрунт створюється при перебуванні прутків у нижній частині траєкторії, можна знайти тиск на двох сусідніх прутках. Із урахуванням відстані між ними:

$$P_l = \int_0^l P(x) dx$$

чи

$$P_l = \int_0^l \frac{2P \cdot \sqrt{a^2 - x^2}}{\pi a^2} dx.$$

При цьому треба мати на увазі, що, якщо параметр “ $a$ ” менше чи дорівнює  $l$ , для визначення  $P(l)$  необхідно  $P$  розділити на 2.

Рішення питання про розподіл напруг у масиві для загального випадку плоскої задачі при допущенні, що напруга в даній точці змінюється тільки в залежності від кута, що складається радіусом-вектором із позитивним напрямком горизонтальної осі [81]. Загальне ж рішення диференціальних рівнянь плоскої задачі методом характеристик Коші з визначенням функцій напрямків напруг по заданих граничних умовах [82]. У даний час відомо ряд рішень [82] плоскої задачі, однак у них не розглядається вплив постійних характеристик півпростору, що деформується, або вони громіздкі та складні у використанні.

Один зі шляхів введення реологічних характеристик деформованого середовища, не ускладнюючи значно загальне рішення, полягає в об'єднанні рішення контактної задачі з задачею Фламана для пружного напівпростору [82]:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= -\frac{2z}{\pi} \int_{-a}^a \frac{P(x)(s-x) dx}{[(s-x)^2 + z^2]^{\frac{3}{2}}}, \\ \sigma_z &= -\frac{2z^3}{\pi} \int_{-a}^a \frac{P(x) dx}{[(s-x)^2 + z^2]^{\frac{3}{2}}}; \\ \tau_{xz} &= -\frac{2z^3}{\pi} \int_{-a}^a \frac{P(x)(z-x) dx}{[(s-x)^2 + z^2]^{\frac{3}{2}}},\end{aligned}\tag{2.18}$$

де  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$  – компоненти напруги, які діють в точках напівпростору.

Сумарна нормальна напруга в точці під котком складе:

$$\sigma_{cp.} = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2}.\tag{2.19}$$

Для визначення щільності ґрунту в різних шарах скористаємося виразом [83]:

$$\rho = K \cdot e^{W \cdot [b + \alpha \cdot (\sigma_{cp.} - 0.05)]},\tag{2.20}$$

де  $W$  – вологість ґрунту;  $K$ ,  $\lambda$ ,  $b$  – коефіцієнти, для чорноземів  $K \approx 1,25$ ;  $b \approx 0,0059$ ;  $\lambda \approx 0,0933$  [83].

При розрахунку щільності ґрунту під деформатором для безструктурних ґрунтів із великою вологістю, необхідно враховувати вплив ваги ґрунту верхніх шарів на нижні. Це обумовлено тим, що при взаємодії з деформатором, що рухається, верхні шари ґрунту починають теж рухатися. Переміщуючись вниз, вони створюють додатковий тиск на нижні шари. Таким чином, картини розподілу щільності ґрунту по глибині для структурних і безструктурних ґрунтів істотно різняться між собою.

На підставі залежності, запропонованої З.Г. Тер-Мартirosяном [84], можна визначити збільшення щільності в будь-якій точці ґрунту під дією ваги ґрунту у верхніх шарах:

$$\Delta\rho = \rho_0 \cdot 2 \cdot q' \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{1 + \mu_2}{3\pi \cdot K_0}, \quad (2.21)$$

де  $\rho_0$  – вихідна щільність ґрунту;  $q'$  – рівномірно розподілене навантаження від ваги ґрунту в зоні з визначення щільності;

$$\begin{aligned} K_0 &= E d_2 [3(1 - 2\mu_2)]; \\ \alpha_1 &= \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg} \frac{Z}{x - a}; \\ \alpha_2 &= \operatorname{arctg} \frac{Z}{x + a}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Розподілене навантаження від ваги ґрунту по зоні контакту можна визначити як  $q' = Z \cdot \gamma$ , де  $\gamma$  – об'ємна вага ґрунту. Отже, щільність ґрунту після проходу котка:

$$\rho_n = \rho + \Delta\rho. \quad (2.23)$$

За допомогою рішення вищевикладеної задачі чисельним методом на ПЕОМ можна визначити щільність ґрунту під кільчасто-зубовим і прутковим котками. Розроблена програма дозволяє визначити щільність ґрунту при різних навантаженнях, стані ґрунту та параметрах котка, а також розширює можливості теоретичного обґрунтування ґрунтообробних робочих органів.

## **2.4 Висновки з розділу**

1. Розроблено механіко-математичну модель взаємодії робочих органів для прикочування з ґрунтом, яка враховує усадку нижнього шару ґрунту в момент його деформації котком за рахунок ваги верхнього шару. Це підтверджено в процесі експериментальних досліджень на безструктурних ґрунтах.

2. Встановлено, що при взаємодії ґрунту з котками розподіл його щільності по глибині істотно відрізняється від природного самоущільнення, що змінює уявлення про суть технологічного процесу механізованого ущільнення ґрунту. Реалізація моделі на ПЕОМ дозволяє визначати щільність ґрунту при різному його стані, навантаженні й конструктивно-технологічних параметрах котка.



### 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

#### 3.1 Методика дослідження впливу різних типів котків на пошарову щільність ґрунту та рівномірність її розподілу в орному горизонті

Для одержання максимуму інформації при мінімальних витратах засобів і часу, план експериментальних досліджень необхідно прив'язувати до реальних умов постановки експерименту з урахуванням погодних умов. Особливо це важливо для безструктурних малогумусних ґрунтів, де з моменту посіву до появи сходів ґрунт дає осідання на значну величину. У даних умовах на дерново-підзолистому та сірому лісовому ґрунтах котки часто використовуються як самостійні знаряддя як перед посівом, так і після посіву сільськогосподарських культур із метою осідання ґрунту. Невиконання цих операцій чи виконання їх із низькими якісними показниками призводить до значних втрат урожаю.

При вивченні взаємодії котків із ґрунтом визначальними факторами будуть:

- $x_1$  – питоме навантаження,  $P$ , кг/м;
- $x_2$  – кратність проходів,  $n$ ;
- $x_3$  – робоча швидкість агрегату,  $V$ , км/год.

Параметри оптимізації –  $Y'_1, Y'_2, Y'_3, Y'_4, Y'_5, Y'_6$ :

- щільність ґрунту по шарах: 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30 см,  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>;

Крім того, у ході експерименту створювався масив даних для оцінки неоднорідності щільності ґрунту в шарах 0-5 і 5-10 см.

Постановка експериментальних досліджень виконувалася на базі стандартного В-оптимального плану другого порядку для трьох факторів.

Таким чином, поставлено 15 експериментів при десятикратній повторності на шести горизонтах, розташованих із кроком п'ять сантиметрів. Після прикочування ґрунту по горизонтах у точках, вилучених від колії

сільськогосподарських рушіїв не менше, ніж на 0,3 м, робилися не менше, ніж 100 вимірювань щільності по ходу й ширині захвату котка.

При виборі поля під закладку експерименту враховувалося місце розташування, рельєф, сівозміна. Після розбивки поля на ділянки, згідно методики [43], визначалися вологість і щільність ґрунту.

Для визначення щільності ґрунту по шарах і вивчення її неоднорідності використовувався радіоізотопний гамаскопічний метод, який дозволяє оперативно визначати щільність ґрунту в природному стані з високою точністю радіоізотопним щільноміром РПП-2 (рис. 3.1). Цей метод базується на ослабленні інтенсивності пучка гамма-квантів при проходженні через шар речовини пропорційно щільності.

У ґрунт на необхідну глибину вводився зонд із джерелом радіоактивного випромінювання. Визначивши за лічильником імпульсів СП-1 інтенсивність проходження гамма-квантів через досліджуваний горизонт, фіксувалися показання для подальшого перерахування й отримання реальних значень по тарованих таблицях. Обробка та перерахунок даних проводилися на ПЕОМ.

Ділянки, які досліджувалися, знаходилися на відстані 150 м від краю поля для виключення впливу поворотних смуг із такою умовою, щоб не потрапити на колію машинно-тракторних агрегатів. Для контролю роботи РПП-2 з поля мірними гільзами забиралися зразки ґрунтів і в стаціонарних умовах ваговим способом визначалися щільність і вологість ґрунту.

Експериментальна установка включала причіпний коток із площадками довантаження відповідно до плану експерименту. Вага котка визначалася в “робочому стані” на ваговій платформі.

Для довантаження котків і варіювання параметра “питоме навантаження на ґрунт” застосовувалися покриті гумою диски важкоатлетичної штанги (рис. 3.2).

Для вивчення впливу різних типів ущільнювальних котків на полях півдня України були проведені дослідження кільчасто-зубового (кембриджського), кільчасто-шпорового і гладкого-водоналивного котків. В умовах півдня України

додатково досліджувалися пруткові легкі котки сівалки і важкі, які є складовою частиною комбінованих агрегатів АГ-6 “Борекс” чи ККП-6 (рис. 3.3-3.4).



Рисунок 3.1 – Радіоізотопний щільномір РПП-2



Гладкий-водоналивний



Кільчасто-шпоровий



Кільчасто-зубовий  
(кембриджський)

Рисунок 3.2 – Дослідження робочих органів для прикочування

1) Тип ґрунту - дерново-підзолистий

Основні фактори, що досліджувалися в даних ґрунтово-кліматичних умовах, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фактори та рівні варіювання в польових експериментах  
(тип ґрунту – дерново-підзолистий)

Рівень варіювання факторів	Кільчасто-зубовий			Кільчасто-шпоровий			Гладкий-водоналивний		
	$X_1(P)$ , кг/м	$X_2$	$X_3(V)$ , км/год	$X_1(P)$ , кг/м	$X_2$	$X_3(V)$ , км/год	$X_1(P)$ , кг/м	$X_2$	$X_3(V)$ , км/год
Верхній +1	650	3	9	550	3	9	550	3	9
Основний 0	575	2	6	450	2	6	475	2	6
Нижній -1	500	1	3	350	1	3	400	1	3
Інтервал h	75	1	3	100	1	3	75	1	3

## 2). Тип ґрунту – темно-каштановий (південь України)

Для ґрунтів півдня України технологічна операція прикочування ґрунту одноопераційними знаряддями відіграє меншу роль, ніж в умовах Полісся України. Найчастіше коток використовується в складі комбінованих агрегатів. Крім того, в степовій зоні не відбувається значної усадки ґрунту під впливом гравітаційного навантаження, наслідком якого в нечорноземній зоні є поступове переущільнення нижніх шарів ґрунту під дією верхніх до глибини 20-25 см.

У роботі наведено тільки ту частину досліджень, що становить інтерес у плані підтвердження теоретичних досліджень.

Кільчасто-шпоровий коток для ущільнення поверхневого та посівного шарів дерново-підзолистих ґрунтів не підходить (значно ущільнює тільки шар ґрунту 10-15 см). В умовах півдня України цей коток застосовується для подрібнення грудок поверхневого шару ґрунту. Тому з метою порівняння результатів роботи цього котка на дерново-підзолистих та на темно-каштанових ґрунтах дослідження проводилися на швидкості  $\approx 7$  км/год.

Гладкі водоналивні котки вже в попередніх дослідженнях (врахований досвід роботи з ними на дерново-підзолистих ґрунтах), проведених на темно-каштанових ґрунтах півдня України, показали високу нерівномірність ущільнення верхнього та нижнього шарів орного горизонту, тому далі не досліджувалися.

Основні фактори, що вивчалися в експериментальних дослідженнях при визначенні впливу параметрів котків на пошарову щільність темно-каштанового ґрунту (південь України), представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Фактори та їх рівні варіювання при визначенні впливу параметрів котків на пошарову щільність темно-каштанового ґрунту (тип ґрунту – темно-каштановий)

Рівень варіювання факторів	Кільчасто-зубовий коток		Кільчасто-шпоровий коток	
	X <sub>1</sub> P, кг/м	X <sub>2</sub> V, км/год	X <sub>1</sub> P, кг/м	V = const км/год
Верхній +1	580	9	350	-
Основний 0	500	6	310	7
Нижній -1	420	3	270	-
Інтервал h	80	3	40	-

Найбільш розповсюдженими в складі комбінованих ґрунтообробних агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту (АГ-6, ККП-6) і комбінованих посівних агрегатів є важкі чи легкі пруткові котки (рис. 3.3 і 3.4).

