

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет аграрних технологій та екології

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу обробітку ґрунту з удосконаленням голчатої борони культиватора»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною програмою
«Агроінженерія»

Чабан Т.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Юхимчук С.Ф.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Сацюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дацюк Л.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

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

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С..Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Чабан Т.Р.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юхимчук С.Ф.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Сацюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чабан Т. - Дослідження процесу обробітку ґрунту з удосконаленням голчатої борони культиватора. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 - Агроінженерія. Луцький національний технічний університет, Луцьк, 2023.

Основний зміст кваліфікаційної роботи магістра викладено на 73 сторінках друкованого тексту. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань із 27 найменувань та 3 додатків, а також має 29 рисунків і 3 таблиці. Повний обсяг роботи становить 76 сторінок.

У даній роботі магістра розроблено теоретичні основи вдосконалення технологічних процесів обробітку ґрунту голчатими боронами, кут загострення голок яких може змінюватися, та експериментально доведено безпосередній вплив їх параметрів на експлуатаційні показники використання знаряддя. Встановлено, що за умов рівномірного руху центра диска, заглиблення однієї голки у ґрунт і вихід із нього відбувається за значень кута проколювання ґрунту, удвічі більшого за кут повороту диска при умові опускання кінця його голки та її заглиблення в ґрунт на повну глибину. Поглиблено теоретичні засади процесу взаємодії диска голчатої борони з ґрунтом при його плоско-паралельному русі, зокрема встановлено, що робота, яка витрачається на проколювання ґрунту голками, зростає зі збільшенням кількості дисків, сили тиску голок на ґрунт, глибини занурення голок, довжини гону та зі зменшенням радіуса диска і кута між голками в диску. Отримано залежність для визначення сили, яку необхідно прикласти до кожної голки зверху вниз для заглиблення їх у ґрунт та виконання проколів, від конусності голки, глибини занурення, а також коефіцієнта тертя голки з ґрунтом.

Ключові слова: технологічний процес обробітку ґрунту, голчата борона, кут загострення голки.

ABSTRACT

Chaban T. -. Study of the tillage process with improvement of the cultivator's needle harrow. Manuscript.

Qualification work of masters for the educational-professional program "Agroengineering" specialization 208 - Agricultural engineering. Lutsk National Technical University, Lutsk, 2023.

The main content of the master's thesis is laid out on 73 pages of printed text. The work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references from 27 titles and 3 appendices, and also has 29 figures and 3 tables. The full volume of the work is 76 pages.

In this master's thesis, the theoretical foundations of improving the technological processes of soil cultivation with needle harrows, the angle of sharpening of which needles can be changed, were developed, and the direct influence of their parameters on the operational indicators of the use of the tool was experimentally proven. It was established that under the conditions of uniform movement of the center of the disk, the penetration of one needle into the soil and its exit from it occurs at the values of the soil puncture angle, which is twice as large as the rotation angle of the disk under the condition of lowering the end of its needle and its penetration into the soil to the full depth. The theoretical foundations of the process of interaction of the needle harrow disc with the soil during its plane-parallel movement were deepened, in particular, it was established that the work spent on piercing the soil with needles increases with an increase in the number of discs, the force of pressure of the needles on the soil, the depth of immersion of the needles, the length of the furrow and with by reducing the radius of the disk and the angle between the needles in the disk. A dependence was obtained to determine the force that must be applied to each needle from top to bottom to sink them into the soil and perform punctures, on the taper of the needle, the depth of immersion, as well as the coefficient of friction of the needle with the soil.

Key words: workflow tillage, harrow needle, needle sharpening angle.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Ґрунт як об'єкт механічного обробітку	10
1.2. Аналіз технологічних і конструктивних особливостей ротаційних робочих органів для поверхневого обробітку ґрунту та їх класифікація	13
1.3. Огляд досліджень технологічних властивостей ґрунту	19
1.4. Результати досліджень роботи пасивних ротаційних робочих органів	22
1.5. Постановка питання, мети і завдання досліджень	26
2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ....	27
2.1. Опис розробленої голчатої борони.....	27
2.2. Дослідження руху дисків голчатої борони по ґрунту.....	29
2.3. Визначення зусилля, яке необхідне для занурення у ґрунт голки борони	36
2.4. Визначення роботи, що витрачається на проколювання ґрунту голками борони	46
2.5 Висновки	50
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	52
3.1. Програма досліджень.....	52
3.2. Методика вимірювання твердості ґрунту і впливу кута конусності плунжера на зусилля заглиблення	52
3.3. Визначення тягового опору експериментальної секції голчатої борони	54
3.4. Дослідження з визначення показників якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту експериментальною секцією голчатої борони	57

