

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту
Завідувач кафедри

Войтік А.В.
“ ____ ” _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи

магістр
(освітній рівень)

на тему **«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ МІНІМАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21 зм-ім
Спеціальність 208 Агроінженерія

Демиденко Василь Петрович
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
Андрій ВОЙТІК
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
Віталій ЛЮБИЧ
(прізвище та ініціали)

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень _____ магістр _____
 Спеціальність _____ 208 Агроінженерія _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 _____ Войтік А.В.
 “ ____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Демиденку Василю Петровичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування конструктивних параметрів культиватора для мінімального обробітку ґрунту»

керівник роботи _____ Войтік А.В., к.т.н., доцент _____
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 09 ” _____ листопада 20 23 р. № 01-06/161

2. Строк подання студентом роботи _____ 30.11.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: фізико-механічні властивості ґрунтів; існуючі технологічні процеси та технічні засоби для поверхневого обробітку ґрунту.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

аналіз існуючих способів та засобів для мінімального обробітку ґрунту, огляд попередніх досліджень з даного питання; визначення впливу параметрів культиваторних лап на якість виконання операції; обґрунтування конструктивних параметрів культиваторної лапи; дослідження якісних показників роботи запропонованої машини; розробка заходів з охорони праці; визначення ефективності застосування розробленої машини.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 15 слайдів) як додаток до доповіді за темою магістерської роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 14 вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	02.10.2022 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання та задачі досліджень	02.11.2022 р.	
3.	Розділ 2. Теоретичні дослідження	02.12.2022 р.	
4.	Розділ 3. Експериментальні дослідження	29.01.2023 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	15.03.2023 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічна ефективність машини	30.06.2023 р.	
7.	Виконання графічної частини роботи	17.10.2023 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.2023 р.	

Студент

(підпис)

Демиденко В.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Войтік А.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Демиденко В.П. Обґрунтування конструктивних параметрів культиватора для мінімального обробітку ґрунту (Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2023. – 53 с.).

Об'єкт дослідження – технологічний процес та технічні засоби для поверхневого обробітку ґрунту.

Предмет дослідження – закономірності впливу параметрів культиваторної лапи на показники якості роботи культиватора для мілкого обробітку ґрунту.

Мета роботи – підвищення ефективності процесу обробітку ґрунту за технологіями мінімального обробітку шляхом обґрунтування параметрів культиваторної лапи.

В роботі написано вступ, дана характеристика та приведено аналіз існуючих конструктивних рішень для мілкого обробітку ґрунту. Проведено огляд попередніх досліджень з даного питання.

Визначено вплив прогину конструктивних параметрів культиваторної лапи на показники її роботи. Визначено оптимальні геометричні параметри культиваторної лапи. Проведено дослідження по визначенню якісних показників роботи культиватора для поверхневого обробітку ґрунту.

Запропоновані заходи з покращення умов охорони праці та довкілля. Визначено показники економічної ефективності від впровадження запропонованого пристрою у виробництво.

Зроблено висновки і пропозиції, складено список використаної літератури.

Ключові слова: ґрунт, лапа, культиватор, форма, кривизна, сталь.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
Розділ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ І КОНСТРУКЦІЙНИХ СХЕМ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН	6
1.1. Види та способи обробітку ґрунту	6
1.2. Аналіз конструкцій пасивних робочих органів ґрунтообробних машин	8
Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОБОТИ КУЛЬТИВАТОРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	17
2.1. Рух елемента скиби по поверхні клина	17
2.2. Траєкторія руху елемента скиби після сходження з поверхні клина	30
Розділ 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1. Опис експериментального пристрою для визначення мінімальної енергії руйнування зв'язків між елементами скиби	33
3.2. Результати дослідження мінімальної потенціальної енергії руйнування ґрунту.....	37
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	47
Загальні висновки.....	50
Список використаної літератури	51

ВСТУП

В механізованих технологіях виробництва продукції рослинництва важливе місце займає обробіток ґрунту, від якості виконання якого значною мірою (до 25 %) залежить урожайність сільськогосподарських культур. В технологічних процесах вирощування сільськогосподарських культур на цю операцію припадає до 30 % енергетичних затрат.

У зв'язку з цим істотних змін зазнають традиційні технології мілкового обробітку ґрунту та розвиваються енергоощадні технології, застосування яких дає змогу зменшити витрати палива в 1,4 - 4,4 рази, а енерговитрат в 1,6 - 4,7 рази. Робочі органи для мілкового обробітку ґрунту ще недостатньо досліджені та мають ряд недоліків. Основним з них є недостатня якість роботи, що потребує додаткових затрат на доведення ґрунтового середовища у відповідність з вимогами агротехніки. У відомих розробках технічних засобів значну увагу приділено зменшенню питомого тягового опору знаряддя. Проте залишається невирішеною проблема визначення мінімально необхідної величини затрат енергії для руйнування зв'язків між елементами скиби, переміщення елемента скиби ґрунту робочим органом і ін.

Таким чином, проблема вдосконалення робочих органів ґрунтообробних знарядь для мілкового обробітку ґрунту, які відповідають вихідним агро вимогам та забезпечують зменшення енергомісткості процесу, на сьогодні є актуальною.

Розділ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ І КОНСТРУКЦІЙНИХ СХЕМ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

1.1. Види та способи обробітку ґрунту

Обробіток ґрунту – це трудомісткий і енергомісткий технологічний процес. На його виконання щорічно припадає близько 25 % трудових та 30 % енергетичних затрат [1]. Тому вибір технологічних процесів, технології і ґрунтообробних знарядь, машин і агрегатів, організація їх ефективного використання є важливим резервом економії затрат на виробництво с.-г. продукції. Тому головним завданням науково-технічного процесу в розвитку конструкцій робочих органів, знарядь, машин і агрегатів для обробітку ґрунту є зниження трудових та енергетичних ресурсів, а також дотримання агрономічних умов вирощування сільськогосподарських культур. Так, наприклад, для вирощування колосових культур необхідно виконати передпосівну культивуацію на 4-6 см (для утворення насіннєвого ложа) з наступним прикочуванням (в залежності від конкретних умов – до посівне і післяпосівне, або ж післяпосівне), при цьому в шарі 0-4 см мають бути структурні агрегати розміром 20-5 мм, в насіннєвому шарі 4-8 см – 5-0,25 мм [2]. Щільність ґрунту в шарі 0-4 см – 1,0-1,3 г/см³; у піднасіннєвому шарі 8-30 см – 1,1-1,2 г/см³.

На даний час основний обробіток ґрунту виконується переважно лемішними плугами. Під час обробітку ґрунту плугами відбувається обертання скиби ґрунту, кришення, а також підрізання бур'янів, зароблення пожнивних рештків і добрив і їх часткове перемішування з ґрунтом. Але існує ряд недоліків плужного обробітку ґрунту. До них відносяться зниження ерозостійкості поверхні поля, утворення плужної „підшви”, переміщення ґрунту, утворення лінійчатої поверхні поля, значні втрати продуктивної вологи в теплий період року, велика енергоємність процесу і значні непродуктивні затрати енергії.

Починаючи з 30-х років в Україні впроваджується суцільне глибоке розпушування ґрунту без обертання скиби [3]. Збереження післяжнивних решток на поверхні розпушеного поля дозволяє значно послабити ерозійні процеси. Суцільне розпушення ґрунту без обертання скиби має ряд недоліків: наявність ущільненої підшви, схильність розпушеного ґрунту до ще більшого ущільнення при виконанні наступних операцій рушіями тракторів і сільськогосподарських машин, значна енергомісткість процесу розпушення,

недостатня і нерівномірна по ширині захвату знарядь якість кришення скиби [4].

Удосконаленням суцільного розпушення ґрунту без обертання скиби є застосування смугового розпушення ґрунту (чизелювання), тобто чергування розпушених та нерозпушених смуг. Цей спосіб дозволяє руйнувати ущільнену підшову і сприяє проникненню вологи та коріння рослин в нижні горизонти ґрунту [5]. Недоліком даного способу є недостатня якість підрізання коріння бур'янів у зв'язку з відсутністю перекриття ширини захвату розпушувальних робочих органів знарядь, що в свою чергу ускладнює очищення поверхні поля від бур'янів. Кришення верхнього шару ґрунту має значну нерівномірність по ширині захвату, що суттєво ускладнює створення передбачених агротехнікою умов для сівби культур.

Для усунення вищезгаданих недоліків, а саме: зменшення енергомісткості процесу розпушення ґрунту, поліпшення якості підрізання коренів бур'янів у верхньому шарі ґрунту, руйнування ущільненої підшови застосовується спосіб різноглибинного обробітку ґрунту, суть якого в суцільному розпушенні верхнього шару 3-16 см на всю площину поперечного перетину. При застосуванні даного способу розпушення ґрунту площа поверхні дна борозни суттєво перевищує подібну при застосуванні традиційних способів обробітку за умови однакових витратах енергії [6].

В таблиці 1.1 подано показники затрат палива та енергії на обробіток ґрунту для різних типів ґрунтообробних знарядь.

Як видно з таблиці 1.1, в порівнянні з плужним знаряддям з плоскорізними робочими органами дозволяють скоротити витрати палива в 1,4 - 4,4 рази, а енергозатрати – в 1,6 - 4,7 рази.

Для того щоб досягти зменшення енергомісткості процесу розпушення ґрунту спосіб різноглибинного обробітку ґрунту повинен бути виконаний за один прохід агрегату. Роздільне виконання цих операцій, а саме: обробіток виконується на глибину до 16 см (мілкий) або на глибину до 20 см (глибокий), є доцільним у випадках, коли ефект досягається за рахунок інших чинників [7]. Наприклад, при підготовці ґрунту під озимину після гороху доцільно виконувати мілке розпушування, що забезпечить низькі питомі витрати енергії за рахунок високопродуктивних ґрунтообробних знарядь і збереження вологи у суху погоду.

Широке розповсюдження знаходить диференційована система обробітку ґрунту та знарядь для їхнього здійснення [8, 9]. Застосування запропонованої диференційованої системи обробітку ґрунту та знарядь для їхнього здійснення дозволяє комплексно вирішувати проблеми підвищення

якості обробітку і зниження енергоємності процесу, а також забезпечує зменшення використання оранки на 45-50 % посівних площ.

Це спонукало до вдосконалення способу мілкового обробітку ґрунту та до обґрунтування параметрів робочих органів ґрунтообробних машин для мілкового обробітку ґрунту.

Таблиця 1.1 – Показники витрат палива та енергії на обробіток ґрунту для різних типів ґрунтообробних знарядь

Способи обробітку ґрунту	Затрати	
	палива, л/га	енергії, МДж/га
Розпушення з обертанням скиби ґрунту	19,9	1354,1
Плоскорізний обробіток на глибину, см:		
8...10	4,5	291,1
12...14	5,7	374,7
20...22	8,9	588,0
28...30	13,2	844,4
Розпушення без обертання скиби ґрунту на 28...30см:		
чизелем	14,3	893,1
плугом-розпушувачем	14,0	844,4
ярусним плугом на 35...40см	34,3	2738,7
Обробіток ґрунту комбінованим агрегатом на глибину, см:		
8...10	8,3	667,6
6...7	9,6	588,3

1.2. Аналіз конструкцій пасивних робочих органів ґрунтообробних машин

Основним завданням під час механізованого обробітку ґрунту є забезпечення значного зниження енерговитрат, а також якісний обробіток. На механічний обробіток ґрунту припадає від 40 до 70% [10] витрат енергії під час вирощування сільськогосподарських культур, що становить вагому частку

витрат енергії. За останні роки в Україні все частіше використовуються зарубіжні машини та знаряддя для механізованого обробітку ґрунту, які не завжди знижують питомі енерговитрати, а деколи навіть їх підвищують. Якщо плуги іноземних фірм-виробників дають змогу за рахунок високої технології виготовлення та якості матеріалів робочих органів знизити питомі витрати енергії на 7-12 %, то при цьому вартість 1 га оранки зростає, внаслідок високої ціни самого агрегату в межах на 40-50 %, що призводить при всіх рівних показниках до негативних наслідків [11]. Якщо використовувати в ідентичних умовах імпортні та вітчизняні машини для обробітку ґрунту, то істотної різниці у виконанні технологічних операцій відповідно до агровимог вирощування сільськогосподарських культур не виникне. Тому для підвищення рівня технології виготовлення вітчизняних ґрунтообробних машин із застосуванням відповідних розробок слід ставити питання досить гостро. Створення таких робочих органів ґрунтообробних знарядь для економії енергії, необхідної для руйнування зв'язків між частинками ґрунту, є теж першочерговим. В таблиці 1.2 подано порівняльну характеристику експлуатаційних та еколого-технологічних показників в залежності від способу обробітку ґрунту [12, 13].

Таблиця 1.2 – Експлуатаційні та еколого-технологічні показники способів обробітку ґрунту з використанням ґрунтообробних робочих органів різних типів

Показники	Спосіб обробітку ґрунту (робочий орган)		
	обробіток ґрунту з обертанням скиби (плужний корпус з полицею культурного типу)	обробіток ґрунту без обертання скиби (плоскорізглибокор озпушувач)	поверхневий обробіток ґрунту (сферичний диск борони)
Енергоємність основного обробітку ґрунту під озиму пшеницю, МДж/га	720...860	670...840	200...500
Продуктивність агрегату за 1 годину основного часу, га/год	до 1,2	до 1,8	до 4,9
Середньоквадратичне відхилення поверхні обробленого поля, см	6,5...8,0	4,6...5,0	3,0...4,5
Ступінь підрізання коріння бур'яну, %	90...95	80...90	70...75
Ступінь заробки верхнього шару ґрунту, %	до 100	до 5	20...25

У землеробській практиці використовується велика гама машин і знарядь для обробки ґрунту. Всю гаму машин і ґрунтообробних знарядь, що використовуються під час обробки ґрунту можна подати у вигляді структурної схеми (рис. 1.2).

За останні роки все більше уваги приділяється зменшенню інтенсивності обробки ґрунту, особливо зменшенню кількості проходів агрегатів по полю. В конструкціях таких знарядь застосовується не менше двох типів робочих органів, які у взаємодії забезпечують кращу якість виконання технологічних операцій із меншими затратами енергії. Основними робочими органами таких знарядь є диски і чизельні лапи в різних комбінаціях.

Аналіз конструкцій машин для мілкої обробки ґрунту показує, що серед них переважають дисково-чизельні знаряддя, які мають плоскі або гофровані диски діаметром 510-560 мм товщиною 5,2-6 мм, зібрані в батарею, приєднані до рами та два чи три ряди чизельних лап, пружні стійки яких виготовлені зі сталі перетином 32,5 x 50,8 мм, що забезпечує обробку ущільнених ґрунтів на глибину до 30 см.

Замки чизельних робочих органів обладнані демпферними пристроями, які створюють ефект вібрації. Завдяки цьому зменшується тяговий опір, поліпшується кришення та виключається зависання на них рослинних решток.

Для додаткового подрібнення ґрунту та вирівнювання поверхні провідні фірми за чизельними лапами встановлюють котки-подрібнювачі (рис. 1.1). В конструкціях окремих машин котки використовують і для регулювання глибини обробки [14, 15, 16].