У комбінованих агрегатах котки здійснюють подрібнення, вирівнювання та ущільнення ґрунту. Параметри цих котків, які досліджувалися у експерименті, надані в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Фактори та рівні варіювання в польових експериментах при дослідженні котків комбінованих агрегатів

Рівень варіювання факторів	Подвійний прутковий коток до АГ-6 або ККП-6		Коток зернової сівалки	
	X <sub>1</sub> V, км/год	X <sub>2</sub> P, кг/м	X <sub>1</sub> P, кг/м	X <sub>2</sub> V, км/год
Верхній +1	9	148	110	9
Основний 0	6	130	82	6
Нижній -1	3	112	54	3
Інтервал h	3	18	28	3



Рисунок 3.3 – Коток комбінованого знаряддя АГ-6 “Борекс”



Рисунок 3.4 – Коток зернової сівалки для прикочування

### **3.2. Методика визначення впливу ущільнюючих робочих органів на врожайність сільськогосподарських культур**

Однією з причин недосконалості роботи котків є те, що при розробці не враховується їх вплив на кінцевий показник роботи робочих органів для прикочування – урожайність сільськогосподарських культур.

Відповідно до проведених лабораторно-польових досліджень на дерново-підзолистих ґрунтах, роль прикочування для них має істотне значення. При цьому якісні показники роботи кільчасто-зубових (кембриджських) котків були

найбільш близькими до вимог цієї зони. Кільчасто-шпоровий коток ЗККШ-6 і “гладкий” котки не забезпечують необхідної якості роботи. Крім того, “гладкий” коток має високий ступінь нерівномірності ущільнення, що робить його застосування неможливим. Тому виникла необхідність поглибленого вивчення впливу кільчасто-зубового котка на процес ущільнення ґрунту та врожайність сільськогосподарських культур. Для експерименту зібраний дослідний зразок кільчасто-зубового котка з полегшеною рамою для зменшення питомого навантаження на ґрунт. Дослідження проведено відповідно до стандартного В-оптимального плану другого порядку для двох факторів.

Експериментальний агрегат включав трактор МТЗ-82 і полегшений кільчасто-зубовий коток виробництва Гуляйпільського ВАТ “Сільмаш”, конструкція якого передбачала можливість довантаження рами для збільшення питомого навантаження на ґрунт відповідно до плану експерименту.

Параметри та рівні варіювання наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Фактори та їх рівні варіювання при визначенні впливу параметрів котків на пошарову щільність дерново-підзолистих ґрунтів та врожайність вівсяно-горохової суміші

Досліджувані параметри	-1	0	+1	Інтервал
1. Швидкість котка, $V_k$ , км/год. – $x_1$	4	8	12	4
2. Питоме навантаження котка на ґрунт, $P$ , кг/м – $x_2$	420	500	580	80

Параметри оптимізації:

- $Y_1, Y_2, Y_3$  – щільність ґрунту по шарах 0-10; 10-20; 20-30 см,  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>;
- $Y_4$  – урожайність вівсяно-горохової суміші, ц/га.

У ході експерименту створено масив даних для оцінки неоднорідності щільності ґрунту в шарах 0-10, 10-20, 20-30 см та її впливу на врожайність вівсяно-горохової суміші.

До експерименту на засіяних культурою ділянках, розбитих для проведення досліджень, взято проби на вихідну щільність і вологість у трьох горизонтах стандартним повітряно-ваговим способом. При цьому паралельно проведено тарування й перевірку радіоізотопного щільноміра РПП-2. Оцінка врожаю виконувалася на основі загальноприйнятих методик.

Методика досліджень котків із використанням РПП-2 різко скорочує час і витрати на одержання достовірної інформації, а з урахуванням виходу на врожайність конкретної сільськогосподарської культури цінність результатів досліджень зростає. Бо вони можуть бути використані для оптимізації параметрів робочих органів для прикочування в реальних умовах застосування.



## 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УЩІЛЬНЮЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

### 4.1 Експериментальні дослідження впливу типів котків та режимів їх роботи на щільність ґрунту і диференційований її розподіл в орному горизонті

Умови випробувань: тип ґрунту – дерново-підзолистий, темно-каштановий (південь України). Попередній обробіток – оранка на глибину 30 см під пар.

Вологість і щільність ґрунтів у момент проведення експериментів наведені в табл. 4.1. Необхідно відзначити, що підбиралися найбільш типові умови застосування робочих органів для прикочування.

Таблиця 4.1 – Умови проведення експериментів із дослідження впливу котків на агрофізичні властивості ґрунту

Горизонт, см	Дерново-підзолисті ґрунти		Темно-каштанові ґрунти	
	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Вологість, %	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Вологість, %
0-5	0,92±0,02	28,2±1,1	1,09±0,03	15,8±1,4
5-10	1,08±0,02	28,0±1,3	1,11±0,03	16,1±1,3
10-15	1,15±0,03	27,7±1,3	1,19±0,02	16,0±1,4
15-20	1,19±0,02	27,8±1,4	1,19±0,02	16,2±1,3
20-25	1,20±0,04	26,5±1,3	1,25±0,05	15,4±1,2
25-30	1,25±0,03	26,3±1,6	1,28±0,04	15,2±1,1

#### 1. Тип ґрунту - дерново-підзолистий

Основні фактори, що впливають на якісні показники роботи котків, наведені в таблиці 4.2.

Результати досліджень показали, що гладкі водоналивні котки мало придатні для використання через високу нерівномірність ущільнення як верхнього, так і нижнього шарів орного горизонту.

Так, значення середньоквадратичного відхилення щільності ґрунту в шарі 5-10 см для гладкого водоналивного котка перевищує цей показник на швидкості 6 км/год. для кільчасто-зубового приблизно у 5 разів.

Кількість проходів по полю котків використовується як технологічний параметр, хоча 80-90% ущільнення ґрунту відбувається в результаті першого проходу агрегату. Тому економічно вигідно та екологічно доцільно вирішувати питання створення оптимальної пошарової щільності ґрунту за один прохід агрегату.

У результаті експерименту отримано рівняння регресії зміни щільності ґрунту після його обробітку кільчасто-шпоровим і кільчасто-зубовим (кембриджським) котками залежно від питомого навантаження ( $x_1$ ), кількості проходів ( $x_2$ ) і швидкості руху агрегату ( $x_3$ ) для шарів 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 см. Коефіцієнти рівняння регресії виду:

$$Y_i' = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3 + b_8x_1^2 + b_9x_2^2 + b_{10}x_3^2$$

представлені в табл. 4.2.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що кільчасто-шпоровий коток не ущільнює шари 0-5 см і 5-10 см (рис. 7.8 і 7.9) й переущільнює шар 10-15 см. Без зміни конструкції неможливо за рахунок варіювання швидкістю руху агрегату і питомим навантаженням отримати оптимальне ущільнення дерново-підзолистого ґрунту в посівному шарі. Переущільнення нижніх шарів ґрунту та погане ущільнення верхніх суперечить агротехнічним вимогам до передпосівного обробітку ґрунту. Тому в даній зоні кільчасто-шпоровий коток більше придатний для подрібнення грудок, а не для ущільнення посівного шару ґрунту.

Кільчасто-зубовий (кембриджський) коток більш придатний для застосування на дерново-підзолистих ґрунтах (рис. 4.1). Він рівномірно ущільнює надпосівний і посівний шари на швидкості до 4 км/год. При швидкості котка біля 9 км/год. показники його роботи наближаються до виконання технологічного процесу коткування з формуванням оптимальної пошарової щільності ґрунту.

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнтів регресії для оцінки зміни щільності ґрунту

Коефіцієнт рівняння регресії	Кільчасто-зубовий				Кільчасто-шпоровий			
	0-5 см	5-10 см	10-15 см	15-20 см	0-5 см	5-10 см	10-15 см	15-20 см
b <sub>0</sub>	1,236	1,347	1,396	1,410	1,020	1,280	1,330	1,340
b <sub>1</sub>	0,096	0,062	0,066	0,071	0,029	0,013	0,025	0,031
b <sub>2</sub>	0,078	0,066	0,059	0,047	0,020	0,023	0,027	0,030
b <sub>3</sub>	-0,010	-0,015	-0,014	-0,012	-0,011	-	-0,009	-0,008
b <sub>4</sub>	0,035	-0,014	-0,002	0,018	-0,021	-	-0,015	-0,017
b <sub>5</sub>	0,026	0,011	0,008	-0,020	0,013	0,016	0,012	-
b <sub>6</sub>	-0,014	-0,004	0,004	0,027	-	-0,050	-	0,014
b <sub>7</sub>	0,018	0,006	-0,002	-0,012	-	-	-0,009	-0,026
b <sub>8</sub>	-0,063	-0,018	-	-0,011	0,025	-	-0,020	-0,031
b <sub>9</sub>	0,017	0,020	-	0,017	0,038	-0,023	-0,014	-
b <sub>10</sub>	0,020	0,006	-0,002	-0,031	-0,037	-0,013	-0,009	-

$$Y = 1,04 + 0,05 x_1 - 0,02 x_3 + 0,01 x_1 x_3 + 0,02 x_1 x_1 - 0,04 x_3 x_3$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_3=1,00)=0,94; F_{max}(x_1=1,00, x_3=-0,09)=1,11; x_2=-1,00$$

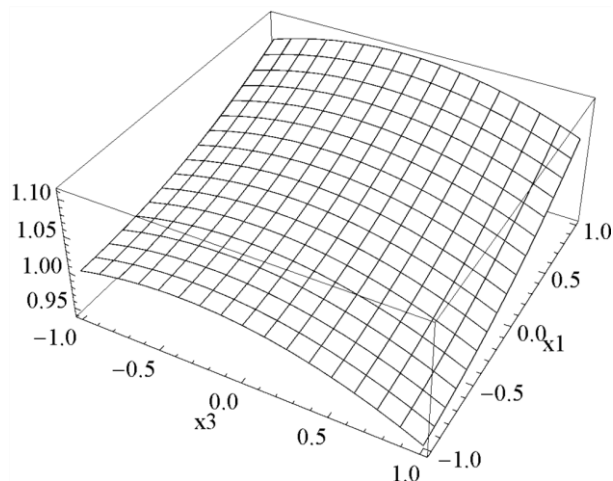


Рисунок 4.1 – Вплив питомого навантаження кільчасто-шпорового котка на ґрунт ( $x_1$ ) і швидкості руху ( $x_3$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 0-5 см” ( $Y'_1$ ),  $x_2 = -1$

$$Y = 1,17 + 0,06 x_1 + 0,00 x_3 + 0,01 x_1 x_3 - 0,06 x_1 x_1 + 0,02 x_3 x_3$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_3=0,10)=1,05; F_{max}(x_1=0,55, x_3=1,00)=1,22; x_2=-1,00$$

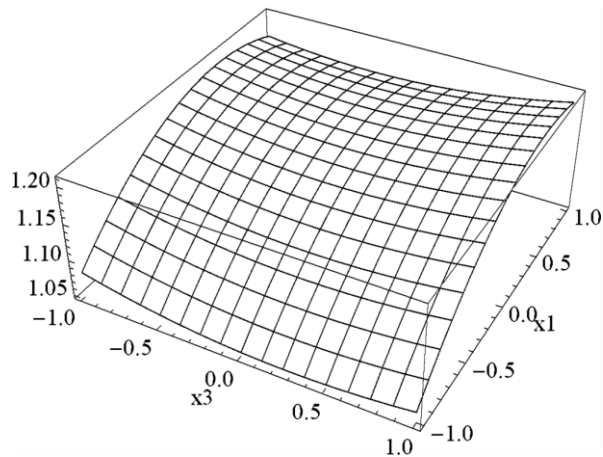


Рисунок 4.2 – Вплив питомого навантаження кільчасто-шпорового котка на ґрунт ( $x_1$ ) і швидкості руху ( $x_3$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 5-10 см” ( $Y'_2$ ),  $x_2 = -1$

$$Y = 1,31 + 0,05 x_1 - 0,02 x_3 + 0,04 x_1 x_3 - 0,03 x_1 x_1 - 0,00 x_3 x_3$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_3=1,00)=1,17; F_{max}(x_1=1,00, x_3=1,00)=1,34; x_2=-1,00$$

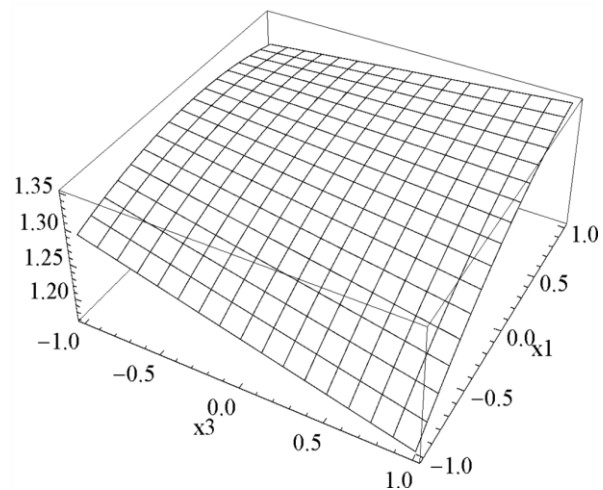


Рисунок 4.3 – Вплив питомого навантаження кільчасто-зубового котка на ґрунт ( $x_1$ ) і швидкості руху ( $x_3$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 0-5 см” ( $Y'_1$ ),  $x_2 = -1$

Однак, при режимах роботи котка, що забезпечують одержання оптимальної щільності в шарі 0-5 і 5-10 см (рис. 4.4), переущільнюються нижні шари ґрунту (рис. 4.5). Крім того, відповідно до результатів досліджень, на малих швидкостях

– від 3 до 6 км/год. – прикочування середньоквадратичне відхилення значень щільності “ $\sigma$ ” у кожному шарі знаходиться на одному рівні, а з ростом швидкості до 9 км/год. значення “ $\sigma$ ” зростає на 50% (рис. 4.6).