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	60
4.1. Результати досліджень впливу форми плунжера на зусилля твердості ґрунту	60
4.2. Результати експериментальних досліджень з визначення експлуатаційно- технологічних і енергетичних показників голчатої борони.....	62
4.3. Результати досліджень з визначення показників якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту експериментальною секцією голчатої борони	66
4.4 Висновки	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	70
ДОДАТКИ.....	73

ВСТУП

Актуальність теми. Суттєвим резервом підвищення ефективності використання земельних ресурсів, збільшення врожайності сільськогосподарських культур є скорочення термінів і значне покращення якості виконання технологічних операцій обробітку ґрунту. Відомі знаряддя із голчастими робочими органами призначені для ранньовесняного, передпосівного і пожнивного поверхневого рихлення стерньового фону в зонах із ґрунтами, які схильні до вітрової ерозії, мало продуктивні, а підвищення швидкості їх руху призводить до різкого зниження показників якості. Природно-кліматичні умови сьогодення характеризуються утворенням на ґрунтах, які схильні до вітрової ерозії, щільної ґрунтової кірки. Ця кірка ускладнює появу сходів, розтріскуючись, пошкоджує тонку кореневу систему культурних рослин, збільшує випаровування вологи, що призводить до різкого зменшення урожайності. Існуючі голчаті борони не застосовуються в операціях до- і післявсходового боронування посівів зернових культур, так як їх робочі органи не прилаштовані до умов роботи на невеликих глибинах.

Саме тому, дослідження, які направлено на покращення якісних і енергетичних показників технологічних процесів обробітку ґрунту голчастими боронами, кут загострення голок яких може змінюватися, особливо за умов їх застосування для мілкового поверхневого рихлення ґрунтів у природно-кліматичних зонах, які схильні до вітрової ерозії, є актуальними.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є підвищення якості обробітку ґрунту завдяки вдосконаленню технологічних процесів та конструкції голчатої борони зі змінними кутами загострення голок.

На підставі проведеного аналізу та відповідно до мети цієї роботи сформульовано такі завдання досліджень:

- розробити та вдосконалити технологічні процеси, направлені на підвищення якості обробітку ґрунту;
- виявити механіко-технологічні підстави для забезпечення якості

обробітку ґрунту і на цій основі обґрунтувати параметри і режими роботи відповідної конструкції голчатої борони з покращеними техніко- економічними показниками;

- вивчити рух голок борони в поздовжньо-вертикальній площині та визначити кінематичні показники її роботи;
- дослідити вплив на ґрунт розташування голок борони;
- дослідити плоско-паралельний рух дисків з голками по ґрунту та визначити зусилля і роботу, які необхідні для заглиблення голок борони у ґрунт;
- розрахувати параметри борони з використанням комп'ютерних технологій;
- проаналізувати адекватність математичних моделей технологічним процесам та робочим органам експериментальної секції голчатої борони;
- оцінити технологічну ефективність використання вдосконаленої конструкції секції голчатої борони, в якій голки рухаються в поздовжньо-вертикальній площині.

Об'єкт дослідження. Технологічні процеси обробітку ґрунту, ґрунт та робочі органи голчатої борони.

Предмет дослідження. Взаємодія робочих органів голчатої борони із ґрунтом, вплив її параметрів на показники ефективності технологічного процесу обробітку ґрунту.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведені із застосуванням методів теоретичної та аналітичної механіки, теорії механізмів і машин, математичного, а також числових методів розв'язку задач з використанням ПК. Експериментальні дослідження проведені з застосуванням стандартних методик та методів математичної статистики.