Рисунок 1.1 – Культиватор-чизельний з котком

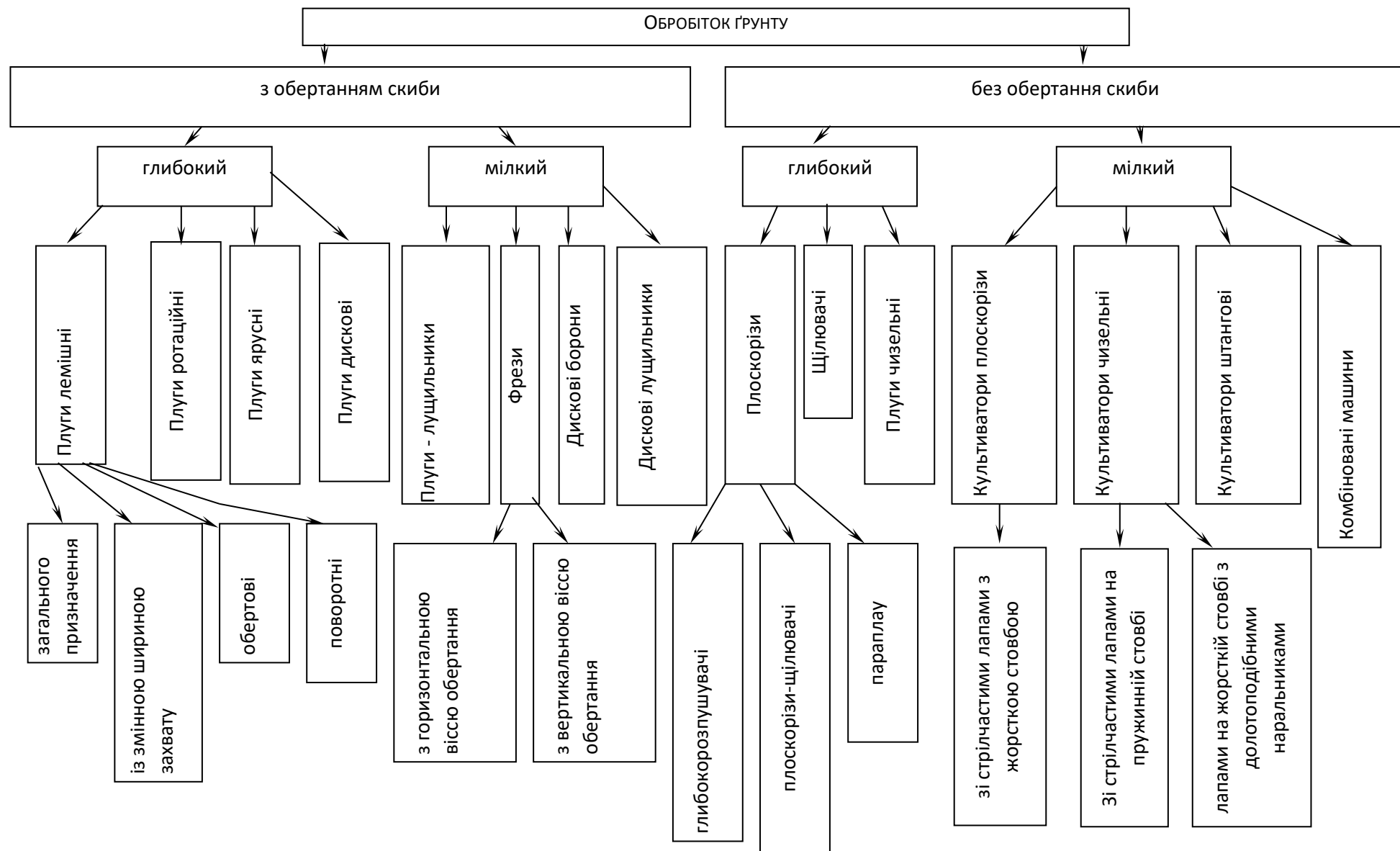


Рисунок 1.2 – Структурна схема способів обробітку ґрунту та ґрунтообробних знарядь для їх реалізації

На чизельні робочі органи встановлюють гелікоїдальні наральники (рис. 1.3) шириною 75 мм (“John Deere”) або 100 мм (“Case JH”) [16, 17, 18].

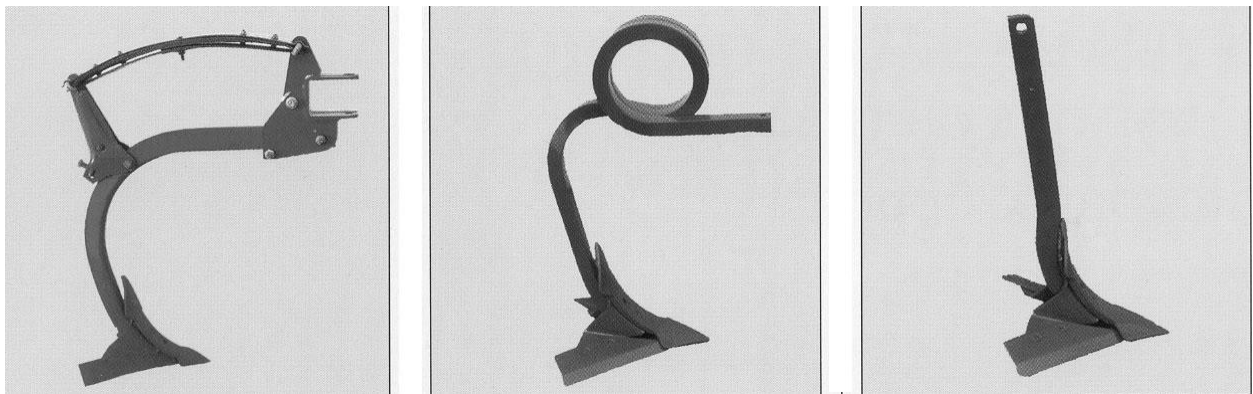


Рисунок 1.3 – Робочі органи чизельних культиваторів

Передпосівний обробіток ґрунту після чизельної оранки виконують дисковими знаряддями і паровими культиваторами. Для зменшення кількості проходів провідні фірми запропонували конструкції комбінованих знарядь “весняного” типу. Ці знаряддя призначені для розробки пласта весною після чизельного обробітку. В основу цих знарядь покладено такі завдання:

а) знаряддя повинні обробляти ґрунт, насичений великою кількістю грубо стеблових рослинних решток, які не повністю мінералізувались за осіннє-зимовий період, з одночасним подрібненням їх на частки, які не завадять роботі сошників;

б) знаряддя повинні вирівнювати гребені, що утворились після чизелювання, усувати повітряні пустоти і забезпечувати однорідний склад шару ґрунту на всю глибину чизельного обробітку, знищувати бур'яни, що проросли весною;

в) звести до мінімуму або зовсім виключити втрати вологи і кількість проходів по полю, зменшення витрат палива і затрат праці.

Типова комплектація таких знарядь – це поєднання сферичних дисків діаметром 456-510 мм з відстанню між ними 180-190 мм, 3-4 ряди S-подібних пружних робочих органів польових культиваторів висотою 500-550 мм з відстанню між слідами 152-228 мм і пруткові котки. Дискові робочі органи встановлюють на важільно-пружній підвісці з кутом атаки 10°. Для підвищення якості роботи окремі конструкції знарядь для весняного обробітку ґрунту після чизелювання комплектуються додатковими пристроями для вирівнювання поверхні.

В Україні розроблено велику гаму знарядь для мілкої обробки ґрунту. Серед них культиватор КР-4,5, АКГ-4, ККП-3,7, ґрунтообробні агрегати АГ-4,

“Агро-3”, плоскоріз-щілювач ПЩН-2,5 (рис. 1.4) та інші. Технічні характеристики окремих машин наведено в табл. 1.5 [18].



Рисунок 1.4 – Плоскоріз-щілювач ПЩН-2,5

В конструкції плоскоріза-щілювача ПЩН-2,5 поєднано роботу плоскорізних лап та дисків, встановлених під кутом до поверхні поля на косих шайбах, що забезпечують їхнє коливання і активізують вплив на ґрунт. Таке поєднання робочих органів забезпечує: повне підрізання бур'янів; менші втрати вологи в орному шарі ґрунту; смугове щілювання ґрунту на глибину 35-40 см. Суттєвим є і те, що плоскорізи-щілювачі дозволяють при еквівалентних з оранкою витратах енергії покращувати на 20-30 % товщій шар ґрунту, і при цьому є менш матеріаломісткими ніж чизелі.

Для поверхневого обробітку ґрунту після колосових та грубостеблових культур з подрібненням рослинних решток і мульчуванням верхнього шару, а також для подрібнення гліб, що утворились після оранки чи чизельного обробітку, широко застосовуються дискові борони.

Дискові борони з дисками збільшеного діаметра для загортання рослинних решток розроблено в ННЦ “ІМЕСГ”. Характерною особливістю конструкцій дискових борін розроблених в ННЦ „ІМЕСГ” є використання сферичного дискової борони, як розпушувача (рух вперед) і як ущільнюючого робочого органу (рух назад – робота тильної сторони сфер диска) (рис. 1.5).

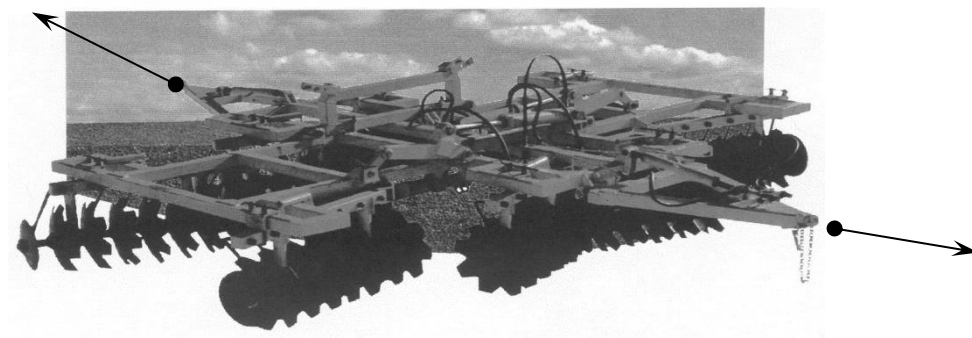


Рисунок 1.5 – Борона дискова БДВ-6

Таблиця 1.5 – Техніко-експлуатаційні показники комбінованих агрегатів для безполицевого обробітку ґрунту

Показник	Значення показника						
	АГ-4	ГРН-3,9	АГРО-3	КШН-5,6	ППР-2,5	Екопак 4500	Смарагд 9/600
1	2	3	4		5	6	7
Призначення	Основний обробіток ґрунту						
Ширина захвату, м	4,0	3,9	3,0	5,6	2,5	4,5	6,0
Спосіб агрегування	Напівпричіпна				Начіпна	Напівпричіпна	Начіпна
Діапазон глибини обробітку, см	8-16	до 22	5-15	6-20	до 22	до 25	до 16
Тип робочих органів	1+6 або 1+7	2+6+12	2+5 або 3+5	2+4+8	1+13	4+2+14+9+10+11	2+4+8
Продуктивність за годину, га/год							
- основного часу	2,40	2,46	2,13	2,56	2,42	3,32	5,17
- змінного часу	1,86	1,94	1,42	1,95	1,87	2,08	4,08
- експлуатаційного часу	1,82	1,89	1,40	1,91	1,83	2,06	4,03

1-плоскорізні лапи; 2- стрілочасті лапи; 3- чизельні лапи; 4-сферичні диски; 5- ротаційні диски; 6-голчасті котки; 7-кільчасті котки; 8-трубчасторебристі котки; 9-кільчастодискові котки; 10-спіральні котки; 11-пружинно-пруткова борона; 12-гребінки; 13-ротаційні котки; 14-борони.

За останні роки в Україні поширюється застосування комбінованих знарядь для передпосівного обробітку ґрунту. За своєю конструктивно-технологічною схемою ці знаряддя ідентичні та включають робочий орган для попереднього вирівнювання поверхні, коток подрібнювач, 3 ряди або 4 ряди S-подібних пружних культиваторних лап, вирівнювач і два встановлених послідовно котки-подрібнювачі, які забезпечують подрібнення скиби і формування посівного ложа.

Ґрунтообробні агрегати “Агро-3” (рис. 1.6) забезпечують якісний обробіток ґрунту при пониженій його вологості за один прохід по полю, що зменшує ущільнення ґрунту ходовими системами тракторів.



Рисунок 1.6 – Комбінована машина для передпосівного обробітку ґрунту АГРО-3

Застосування таких комбінованих багатоопераційних знарядь забезпечує якісну підготовку попередньо обробленого ґрунту для сівби за один прохід агрегату по полю, завдяки чому зменшується ущільнення ґрунту і витрати пального.

Вище розглянуті ґрунтообробні знаряддя не зовсім відповідають агротехнічним вимогам вирощування сільськогосподарських культур: наприклад, використання плуга при обробітку ґрунту призводить до утворення плужної підшви, невирівняності поверхні поля, а також є енергомістким процесом. Тому постає питання про вдосконалення техніко-технологічних схем і робочих органів ґрунтообробних знарядь, що потребує теоретичних досліджень.

Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОБОТИ КУЛЬТИВАТОРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ МІЛКОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

2.1. Рух елемента скиби по поверхні клина

З відривом від поверхні

Метою обробітку ґрунту є розпушення скиби з мінімальними витратами енергії. Під час роботи ґрунтообробних машин з пасивними робочими органами, які мають форму клина, деформація ґрунту відбувається по-різному, оскільки фізико-механічний склад ґрунту є різноманітним.

Розглядаючи процес взаємодії клина з ґрунтовим середовищем та аналізуючи складові витрат енергії, було встановлено, що значна частина енергії під час розпушення скиби витрачається на переміщення елемента скиби. Ці витрати не є продуктивними, оскільки вони не покращують якості кришення скиби, а призводять, як правило, до погіршення вирівненості поверхні поля, на вирівнювання якої потім потрібні додаткові витрати енергії.

У відповідності з теорією В.П. Горячкіна [24], щоб проаналізувати механіку взаємодії клина з ґрунтовим середовищем і встановити аналітичні залежності, які пов'язують між собою параметри середовища, відокремлюваної скиби і клина, приймаємо, що скиба, як ідеальне тіло, не стискається і не розтягується, як в повздовжньому так і в поперечному напрямку, а також ідеально еластична. Оскільки в реальних умовах під час відокремлення скиби клином нижні шари внаслідок розтягу під час зминання розриваються, з'являються тріщини, а верхні, які стискаються, руйнуються. За первинну модель, яка зберігає властивості реальної скиби, приймаємо це ідеальне тіло (елемент скиби). Таке припущення дозволить знехтувати повздовжньою деформацією шарів, як під час зминання скиби біля носка клина, так і при стискуванні, обумовленому складовими сил тертя і ваги, а також знайти складову тягового зусилля клина і затрати потужності на піднімання скиби.