Збільшення дисперсії значень щільності веде до втрати врожаю. Із огляду на те, що на малих швидкостях нереально отримати задану щільність ґрунту, стандартний кільчасто-зубовий коток (даної ваги та діаметра) задовольняє вимоги формування оптимальної щільності ґрунту недостатньо.

Необхідно відзначити особливість поведінки безструктурних ґрунтів даного регіону при їхній деформації – наростання щільності ґрунту зі збільшенням глибини, що значно ускладнює вирішення задачі. Тому для котка, найбільш пристосованого для даної зони, необхідно встановити, щільність ґрунту якого шару найбільш сильно впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Відповідь можна отримати тільки постановкою додаткового експерименту з параметром оптимізації – “врожайність сільськогосподарської культури”.

$$Y = 1,30 + 0,08 x_1 - 0,01 x_3 + 0,00 x_1 x_3 - 0,02 x_1 x_1 + 0,01 x_3 x_3$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_3=1,00)=1,20; F_{max}(x_1=1,00, x_3=-1,00)=1,37; x_2=-1,00$$

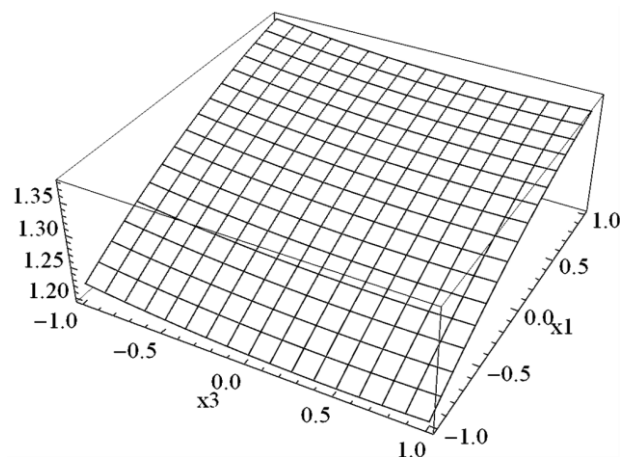


Рисунок 4.4 – Вплив питомого навантаження кільчасто-зубового котка на ґрунт ( $x_1$ ) і швидкості руху ( $x_3$ ) на параметр оптимізації

“щільність ґрунту в шарі 5-10 см” ( $Y'_2$ ),  $x_2 = -1$

$$Y = 1,34 + 0,07 x_1 - 0,02 x_3 + 0,01 x_1 x_3 - 0,00 x_1 x_1 + 0,00 x_3 x_3$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_3=1,00)=1,24; F_{max}(x_1=1,00, x_3=-1,00)=1,41; x_2=-1,00$$

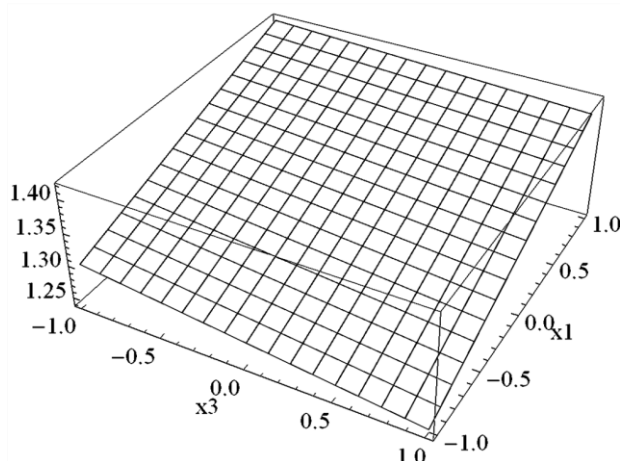


Рисунок 4.5 – Вплив питомого навантаження кільчасто-зубового котка на грунт ( $x_1$ ) і швидкості руху ( $x_3$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 10-15 см” ( $Y'_3$ ),  $x_2 = -1$

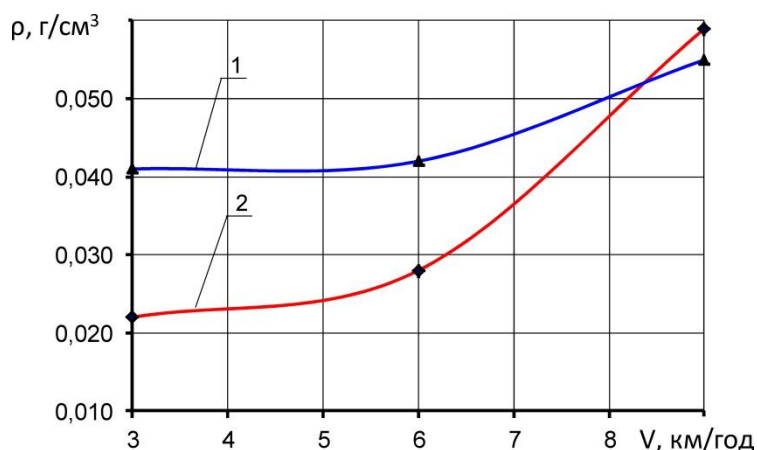


Рисунок 4.6 – Вплив швидкості руху котка на середньоквадратичне відхилення щільності ґрунту в шарі 5-10 см (при  $x_1 = 0$ ,  $x_2 = -1$ ):

1 – кільчасто-шпоровий коток, 2 – кільчасто-зубовий коток

## 2. Тип ґрунту – темно-каштановий

Для ґрунтів півдня України технологічна операція прикочування ґрунту одноопераційними агрегатами відіграє меншу роль, ніж в умовах Поліської зони України. Найчастіше коток використовується в складі комбінованих агрегатів.

Крім того, в степовій зоні не відбувається значної усадки ґрунту під впливом гравітаційного навантаження, наслідком якого на дерново-підзолистих ґрунтах є поступове переуцільнення шарів ґрунту під дією верхніх до глибини 20-25 см.

Задачею досліджень кільчасто-шпорових і кільчасто-зубових котків ставилася перевірка положень, розглянутих у теоретичній частині роботи. Тому в роботі приводиться тільки та частина досліджень, що становить інтерес у плані підтвердження теоретичних досліджень.

Із урахуванням результатів досліджень котків на дерново-підзолистих ґрунтах можна зробити висновок, що кільчасто-шпоровий коток, незалежно від ґрунтових умов його використання, для ущільнення поверхневого й посівного шарів не підходить (значно ущільнює тільки шар ґрунту 10-15 см та перемішує його). В основному цей коток використовується для подрібнення грудок поверхневого шару ґрунту. Але порівняльний аналіз роботи кільчасто-шпорового котка в різних ґрунтово-кліматичних умовах викликає деякий інтерес.

Гладкі водоналивні котки вже в попередніх дослідженнях, проведених на темно-каштанових ґрунтах півдня України, показали високу нерівномірність ущільнення верхнього та нижнього шарів орного горизонту, тому далі не досліджувалися.

Результати дослідження кільчасто-шпорового котка надані на рис. 4.7.

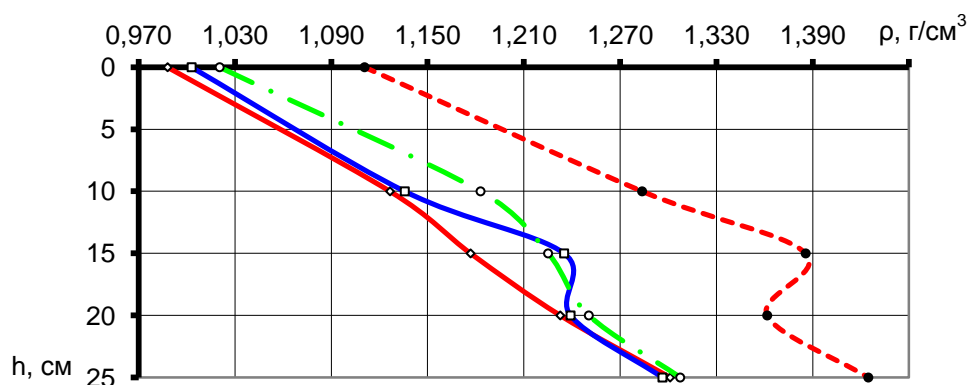


Рисунок 4.7 – Розподіл щільності ґрунту по шарах залежно від питомого навантаження на ґрунт кільчасто-шпорового котка:

— вихідна щільність ґрунту; — питоме навантаження 270 кг/м;  
 - - - питоме навантаження 310 кг/м; ..... питоме навантаження 350 кг/м

На підставі одержаних результатів можна зробити висновок, що при питомому навантаженні 270 кг/м (стандартна комплектація котка) практично не відбувається ущільнення поверхневого й посівного шарів ґрунту – 0-10 см, але при цьому значно ущільнюється шар 10-15 см.

Збільшення питомого навантаження призводить до неприпустимого переущільнення шарів 10-15 і 15-20 см.

Значний інтерес представляє порівняльна оцінка результатів роботи кільчасто-шпорового котка на дерново-підзолистих і темно-каштанових ґрунтах.

Критерієм порівняльної оцінки може бути збільшення пошарової щільності ґрунту щодо вихідної –  $\Delta\rho$  (питоме навантаження на ґрунт 350 кг/м і швидкість агрегату 7 км/год.). На рис. 4.8 представлено таку порівняльну характеристику результатів роботи кільчасто-шпорового котка на дерново-підзолистих та темно-каштанових ґрунтах.

Із рисунка видно, що, незалежно від типу ґрунту, максимальне збільшення щільності відбувається в шарі 10-15 см. Але при цьому інтенсивність наростання щільності ґрунту в нижніх шарах істотно відрізняється: для темно-каштанових ґрунтів вона різко знижується, а для безструктурних дерново-підзолистих ґрунтів післядія прикладеного навантаження на 42% вища. Таким чином, вага приведених у рух верхніх шарів впливає на збільшення щільності в шарі 15-20 см, що знайшло своє відображення в теоретичній частині роботи.

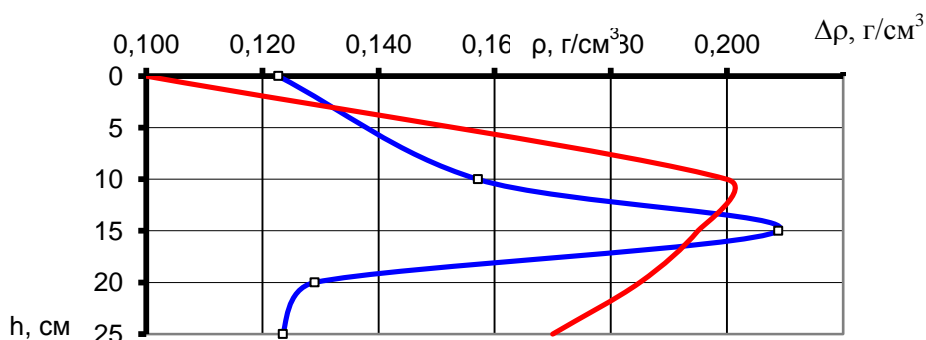


Рисунок 4.8 – Вплив типу та стану ґрунту на характер розподілу збільшення пошарової щільності ґрунту для кільчасто-шпорового котка:

— дерново-підзолистий ґрунт; — темно-каштановий ґрунт



Кільчасто-зубовий коток – це один із кращих існуючих котків за основними показниками роботи, і дослідження, які проведені в умовах півдня України відповідно до параметрів варіювання, ще раз це підтвердили.

Отримано рівняння регресії, що адекватно описують досліджуваний процес (рис. 4.9):

$$Y'_2 = 1,224 + 0,016 \cdot X_1 + 0,099 \cdot X_2 - 0,029 \cdot X_1 X_2 + 0,051 \cdot X_1^2 + 0,091 \cdot X_2^2,$$

де  $Y'_2$  – щільність ґрунту в шарі 5-10 см;  $X_1$  – робоча швидкість агрегату –  $V$ , км/год.;  $X_2$  – питоме навантаження –  $P$ , кг/м.