Відомо, що під час дії клина на скибу спочатку відбувається різання (відокремлення скиби від моноліту), її деформація (руйнування), піднімання

на деяку висоту і подолання сил тертя, а також набуття частинками елемента скиби деякої абсолютної швидкості руху (кінетичної енергії) [14].

З перерахованих складових загальної роботи клина корисними є складові, які затрачаються на руйнування скиби, а решта – шкідливими.

Якщо розглядати клин як пристрій для розпушування ґрунту, то можна дослідити процес переміщення елемента скиби від початку відриву його від моноліту до падіння на дно борозни.

Задача формулюється наступним чином: на робочій поверхні клина вільно лежить елемент скиби (B), який піднімається клином з кутом підйому (α) на деяку висоту (h). Властивості клина і елемента скиби такі, що дають можливість знехтувати напруженнями, які виникають унаслідок деформації шарів під час зминання скиби і при повздовжньому стисканні. Коефіцієнт тертя скиби об робочу поверхню клина – f . Враховується лише одна активна сила – сила ваги елемента скиби (G). З параметрів клина враховується: довжина клина (L), кут різання клина (α), швидкість руху клина (ϑ) (рис. 2.1) [24].

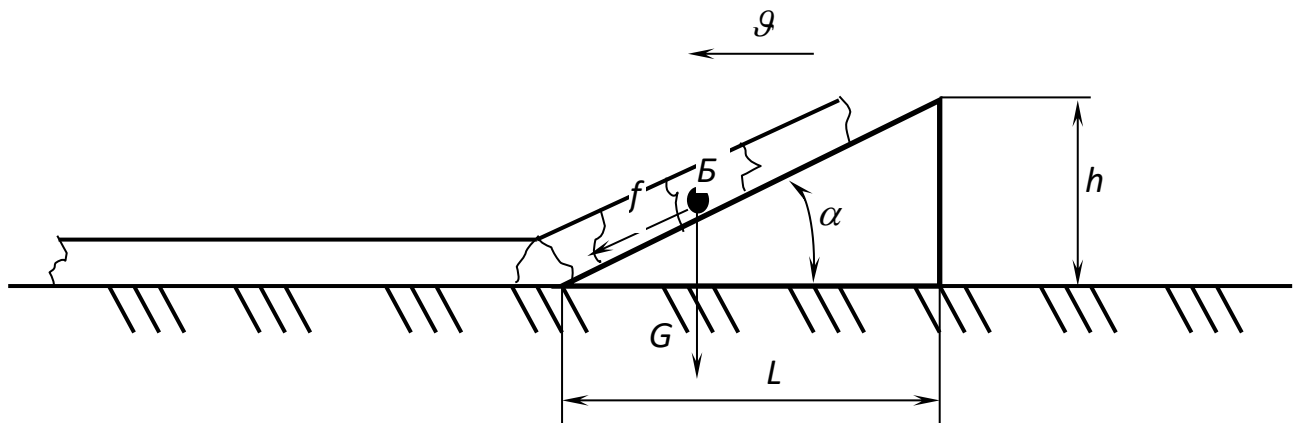


Рисунок 2.1 – Схема підйому елемента скиби клином

Для вирішення проблеми визначення величини переміщення елемента скиби нами було розроблено оригінальну методику експериментального визначення величини і напрямку переміщення елемента скиби під дією клина.

Суть методики полягає в тому, що експериментально визначається величина переміщення (S_x) спеціальним чином помічених елементів скиби під дією клина з параметрами (L , α , ϑ), які в процесі експерименту ми можемо змінювати.

На рисунку 2.2 подано схему сил і реакцій, які діють на елемент скиби, де P – сила тиску збоку клина на скибу, N – нормальна реакція, F_{mp} – сила тертя скиби об клин, G – вага скиби.

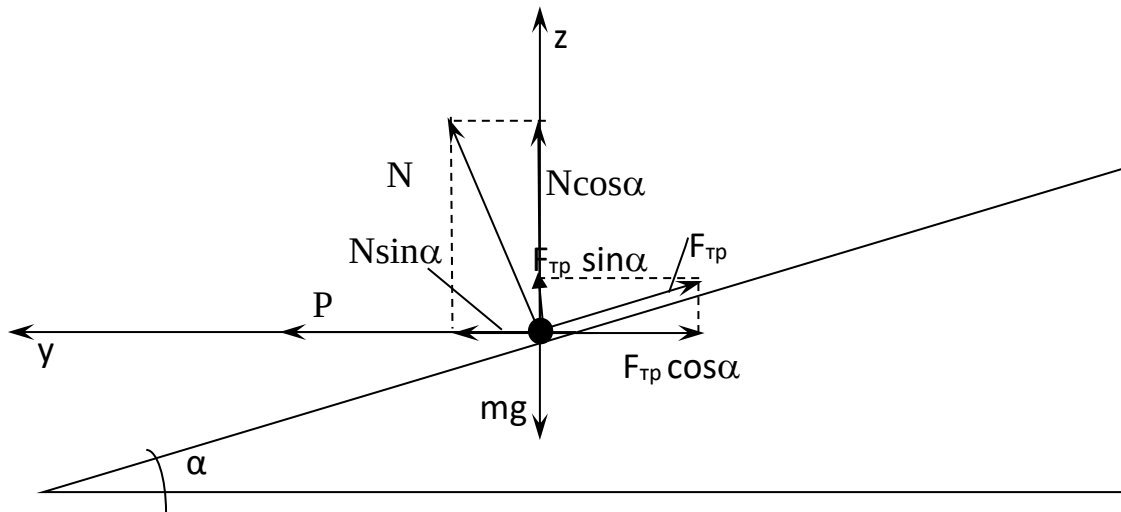


Рисунок 2.2 – Схема сил і реакцій, які діють на елемент скиби [14]

Диференційні рівняння руху елемента скиби по поверхні клина, коли клин розміщений перпендикулярно до скиби, в загальному випадку матимуть вигляд по осях Oy та Oz [14]:

$$\begin{cases} m\ddot{y} = P + N \sin \alpha - F_{mp} \cos \alpha \\ m\ddot{z} = N \cos \alpha + F_{mp} \sin \alpha - mg \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} m\ddot{y} = P + N \sin \alpha - fN \cos \alpha \\ m\ddot{z} = N \cos \alpha + fN \sin \alpha - mg \end{cases} \quad (2.1)$$

де P – сила тиску з боку клина на ґрунту, кг;

N – нормальна реакція, кг;

F_{tr} – сила тертя ґрунту об клин, кг;

f – коефіцієнт тертя.

Рівнянь два, невідомих три: y , z , N . Додаємо до системи (2.1) рівняння в'язі $z = tg \alpha \cdot y$, тоді одержимо систему рівнянь:

$$\begin{cases} m\ddot{y} = P + N \sin \alpha - fN \cos \alpha \\ m\ddot{z} = N \cos \alpha + fN \sin \alpha - mg \\ z = tg \alpha \cdot y \end{cases} \quad (2.2)$$

З останнього рівняння системи (2.2) одержимо:

$$\dot{z} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{y}, \quad \ddot{z} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \ddot{y}. \quad (2.3)$$

Підставимо рівняння (2.3) в друге рівняння системи (2.2):

$$m \operatorname{tg} \alpha \cdot \ddot{y} = N \cos \alpha + f N \sin \alpha - mg.$$

Здійснимо перетворення даного рівняння:

$$m \ddot{y} = \frac{N}{\operatorname{tg} \alpha} \cos \alpha + \frac{f N}{\operatorname{tg} \alpha} \sin \alpha - \frac{mg}{\operatorname{tg} \alpha}$$

або

$$m \ddot{y} = \frac{N \cos^2 \alpha}{\sin \alpha} + f N \cos \alpha - \frac{mg}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (2.4)$$

Підставимо рівняння (2.4) в перше рівняння системи (2.2) і одержуємо:

$$\frac{N \cos^2 \alpha}{\sin \alpha} + f N \cos \alpha - \frac{mg}{\operatorname{tg} \alpha} = P + N \sin \alpha - f N \cos \alpha.$$

Здійснивши деякі перетворення в даному рівнянні, визначаємо нормальну реакцію:

$$\begin{aligned} N &= \frac{P \operatorname{tg} \alpha + mg}{\operatorname{tg} \alpha \left(\frac{\cos^2 \alpha + 2 f \sin \alpha \cos \alpha - \sin^2 \alpha}{\sin \alpha} \right)} = \frac{(P \operatorname{tg} \alpha + mg) \cdot \cos \alpha}{\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha + f \sin 2\alpha} = \\ &= \frac{P \sin \alpha + mg \cos \alpha}{\cos 2\alpha + f \sin 2\alpha} \end{aligned}$$

Отже,

$$N = \frac{P \sin \alpha + mg \cos \alpha}{\cos 2\alpha + f \sin 2\alpha} = \varphi(P) \quad (2.5)$$

Таким чином визначили нормальну реакцію N як функцію від сили P , тобто $N = \varphi(P)$.

Підставляємо рівняння (2.5) в перші два рівняння системи (2.2) і одержуємо:

$$\begin{cases} m\ddot{y} = P + \frac{P \sin \alpha + mg \cos \alpha}{\cos 2\alpha + f \sin 2\alpha} \cdot (\sin \alpha - f \cos \alpha) \\ m\ddot{z} = -mg + \frac{P \sin \alpha + mg \cos \alpha}{\cos 2\alpha + f \sin 2\alpha} \cdot (\cos \alpha + f \sin \alpha) \end{cases} \quad (2.6)$$

Кожне рівняння з одержаної системи рівнянь (2.6) можна інтегрувати окремо, хоча достатньо проінтегрувати лише перше рівняння, тобто знайти $\dot{y}$ і y , а $\dot{z}$ і z можна знайти із співвідношення (2.3): $\dot{z} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{y}$, $z = \operatorname{tg} \alpha \cdot y$.

Отже, інтегруємо перше рівняння системи (2.6):

$$\begin{aligned} \dot{y} &= \left[\frac{P}{m} + \frac{(P \sin \alpha + mg \cos \alpha) \cdot (\sin \alpha - f \cos \alpha)}{m(\cos 2\alpha + f \sin 2\alpha)} \right] \cdot t + C_1 \\ y &= \left[\frac{P}{m} + \frac{(P \sin \alpha + mg \cos \alpha) \cdot (\sin \alpha - f \cos \alpha)}{m(\cos 2\alpha + f \sin 2\alpha)} \right] \cdot \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2 \end{aligned}$$

При $t = 0$ маємо $\dot{y} = 0, y = 0$. З даних початкових умов знаходимо константи: $C_1 = 0, C_2 = 0$. Таким чином, одержуємо залежності для швидкості та координати руху елемента скиби вздовж осі Oy:

$$\dot{y} = K \cdot t, \quad y = K \frac{t^2}{2}, \quad (2.7)$$

де K – узагальнюючий коефіцієнт:

$$K = \frac{P}{m} + \frac{(P \sin \alpha + mg \cos \alpha) \cdot (\sin \alpha - f \cos \alpha)}{m(\cos 2\alpha + f \sin 2\alpha)}. \quad (2.8)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \dot{z} &= \operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{y} = K \operatorname{tg} \alpha \cdot t \\ z &= \operatorname{tg} \alpha \cdot y = K \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{t^2}{2} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Визначимо за який час t_c елемент скиби досягне висоти $z = H$. Оскільки

$$z = K \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{t^2}{2}, \quad \text{то } t = \sqrt{\frac{2z}{K \operatorname{tg} \alpha}}.$$

Тоді

$$t_c = \sqrt{\frac{2H}{K \operatorname{tg} \alpha}} = \sqrt{\frac{2L \operatorname{tg} \alpha}{K \operatorname{tg} \alpha}} = \sqrt{\frac{2L}{K}}. \quad (2.10)$$

Час t_c буде часом сходження елемента скиби з клина. Визначимо швидкість сходження елемента скиби з клина:

$$\begin{aligned}\dot{y}_c &= K \cdot t_c = K \cdot \sqrt{\frac{2L}{K}} = \sqrt{2LK} \\ \dot{z}_c &= \dot{y}_c \cdot \operatorname{tg} \alpha = \sqrt{2LK} \cdot \operatorname{tg} \alpha \\ g_c &= \sqrt{\dot{y}_c^2 + \dot{z}_c^2} = \sqrt{2LK + 2LK \operatorname{tg}^2 \alpha} = \sqrt{2LK} \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = \sqrt{2LK} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{2LK}}{\cos \alpha}\end{aligned}$$

Отже,

$$g_c = \frac{\sqrt{2LK}}{\cos \alpha} \quad (2.11)$$

Одержана швидкість g_c буде початковою швидкістю руху елемента скиби після сходження з клина.

Визначивши час t_c , за який частинка досягне висоти $z=H$, і швидкість сходження елемента скиби з клина g_c , можна визначити закон руху частинки після її сходження з клина.

Без відриву від поверхні

На рисунку 2.3 подано схему сил і реакцій, які діють на елемент скиби, де P – сила тиску збоку скиби на клин, N – нормальна реакція, F_{mp} – сила тертя скиби об клин, G – вага скиби.

Диференційні рівняння руху елемента скиби по поверхні клина в загальному вигляді будуть мати вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -fN \frac{\dot{x}}{g} \\ m\ddot{y} = -fN \frac{\dot{y}}{g} - mg \sin \alpha + P \cos \alpha \\ m\ddot{z} = N - mg \cos \alpha - P \sin \alpha \end{cases} \quad (2.12)$$

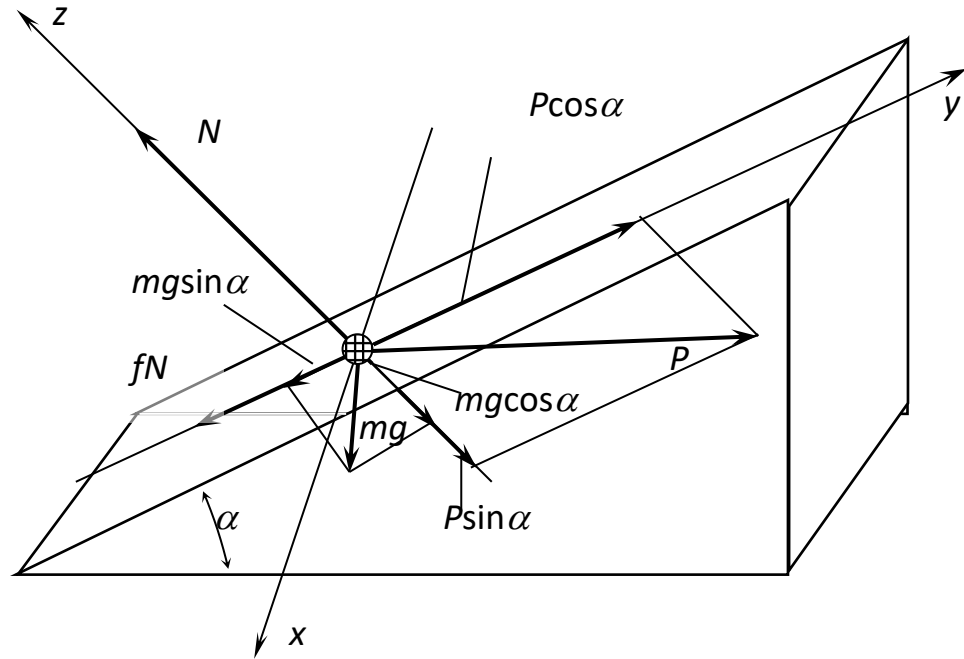


Рисунок 2.3 – Схема сил і реакцій, які діють на елемент скиби

У даній системі рівнянь: $\bar{g}$ - вектор швидкості; $\dot{x}, \dot{y}$ - проекції вектора $\bar{g}$ на координатні осі Ox, Oy відповідно.