Результати досліджень показали, що, якщо варіювати питомим навантаженням при швидкості агрегату 6-7 км/год., можна досягти заданої щільності ґрунту в посівному шарі без значного переущільнення підпосівного.

Обмеження по швидкості руху агрегату (не більше 7 км/год. для темно-каштанових ґрунтів) викликано різким збільшенням середньоквадратичного відхилення щільності ґрунту в шарі 5-10 см при  $V > 7$  км/год. Аналогічний результат отриманий і для дерново-підзолистого ґрунту, але на рівні  $V > 6$  км/год.

Для котків із суцільною поверхнею є діапазон швидкості та питомого навантаження, при яких коток ніби “спливає” і знижує інтенсивність ущільнення ґрунту. Наприклад,  $\rho_{\min} = 1,19$  г/см<sup>3</sup> (рис. 4.9). При визначених показниках ґрунту з в'язкості він протидіє впливу ущільнюючого котка. При цьому параметр в'язкості функціонально пов'язаний із механічним складом, вологістю та швидкістю деформації ґрунту.

Порівнюючи поведінку ґрунтів різних типів при взаємодії з ними кільчасто-зубових котків (питоме навантаження на ґрунт 580 кг/м і швидкість агрегату 7 км/год.), можна зробити висновок, що збільшення пошарової щільності ґрунту щодо вихідної найбільш інтенсивно відбувається зі збільшенням глибини в безструктурних дерново-підзолистих ґрунтах. Наслідки прикладеного навантаження збільшення щільності в шарі 25-30 см в дерново-підзолистих ґрунтах удвічі вищі (рис. 4.9).

Найбільш розповсюдженими та часто застосованими в складі комбінованих ґрунтообробних агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту (АГ-6, ККП-6) і комбінованих посівних агрегатів є важкі чи легкі пруткові котки.

У комбінованих агрегатах котки здійснюють подрібнення, вирівнювання та ущільнення ґрунту. Параметри та рівні варіювання цих котків, які досліджувалися в експерименті.

$$Y = 1,22 + 0,02 x_1 + 0,10 x_2 - 0,03 x_1 x_2 + 0,05 x_1 x_1 + 0,09 x_2 x_2$$

$$F_{min}(x_1=-0,33, x_2=-0,60)=1,19; F_{max}(x_1=1,00, x_2=1,00)=1,48$$

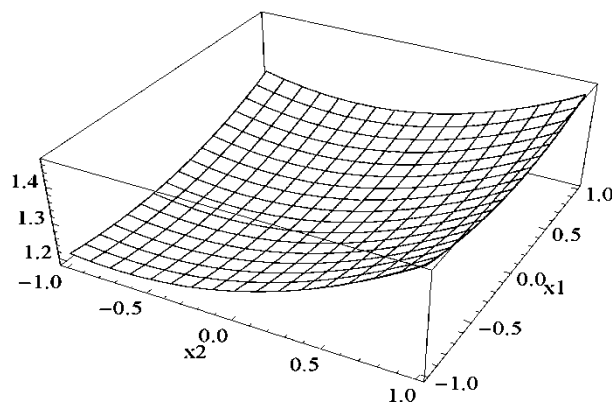


Рисунок 4.9 – Вплив швидкості руху ( $X_1$ ) і питомого навантаження кільчасто-зубового котка на ґрунт ( $X_2$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 5-10 см” ( $Y'_2$ )

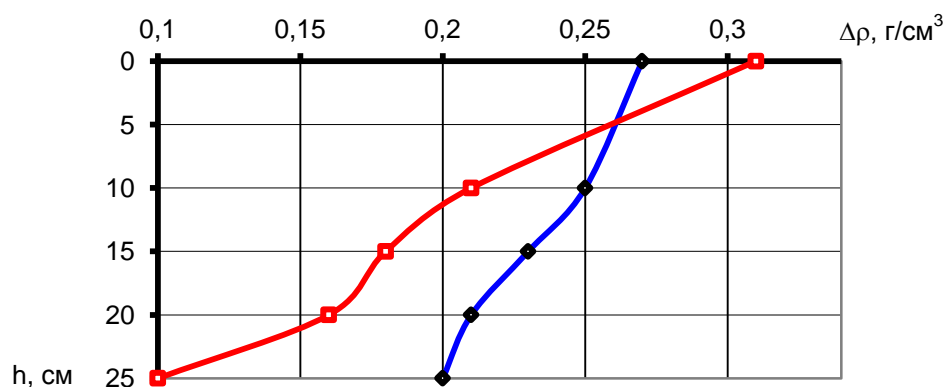


Рисунок 4.10 – Вплив типу та стану ґрунту на характер розподілу збільшення пошарової щільності ґрунту для кільчасто-зубового котка:

— дерново-підзолистий ґрунт; — темно-каштановий ґрунт

Отримані в результаті реалізації та обробки експерименту рівняння регресії дозволяють прогнозувати пошарову щільність ґрунту під котком такого типу в складі комбінованих агрегатів для найбільш типових ґрунтово-кліматичних умов його застосування:

$$\begin{aligned} Y'_1 &= 1,016 - 0,050 \cdot X_1 - 0,011 \cdot X_2 + 0,016 \cdot X_1 X_2 + 0,002 \cdot X_1^2 + 0,068 \cdot X_2^2; \\ Y'_2 &= 1,177 - 0,011 \cdot X_1 - 0,006 \cdot X_2 - 0,009 \cdot X_1 X_2 + 0,048 \cdot X_1^2 + 0,038 \cdot X_2^2; \\ Y'_3 &= 1,255 + 0,004 \cdot X_1 - 0,020 \cdot X_2 + 0,017 \cdot X_1 X_2 - 0,045 \cdot X_1^2 + 0,017 \cdot X_2^2; \\ Y'_4 &= 1,259 + 0,005 \cdot X_1 + 0,005 \cdot X_2 - 0,008 \cdot X_1 X_2 + 0,025 \cdot X_1^2 + 0,050 \cdot X_2^2; \\ Y'_5 &= 1,341 - 0,005 \cdot X_1 - 0,011 \cdot X_2 + 0,016 \cdot X_1 X_2 - 0,042 \cdot X_1^2 + 0,058 \cdot X_2^2, \end{aligned}$$

де  $X_1$  – робоча швидкість агрегату –  $V$ , км/год.;  $X_2$  – питоме навантаження –  $P$ , кг/м;  $Y'_1, Y'_2, Y'_3, Y'_4, Y'_5, Y'_6$  – щільність ґрунту по шарах: 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-25; 25-30 см,  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>.

Для комбінованих знарядь велику роль відіграє перерозподіл ваги знаряддя на опорний коток у процесі роботи. Експериментальні дані, в залежності від того, яку частину ваги знаряддя перенесено на коток, дозволяють визначити щільність ґрунту по шарах для конкретного випадку. Використовуючи ці результати та матеріали теоретичних досліджень, варіюючи питомий тиск котка на ґрунт (вагу котка), діаметр котка і кількість планок, можна вирішити задачу створення в ґрунті оптимальної щільності.

Графічна інтерпретація результатів експерименту для шару 5-10 см представлена на рис. 4.11.

При цьому необхідно відзначити ряд особливостей поведінки пруткових котків такого типу: область мінімальних значень щільності ґрунту при зростанні питомого навантаження визначається конструктивними особливостями котка – наявністю кутика 25x25 мм в основі планки котка. Поки одна грань кутика під дією ваги проникає в ґрунт, спостерігається збільшення його щільності, але з моменту зіткнення полки кутика з ґрунтом збільшується площа контакту й знижується питоме навантаження кожної планки на ґрунт. Зі збільшенням ваги котка зростає й навантаження на планки, а відповідно й підвищується щільність ґрунту.

$$Y = 1,18 - 0,01 x_1 + 0,01 x_2 - 0,01 x_1 x_2 + 0,05 x_1^2 + 0,04 x_2^2$$

$$F_{min}(x_1=0,11, x_2=-0,06)=1,18; F_{max}(x_1=-1,00, x_2=1,00)=1,29$$

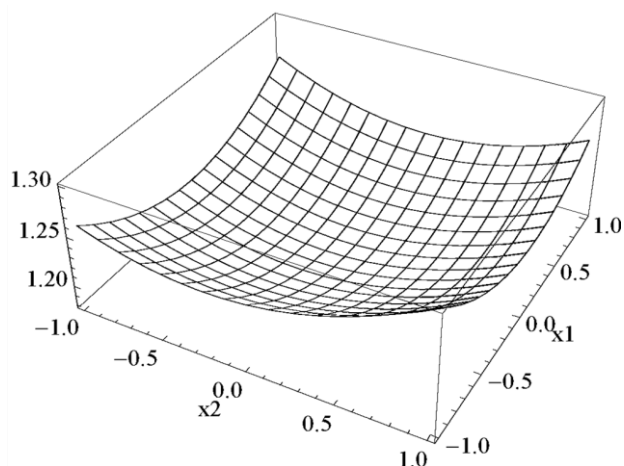


Рисунок 4.11 – Вплив швидкості руху ( $X_1$ ) і питомого навантаження важкого пруткового котка на ґрунт ( $X_2$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 5-10 см” ( $Y_2$ )

У визначеному діапазоні швидкості під дією сил інерції коток “спливає”, і енергія його обертання спрямовується на подрібнення грудок більше, ніж на ущільнення.

Інтенсивність зміни середньоквадратичного відхилення щільності ґрунту в шарі 5-10 см залежно від швидкості важкого пруткового котка аналогічна кільчасто-шпоровому котку, але по абсолютних величинах на 20% більша ( $\sigma \approx 0,048 \text{ г/см}^3$  для  $V = 5 \text{ км/год.}$ ).

Існуючі котки недостатньо пристосовані для формування заданої щільності ґрунту. Можливості котка щодо ущільнення в шарах 0-5 і 5-10 см можна значно поліпшити, якщо забезпечити деяке гальмування (до 5-7%) його обертання.

Легкий прутковий коток зернових сівалок повинен вирішувати задачі створення ущільненого поверхневого та посівного шарів ґрунту й вирівнювання поверхні поля.

У результаті оброблених даних проведених експериментальних досліджень впливу  $V$  і  $P$  на щільність ґрунту по шарах отримані такі рівняння регресії:

$$Y'_1 = 1,029 + 0,025 \cdot X_1 + 0,005 \cdot X_2 - 0,008 \cdot X_1 X_2 - 0,019 \cdot X_1^2 + 0,030 \cdot X_2^2;$$

$$Y'_2 = 1,221 + 0,017 \cdot X_1 + 0,002 \cdot X_2 - 0,032 \cdot X_1 X_2 - 0,019 \cdot X_1^2 + 0,008 \cdot X_2^2;$$

$$Y'_3 = 1,301 + 0,004 \cdot X_1 - 0,020 \cdot X_2 - 0,017 \cdot X_1 X_2 - 0,045 \cdot X_1^2 - 0,017 \cdot X_2^2;$$

$$Y'_4 = 1,324 + 0,017 \cdot X_1 - 0,026 \cdot X_1 X_2 - 0,027 \cdot X_1^2,$$

де  $X_1$  – питоме навантаження –  $P$ , кг/м;  $X_2$  – робоча швидкість агрегату –  $V$ , км/год.

Вплив досліджуваних параметрів на критерій оптимізації для шару 5-10 см наведено на рис. 4.12.

У стандартному виконанні даний коток виконує лише функцію вирівнювача. Впливати на зміну щільності ґрунту в шарі 0-10 см він починає після його довантаження вагою не менше 50 кг (питоме навантаження на ґрунт 60 кг/м). Але при такому довантаженні прутки котка малого діаметра призводять до значного переущільнення ґрунту в шарах глибше 10 см. Тому використовувати даний коток за прямим призначенням неможливо.

$$Y = 1,22 + 0,02 x_1 + 0,00 x_2 - 0,03 x_1 x_2 - 0,02 x_1^2 + 0,01 x_2^2$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_2=-1,00)=1,16; F_{max}(x_1=1,00, x_2=1,00)=1,26$$

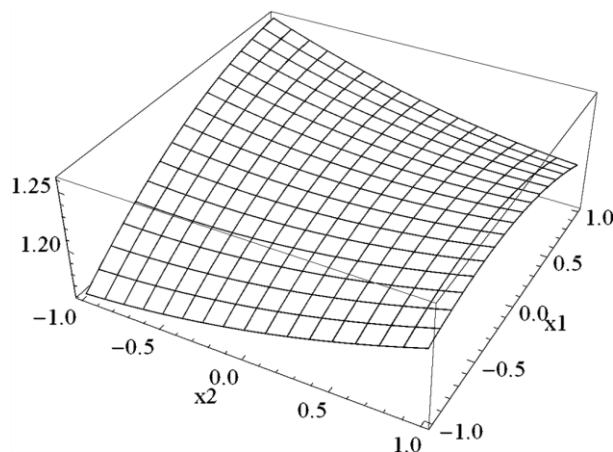


Рисунок 4.11 – Вплив питомого навантаження важкого пруткового котка на ґрунт ( $X_1$ ) і швидкості руху агрегату ( $X_2$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 5-10 см” ( $Y'_2$ )

Для того, щоб коток виконував свою функцію на ґрунтах півдня України, необхідно: 1) збільшити вагу котка до питомого навантаження на ґрунт на рівні 65 кг/м; 2) збільшити діаметр прутка котка, як мінімум, удвічі; 3) збільшити кількість прутків.

#### **4.2 Дослідження впливу режиму роботи кільчасто-зубового (кембриджського) котка на щільність ґрунту, неоднорідність її розподілу в посівному шарі та врожайність вівсяно-горохової суміші**

Умови випробувань: тип ґрунту – дерново-підзолистий. Вологість і щільність ґрунту наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Характеристика умов проведення експериментів за щільністю та вологістю ґрунту

Горизонт, см	Щільність, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Вологість, W, %
0-10	1,12±0,01	16,7±1,1
10-20	1,12±0,02	15,9±1,2
20-30	1,36±0,04	15,2±1,7

У результаті проведених експериментальних досліджень полегшеного кільчасто-зубового котка та обробки даних отримані рівняння регресії, що характеризують зміну пошарової щільності орного горизонту та врожайності вівсяно-горохової суміші залежно від питомого навантаження котка та його швидкості.

Дані рівняння регресії адекватно описують досліджуваний процес:

$$Y_1 = 1,231 - 0,011 \cdot X_1 + 0,068 \cdot X_2 - 0,002 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,010 \cdot X_1^2 + 0,005 \cdot X_2^2;$$

$$Y_2 = 1,275 + 0,028 \cdot X_1 + 0,112 \cdot X_2 + 0,027 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,012 \cdot X_1^2 + 0,039 \cdot X_2^2;$$

$$Y_3 = 1,430 + 0,010 \cdot X_1 + 0,074 \cdot X_2 - 0,030 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,031 \cdot X_1^2 + 0,090 \cdot X_2^2;$$

$$Y_4 = 125,09 + 1,37 \cdot X_1 - 22,97 \cdot X_2 + 15,76 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,51 \cdot X_1^2 - 48,58 \cdot X_2^2.$$

Графічна інтерпретація результатів досліджень за параметрами оптимізації  $Y_1$  – “щільність ґрунту в шарі 0-10 см” і  $Y_4$  – “врожайність вівсяно-гороховій суміші” представлені на рис. 4.12 і 4.13.

$$Y = 1,23 - 0,01 x_1 + 0,07 x_2 + 0,00 x_1 x_2 - 0,01 x_1 x_1 + 0,01 x_2 x_2$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_2=-1,00)=1,15; F_{max}(x_1=-0,63, x_2=1,00)=1,31$$

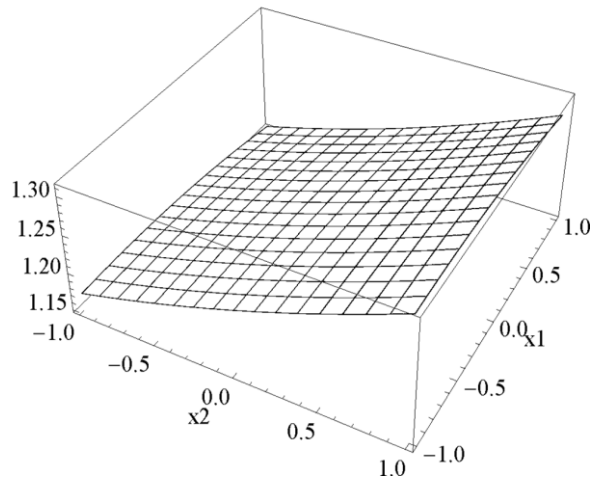


Рисунок 4.12 – Вплив швидкості руху ( $x_1$ ) і питомого навантаження кільчато-зубового котка на ґрунт ( $x_2$ ) на параметр оптимізації “щільність ґрунту в шарі 0-10 см” ( $Y_1$ )

$$Y = 125,09 + 1,37 x_1 - 22,97 x_2 + 15,76 x_1 x_2 + 6,51 x_1 x_1 - 48,58 x_2 x_2$$

$$F_{min}(x_1=-1,00, x_2=1,00)=42,92; F_{max}(x_1=-1,00, x_2=-0,40)=137,96$$

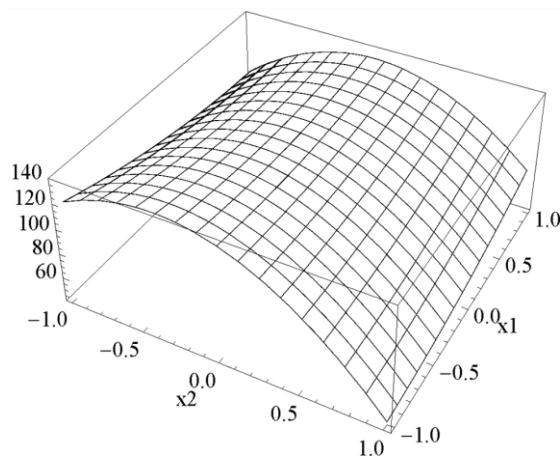


Рисунок 4.13 – Вплив швидкості руху ( $x_1$ ) і питомого навантаження кільчато-зубового котка на ґрунт ( $x_2$ ) на параметр оптимізації “врожайність вівсяно-гороховій суміші” ( $Y_4$ )

Згідно даним [55], оптимальна щільність для зернових на дерново-підзолистих ґрунтах складає 1,2-1,4 г/см<sup>3</sup>, а на сірих лісових – 1,2-1,3 г/см<sup>3</sup>, що підтвердилося експериментальними дослідженнями. За результатами досліджень (рис. 4.13), найбільша врожайність отримана на ділянках із щільністю 1,21-1,24 г/см<sup>3</sup>, причому більш високий вплив на врожай має щільність шару 0-10 см, що, мабуть, пов'язано з початковим розвитком кореневої системи в цьому шарі за даних умов.

Аналізуючи рівняння регресії, можна зробити висновок, що надлишкова щільність верхнього шару (0-10 см) більш шкідлива для рослин, ніж недостатня, чого ніяк не скажеш про шар 10-20 см, де недостатня щільність істотно знижує врожайність. Останнє пов'язано з тим, що при недостатньому ущільненні в ґрунті залишаються зайві порожнини, заповнені повітрям, які негативно впливають на розвиток кореневої системи рослин, тому що викликають усадку ґрунту та обрив корінців. Вплив щільності шару 20-30 см на врожайність даної культури менш помітна, однак і тут проглядаються певні характерні залежності.

Середня щільність орного горизонту не завжди повною мірою характеризує реальний стан. Велика неоднорідність значень щільності ґрунту викликає зниження врожайності порівняно з однорідним розподілом щільності. Втрати врожаю, викликані неоднорідністю розподілу щільності в орному горизонті при оптимальній середній його щільності, А.С. Кушнар'ов [85] виражає залежністю:

$$\Delta Q \approx b \cdot \sigma^2,$$

де  $\Delta Q$  – зниження врожайності;  $b$  – коефіцієнт;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення щільності ґрунту.

Для перевірки гіпотези про вплив неоднорідності щільності ґрунту в орному горизонті на врожайність сільськогосподарських культур А.С. Кушнар'овим [85] у навчальному господарстві МІМСГ у 1994 р. закладено польові досліді. На ділянках, оброблених різними ґрунтообробними знаряддями, визначено поточну щільність ґрунту (табл. 4.4).



Не зважаючи на те, що показники середньої щільності ґрунту по шарах майже однакові, для менших середньоквадратичних відхилень щільності врожайність озимої пшениці, як правило, вище.

Аналогічні результати отримані й у дослідженнях із кільчасто-зубовим котком [85]. Кореляційний аналіз зв'язку між неоднорідністю щільності ґрунту в експерименті та врожайністю свідчить про наявність високого рівня статистичного зв'язку (табл. 4.5).

Чим менше середньоквадратичне відхилення щільності ґрунту в шарі, тим вища врожайність. Отже, неоднорідність значень щільності ґрунту в орному горизонті веде до зниження врожайності сільськогосподарських культур. При цьому на неоднорідність щільності ґрунту, крім типу ґрунту, його вологості й попереднього механічного обробітку, впливають швидкість котка та його конструктивно-технологічні параметри.

Таблиця 4.5 – Вплив щільності ґрунту та середньоквадратичного її відхилення на врожайність озимої пшениці при різних видах основного обробітку ґрунту [120]

Обробіток ґрунту	Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>				Середньоквадратичне відхилення щільності ґрунту				Врожайність, ц/га
	0-10 см	10-20 см	20-30 см	0-30 см	0-10 см	10-20 см	20-30 см	0-30 см	
КПЭ-3,8	1,12	1,14	1,18	1,15	0,041	0,060	0,054	0,052	25,1±2,1
КПШ-5	1,08	1,17	1,16	1,14	0,063	0,065	0,067	0,061	22,6±2,4
КПШ-5Э*	1,07	1,15	1,17	1,13	0,046	0,044	0,036	0,042	28,1±1,6

Таблиця 4.6 – Вплив неоднорідності щільності ґрунту на врожайність сільськогосподарських культур

Шар ґрунту, см	Коефіцієнт кореляції між врожайністю та середньоквадратичним відхиленням щільності ґрунту
0-10	0,87
10-20	0,73
0-20	0,79

### 4.3 Висновки з розділу

1. За результатами досліджень робочих органів для ущільнення ґрунту в умовах двох ґрунтово-кліматичних зон одержано:

- рівняння регресії, що характеризують зміну щільності ґрунту по шарах залежно від типу котка й режимів його роботи;
- рівняння регресії, що описують вплив питомого навантаження та робочої швидкості кільчасто-зубового котка на щільність ґрунту та врожайність сільськогосподарських культур.

2. Найбільший врожай зеленої маси вівсяно-горохової суміші отримано на ділянках, ущільнених котками до 1,21-1,24 г/см<sup>3</sup>. Найбільшу вагомість впливу на врожайність даної кормової суміші має щільність ґрунту в шарі 0-10 см. Коефіцієнт кореляції між середньоквадратичним відхиленням значень щільності та врожайністю сільськогосподарських культур знаходиться в межах 0,5-0,9.

3. При збільшенні швидкості котків понад 6 км/год. різко зростає середньоквадратичне відхилення поточних значень щільності ґрунту та зменшується врожайність сільськогосподарських культур. Цілеспрямований вибір відповідних ґрунтово-кліматичним умовам типу котка та його режиму роботи (питоме навантаження 460 кг/м, поступальна швидкість котка – 6 км/год.) дозволив збільшити врожайність вівсяно-горохової суміші на 28% порівняно з тим типом котка, який є рекомендованим для даної зони.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **5.1 Основні проблеми та завдання охорони праці в сучасних умовах**

«Охорона праці – система забезпечення безпеки життя та здоров'я працівників у процесі трудової діяльності, що включає правові, соціально-економічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи».

«Перетворення праці на життєву потребу людини є важливою ставкою розвитку будь-якого цивілізованого суспільства. Це можливо лише в тому випадку, якщо людина працює у сприятливих та безпечних умовах, які сприяють розвитку всіх її здібностей, забезпечують високу продуктивність праці».

«Створити цілком нешкідливі та безпечні умови праці на кожному об'єкті поки що нереально. Тому завдання охорони праці зводиться до того, щоб шляхом здійснення різнопланових заходів звести до мінімуму впливу на людину небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що виникають на робочих місцях, максимально зменшити ймовірність нещасних випадків та захворювань працюючих, забезпечувати комфортні умови праці, що сприяють високій продуктивності».

### **5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при обробці ґрунту та посіві**

«Безпека виробничих процесів обробки ґрунту та посіву зернових культур має бути забезпечена:

- вибором застосовуваних технологічних процесів, прийомів, режимів роботи та порядку обслуговування виробничого обладнання;
- застосуванням індивідуальних засобів захисту працюючих;

- дотриманням чинних норм та правил, що визначають вимоги до конструкції машин, правил пожежної безпеки та вимог щодо безпеки, викладених у нормативно-технічній документації на машини;

- дотримання вимог цього стандарту».

«Додаткові вимоги безпеки, що пред'являються до операцій, що не передбачені типовою операційною технологією, повинні бути встановлені нормативно-технічною документацією, затвердженою в установленому порядку.

Порушення вимог чинної нормативно-технічної документації та правил техніки безпеки при виконанні виробничих процесів обробітку ґрунту та посіву зернових культур зумовлюють можливість виникнення у виробничому середовищі шкідливих та небезпечних виробничих факторів».