В даній задачі відомо, що сила $\bar{P}$ (сила тиску з боку ґрунту на клин) направлена паралельно до осі Oy . Тому можна вважати, що теоретично рух елемента скиби відбувається тільки вздовж осі Oy .

Отже, вектор швидкості $\bar{g}$ також буде направлений вздовж осі Oy і тому $\dot{x} = 0, \dot{y} = g$. Тому система диференціальних рівнянь (2.12) в даному випадку набуде вигляду:

$$\begin{cases} m\ddot{y} = -fN - mg \sin \alpha + P \cos \alpha \\ m\ddot{z} = N - mg \cos \alpha - P \sin \alpha \end{cases} \quad (2.13)$$

Перше рівняння системи (2.12) зникає, оскільки немає переміщення по осі Ox , тобто $\dot{x} = 0$. Тоді $\dot{x} = 0, \ddot{x} = 0$. Якщо вважати, що рух елемента скиби по клину відбувається без відриву, то система диференціальних рівнянь (2.13) матиме вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{y} = -fN - mg \sin \alpha + P \cos \alpha \\ 0 = N - mg \cos \alpha - P \sin \alpha \end{cases} \quad (2.14)$$

В даному випадку $\dot{z} = 0, \ddot{z} = 0$. З другого рівняння системи (2.14) одержуємо:

$$N = mg \cos \alpha + P \sin \alpha \quad (2.15)$$

Підставляючи (2.15) в перше рівняння системи (2.14) матимемо:

$$\begin{aligned}
m\ddot{y} &= -f(mg \cos \alpha + P \sin \alpha) - mg \sin \alpha + P \cos \alpha \\
\ddot{y} &= \frac{(P - fmg)}{m} \cos \alpha - \frac{(fP + mg)}{m} \sin \alpha \\
\frac{d^2 y}{dt^2} &= \frac{(P - fmg)}{m} \cos \alpha - \frac{(fP + mg)}{m} \sin \alpha
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Інтегруючи рівняння (2.16), одержимо:

$$\begin{aligned}
\frac{dy}{dt} &= \left[\frac{(P - fmg)}{m} \cos \alpha - \frac{(fP + mg)}{m} \sin \alpha \right] t + C_1 \\
y &= \left[\frac{(P - fmg)}{m} \cos \alpha - \frac{(fP + mg)}{m} \sin \alpha \right] \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2
\end{aligned}$$

Для визначення довільних сталих C_1 і C_2 необхідно задати початкові умови: $t = 0, y = 0, \theta = 0$. Враховуючи, що $\vartheta = \frac{dy}{dt} = 0$, одержуємо рівняння:

$$\begin{aligned}
0 &= \left[\frac{P - fmg}{m} \cos \alpha - \frac{fP + mg}{m} \sin \alpha \right] \cdot 0 + C_1 \\
C_1 &= 0 \\
0 &= \left[\frac{P - fmg}{m} \cos \alpha - \frac{fP + mg}{m} \sin \alpha \right] \cdot \frac{0^2}{2} + C_1 \cdot 0 + C_2 \\
C_2 &= 0
\end{aligned}$$

Таким чином, шукане рівняння руху елемента скиби вздовж клина має вигляд:

$$y = \left[\frac{(P - fmg)}{m} \cos \alpha - \frac{(fP + mg)}{m} \sin \alpha \right] \cdot \frac{t^2}{2} \tag{2.17}$$

При цьому швидкість елемента скиби вздовж клина змінюється за законом:

$$\vartheta = \left[\frac{(P - fmg)}{m} \cos \alpha - \frac{(fP + mg)}{m} \sin \alpha \right] \cdot t \tag{2.18}$$

Отже, рух елемента скиби вздовж поверхні клина відбувається за параболічним законом, а його швидкість при цьому змінюється за лінійним законом.

Визначимо швидкість руху елемента скиби в момент сходження з поверхні клина. Якщо довжина поверхні клина дорівнює L , то з рівняння (2.17) можна визначити час, за який елемент скиби проходить всю довжину клина:

$$t_c = \sqrt{\frac{2Lm}{(P - fmg) \cos \alpha - (fP + mg) \sin \alpha}} \tag{2.19}$$

Одержаний час t_c буде моментом сходження елемента скиби з поверхні клина. При цьому швидкість сходження θ_c елемента скиби з поверхні клина визначаємо з формули (2.18):

$$g_c = \left[\frac{(P - fmg)}{m} \cos \alpha - \frac{(fP + mg)}{m} \sin \alpha \right] \cdot t_c,$$

або

$$g_c = \frac{(P - fmg) \cos \alpha - (fP + mg) \sin \alpha}{m} \cdot \sqrt{\frac{2Lm}{(P - fmg) \cos \alpha - (fP + mg) \sin \alpha}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2L[(P - fmg) \cos \alpha - (fP + mg) \sin \alpha]}{m}}$$

Отже,

$$g_c = \sqrt{\frac{2L[(P - fmg) \cos \alpha - (fP + mg) \sin \alpha]}{m}} \quad (2.20)$$

Рух елемента скиби після сходження з клина визначається аналогічно, як описано в пункті 2.1.2.

Без відриву і клин розміщений під кутом до скиби

Якщо рух відбувається без відриву від робочої площини клина ABC, але по осі Ox і Oy (рис.2.4) кут $\beta=0$, то матимемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -fN \frac{\dot{x}}{g} \\ m\ddot{y} = -fN \frac{\dot{y}}{g} - mg \sin \alpha + P \cos \alpha \\ m\ddot{z} = N - mg \cos \alpha - P \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (2.21)$$

Тоді, $N = mg \cos \alpha + P \sin \alpha$, підставляючи N в перші два рівняння системи (2.21) матимемо:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -f(mg \cos \alpha + P \sin \alpha) \cdot \frac{\dot{x}}{g} \\ m\ddot{y} = -f(mg \cos \alpha + P \sin \alpha) \frac{\dot{y}}{g} - mg \sin \alpha + P \cos \alpha \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} \ddot{x} = -f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} \\ \ddot{y} = -f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} - g \sin \alpha + \frac{P}{m} \cos \alpha \end{cases} \quad (2.22)$$

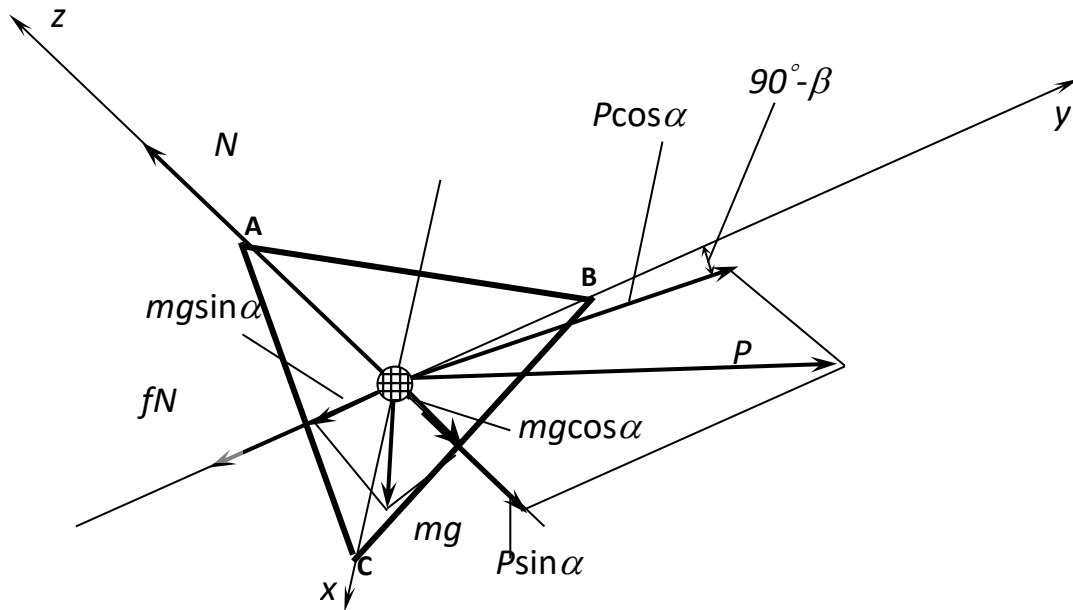


Рисунок 2.4 – Схема сил і реакцій, які діють на елемент скиби [14]

Позбутися радикала $\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$ в системі одержаних рівнянь можна, ввівши змінну:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \vartheta \cos \beta, \\ \dot{y} &= \vartheta \sin \beta,\end{aligned}\tag{2.23}$$

де β - кут між вектором швидкості $\bar{\vartheta}$ і віссю Ox , тоді:
 $\dot{x} \cos \beta = \vartheta \cos^2 \beta$, $\dot{y} \sin \beta = \vartheta \sin^2 \beta$, $\dot{x} \cos \beta + \dot{y} \sin \beta = \vartheta (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta)$.

Звідси

$$\dot{x} \cos \beta + \dot{y} \sin \beta = \vartheta\tag{2.24}$$

Далі

$$\begin{aligned}-\dot{x} \sin \beta &= -\vartheta \cos \beta \sin \beta \\ \dot{y} \cos \beta &= \vartheta \sin \beta \cos \beta\end{aligned}$$

Одержуємо

$$-\dot{x} \sin \beta + \dot{y} \cos \beta = 0\tag{2.25}$$

Диференціюючи рівняння (2.24) по t , одержимо:

$$\ddot{x} \cos \beta - \dot{x} \sin \beta \cdot \dot{\beta} + \ddot{y} \sin \beta + \dot{y} \cos \beta \cdot \dot{\beta} = \dot{\vartheta}$$

або

$$\ddot{x} \cos \beta + \ddot{y} \sin \beta + (-\dot{x} \sin \beta + \dot{y} \cos \beta) \cdot \dot{\beta} = \dot{\vartheta}$$

Враховуючи рівняння (2.25) одержимо:

$$\ddot{x} \cos \beta + \ddot{y} \sin \beta = \dot{\vartheta}\tag{2.26}$$

Продиференціюємо рівняння (2.25) по t :

$$\begin{aligned}
& -\ddot{x} \sin \beta - \dot{x} \cos \beta \cdot \dot{\beta} + \ddot{y} \cos \beta - \dot{y} \sin \beta \cdot \dot{\beta} = 0 \\
& -\ddot{x} \sin \beta + \ddot{y} \cos \beta + (-\dot{x} \cos \beta - \dot{y} \sin \beta) \cdot \dot{\beta} = 0 \\
& -\ddot{x} \sin \beta + \ddot{y} \cos \beta - (\dot{x} \cos \beta + \dot{y} \sin \beta) \cdot \dot{\beta} = 0
\end{aligned}$$

Враховуючи (2.24), одержуємо:

$$-\ddot{x} \sin \beta + \ddot{y} \cos \beta - \vartheta \cdot \dot{\beta} = 0$$

або

$$-\ddot{x} \sin \beta + \ddot{y} \cos \beta = \vartheta \cdot \dot{\beta} \quad (2.27)$$

Підставляємо (2.22) і (2.23) в (2.26):

$$\begin{aligned}
& \left[-f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \frac{\vartheta \cos \beta}{\vartheta} \right] \cdot \cos \beta + \\
& + \left[-f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \frac{\vartheta \sin \beta}{\vartheta} - g \sin \alpha + \frac{P}{m} \cos \alpha \right] \cdot \sin \beta = \dot{\vartheta}
\end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned}
& -f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \cos^2 \beta + \left[-f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \right] \sin^2 \beta - \\
& - g \sin \alpha \cdot \sin \beta + \frac{P}{m} \cos \alpha \sin \beta = \dot{\vartheta}
\end{aligned}$$

Звідси:

$$-f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \cdot (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) - g \sin \alpha \cdot \sin \beta + \frac{P}{m} \cos \alpha \cdot \sin \beta = \dot{\vartheta} \quad (2.28)$$

Підставляємо (2.22) і (2.23) в (2.27):

$$\begin{aligned}
& f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \cdot \frac{\vartheta \cos \beta}{\vartheta} \sin \beta + \\
& + \left[-f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \frac{\vartheta \sin \beta}{\vartheta} - g \sin \alpha + \frac{P}{m} \cos \alpha \right] \cdot \cos \beta = \vartheta \cdot \dot{\beta}
\end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned}
& f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta - \\
& - f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta - g \sin \alpha \cdot \cos \beta + \frac{P}{m} \cos \alpha \cdot \cos \beta = \vartheta \cdot \dot{\beta}
\end{aligned}$$

Звідси:

$$\dot{\beta} = \frac{1}{\vartheta} \left(-g \sin \alpha \cdot \cos \beta + \frac{P}{m} \cos \alpha \cdot \cos \beta \right) \quad (2.29)$$

Таким чином, замість системи (2.22) двох рівнянь другого порядку одержали систему чотирьох рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \dot{x} = g \cos \beta \\ \dot{y} = g \sin \beta \\ \dot{g} = -f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) - g \sin \alpha \cdot \sin \beta + \frac{P}{m} \cos \alpha \cdot \sin \beta \\ \dot{\beta} = \frac{1}{g} \left(-g \sin \alpha \cdot \cos \beta + \frac{P}{m} \cos \alpha \cdot \cos \beta \right) \end{cases} \quad (2.30)$$

Система (2.30) дозволяє краще уявити якісний вплив коефіцієнта тертя f на форму траєкторії, оскільки третє рівняння даної системи описує зміну швидкості, а четверте – зміну нахилу траєкторії.

Якщо вважати, що рух відбувається лише по осі Oy ($\beta = 90^\circ$), то система (2.30) набуде вигляду:

$$\begin{cases} \dot{x} = 0; \dot{y} = g \\ \dot{g} = -f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) - g \sin \alpha + \frac{P}{m} \cos \alpha \\ \dot{\beta} = 0 \end{cases}$$

або

$$\ddot{y} = -f \left(g \cos \alpha + \frac{P}{m} \sin \alpha \right) - g \sin \alpha + \frac{P}{m} \cos \alpha \quad (2.31)$$

Одержане рівняння (2.31) має вигляд рівняння (2.16), а отже, подальший розрахунок проводиться, як описано в пункті 2.1.3.

Рух клина під кутом до скиби.

Коли клин рухається під кутом до скиби ґрунту, вектор сили $\bar{P}$ не лежить в площині yOz (рис. 2.5). Проекція вектора сили $\bar{P} \cos \alpha$ лежить у площині xOy і відхилена від осі Ox на кут β , де $\beta < 90^\circ$. У підпункті 2.1.4.1 $\beta = 90^\circ$. Від осі Oy вектор $\bar{P} \cos \alpha$ відхилений на кут $90^\circ - \beta$.