«Шкідливими факторами, які можуть виявлятися в процесі обробки ґрунту та посіву зернових культур, є перевищення санітарно-гігієнічних норм:

1. За вмістом пилу, пестицидів та мінеральних добрив у повітрі робочої зони. Джерелом пилу, можливо, вітряна суха погода, рух техніки, обладнання. Джерелами пестицидів і мінеральних добрив є склади, техніка, що перевозить, агрегати, пестициди, що вносяться, і добрива.

Характер дії – отруєння, ядуха, погане самопочуття.

2. За рівнем температури, вологості та сонячної радіації повітря в робочій зоні.

Джерелом є погодні умови, мікроклімат у приміщеннях. Як правило, це призводить до нездужань працівників, простудних захворювань, сонячного удару.

3. За рівнем шуму та вібрації.

Джерелами є працююча техніка, агрегати, устаткування. Приводить до захворювань вушної порожнини, нездужань.

До небезпечних виробничих факторів належать такі:

1. Наявність у робочій зоні відкритих частин, що обертаються і перемішуються, машин або механізмів. Джерелами є трактор, що рухається, с/г агрегати для передпосівної обробки ґрунту і посіву, які можуть викликати наїзд на людей, з отриманням травм різної тяжкості.

2.Робота на полях з ухилом більше 16% (5-9 °). Поперек схилу дозволяється працювати тільки на малих швидкостях із використанням кренометра та при ухилі до 12°. Для роботи на крутих схилах застосовують спеціальні машини.

Цей фактор може спричинити перекидання тракторів, машин.

3. Відпочинок під машинами та в інших невстановлених для відпочинку місцях (насінневі ящики, огороження підніжних дощок), а також усунення технічних несправностей або зривів технологічного процесу при працюючому двигуні трактора. Забороняється перебувати під машинами, піднятими в транспортне положення, або біля агрегату під час його повороту, сідати на раму при виконанні операцій або руху, регулювати або підтягувати кріплення, виконувати технічне чи технологічне обслуговування на ходу, порушувати правила агрегування, перебувати попереду агрегату, сідати на баластний ящики.

Це може призвести до каліцтв, травм різної тяжкості.

4.Проїзд посівних агрегатів вузькими дамбами і мостами. Проїзд повинен проводитись лише у спеціально обладнаних місцях, з гарною видимістю. Через канави та інші перешкоди агрегати з навісними знаряддями переїжджають під прямим кутом, на малій швидкості, уникаючи різких поштовхів та великих кренів трактора. У таких місцях відбуваються з'їзд чи обертання тракторів із агрегатами.

5. Зіскок з посівного агрегату, що рухається, і підйом на нього. В цьому випадку можна впасти або потрапити під агрегат і отримати травму різної тяжкості».

### **5.3 Розробка заходів щодо створення здорових та безпечних умов праці при підготовці поля та посіву**

«Вимоги щодо підготовки поля.

1. Поле для роботи машин має бути підготовлене (прибрано соломі, каміння, зарівняно ями тощо). Під час підготовки поля слід позначати місце для відпочинку добре видимими вішками.

2. Для запобігання перекиданню машин при роботі поблизу великих каменів, небезпечних схилів, розмитих ділянок, ярів та інших перешкод слід проводити обмежувальну розмітку поля шляхом встановлення добре помітних вішок заввишки 2,5-3м, попереджувальних знаків та проведення плугом обмежувальних борозн на ширини поворотної лінії агрегату від краю перешкод.

3. Робота машин загального призначення допускається на полях з ухилом трохи більше 14-16%.

Вимоги до завантаження та перевезення протруєного насіння та мінеральних добрив.

1. Завантаження протруєного насіння в мішки та сівалки, а також завантаження мінеральних добрив у транспортні засоби має бути механізовано.

2. Перевозити протруєне насіння до місця сівби дозволяється лише у мішках із щільного матеріалу разового користування або на автомобільних завантажувачах сівалок. На мішках має бути напис "Протруєно" або "Отрутно".  
Перевезення людей одночасно з протруєним насінням забороняється.

3. Перевозити мінеральні добрива слід у спеціальних контейнерах або транспорті загального користування з добре ущільненим кузовом і покритим брезентом.

Вимоги до організації робочих місць.

1. При груповій роботі агрегатів у складі працюючих ними призначається старший.

2. При обробці ґрунту механізатори повинні бути забезпечені чистиками для очищення робочих органів ґрунтообробних знарядь та гачками з довгими ручками для підймання та очищення борін.

3. Робоче місце сіяльника має бути укомплектоване чистиком та гачком або штирем для очищення сошників та висівних апаратів, а також відповідними засобами індивідуального захисту.

4. Одночасне обслуговування одним робітником двох або більше сівалок забороняється.

5. Польові заправні пункти повинні бути обладнані:

Пересувні піддони, що виключають втрати мінеральних добрив.

Пристосування для механічного вилучення рідких пестицидів з бочок місткістю 100 л і більше;

Аптечкою першої долікарської допомоги, умивальником та бачком з питною водою.

Вимоги до персоналу, що допускається до участі у процесі.

1. На механізованих сільськогосподарських роботах (тракторах та інших машинах) допускається застосування праці підлітків віком не молодше 17 років за наявності посвідчення на право водіння трактора, виданого спеціальною комісією.

2. Допуск осіб до роботи з пестицидами регламентується вимогами чинних Санітарних правил щодо зберігання, транспортування та застосування пестицидів у сільському господарстві.

3. Робітники, зайняті на транспортуванні та посіві протруєного насіння, а також при роботах з пестицидами, повинні проходити попередні медичні огляди.

4. Технічне та технологічне обслуговування машин слід проводити лише після повної зупинки їх робочих органів.

5. Обслуговуючому персоналу під час роботи агрегату забороняється:

Знаходитись між машиною та трактором при їх агрегуванні;

Підніматись на підніжну дошку сівалок і сходити з неї;

Проводити технічне обслуговування машин та знарядь, а також засипання насінневих тукових ящиків сівалок;

Очищати робочі органи;

Перебувати на підніжній дошці сівалок під час її транспортування.

Проводити ремонт машини або зброї, піднятої гідросистемою трактора без страхувальних пристроїв.

6. Персонал, що бере участь у процесах обробітку ґрунту та посіві зернових культур повинен пройти інструктаж техніки безпеки.

Режим робочого часу – порядок розподілу наймачем встановлених цим Кодексом для працівників норм щоденної та щотижневої тривалості робочого

часу та часу відпочинку протягом доби, тижня, місяця та інших календарних періодів.

Режим робочого часу визначає час початку та закінчення робочого дня (зміни), час обіднього та інших перерв, послідовність чергування працівників за змінами, робочі та вихідні дні.

Режим робочого дня розробляється з режиму роботи, застосовуваного у наймача.

Режим робочого дня визначається правилами внутрішнього трудового розпорядку чи графіком робіт (змінності). Графік робіт (змінності) затверджується наймачем за погодженням із профспілкою.

Встановлений режим робочого дня доводиться до відома працівників пізніше місяця до набуття чинності.

Режим робочого дня при змінній роботі визначається графіком змінності. Працівники чергуються за змінами поступово.

Мінімальна тривалість щоденного відпочинку між змінами (від кінця однієї до початку наступної) повинна бути разом з часом перерви для відпочинку та харчування не менше подвійної тривалості часу роботи у зміні, що передує відпочинку.

Якщо тривалість зміни за графіком більша за вісім годин, зменшення тривалості щоденного відпочинку між змінами компенсується за рахунок збільшення щотижневого безперервного відпочинку.

У безперервно діючих організаціях, а також там, де за умовами виробництва (роботи) неможливим або економічно не доцільним є дотримання встановленої для цієї категорії працівників щоденної або щотижневої тривалості робочого часу. Може застосовуватись сумований облік робочого дня. Щоденна або щотижнева тривалість робочого часу, при сумованому обліку може бути більшою або меншою за норму годинника робочого дня або робочого тижня.

Обліковий періодом при сумованому обліку робочого часу визнається період, у межах якого має бути дотримана середнім встановлена для даної



категорії працівників тривалість робочого дня та робочого тижня. Обліковий період може визначатися календарними чи іншими періодами.

Норма годинника робочого часу за обліковий період розраховується шляхом множення норми годинника робочого дня (зміни), згідно з графіком або розпорядком роботи, з урахуванням скорочення робочого часу напередодні державних свят та святкових днів та в нічний час на кількість робочих годинників в обліковому періоді. Підсумований облік робочого часу запроваджується наймачем за погодженням з профспілкою.

Працівники зобов'язані вчасно приходити працювати і повністю використовувати встановлену законодавством тривалість робочого дня виконання своїх обов'язків, а наймач повинен створювати умови повного і продуктивного використання робочого дня.

У робочий час забороняється відволікати працівників від своїх безпосередньої роботи, звільняти від роботи до виконання громадських обов'язків і проведення заходів, які пов'язані з виробничою діяльністю, якщо інше не передбачено законодавством, колективним договором, угодою».

#### **5.4 Висновки з розділу**

Базуючись на нормативній документації і згідно вимог охорони праці проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при обробці ґрунту та посівпри. З метою запобігання травмувань та правильного виконання операцій розроблені заходи щодо створення здорових та безпечних умов праці при підготовці поля та посіву.

## **6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Економічний ефект від використання котка для прикочування гранту із обґрунтованими конструктивно-технологічними параметрами обумовлені зниженням питомого тягового опору з одночасним підвищенням якості обробітку ґрунту, що впливає на урожайність сільськогосподарських культур. У результаті зменшуються приведені витрати на 1 га оброблюваної площі.

Для визначення економічної ефективності котка для прикочування гранту із обґрунтованими конструктивно-технологічними параметрами в якості базового знаряддя використовувався ККШ-6Г.

Розрахунок економічної ефективності виконано відповідно до загальновідомих методик методом послідовного порівняння значень відповідних показників базового і порівнюваного варіантів.

Річний економічний ефект ( $E_p$ ) визначався як різниця наведених витрат за варіантами:

$$E_p = (U_B - U_H + D) \cdot W_G, \quad (6.1)$$

де  $U_B$ ,  $U_H$  – наведені витрати на 1 га при базовому і проектному варіантах, грн./га;  $W_G$  – річний виробіток агрегату, га;  $D$  – додатковий чистий дохід за рахунок збільшення кількості продукції, грн./га.

Наведені витрати на 1 га визначаються за формулою:

$$U = C + E \cdot K_{уд}, \quad (6.2)$$

де  $C$  – прямі експлуатаційні витрати, грн./га;  $E$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;  $K_{уд}$  – питомі капітальні вкладення, грн./га.

Прямі експлуатаційні витрати визначаються наступним чином:

$$C = Z + Z_T + A_T + A_{CM} + P_T + P_{CM}, \quad (6.3)$$

де  $Z$  – зарплата тракториста, грн./га;  $Z_T$  – витрати на паливо та мастильні матеріали, грн./га;  $A_T$  – амортизаційні відрахування на трактор, грн./га;  $A_{CM}$  –

амортизаційні відрахування на коток, грн./га;  $P_T$  – відрахування на ремонт і ТО трактора, грн./га;  $P_{CM}$  – відрахування на ремонт і ТО котка, грн./га;

Зарплата тракториста визначається за залежністю:

$$З = T \cdot f_T; \quad (6.4)$$

$T$  – затрати праці на 1 га, люд.-год./га

$$T = N_T / W_E; \quad (6.5)$$

$N_T$  – кількість обслуговуючого персоналу;  $W_E$  – експлуатаційна продуктивність агрегату, га/год.

$$W_E = W_T \cdot \phi_E; \quad (6.6)$$

$W_T$  – технічна продуктивність агрегату, га/год.

$$W_T = W \cdot K_B; \quad (6.7)$$

$W$  – теоретична продуктивність агрегату, га/год.

$$W = 0,1B \cdot V_P; \quad (6.8)$$

$B$  – ширина захвату, м;  $V_P$  – робоча швидкість, км/год.;  $K_B$  – коефіцієнт використання ширини захвату;  $\phi_E$  – коефіцієнт використання експлуатаційного часу;  $f_T$  – тарифна ставка тракториста, грн./год.

Витрати на паливо та мастильні матеріали визначаються наступною формулою:

$$З_T = G_{\text{ч}} \cdot \text{Ц}_T / W_E, \quad (6.9)$$

де  $G_{\text{ч}}$  – часові витрати палива, кг/год.;  $\text{Ц}_T$  – комплексна ціна 1 кг палива, грн.

Амортизаційні відрахування на трактор можна знайти за виразом:

$$A_T = B_T \cdot a_T / (100 \cdot \Gamma_T \cdot W_E), \quad (6.10)$$

де  $B_T$  – ціна балансова трактора, грн.;  $a_T$  – коефіцієнт амортизаційних відрахувань трактора;  $\Gamma_T$  – річне завантаження трактора, год.

Амортизаційні відрахування на коток:

$$A_{CM} = B_{CM} \cdot a_{CM} / (100 \cdot \Gamma_{CM} \cdot W_E), \quad (6.11)$$

де  $B_{CM}$  – ціна балансова котка, грн.;  $a_{CM}$  – коефіцієнт амортизаційних відрахувань котка;  $\Gamma_{CM}$  – річне завантаження котка, год.

Відрахування на ремонт і ТО трактора знайдемо за залежністю:

$$P_T = B_T \cdot p_T / (100 \cdot \Gamma_T \cdot W_E), \quad (6.12)$$

де  $p_T$  – коефіцієнт відрахувань на ремонт і технічне обслуговування трактора.

Відрахування на ремонт і ТО котка визначимо:

$$P_{CM} = B_{CM} \cdot p_{CM} / (100 \cdot \Gamma_T \cdot W_E), \quad (6.13)$$

де  $p_{CM}$  – коефіцієнт відрахувань на ремонт і технічне обслуговування котка.

Питомі капітальні вкладення визначаються:

$$K_{UD} = (B_T / \Gamma_T + B_{CM} / \Gamma_{CM}) / W_E, \quad (6.14)$$

Додатковий чистий дохід, що отриманий за рахунок збільшення кількості продукції, можна знайти за формулою:

$$D = C_B \cdot B \cdot k_B / 100, \quad (6.15)$$

де  $C_B$  – ціна 1 т зібраного врожаю, грн./т;  $B$  – врожайність, т/га;  $k_B$  – відсоток збільшення врожайності, %.

Термін окупності додаткових капіталовкладень визначається наступним чином:

$$T = (B_{CM} - B_{CB}) / E_P. \quad (6.16)$$

Вихідні дані та результати розрахунку економічних показників та економічної ефективності наведені в таблицях 6.1-6.2.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показник	Позначення	Варіант	
		базовий (ККШ-6Г)	проектний (удосконалений ККШ-6Г)
Річний виробіток агрегату, га	$W_T$	1000,00	1000,00
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	$E$	0,15	0,15
Тарифна ставка тракториста, грн./год.	$f_T$	40,00	40,00
Кількість обслуговуючого персоналу	$N_T$	1,00	1,00
Ширина захвата, м	$B$	6,00	6,00
Робоча швидкість, км/год.	$V_P$	12,00	12,00

Показник	Позначення	Варіант	
		базовий (ККШ-6Г)	проектний (удосконалений ККШ-6Г)
Коефіцієнт використання ширини захвату	$K_B$	0,97	0,97
Коефіцієнт використання експлуатаційного часу	$\phi_E$	0,78	0,78
Часові витрати палива, кг/год.	$G_{\text{ч}}$	6,00	4,00
Комплексна ціна 1 кг палива, грн	$\text{Ц}_T$	30,00	30,00
Ціна балансова трактора, грн.	$B_T$	750000,00	750000,00
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань трактора	$a_T$	12,50	12,50
Річне завантаження трактора, год.	$\Gamma_T$	1700,00	1700,00
Ціна балансова котка, грн.	$B_{\text{СМ}}$	216000,00	320000,00
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань котка	$a_{\text{СМ}}$	16,00	16,00
Річне завантаження котка, год.	$\Gamma_{\text{СМ}}$	200,00	200,00
Коефіцієнт відрахувань на ремонт і технічне обслуговування трактора	$p_T$	10,00	10,00
Коефіцієнт відрахувань на ремонт і технічне обслуговування котка	$p_{\text{СМ}}$	11,00	11,00
Ціна 1 т зібраного врожаю, грн./т	$C_B$	7000,00	7000,00
Врожайність, т/га	$B$	2,20	2,42
Відсоток збільшення врожайності, %.	$k_B$	-	1,10

Таблиця 6.2 – Результати розрахунку економічної ефективності

Показник	Позначення	Варіант	
		базовий (ККШ-6Г)	проектний (удосконалений ККШ-6Г)
Експлуатаційна продуктивність агрегату, га/год.	$W_E$	5,45	5,45
Технічна продуктивність агрегату, га/год.	$W_T$	6,98	6,98
Теоретична продуктивність агрегату, га/год.	$W$	7,20	7,20

Показник	Позначення	Варіант	
		базовий (ККШ-6Г)	проектний (удосконалений ККШ-6Г)
Затрати труда на 1 га, люд.-год./га	T	0,18	0,18
Питомі капітальні вкладення, грн./га	K <sub>уд</sub>	279,24	374,70
Зарплата тракториста, грн./га	Z	7,34	7,34
Витрати на паливо та мастильні матеріали, грн./га	Z <sub>T</sub>	33,04	22,03
Амортизаційні відрахування на трактор, грн./га	A <sub>T</sub>	10,12	10,12
Амортизаційні відрахування на коток, грн./га	A <sub>CM</sub>	31,72	46,99
Відрахування на ремонт і ТО трактора, грн./га	P <sub>T</sub>	8,10	8,10
Відрахування на ремонт і ТО котка, грн./га	P <sub>CM</sub>	2,57	3,80
Прямі експлуатаційні витрати, грн./га	C	92,89	98,39
Наведені витрати на 1 га, грн./га	U	134,78	154,59
Додатковий чистий дохід за рахунок збільшення кількості продукції, грн./га	D	-	186,34
Річний економічний ефект, грн	E <sub>p</sub>	-	166527,42
Термін окупності додаткових капіталовкладень, рік	T	-	0,62

Застосування удосконаленого ККШ-6Г для прикочування ґрунту дозволяє знизити витрати на паливно-мастильні матеріали скоротити на 16 % в порівнянні з серійними робочими органами ККШ-6Г.

Економічні розрахунки свідчать, що використання удосконаленого ККШ-6Г для умов зрошуваного землеробства дає можливість отримати річний економічний ефект 166527 грн. Термін окупності додаткових капіталовкладень при цьому складає 0,62 роки.

## ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного глибокого аналізу літератури, в якій описувалися способи підготовки ґрунту до посіву, зокрема, було виявлено, що багато вчених приділили велику увагу процесу прикочування ґрунту за допомогою ґрунтообробних котків. Аналіз багатьох джерел науково-технічної літератури, присвяченої технологічному процесу прикочування ґрунту ґрунтообробними котками, показав, що ця тематика досить добре вивчена. Однак було виявлено, що конструкції сучасних ґрунтообробних котків мають безліч недоліків, що не дозволяє їм виконати вимоги щодо якості, пред'явлені до цієї операції. Встановлено, що сучасні конструкції котків мало універсальні і не мають необхідних регулювань, конструктивно-режимних параметрів, які дозволяють розширити їх технологічні можливості.

2. Розроблено механіко-математичну модель взаємодії робочих органів для прикочування з ґрунтом, яка враховує усадку нижнього шару ґрунту в момент його деформації котком за рахунок ваги верхнього шару. Це підтверджено в процесі експериментальних досліджень на безструктурних ґрунтах.

3. Встановлено, що при взаємодії ґрунту з котками розподіл його щільності по глибині істотно відрізняється від природного самоущільнення, що змінює уявлення про суть технологічного процесу механізованого ущільнення ґрунту. Реалізація моделі на ПЕОМ дозволяє визначати щільність ґрунту при різному його стані, навантаженні й конструктивно-технологічних параметрах котка.

4. За результатами досліджень робочих органів для ущільнення ґрунту в умовах двох ґрунтово-кліматичних зон одержано:

- рівняння регресії, що характеризують зміну щільності ґрунту по шарах залежно від типу котка й режимів його роботи;
- рівняння регресії, що описують вплив питомого навантаження та робочої швидкості кільчасто-зубового котка на щільність ґрунту та врожайність сільськогосподарських культур.

5. Найбільший врожай зеленої маси вівсяно-горохової суміші отримано на ділянках, ущільнених котками до 1,21-1,24 г/см<sup>3</sup>. Найбільшу вагомість впливу на врожайність даної кормової суміші має щільність ґрунту в шарі 0-10 см. Коефіцієнт кореляції між середньоквадратичним відхиленням значень щільності та врожайністю сільськогосподарських культур знаходиться в межах 0,5-0,9.

6. При збільшенні швидкості котків понад 6 км/год. різко зростає середньоквадратичне відхилення поточних значень щільності ґрунту та зменшується врожайність сільськогосподарських культур. Цілеспрямований вибір відповідних ґрунтово-кліматичним умовам типу котка та його режиму роботи (питоме навантаження 460 кг/м, поступальна швидкість котка – 6 км/год.) дозволив збільшити врожайність вівсяно-горохової суміші на 28% порівняно з тим типом котка, який є рекомендованим для даної зони.

7. Базуючись на нормативній документації і згідно вимог охорони праці проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів при обробці ґрунту та посівіпри. З метою запобігання травмувань та правильного виконання операцій розроблені заходи щодо створення здорових та безпечних умов праці при підготовці поля та посіву.

8. Застосування удосконаленого ККШ-6Г для прикочування ґрунту дозволяє знизити витрати на паливно-мастильні матеріали скоротити на 16 % в порівнянні з серійними робочими органами ККШ-6Г. Економічні розрахунки свідчать, що використання удосконаленого ККШ-6Г для умов зрошувального землеробства дає можливість отримати річний економічний ефект 166527 грн. Термін окупності додаткових капіталовкладень при цьому складає 0,62 роки.



## Список використаної літератури

1. Качественный посев озимых культур – залог успеха / А.И. Захаров, Н.С. Дубова, В.Г. Власов // Ульяновск-Агро. – 2008. - № 6. – С. 34- 35.
2. Козловская И. П. Основы агрономии / Козловская И.П., Ве-чер Н.Н., Дайнеко Т.М. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2015. – 115
3. Дроздов В.Н. Комбинированные почвообрабатывающие и посевные машины / В.Н. Дроздов, В.Ф. Кандеев. – М.: Нива России, 1992. – 197 с.
4. Васина А.А. Приемы возделывания сои Соер 4 в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Автореф. дис. ... канд. сел.-хоз. наук. – Кинель, 2008. – 22 с.
5. Карпенко А.Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. – М.: Агропромиздат, 1989. – 495 с.
6. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины /Н.И. Кленин, В.А. Саун. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
7. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. - Л.: Сельхозгиз, 1955. – 764 с.
8. Листопад Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Агропромиздат, 1986. – 546 с.
9. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / под ред. проф. Б.Г. Турбина. – Л.: Машиностроение, 1967. – 439 с.
10. Левчук П.Л. Методика разработки технологической схемы комбинированной посевной машины / П.Л. Левчук, В.И. Кочев // Тракторы и сельхозмашины. – 1979. – № 3. – С. 15-16.
11. Ковриков И.Т. Основы разработки широкозахватных стерневых сеялок // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. - № 6.– С. 41-44.
12. Семенов А.Н. Зерновые сеялки. – М.: Машгиз, 1959. – 259 с.
13. Татаров Г.Л. Разработка гребневой сеялки с обоснованием параметров сошника для разноуровневого высева семян и удобрений: дис. ...канд. техн. наук: 05.20.01 / Татаров Григорий Львович. – Уфа, 2016. – 9 с.

14. Шаронов И. А. Разработка катка-гребнеобразователя с обоснованием его оптимальных параметров: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Шаронов Иван Александрович. – Уфа, 2011. – 9 с.
15. Hart J. Wide choicem wheat and barley planting depth / Queenslandagr. J. – 1964. – vol. 90. – № 31. – P. 137-138.
16. Сулейменов М.К. Теоретические основы оптимальных площадей питания яровой пшеницы в Северном Казахстане. Автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – Шортанды: ВНИИЗХ, 1978. – 36 с.
17. Чаплыгин М.Е. Комплекс машин для подготовки почвы после уборки кукурузы на зерно и посева озимой пшеницы / М.Е. Чаплыгин // Профпресса. 2016. – С. 14-17
18. Поляков А.В. Усовершенствование технологии производства столовой моркови на гребнях на аллювиальной-луговой почве не- черноземной зоны РФ. Дисс. ... канд. с.-х. наук. – Москва, 2004. – 157 с.
19. Тур, А.В. Загорулько. – Краснодар: КубГАУ, 1994. – 67 с.
20. Шаповалов Д.В. Влияние систем удобрений на агрофизические свойства выщелоченного чернозема и урожайность сои на поверхностной обработке почвы // Научный журнал КубГАУ. – 2009. – № 52(8). – С. 5-10.
21. Мякушко Ю.П. Соя / Ю.П. Мякушко, В.Ф. Баранов / Всесоюзная академия с.-х. наук им. В.И. Ленина. – М.: Колос, 1984. – 332 с. Тур Н.С. Агроэкологические основы возделывания сои / Н.С.
22. Интенсивная технология производства кукурузы / Н.В. Тудель, Н.А. Кривошея, Н.И. Есепчук и др. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 272 с.
23. Посыпанов Г.С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Дол- годворов, Б.Х. Жеруков. – М.: Колос, 2007. – 612 с.
24. Буров Д.И. Прикатывание почвы и сохранение влаги // Наука и передовой опыт. 1957. - № 5 С. 10-12
25. Воробьев С.А., Буров Д.И., Егоров В.Е., Грузев Г.С. Земледелие. – М.: Колос. – 1972. – С. 511.
26. Маслов В.П. Прикатывание и урожай / В.П. Маслов, З.Н. Мамаева. –

М., 1963. –185 с.