Враховуючи схему сил, що діють на елемент скиби, як показано на рис. 2.4, диференціальні рівняння руху ЕС по робочій поверхні клина набувають вигляду:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -fN \frac{\dot{x}}{g} + P \cos \alpha \cdot \cos \beta \\ m\ddot{y} = -fN \frac{\dot{y}}{g} + P \cos \alpha \cdot \sin \beta - mg \sin \alpha \\ m\ddot{z} = N - mg \cos \alpha - P \sin \alpha \end{cases} \quad (2.32)$$

В даній системі три рівняння і чотири невідомих x, y, z, N . Додамо до системи (2.32) рівняння в'язі (рівняння площини):

$$z = y \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.33)$$

З останнього виразу отримуємо:

$$\dot{z} = \dot{y} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad \ddot{z} = \ddot{y} \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2.34)$$

Підставимо рівняння (2.34) в третє рівняння системи (2.32) і отримуємо:

$$m \operatorname{tg} \alpha \cdot \dot{y} = N - mg \cos \alpha - P \sin \alpha,$$

звідси отримуємо:

$$m \ddot{y} = \frac{N}{\operatorname{tg} \alpha} - mg \frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha} - P \cos \alpha \quad (2.35)$$

Підставляємо рівняння (2.35) в друге рівняння системи (2.32) і отримуємо:

$$\frac{N}{\operatorname{tg} \alpha} - mg \frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha} - P \cos \alpha = -fN \frac{\dot{y}}{\mathcal{G}} - mg \sin \alpha + P \cos \alpha \cdot \sin \beta,$$

матимемо:

$$N = \frac{mg \cdot \mathcal{G} \cos \alpha}{\mathcal{G} + f y \operatorname{tg} \alpha} + \frac{P \cdot \mathcal{G} \sin \alpha}{\mathcal{G} + f y \operatorname{tg} \alpha} - \frac{mg \cdot \mathcal{G} \sin^2 \alpha}{\cos \alpha \cdot (\mathcal{G} + f y \operatorname{tg} \alpha)} + \frac{P \cdot \mathcal{G} \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\mathcal{G} + f y \operatorname{tg} \alpha}.$$

Підставляючи останній вираз в перші два рівняння системи (2.32) і враховуючи, що $\mathcal{G} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$ отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} m \ddot{x} = -\frac{fmg \cos \alpha \cdot \dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha} - \frac{fP \sin \alpha \cdot \dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha} + \frac{fmg \sin^2 \alpha \cdot \dot{x}}{\cos \alpha \cdot (\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha)} - \\ - \frac{fP \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha} + P \cos \alpha \cdot \cos \beta \\ m \ddot{y} = -\frac{fmg \cos \alpha \cdot \dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha} - \frac{fP \sin \alpha \cdot \dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha} + \frac{fmg \sin^2 \alpha \cdot \dot{y}}{\cos \alpha \cdot (\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha)} - \\ - \frac{fP \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + f y \operatorname{tg} \alpha} + P \cos \alpha \cdot \cos \beta - mg \sin \alpha \end{cases} \quad (2.36)$$

Система рівнянь (2.36) є системою диференціальних рівнянь другого порядку в нормальній формі, при якій похідні другого порядку $\ddot{x}$ і $\ddot{y}$ виражаються через похідні першого порядку $\dot{x}$ і $\dot{y}$, а також шукані функції x і y , тобто:

$$\begin{cases} \ddot{x} = f(\dot{x}, \dot{y}, x, y) \\ \ddot{y} = \varphi(\dot{x}, \dot{y}, x, y) \end{cases}$$

Систему диференціальних рівнянь (2.36) можна розв'язати за допомогою чисельних методів на ПЕОМ, наприклад, для розв'язання застосовуємо метод Рунге-Куты [12, 92]. Для цього необхідно задати початкові умови: $x(0) = x_0$, $y(0) = y_0$, $\dot{x}(0) = \dot{x}_0$, $\dot{y}(0) = \dot{y}_0$.

2.2. Траєкторія руху елемента скиби після сходження з поверхні клина

Початок системи координат $Oxyz$ розміщуємо в точці сходження елемента скиби з клина (рис. 2.5). Після сходження з клина на елемент скиби діє сила ваги mg елемента скиби та сила інерції. Проекції цієї сили на осі Ox , Oy та Oz дорівнюють відповідно 0, 0 та $-mg$.

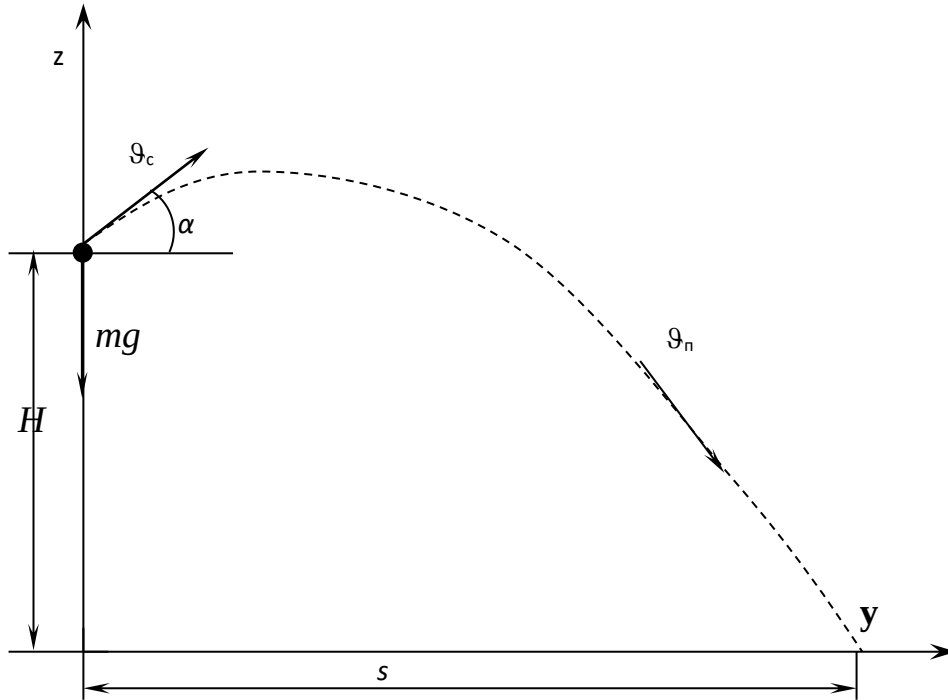


Рисунок 2.5 Рух елемента скиби після сходження з робочої поверхні клина

Тоді диференціальні рівняння руху елемента скиби при зазначених умовах будуть $m \frac{d^2x}{dt^2} = 0$; $m \frac{d^2y}{dt^2} = 0$; $m \frac{d^2z}{dt^2} = -mg$ або, після скорочення на m , та врахування того, що $\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d\vartheta_x}{dt}$, $\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d\vartheta_y}{dt}$, $\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{d\vartheta_z}{dt}$, одержуємо систему рівнянь:

$$\frac{d\vartheta_x}{dt} = 0, \quad \frac{d\vartheta_y}{dt} = 0, \quad \frac{d\vartheta_z}{dt} = -g.$$

Після інтегрування цих рівнянь одержуємо:

$$\vartheta_x = C_1, \quad \vartheta_y = C_2, \quad \vartheta_z = -gt + C_3 \quad (2.37)$$

Початкові умови в даній задачі мають вигляд, при $t = 0$, $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$, $\vartheta_x = 0$, $\vartheta_y = \vartheta_c \cdot \cos \alpha$, $\vartheta_z = \vartheta_c \cdot \sin \alpha$

Виходячи з початкових умов, будемо мати:

$$C_1 = 0, C_2 = \vartheta_c \cdot \cos \alpha, C_3 = \vartheta_c \cdot \sin \alpha.$$

Підставляючи значення для C_1 , C_2 , C_3 в рівняння (2.37), одержимо:

$$\vartheta_x = 0, \quad \vartheta_y = \vartheta_c \cdot \cos \alpha, \quad \vartheta_z = -gt + \vartheta_c \cdot \sin \alpha,$$

або

$$\frac{dx}{dt} = 0, \quad \frac{dy}{dt} = \vartheta_c \cdot \cos \alpha, \quad \frac{dz}{dt} = -gt + \vartheta_c \cdot \sin \alpha$$

Інтегруючи дані рівняння, одержимо:

$$x = C_4, \quad y = \vartheta_c t \cdot \cos \alpha + C_5, \quad z = -\frac{gt^2}{2} + \vartheta_c t \cdot \sin \alpha + C_6.$$

З початкових умов одержуємо: $C_4 = 0$, $C_5 = 0$, $C_6 = 0$.

Таким чином знаходимо рівняння руху елемента скиби у вигляді:

$$\begin{cases} x = 0, \\ y = \vartheta_c \cdot t_n \cdot \cos \alpha \\ z = -\frac{gt^2}{2} + \vartheta_c \cdot t_n \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (2.38)$$

З системи (2.38) випливає, що рух елемента скиби відбувається в площині Oyz . Визначимо час t_n , при якому частинка досягне поверхні ґрунту. Оскільки елемент скиби починає політ з висоти H , то з останнього рівняння системи (2.38) одержуємо:

$$-H = \vartheta_c \cdot t_n \cdot \sin \alpha - g \frac{t_n^2}{2} \quad \text{або} \quad H + \vartheta_c \cdot t_n \cdot \sin \alpha - \frac{gt_n^2}{2} = 0.$$

Тоді

$$t_n = \frac{\vartheta_c \sin \alpha + \sqrt{\vartheta_c^2 \sin^2 \alpha + 2gH}}{g}$$

(2.39)

Горизонтальна дальність польоту елемента скиби при цьому становить:

$$s = g_c \cdot t_n \cdot \cos \alpha \quad (2.40)$$

де g_c - визначається за формулою (2.11);

t_n - за формулою (2.39).

Координата найвищої точки траєкторії елемента скиби після сходження з поверхні клина визначаємо, виключаючи параметр t_n з системи (2.38):

$$t_n = \frac{y}{g_c \cdot \cos \alpha}; \quad z = \frac{y}{\cos \alpha} \sin \alpha - g \frac{y^2}{2g_c^2 \cdot \cos^2 \alpha}.$$

Отже, координата найвищої точки траєкторії елемента скиби після сходження з поверхні клина являє собою параболу з віссю, паралельною до осі Oz .

$$z = y \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g \cdot y^2}{2g_c^2 \cdot \cos^2 \alpha} \quad (2.41)$$

Загальна величина переміщення елемента скиби під час дії на неї клина з введеним поправним коефіцієнтом дорівнює:

$$S_\Sigma = K \cdot \frac{t_c^2}{2} + s = K \frac{2L}{2K} - s = (L + s) \cdot \varepsilon, \quad (2.42)$$

де ε - поправний коефіцієнт, визначений експериментально ($\varepsilon = 0,01$).

Знаючи величину переміщення елемента скиби ґрунту клином та знаючи силу прикладену до клина ми визначаємо скільки витрачається на енергії на здійснення даної операції, таким чином рівняння за яким визначаємо енергію має вигляд:

$$U_{теор} = S_\Sigma \cdot P, \quad (2.43)$$

де S_Σ - загальна величина переміщення елемента скиби під час дії на неї клина, м;

P – зусилля, прикладене до клина, Н.

Розділ 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Опис експериментального пристрою для визначення мінімальної енергії руйнування зв'язків між елементами скиби

Для реалізації програми експериментів був розроблений експериментальний пристрій (рис. 3.1).

Даний пристрій складається з днища 1, який являє собою жолоб прямокутної форми (рис. 3.2). До днища строго вертикально за допомогою болтів кріпиться лінійка 2 (рис. 3.3). Лінійка зроблена з труби до якої приварена пластина з чотирма отворами, на ній кріпиться смужка міліметрового паперу з нанесеним масштабом. На лінійці за допомогою болтів кріпиться рукав 3 (рис. 3.4), який може змінювати своє положення вздовж лінійки. Рукав складається з пружинного механізму 1, до якого кріпиться лопатка 2. Лопатка може змінювати своє положення, розтягуючи пружину, а фіксується положення лопатки за допомогою фіксатора 4.

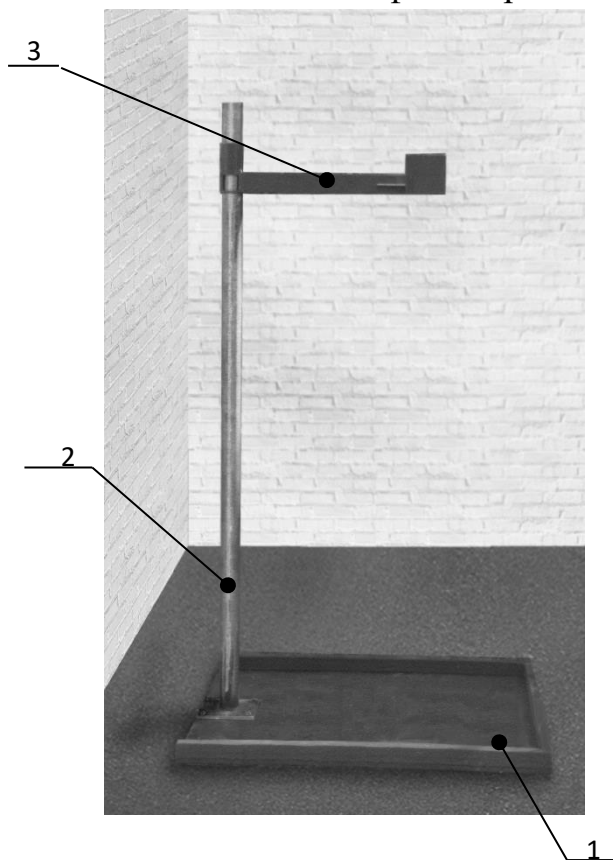


Рисунок 3.1 – Пристрій для визначення енергії руйнування елемента скиби

Методика визначення мінімальної енергії руйнування зв'язків між елементами скиби

Для перевірки теоретичних передумов визначення мінімальної потенціальної енергії руйнування зв'язків між елементами скиби ґрунту було проведено лабораторно-польові дослідження. Дослідження проводились на полі ВАТ “Западинське”, фон поля - чорнозем малогумусовий.

Дослід проводили наступним чином [31, 23]. Бралися зразки ґрунту, на глибинах 0...150мм, для визначення вологості та щільності. Пристрій (рис. 3.6) ставився на рівну площину так, що лінійка 2 була строго вертикально до поверхні поля. Відбирали зразок ґрунту мінімального об'єму (1дм³), який зберігає властивості ґрунтового середовища. Зразок б зважували, після чого ставили на лопатку 4, звільнявся пружинний механізм 5, лопатка миттєво забиралася, і зразок під дією власної ваги падав на днище. Досліди проводили на різних висотах, рухаючи рукав 3 по лінійці, добиваючись роз'єднання проб на фракції потрібного розміру. Зруйнований зразок обережно просіювали через сита з відповідними отворами, щоб визначити на які фракції зруйнувалася проба. Дані проведених експериментів заносилися у форму 1 (рис.3.7).