27. Скорик В.И. Глубина распространения уплотняющего действия катков / В.И. Скорик, Я.Б. Эльгурт // Научные труды Львов. СХИ. – Львов, 1979. – Т. 84. – С. 14.

28. Сухов И.М. Совершенствование многооперационных катков для поверхностной обработки почвы // Наука и молодежь: новые идеи и решения / Волгогр. ГСХА. – 2009. – Ч. 1. – С. 114-116

29. Лудченко А.А. Основы научных исследований: Учеб. пособие [Текст] / А.А. Лудченко, Я.А. Лудченко, Т.А. Примак. Под ред. А.А. Лудченко. – К.: О-во «Знания», КОО, 2001. – 113 с.

30. Посыпанов Г.С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов, В.Е. Дол- годворов, Б.Х. Жеруков. – М.: Колос, 2007. – 612 с.

31. Гиль А.Е. Прикатывание почвы как средство борьбы с сорняками // Сельское хозяйство Сибири. 1960. - № 7 С. 8-9

32. Лисенков А.О. О прикатывании почвы // МТС. 1958. - № 3. С. 20-22

33. Третьяков Н.Н. Плотность почвы и корневая система растений / Н.Н. Третьяков, В.И. Галицкий // Земледелие. – 1963. – № 4. – С. 28-33.

34. Роктанэн Л.С. Плотность почвы как фактор плодородия и некоторые методики ее определения // Тр. Целиноградского СХИ, т. 8, в. 2. – 1973. – С. 34-37.

35. Роктанэн Л.С. Общие принципы системы обработки почвы // Земледелие. 1965. - № 4 С. 30-32

36. Судаков А.В. Оценка уплотняющего воздействия движителей энергонасыщенных тракторов на корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы / А.В. Судаков, А.А. Охитин, В.И. Агафонов, П.Н. Джура // Научно-технический бюллетень ВИМ. – Вып. 64. – Москва, 1986. – С. 6-9.

37. Hart J. Wide choicem wheat and barley planting depth / Queenslandagr. J. – 1964. – vol. 90. – № 31. – P. 137-138.

38. Атаманюк А.К. Агрономическое значение плотности почвы (второе сообщение // Вопросы исследования и использования почв Молдавии: Сб. науч.

тр. – Кишинев, 1964. – С. 56-61.

39. Бахтин, П. У. Физико-механические и технологические свойства почв / П. У. Бахтин. – М., Знание, 1971. – 64 с.

40. Кабаков Н.С. Комбинированные почвообрабатывающие и по- севные агрегаты и машины / Н.С. Кабаков, А.И. Мордухович. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 80 с.

41. Олексенко Ю.Ф. Прикатывание почвы повышает урожай //Земледелие. – 1991. – № 6. – С. 59-60

42. Заленский В.А. Обработка почвы и плодородие / В.А. Заленский, Я.У. Яроцкий. – Мн.: Беларусь, 2004. – 542 с.

43. Калинин А. Кто разрыхляет почву, должен ее и уплотнять: прикатывающие катки в составе агрегатов для основной обработки почвы выполняют важные функции // Новое сельское хозяйство. – 2006. - № 2. – С. 84-89.

44. Ревут И.Б. Вопросы теории обработки почвы // Теоретические вопросы обработки почвы, в. 1. – Л., 1968. – С. 7-18.

45. А.С. № 1021353 SU, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающее орудие / А.В. Клочков; заявитель Белорусская государственная ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия. - № 3382491; заявл. 08.01.1982; Оpubл. 07.06.1983; Бюл. № 21.

46. А.С. № 898966 SU, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающее орудие / В.Е. Хоруженко, В.М. Нежный, В.И. Глухов, В.С. Бирюков, И.М. Панов, В.А. Юзбашев, Ю.И. Кузнецов; заявитель Специализированное бюро по культиваторам и сцепкам, Всесоюзный ордена Трудового Красного знамени научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения. № 2918020; заявл. 28.04.1980; Оpubл. 23.01.1982; Бюл. № 3.

47. А.С. № 919616 SU, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающее орудие / А.А. Вилде, А.Х. Цесниекс, У.Э. Пиннис, Ю.П. Моритис, У.А. Берзиньш; заявитель Латвийский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства «Латвниимэсх». - № 2551914; заявл.

05.12.1977; Оpubл. 15.04.1982; Бюл. № 14.

48. Курдюмов В.И. Классификация почвообрабатывающих катков / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин // Вестник Ульяновской ГСХА. - Ульяновск, 2004. - № 11. - С. 90-93.

49. Прошкин В.Е. Разработка почвообрабатывающего катка с обоснованием его оптимальных параметров и режимов работы: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Прошкин Вячеслав Евгеньевич. – Уфа, 2018. – 15 с.

50. А.С. 603354 SU, МПК А01В 29/04. Каток / Г.И. А.Ф. Жук, А.В.Михеев, В.А. Жук; заявитель Всесоюзный Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. - № 2398911; заявл. 20.08.1976; опубл. 25.04.1978; Бюл., № 15.

51. А.С. № 1107763 SU, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающий каток / П.М. Котов, Л.С. Котова, В.П. Кривопустов, Р.Б. Иорданский; заявитель Омский ордена Ленина сельскохозяйственный институт имени С.М. Кирова. – № 3479299; заявл. 30.07.1982; Оpubл. 15.08.1984; Бюл. № 30.

52. А.С. № 1176860 SU, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающее орудие / А.А. Кнаус, В.А. Мухин, А.И. Дремов; заявитель Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. - № 3678084; заявл. 23.12.1983; Оpubл. 07.09.1985; Бюл. № 33.

53. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. - М.: Металлургия, 1969. - 159 с

54. А.С. № 1276270 SU, МПК А01В 29/04. Почвообрабатывающий каток / Ю.А. Виноградов, Ю.В. Шутов, Ю.И. Матяшин, В.А. Семенов, В.И. Пляка; заявитель Научно-исследовательский и проектно-технологический институт жидких удобрений. – № 3909333; заявл. 10.04.1985; Оpubл. 15.12.1986; Бюл. № 46.

55. А.С. № 919617 SU, МПК А01В 29/04. Прутковый каток / А.В. Полушкин, Н.С. Кабаков, М.П. Баландин, И.В. Сегеда, М.Я. Миргород, Л.Ф. Мирошниченко; заявитель Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения. - № 2863157; заявл. 03.01.1980; Оpubл.

15.04.1982; Бюл. № 14.

56. Виноградов Ю.А. Уплотнение почвы прутковым катком // Докл. ВАСХНИЛ. – 1990. – № 3. – С. 61-63.

57. Сабликов М.В. Сельскохозяйственные машины. – М.: Колос, 1968. – 247 с.

58. Мармалюков В.П. Взаимодействие спирального каткавыравнивателя с почвой // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. - № 3. - С. 14-15.

59. А.С. № 990096 SU, МПК А01В 29/04, А01В 35/32. Тросовый почвообрабатывающий рабочий орган / А.В. Чусов, Ван-Де-Фу, В.Т. Сучков, А.П. Ковалешенко, Е.С. Вдовин; заявитель Опытное-конструкторское бюро при Сибирском ордена Трудового Красного Знамени научно- исследовательском институте сельского хозяйства. - № 2672886; заявл. 12.10.1978; Опубл. 23.01.1983; Бюл. № 3.

60. Обоснование процесса самоочищения спирального пневматического катка от налипшей почвы / А.С. Путрин, В.Н. Варавва, З.И. Избасарова, Г.Л. Утенков // Известия Оренбург. ГАУ. – 2009. - № 2. – С. 130- 135

61. Патент 2108014 Российской Федерации, МПК А01В 49/02. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат / А.Ф. Жук; заявитель и патентообладатель Агропромышленная научно-внедренческая фирма «Агромеханика». - № 96111941/13; заявл. 13.06.1996; опубл. 10.04.1998, Бюл. № 15.

62. Патент 2122301 Российской Федерации, МПК А01В 49/02. Почвообрабатывающее орудие / Э.И. Липкович, В.Б. Рыков, В.И. Таранин, А.В. Данилов; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – № 97120535/13; заявл. 10.12.1997; опубл. 27.11.1998, Бюл. № 43.

63. Патент 9117 Российской Федерации, МПК 6A01B 29/04. Каток / А.С. Путрин, Э.А. Цибарт, З.И. Сарина; заявитель и патентообладатель А.С. Путрин. - № 97114416/20; заявл. 26.08.1997; опубл. 16.02.1999, Бюл. № 12.

64. Сафонов В.В. Исследование деформации почвы под действием трубчатого катка / В.В. Сафонов, В.В. Голубев // Вестн. Моск. гос. агроинженер. ун-та. - М., 2006. – Вып. 5. – С. 85-86

65. А.С. № 1111701 SU, МПК А01В 29/02. Орудие для прикатывания почвы / Ю.А. Щинов, Ю.И. Матяшин, Ю.В. Шутов, Н.В. Новиков; заявитель Научно-исследовательский и проектно-технологический институт жидких удобрений. - № 3597111; заявл. 31.03.1983; Опубл. 07.09.1984; Бюл. № 33.

66. А.С. № 1172461 SU, МПК А01В 29/06. Почвообрабатывающий каток / В.Н. Золотухин, А.Т. Кеворкян, О.Я. Ковалевич, Г.В. Казаренко, В.В. Гудзенко, П.В. Радомский. - № 3718615; заявл. 29.03.1984; Опубл. 15.08.1985; Бюл. № 30.

67. Бабицкий Л. Ф. Біонічні напрями розробки ґрунтообробних машин. – К.: Урожай, 1998. – 164 с.

68. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

69. Дидух Б. И. Механика грунтов. – М.: Университет Дружбы народов, 1990. – 90 с.

70. Кушнарев А. С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий: Дис... докт. техн. наук: 05.20.01. – Мелитополь, 1980. – 329 с.

71. Руденко М. С., Цихоцкий А. С. Влияние приемов обработки почвы на запас влаги, засоренность и урожай озимой пшеницы // Научн. тр. / Укр. с.-х. акад. – 1975. – Вып.119. – С. 108-110.

72. Синееков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

73. Шевченко И. А., Кушнарев А. С., Родионов Н. Н. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы // Информационный бюллетень / Экспонат ВДНХ СССР (бронзовая медаль ВДНХ СССР). – М., 1987. – С. 41-42.

74. Шикула Н. К. Почвозащитная система земледелия. – К., 1987. – 345 с.
75. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
76. Штаерман М. Я. Контактные задачи теории упругости.– М.: Гостехиздат, 1949. – 244 с.
77. Алба В. Д. Разработка методики выбора прикатывающих рабочих органов, их параметров и режимов работы с учетом почвенно-климатических условий: Дис... канд. техн. наук: 05.20.01.– Мелитополь, 1993. – 139 с.
78. Руденко М. С., Цихоцкий А. С. Влияние приемов обработки почвы на запас влаги, засоренность и урожай озимой пшеницы //Научн. тр. / Укр. с.-х. акад. – 1975. – Вып.119. – С. 108-110.
79. Пупенко М.Ф. Справочник агронома по метеорологии. – К.: Урожай, 1990. – 279 с.
80. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Наука, 1968. – 478 с.
81. Кушнарев А. С., Кочев В. И. Механико-технологические основы обработки почвы. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
69. Закон України «Про охорону праці» Документ 2694-ХІІ, чинний, поточна редакція. Редакція від 16.10.2020, підстава - 124-ІХ.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>
70. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ: Держстандарт України, 1999. 22 с.
71. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів
72. Про затвердження Порядку проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Документ 687-2004-п, чинний, поточна редакція — Редакція від 04.03.2016, підстава - 76-2016-п.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2004-п#Text>
73. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та



небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. МОЗ України. Наказ 08.04.2014 № 248. Документ z0472-14, чинний, поточна редакція. Прийняття від 08.04.2014.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>

74. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація. 01.01.1976. Чинність документа відновлена з 26.04.2019 до 01.01.2022 згідно з наказом від 24.04.2019 № 111.

75. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15 і зареєстрованого у Міністерстві юстиції України 15.02.2005 за № 231/10511 зі змінами.  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-05#Text>

76. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація. 02.02.2011.

77. Закон України «Про пожежну безпеку». Документ 3745-XII від 01.07.2013, підстава - 5403-VI. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12#Text>