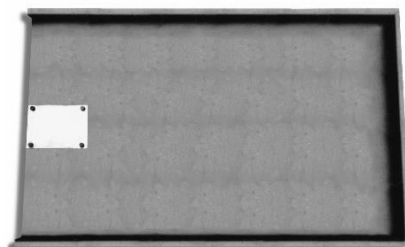


Рисунок 3.2 – Жолоб



Рисунок 3.3 – Лінійка

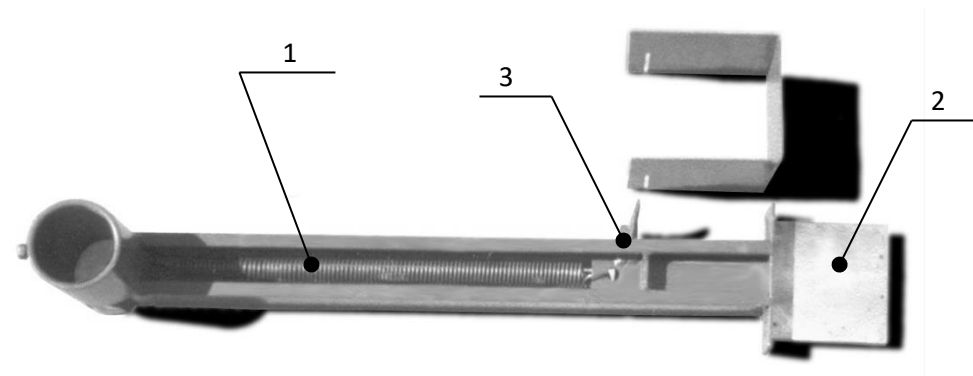


Рисунок 3.4 – Рукав

Для нарізання експериментальних зразків розроблено ніж 1, який має циліндричну форму, а також штовхач 2 (рис. 3.5).

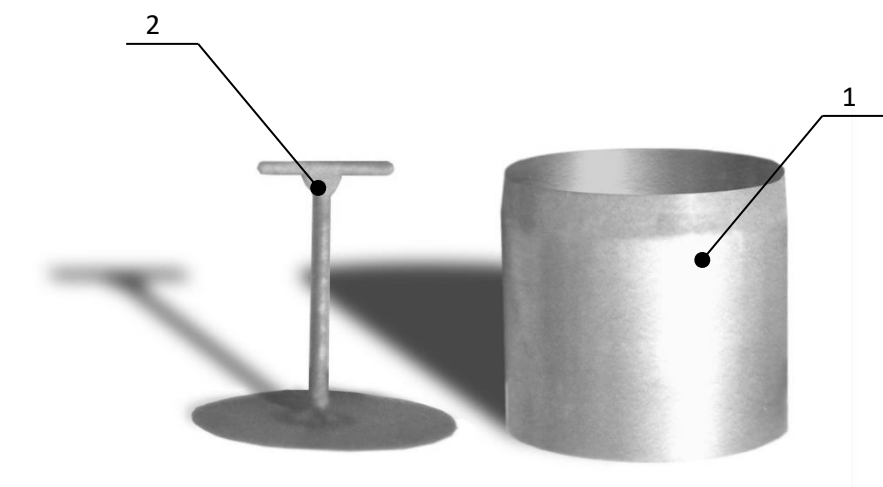


Рисунок 3.5 – Ніж та штовхач

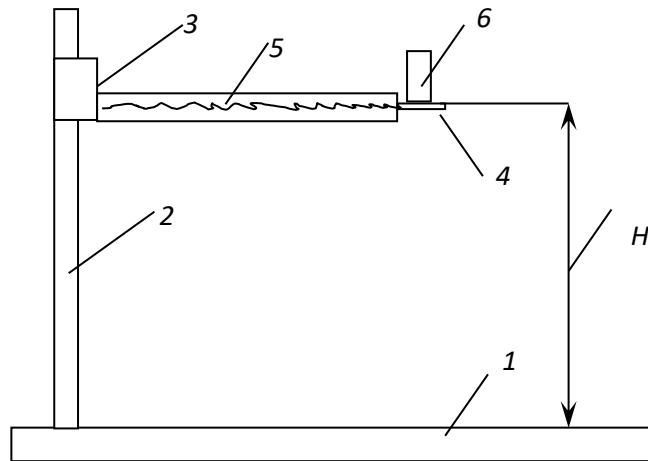


Рисунок 3.6 – Схематичне зображення пристрою для визначення міцності зв'язків між елементами скиби ґрунту

Знаючи масу проби, висоту підйому ґрунтової проби над твердою поверхнею, визначали мінімальну потенціальну енергію руйнування зв'язків між елементами скиби ґрунту. Було прийнято, що дана потенціальна енергія маси проби, піднятої на знайдену висоту, є еквівалентна енергії зв'язку між елементами скиби цієї проби, тобто [31, 23]:

$$E_{BKC} = M \cdot g \cdot h, \quad (3.1)$$

де M – маса проби, яка відповідає $1 \text{ дм}^3 \pm 10 \%$;

h – висота вільного падіння проби;

g – прискорення вільного падіння.

Форма 1

Дата проведення дослідів _____

Щільність ґрунту _____ г/см^3

Вологість ґрунту _____ %

Об'єм проби _____ дм^3

Маса проби _____ кг

Висота польоту _____ см

Повторюваність дослідів	Фракційний склад, мм/г						
	до 0,5	$0,5 < x < 1,0$	$1,0 < x < 3,0$	$3,0 < x < 5,0$	$5,0 < x < 7,0$	$7,0 < x < 10,0$	більше 10,0
1							
2							
3							
4...10							

Рисунок 3.7 – Форма 1: дані проведених експериментів з визначення енергії руйнування зв'язків між елементами скиби

3.2. Результати дослідження мінімальної потенціальної енергії руйнування ґрунту

Тип ґрунту – чорнозем звичайний, малогумусовий. Рельєф рівний без схилів. Фон – стерня після збирання пшениці.

Щільність ґрунту взятих зразків, г/см³:

Мінімальна – 1,329

Середня – 1,5003

Максимальна – 1,736

Вологість ґрунту по горизонтах, %:

0...5 см – 18,8; 5...10 см – 18,5; 10...15 см – 17,6.

Результати експериментальних досліджень з визначення мінімальної потенціальної енергії руйнування ґрунту графічно подано на рис 3.8 – 3.11 і оброблені у вигляді рівняння регресії (3.1).

Характеристики критеріїв, за якими оцінювалась ступінь кришення розглянутих зразків ґрунту, подано в таблиці 4.1. За агровимогами оптимальний розмір фракцій ґрунту, при якому найкраще розвивається сільськогосподарська культура, від 0,5 до 10 мм, і їх відсотковий вміст від загального масиву повинен становити 60% [140]. Як видно з таблиці 3.1, найкращі критерії кришення зразка знаходяться у межах 2 – 7, бо відповідають вимогам щодо фракційного складу ґрунту. Мінімально необхідна енергія для руйнування зв'язків між елементами зразка, що розглядається, лежить в межах від 14,9 до 19,5 Дж (рис 3,8).

Таблиця 3.1 Критерії кришення під час визначення мінімальної енергії руйнування зв'язків між елементами розглянутих зразків ґрунту

Критерії кришення	Висота підйому H , м	Маса зразка M , кг	Швидкість удару g , м/с	Відсоток фракцій від загальної маси зразка розміром від 0,5 до 10 мм
1	0,5	1,52	3,13	39,65
2	1	1,52	4,43	52,0
3	1,05	1,52	4,54	49,09
4	1,1	1,51	4,64	47,41
5	1,15	1,34	4,75	48,13
6	1,25	1,47	4,95	52,62
7	1,3	1,53	5,05	46,38
8	1,35	1,51	5,15	65,88
9	1,4	1,47	5,24	65,89

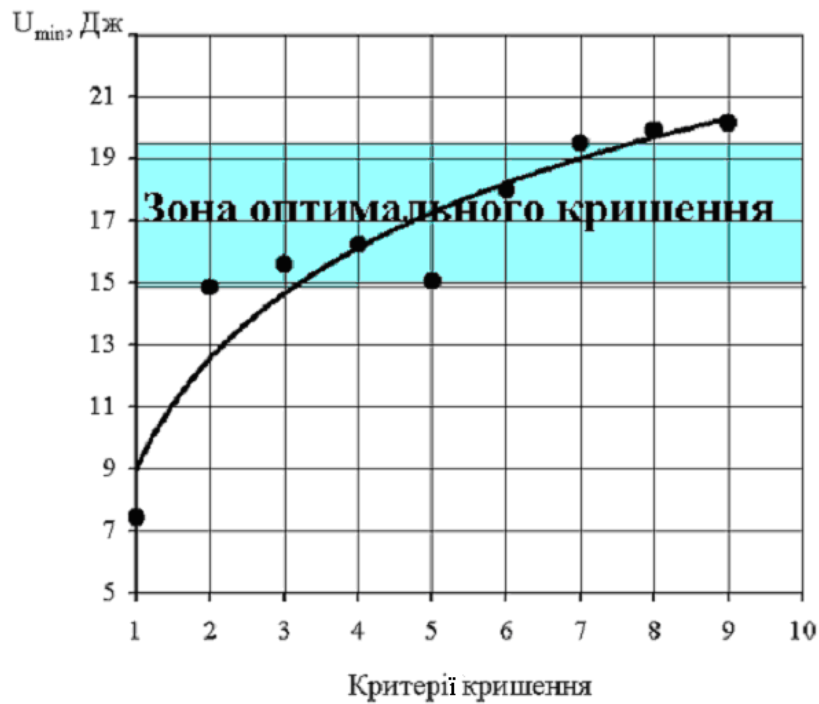
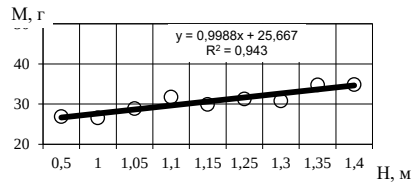


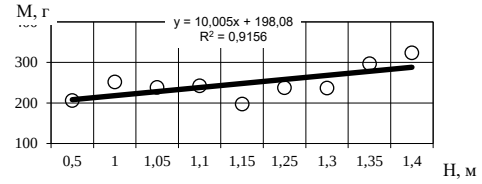
Рисунок 3.8 – Залежність енергії руйнування зв'язків між елементами розглянутих зразків ґрунту від критеріїв кришення

Як свідчать результати, наведені на рис. 3.9 (а-г) зі збільшенням висоти падіння елемента скиби збільшується масова частка фракцій малих розмірів від 1 до 7 мм. Так, на мінімальній висоті (H) 500 мм середня маса (M) склала 127,53 г, а на висоті, за якою спостерігається різке збільшення маси фракцій від 1 до 7мм, від 1350 мм до 1400 мм, їх середня маса склала 188,59 г, тобто збільшилася на 61,06 г, що склало 47,88%. Маса фракцій від 7 мм до 10 мм і більше 10 мм зі збільшенням висоти – зменшилась. Так, на висоті 500 мм середня масова частка даних фракцій склала 503,25 г, на висоті від 1350 мм до 1400 мм – 365,38 г, тобто зменшилась на 27,4%.

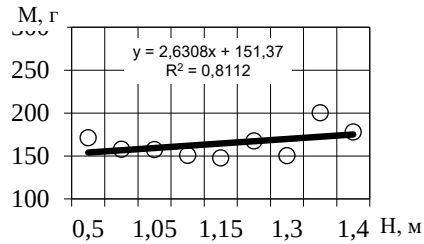
Як видно з рис. 3.9, характер руйнування елемента скиби описується законом прямої лінії.



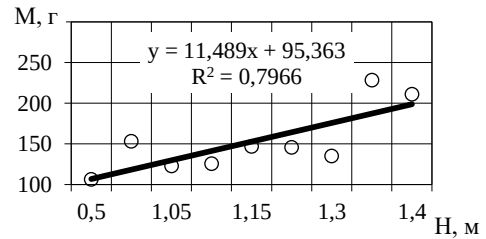
а)



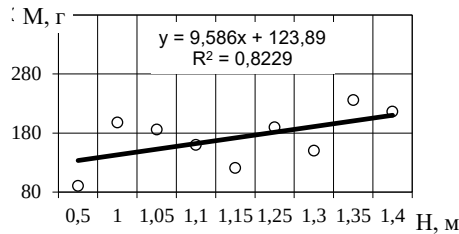
б)



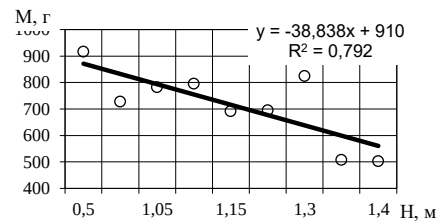
в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.9 – Залежність фракційного складу зразка ґрунту від висоти падіння

а) – розмір фракції до 1 мм;

б) – розмір фракції від 1 до

3 мм;

в) – розмір фракції від 3 до 5

мм;

г) – розмір фракції від 5 до 7 мм;

д) – розмір фракції від 7 до 10 мм;

е) – розмір фракції більше 10 мм.

З рисунку 3.10 видно, що під час збільшення швидкості падіння зразка процентний вміст фракцій малих розмірів (0,5 до 1 мм) наближається до прямої лінії, середніх розмірів (від 3 до 5 мм) – збільшується, а великих розмірів фракцій (від 7 до 10 і більше 10 мм) – зменшується.

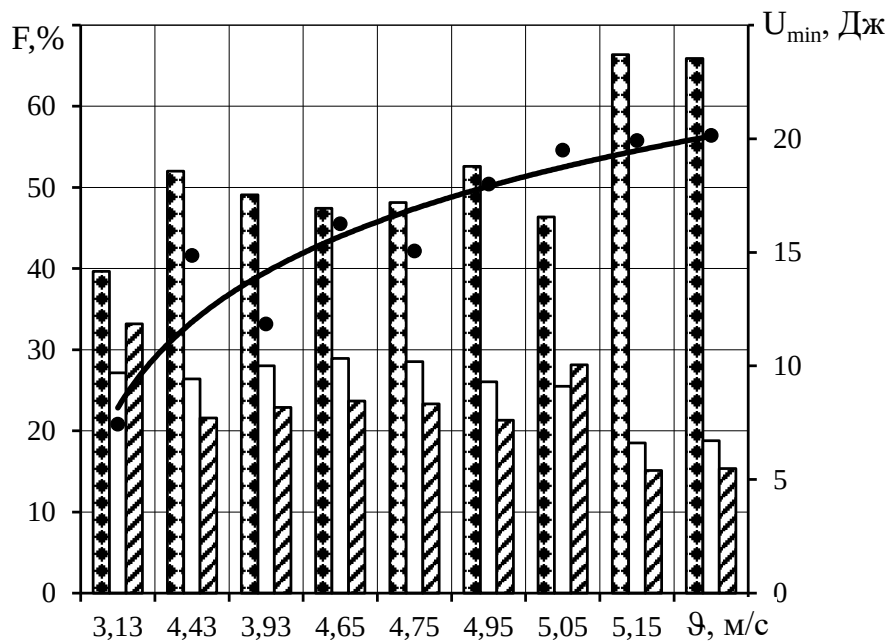


Рисунок 3.10 – Залежність утворення фракцій від швидкості падіння взятого зразка

- ▣ - процентний вміст фракцій розміром до 10 мм;
- - процентний вміст фракцій розміром від 10 мм до 25 мм;
- ▤ - процентний вміст фракцій розміром більше 25 мм;
- - енергія руйнування зв'язків між елементами розглянутих зразків ґрунту.

На рис. 3.11 показано залежність потенціальної енергії зразка від швидкості удару об горизонтальну поверхню, характер зміни величини енергії можна описати степеневою функцією.

Після того, як ми провели розрахунки за визначення потенціальної енергії зв'язків між елементами скиби (U_{36}) (в подальшому потенціальна енергія) руйнування елемента скиби (в нашому випадку, зразка циліндричної форми об'ємом 1 дм³), і, отримавши рівняння регресії, яке описує теоретично отриману нами криву, а також провівши пошук на екстремум функції, ми можемо стверджувати, що необхідна мінімальна енергія руйнування ґрунту, за умови оптимальної швидкості руху агрегату, забезпечується при висоті падіння 500 мм (рис. 3.11 – 3.12). За цих умов мінімальна потенціальна енергія складає 7,44 Дж. Дані отримані під час проведення регресивного аналізу подані в табл. 4.2, а рівняння регресії має вигляд:

$$U_{36} = -0,0001373 + 9,810161M \cdot H \quad (4.1)$$

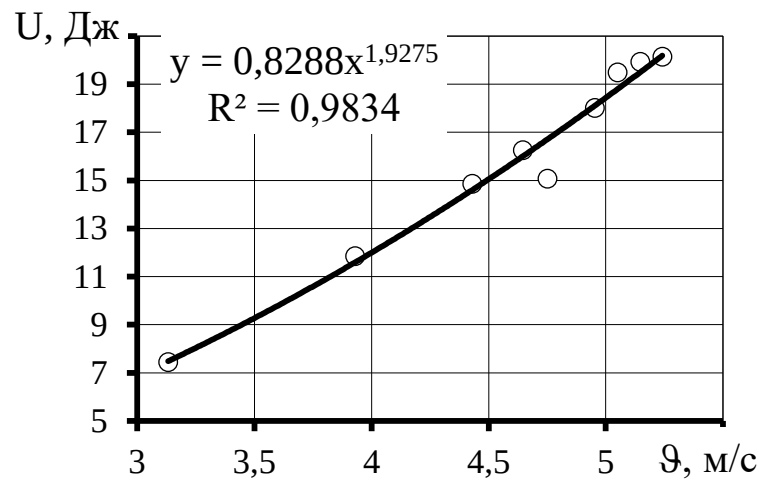


Рисунок 3.11 – Залежність потенціальної енергії руйнування зразка від швидкості удару об горизонтальну поверхню

Таблиця 3.2 Обробка результатів дослідів з визначення мінімальної потенціальної енергії руйнування елемента скиби

Поліном першого ступеня. Рівень ймовірності $P = 0,95$; $t_{\text{альфа крит.}} = 1,985$

№ змінної	Кореляція Y з X	Коефіцієнт регресії лінеарізов.	Статистична помилка коеф. регр.	t - альфа	Коеф. еластичності
Залежна змінна					
$U_{зв}$		-0,0001373			
Незалежна змінна					
$M \times H$	1,00	+9,8101616	+0,00275	3562,55395508	1.00

Коефіцієнт множинної детермінації $D = 1.000$

Коефіцієнт множинної кореляції $R = 1.000$

Стандартне відхилення оцінки $S = 0.010$

Критерій Фішера $F = 126,91792$

Коефіцієнт D значимий з ймовірністю $P = 0,999999$

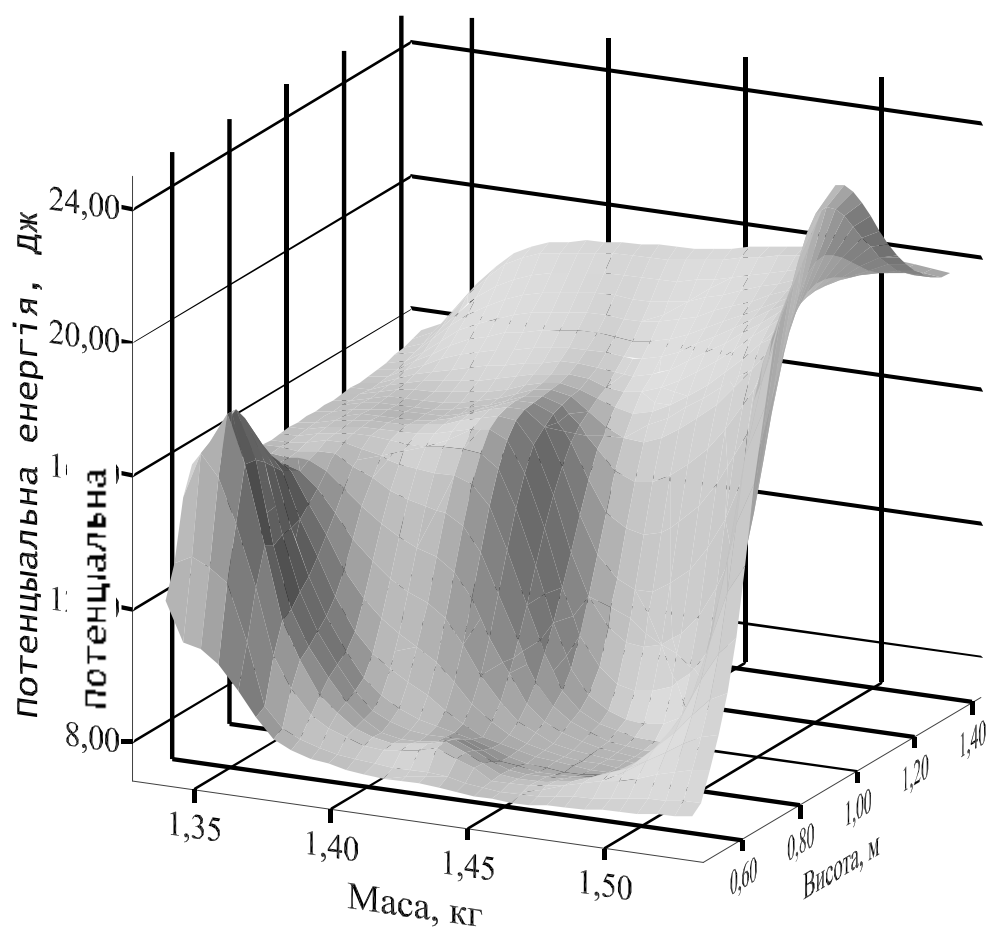


Рисунок 3.12 – Залежність потенціальної енергії руйнування від маси та висоти падіння елемента скиби

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

1.4. Приміщення лабораторій обладнуються загальнообмінною примусовою вентиляцією, а місця можливого накопичення шкідливих хімічних речовин - місцевими відсмоктувачами. Експлуатація, технічне обслуговування, планові огляд і ремонт, а також періодичні технічні випробування систем вентиляції повинні проводитись відповідно до вимог Правил з безпечної експлуатації систем вентиляції у хімічних виробництвах, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 5 жовтня 2009 року № 164, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 27 жовтня 2009 року за № 988/17004 (далі - НПАОП 0.00-1.27-09).

Постійно діюча вентиляція повинна забезпечувати кратність повітрообміну, який розраховується залежно від виду та класу небезпеки речовини, що перебуває в обігу в хімічній лабораторії, та роботу системи місцевих відсмоктувань для видалення пилу та вибухонебезпечних речовин від місць їхнього утворення.

Для очищення вибухонебезпечної пилоповітряної суміші необхідно використовувати пилоуловлювачі або фільтри.

Дотримання протипожежного режиму та оснащення приміщень хімічних лабораторій первинними засобами пожежогасіння здійснюються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 та Типових норм належності вогнегасників, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 2 квітня 2004 року № 151, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 29 квітня 2004 року за № 554/9153 (НАПБ Б.03.001-2004). Для локалізації та ліквідації пожеж у їх початковій стадії розвитку необхідно використовувати вогнегасники відповідно до вимог ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» (далі - ДСТУ 3675-98) і ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) «Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги» (далі - ДСТУ 3734-98), а також внутрішні пожежні водопроводи, покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу, пісок та інші первинні засоби пожежогасіння.

Усе електрообладнання, електроінструмент при напрузі понад 36 В, а також обладнання та механізми, які можуть виявитися під напругою, надійно заземляються. Роботи з використанням електроінструменту та

електрообладнання повинні проводитись відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01.

Рівень шуму в лабораторіях не повинен перевищувати норм (60 дБА), встановлених Державними санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, затвердженими постановою Головного державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 року № 37 (ДСН 3.3.6.037-99), та ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности».

Вібраційна безпека повинна забезпечуватися дотриманням норм, встановлених Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації, затвердженими постановою Головного державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 року № 39 (ДСН 3.3.6.039-99), та ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБТ. Вибрационная опасность. Общие требования».

Приміщення лабораторій забезпечуються природним, штучним та сумішним освітленням залежно від характеристики зорової роботи відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Місцеве освітлення повинно застосовуватися в комбінації із загальним освітленням. Застосування лише місцевого освітлення забороняється. Світильники місцевого освітлення за своїм улаштуванням повинні відповідати категорії і групі вибухонебезпечних речовин і бути влаштовані так, щоб працівник міг за бажанням змінити напрям світлового потоку.

Показники мікроклімату в робочій зоні лабораторій мають відповідати вимогам Державних санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 року № 42 (ДСН 3.3.6.042-99).

У робочій зоні лабораторій вміст пилу, газів і пари шкідливих речовин не повинен перевищувати ГДК, встановлені ГОСТ 12.1.005-88.

Припливно-витяжна вентиляція в усіх приміщеннях вмикається за 30 хвилин до початку проведення робіт і вимикається після закінчення проведення робіт. При цьому спочатку вмикають витяжну вентиляцію, а потім припливну; вимикають навпаки - спочатку припливну, а потім витяжну. Роботи в лабораторії повинні проводитися тільки при справній вентиляції, необхідно передбачити автоматичне включення та блокування вентиляції. У разі виявлення будь-яких несправностей вентиляції працівник повинен повідомити про це керівника лабораторії, а також службу охорони праці.

Всі роботи з хімічними речовинами слід проводити тільки у витяжних шафах. Витяжні шафи повинні бути обладнані відсмоктувачами.

Світильники у витяжній шафі за своїм улаштуванням повинні бути у вибухобезпечному виконанні. Штепсельні розетки і вимикачі повинні бути розташовані поза витяжною шафою.

Підлоги приміщень лабораторій повинні мати рівну, неслизьку, зручну для очищення поверхню, бути стійкими до дії механічних навантажень, вологи і агресивних середовищ.

Конструкція та розміщення лабораторних меблів повинні бути такими, щоб можна було вести прибирання підлоги під ними.

Для миття хімічного посуду слід виділяти ізольовані мийні приміщення, обладнані мийними машинами та спеціальними мийними столами: один з витяжною шафою, два відкритих. Допускається влаштування місць для миття посуду в кожному лабораторному приміщенні у витяжній шафі.

Забороняється залишати без нагляду робоче місце, ввімкнені нагрівальні прилади і працююче лабораторне обладнання, перелік якого визначений інструкцією з охорони праці, виробничої санітарії і пожежної безпеки.

З метою запобігання електротравматизму забороняється:

до роботи на електричних приладах і установках допускати працівників, які не мають відповідного допуску та дозволу;

працювати на несправних електричних приладах і установках. Про всі виявлені дефекти в ізоляції проводів, про несправності пускачів, рубильників, штепсельних вилок, розеток тощо, а також заземлення й огороження слід негайно повідомляти черговому електротехнічному персоналу;

переносити включені прилади та залишати їх без нагляду;

працювати поблизу відкритих струмопровідних частин електроустановок і торкатися до них;

захащувати підходи до електричних приладів і пристроїв.

Працівники лабораторій повинні забезпечуватися спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими ЗІЗ відповідно до вимог Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту, затвердженого наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 24 березня 2008 року № 53, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 21 травня 2008 року за № 446/15137 (НПАОП 0.00-4.01-08), та Норм безоплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв (частина 1), затверджених наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 7 вересня 2004 року № 194, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 26 жовтня 2004 року за № 1362/9961 (НПАОП 24.0-3.01-04), Норм безоплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття

та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв (частина 2), затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 13 грудня 2007 року № 305, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 31 березня 2008 року за № 264/14955 (НПАОП 24.0-3.03-07).

ЗІЗ мають відповідати вимогам Технічного регламенту засобів індивідуального захисту, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 року № 761, ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація», ГОСТ 12.4.103-83 «ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация» та ГОСТ 12.4.013-85 «ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия».

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Для підтвердження викладених положень про можливість економії енергії під час застосування виконаних розробок проведемо аналіз ефективності їх використання в технологічному комплексі для виробництва зерна в модельному господарстві. Вибір машинотракторного агрегату для обробітку ґрунту проводиться з урахуванням умов конкретної культури (озимої пшениці) та обсягів її виробництва. Розрахунок проводився за програмою „Агро+”, яка розроблена в лабораторії системи машин в рослинництві ННЦ „ІМЕСГ”.

Початковими даними для розрахунку були: виробіток за годину основного часу сільськогосподарської машини (W_e), витрата палива агрегатом на виконання роботи (Q_{ea}), ціна сільськогосподарської машини (C_l), нормативне та зональне завантаження сільськогосподарської машини і енергозасобу (H), ціна енергозасобу (C_e), потужність двигуна енергозасобу (P_e).

Виробіток за годину основного часу сільськогосподарської машини, розраховували за формулою [135]:

$$W_e = B_p \cdot \mathcal{G}_p \cdot 0,1, \text{ га/год.} \quad (5.1)$$

де B_p – робоча ширина захвату агрегату, м;

$\mathcal{G}_p$ – робоча швидкість руху агрегату, км/год.

Знаючи проектну структуру робочого дня, тобто роботу двигуна в годинах на зупинках, переїздах, поворотах і на основній роботі, визначали норматив витрати палива на одиницю роботи:

$$Q_{ea} = \frac{T_o \cdot Q_o + T_{нов} \cdot Q_{нов} + T_{пер} \cdot Q_{пер} + T_{зуп} \cdot Q_{зуп}}{H_z}, \quad (5.2)$$

де Q_{ea} – витрата палива агрегату на виконання роботи, кг/га;

$T_o, T_{нов}, T_{пер}, T_{зуп}$ – затрати часу протягом зміни, відповідно на виконання основної роботи, повороти, переїзди і на зупинки, год.;

$Q_o, Q_{нов}, Q_{пер}, Q_{зуп}$ – норматив витрати палива, відповідно на виконання основної роботи, повороти, переїзди і на зупинки, кг;

H_z – змінна норма наробітку, яку визначали за формулою:

$$H_z = \frac{T_{зм} - (T_{пз} + T_{во} + T_{об})}{60 \cdot (1 + \tau_{пер} + \tau_{нов})} \cdot W_e, \text{ га/зміну}$$

де $T_{зм}$ – тривалість зміни, хв.;

$T_{нз}$ – тривалість підготовчо-заклучних робіт;

$T_{во}$ – тривалість відпочинку і особистих потреб;

$T_{об}$ – тривалість обслуговування агрегату протягом зміни;

$\tau_{пер}$ – коефіцієнт переїздів:

$$\tau_{пер} = \left(t_{nn} + \frac{l_{пер}}{g_{mp}} \right) \cdot \frac{W_z}{S_{cp}},$$

де t_{nn} – тривалість підготовки агрегату до переїзду, год;

$l_{пер}$ – віддаль переїзду, км;

g_{mp} – швидкість руху агрегату при переїзді км/год;

S_{cp} – площа ділянки, що обробляється, га;

$\tau_{нов}$ – коефіцієнт поворотів:

$$\tau_{нов} = \frac{16,6 \cdot g_p \cdot t_{нов}}{l},$$

де l – середні довжина гонів, м;

$t_{нов}$ – час одного повороту, хв.

Лімітну ціну нової машини в гривнях визначали за формулою [120]:

$$Ц_{л} = Ц_{в.м.} \cdot \sigma, \quad (5.3)$$

де $Ц_{в.м.}$ – верхня межа ціни нової машини, грн., визначали за формулою, за умови, коли відсутня балансова вартість:

$$Ц_{в.м.} = \left(\frac{(П_{\delta} - П'_н + E) B_p}{a_n + E_k} \right) \cdot \frac{1}{\delta},$$

де $П'_н$ – наведені затрати нової машини на одиницю роботи без затрат на реновацію та нормативну ефективність капіталовкладень, грн./га;

δ - коефіцієнт переводу оптової ціни в балансову.

σ - коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту від використання нової машини ($\sigma = 0,9$).

Узагальнені результати розрахунку економічної ефективності використання культиватора КН – 4,5 з розробленим робочим органом і базових варіантів подано в табл. 5.1 і додатку Б.

Таблиця 5.1. Результати розрахунку економічної ефективності використання культиватора КН – 4,5 з розробленим робочим органом і базових варіантів

Показники		Машинотракторні агрегати		
		з розробленим робочим органом	базові	
			I	II
			Т-150К-05 + КН – 4,5	Т-150К-05 + КПУ – 3,7 Т-150К-05 + КПП – 3,9
Витрати палива	кг/га	4,8	5,2	6,75
	грн./га	15,77	17,08	22,17
Затрати праці	л.год./га	0,26	0,29	0,37
	грн./га	0,89	0,97	1,26
Експлуатаційні затрати	грн./га	26,62	27,68	35,29
Приведені затрати	грн./га	33,89	34,68	43,90
Матеріаломісткість	кг/га	3,1	3,5	3,8
Енергоємність	мДж/га	205,0	222,0	288,2

Маючи приведені затрати на використання машинотракторних агрегатів і затрати праці, визначили річний економічний (E_p) ефект від експлуатації КН – 4,5 з розробленим робочим органом за формулою [120]:

$$E_p = H_z \cdot (P_o - P_n + Z_n), \quad (5.4)$$

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

P_o , P_n – відповідно приведені затрати на одиницю наробітку за базовою і новою машинами, грн./га;

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

Таким чином річний економічний ефект від використання машинотракторного агрегату Т-150К-05 + КН – 4,5 у порівнянні з базовими: варіант I склав 352,8 грн., і варіант II – 2289 грн. Використання культиватора КН – 4,5 з розробленим робочим органом дає змогу зменшити енергоємність процесу обробітку ґрунту в порівнянні з КПУ – 3,7 на 8,3 % та КПП – 3,9 на 40,6 %, економія палива становить відповідно на 7,7 % і 28,9 %.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз технологій мілкового обробітку ґрунту та конструктивно-технологічних схем ґрунтообробних знарядь дав змогу встановити, що недостатньо вивченим залишається питання визначення мінімально необхідної енергії на руйнування зв'язків між елементами скиби. Також встановлені чинники, що впливають на зменшення енергомісткості процесу, а саме: тип ґрунту; параметри робочого органу; параметри технологічного процесу; енергія тертя ґрунту об робочу поверхню; енергія на переміщення елемента скиби і т.п.

2. Розроблений спосіб визначення міцності зв'язків між елементами скиби, який полягає у визначенні потенціальної енергії маси фіксованого об'єму ґрунту під час переміщення її в полі земного тяжіння. Потенціальна енергія маси проби піднятої на знайдену висоту еквівалентна енергії зв'язку між елементами скиби цієї проби.

В лабораторно-польових умовах отримано необхідні кількісні показники мінімально необхідної потенціальної енергії, яка складає 14,9...19,5 Дж/дм³.

3. За результатами економічного розрахунку культиватора для мілкового обробітку ґрунту встановлено, що використання культиватора КН – 4,5 з розробленим робочим органом дає змогу зменшити енергоємність процесу обробітку ґрунту в порівнянні з КРУ – 3,7 на 8,3% і КПП – 3,9 – 40,6%. Економія палива під час застосування КН-4,5 у порівнянні з культиваторами КРУ – 3,7 та КПП – 3,9 становить відповідно 7,7% і 28,9%. Річний економічний ефект від використання машинотракторного агрегату Т-150К-05 + КН – 4,5 у порівнянні з Т-150К-05 + КРУ – 3,7 склав 352,8 грн., а з Т-150К-05 + КПП – 3,9 – 2289 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ARAG. Spraying and Irrigation. C.101 a. / ARAG. – 1998, 150 p.
2. Бабицький Л. Ф. Деформація ґрунту залежно від форми робочого органу // Вісн. с.-г. науки. – 1978. – № 6. – С. 84-87.
3. Bauen Sie die Bedienung und Regelung Ihrer Spritze selbst auf. Von unten nach oben. Neus Modul-System fur Fernbedienung, Meß- und Regel-Elektronik / RAU. – 1994.
4. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. – К.: Нора-прінт, 1999. – 280 с.
5. Патент № 44613А Україна, МПК⁶ G 01N 3/24. Спосіб визначення міцності зв'язків між елементами скиби / Я.С. Гуков, В.І. Кравчук, Р.Б. Кудринський. – 4 с. іл.; Опубл. 05.03.2002, Бюл. № 2.
6. Долинский А.А., Драганов Б.Х., Погорілий Л.В. Методи оптимізації параметрів технічних систем // Електрифікація та Автоматизація сільського господарства. – Київ: № 1, 2002. – 4 с.
7. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.1(ч. 1). Машина та знаряддя для обробітку ґрунту. – Харків: Око, 2001. – 444 с., іл.
8. Katalog 46M–D. Dusen und Zubehor fur die Landwirtschaft. TeeJet / Spraying Systems Co, 1999. – 104 z.
9. Кравчук В.І., Гуков Я.С. Енерговитрати при розпушенні ґрунту механічним способом // Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". Т. VIII. – К.: НАУ, 2000.
10. Кравчук В.І. Енерговитрати при розпушенні ґрунту механічним способом/ В.І.Кравчук, Я.С.Гуков // Вісник аграрної науки. – 2001. - №5. – С. 56-59.
11. Кравчук В.І. У нове століття з новою технічною політикою // Техніка АПК. -2000.-№10.-С. 7-8.
12. Кравчук В.І., Ветохин В.І., Зелінський М.З. Методика конструювання технологічної дії ґрунтообробної техніки в залежності від умов точного землеробства // Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". Том XI. – Київ: НАУ, 2002.
13. Кудринський Р.Б. Взаємодія двогранного клина з ґрунтом // Механізація та електрифікація сільського господарства:

- Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – Глеваха: ННЦ “ІМЕСГ”, 2001. – Вип. 85. – С. 85–90.
14. Кравчук В.І., Кудриницький Р.Б. Витрати енергії на руйнування зв'язків між елементами скиби // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – Глеваха: ННЦ “ІМЕСГ”, 2000. – Вип. 83. – С. 100–102.
 15. Кудриницький Р.Б. Енергія руйнування зв'язків між елементами скиби та їх переміщення // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. пр. – Луцьк: Луцький державний технічний університет, 2000. – Вип. 6. – С. 91–93.
 16. Кудриницький Р.Б. Шляхи зменшення енерговитрат під час механізованого обробітку ґрунту // Тези Міжнародного конгресу вчених та студентів “Здоров'я села – здоров'я держави”. – Львів-Дубляни: Львівський державний аграрний університет, 2000. – С. 53–54.
 17. Кудриницький Р.Б. Витрати енергії на розпушення ґрунту // Вісник Львівського державного аграрного університету: Серія Агроінженерні дослідження: Зб. наук. пр. – Львів: ЛДАУ, 2001. – Вип. №5. – С. 122–128.
 18. Кудриницький Р.Б. Методи проектування пасивних робочих органів ґрунтообробних машин // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – Вип. 8 “Підвищення надійності відновлюємих деталей машин”. Том 2. – С. 91–94.
 19. V.I. Korabelskij, V.I. Kravtschuk, A.V. Minjailo, D.I. Mazorenko, U.P.Efimenko, V.T. Goloborodko, R.B. Kudrynetskyj, G.A. Horoschun Designing of new ecologically soundly tilling machinery // IX International symposium “Ecological aspects of mechanization of plant production”. – Warszawa: Institute for buildings, mechanization and electrification of agriculture, 2002. – P. 175–178.
 20. Кравчук В.І., Ветохин В.І., Зелінський М.З., Кудриницький Р.Б. Методика конструювання технологічної дії ґрунтообробної техніки в залежності від умов точного землеробства // Механізація сільськогосподарського виробництва: Зб. наук. пр. – К.: Національний аграрний університет, 2002. – Том XI. – С. 231–238.
 21. Кудриницький Р.Б. Енергія механізованого обробітку ґрунту // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції „Науково-технічні засади розробки, випробування і прогнозування перспективної сільськогосподарської техніки і технологій”. –

- Дослідницьке: Український науково-дослідний інститут по прогнозуванню та випробуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва, 2003. – Вип. 6 (20), кн. 2. – С. 406–407.
22. Кудриницький Р.Б. Затрати енергії під час обробітку ґрунту // Матеріали четвертої міжвузівської науково-практичної конференції аспірантів „Сучасна аграрна наука: напрям досліджень, стан і перспективи” – Вінниця: Вінницький державний аграрний університет, 2004. – С. 211–215.
 23. Кудриницький Р.Б. Визначення раціональних параметрів ґрунтообробних робочих органів // Вісник аграрної науки. – 2004. – №6. – С. 72–73.
 24. Кравчук В.І., Кудриницький Р.Б., Баранов Г.Л. Комплексна механізація режиму роботи ґрунтообробного агрегату у системі керованих технологій землеробства // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. пр. – Дослідницьке: Український науково-дослідний інститут по прогнозуванню та випробуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого, 2004. – Вип. 7 (21). – С. 60–67.
 25. Лінник М.К., Гуков Я.С. Проблеми енергозбереження за механізованого обробітку ґрунту // Вісник аграрної науки. – 2000. - № 1. – С. 47-49.
 26. Погорілий Л.В. Агропромисловий комплекс: стан та проблеми технічного забезпечення // Техніка АПК. - 1994. - №4-5.
 27. Погорілий Л.В. Нові машини: завтрашній день чи сьогоднішня необхідність // Техніка АПК. - 1996. - №2.
 28. Погорілий Л.В. Проблеми створення базових комплексів сільськогосподарської техніки нового покоління для рільництва // Вісник аграрної науки. - 1996. - №2.
 29. Погорілий Л.В., Фінн Е.А., Грицишин М.І. Визначення оптимальних типорозмірів сільськогосподарських машин в ринкових умовах // Науковий вісник НАУ. - Вип. №9. - К., 1998.
 30. Погорілий Л.В. Перспективи розвитку сільськогосподарської техніки на початку ХХІ століття // Випробування, техніка і технології для с.-г. виробництва на рубежі ХХІ століття: Тез. допов. Міжнар. науково-практич. конфер. з нагоди 100-річчя започаткування і 50-річчя діяльності системи машиновипробувань в Україні, смт Дослідницьке 15.10.1998.-Дослідницьке, 1998.

31. Погорілий Л.В. Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарської техніки на рубежі ХХІ століття // Зб.наук, праць / УкрНДІПВТ: Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. - Дослідницьке, 1998.-Вип.1(16).
32. Погорілий Л.В. Досвід європейського сільгоспмашинобудування та прогресивні технології - підприємствам України // Техніка АПК. - 1998. -№4.-С.24-25.
- 33.Погорілий Л.В., Гуков Я.С. Світові тенденції розвитку с.-г. техніки // Техніка АПК. - 2002. - №1.
- 34.Punct–Abau Spritzen 400 ltr – 1600 ltr / RTS Pelanzenschutz Technik. – 1999.
- 35.Rau Sprido-Train G / Rau Agrotechnic. – 1999.
- 36.Світові тенденції розвитку мобільної енергетики і їх прогноз для України на початок ХХІ століття / В.Г. Євгенко, Л.В. Погорілий, Л.Г. Гром-Мазнічевський та ін., за редакцією Л.В. Погорілого. – К.: Сільгоспосвіта, 1997. – 68 с.
- 37.Selbstfahrer SF mit RAU-Spritztechnik / RAU Agrotechnic – 1997.
- 38.Schmotzer Spritzgerate / Schmotzer. – 1999.
- 39.Smitfield'94. Rise and rise of the 10 hp-pbis tractoren...// Farmers Weekly. – 18.11.1994. – S. 12.
- 40.Енергетична оцінка агроєкосистем: навчальний посібник / О.Ф.Смаглій, А.С.Малиновський і інш.; За ред. О.Ф. Смаглія. Ж.: ДАУ, 2002, 160с.
- 41.Тодоров П.П., Біблік В.В., Гудзь С.П., Абдула С.Л. Перспективи розвитку тракторобудування на харківському тракторному заводі / Вісті академії інженерних наук України № 1 (10); 1999. – с. 3-21.
- 42.Щербак І.Є. Ґрунтозахисне землеробство у степовій зоні України. – К.: Знання, серія № 9, 1985.
- 43.Шевченко І.А. Обґрунтування технологій та технічних засобів для обробітку ґрунтів на базі їх агрофізичних показників: Автореферат дис. канд. тех. наук. – Київ, 2002.
- 44.Нагорний М.Н. Технології і технічні засоби ґрунтозахисного контурно-меліоративного землеробства. – К.: Урожай, 1994. – 248 с. іл. – (рос. мовою)
- 45.Кравченко М.С. та ін.. Землеробство: Підручник / М.С. Кравченко, Ю.А. Злобін, О.М. Царенко; За ред. М.С. Кравченка. – 496с.; іл. – К.: Либідь, 2002.