Наукова новизна роботи:

- розроблено теоретичні основи вдосконалення технологічних процесів обробітку ґрунту голчатими боронами, кут загострення голок яких може змінюватися, та експериментально доведено безпосередній вплив їх параметрів на експлуатаційно-економічні показники використання знаряддя;

- вперше встановлено, що за умов рівномірного руху центра диска, заглиблення однієї голки у ґрунт і вихід із нього відбувається за значень кута проколювання ґрунту, удвічі більшого за кут повороту диска при умові опускання кінця його голки та її заглиблення в ґрунт на повну глибину;
- поглиблено теоретичні засади процесу взаємодії диска голчатої борони з ґрунтом при його плоско-паралельному русі, зокрема встановлено, що робота, яка витрачається на проколювання ґрунту голками, зростає зі збільшенням кількості дисків, сили тиску голок на ґрунт, глибини занурення голок, довжини гону та зі зменшенням радіуса диска і кута між голками в диску;
- вперше отримано залежність для визначення сили, яку необхідно прикласти до кожної голки зверху вниз для заглиблення їх у ґрунт та виконання проколів, від конусності голки, глибини занурення, а також коефіцієнта тертя голки з ґрунтом.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати досліджень можуть бути використані проектно-конструкторськими організаціями при розробленні конструкцій знарядь для поверхневого розпушування ґрунту, а також рекомендовані господарствам в разі використання удосконаленої голчатої борони та її робочих органів. Застосування на рекомендованих режимах роботи голкової борони забезпечує підвищення продуктивності і покращує якість роботи.

Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: III студентській науково-технічній конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». факультету аграрних технологій та екології ЛНТУ та опубліковані у збірнику тез цієї конференції [15].

Логіка дослідження зумовила структуру роботи магістра: вступ, 4 розділів, загальні висновки, перелік джерел посилання із 27 найменувань, 2 додатків. Загальний обсяг 75 сторінок.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Ґрунт як об'єкт механічного обробітку

Ґрунт - унікальне природне тіло, що характеризується родючістю, яка знижується при неправильному поводженні з нею, тому так важливо визначити раціональні прийоми і технічні засоби для обробітку ґрунту.

Під обробітком ґрунту розуміють механічний вплив робочих органів машин і знарядь, спрямований на зміну його властивостей і стану. Основна мета механічного обробітку - створити найбільш сприятливі умови для росту і розвитку культурних рослин, а також безперервного підвищення родючості ґрунту.

Ґрунт являє собою трифазне дисперсне середовище. Це означає, що речовини, які складають ґрунт, знаходяться в трьох фізичних станах (фазах): твердому, рідкому і газоподібному, а складові їх частинки роздроблені і перемішані.

Тверда фаза складається головним чином з мінеральних частинок (до 90%), але містить і органічні речовини, що включають гумус, рослинні залишки (коріння і стебла рослин), а також живі організми рослинного та тваринного походження. Рідка фаза включає в себе воду і розчини різних речовин у ній, які і забезпечують живлення рослин через корені. Газоподібна фаза представлена повітрям, що містить пари води, вуглекислий газ, метан та інші гази.

Основні загальні характеристики структури ґрунту - шпаруватість (пористість) і щільність (об'ємна маса). Шпаруватість – це відношення об'єму порожнеч до загального об'єму ґрунту, виражене у відсотках. Шпаруватість залежить від розміру ґрунтових частинок і становить для піску і супіску 40 ... 50%, суглинків та глин 50 ... 60, торф'яних ґрунтів 80 ... 90%.

Щільність – це відношення маси ґрунту до об'єму досліджуваної проби, взятої без порушення її природної структури:

$$\rho = m/V, \quad (1.1)$$

де $m = m_m + m_g$ - маса проби в природному стані (тут m_m - маса висушеної проби (твердої фази) і m_g - маса вологи (рідкої фази)); $V = V_m + V_n$ - об'єм проби (тут V_m - об'єм твердої фази і V_n - об'єм пор).

Щільність ґрунту безпосередньо пов'язана з пористістю. Чим більш пористий і пухкий ґрунт, тим менше його щільність. Вона змінюється від 0,9 до 1,8 г/см³.

Тверда фаза ґрунту характеризується за механічним складом та структурою. Механічним складом називають відносний вміст у ґрунті первинних елементарних частинок (механічних елементів) різних розмірів. Елементарні частинки, які містяться в ґрунті, в залежності від їх розмірів, за І.А. Качинським [21], підрозділяють на наступні фракції: більше 3 мм - камені; 3 ... 1 мм - гравій; 1 ... 0,05 мм - пісок, 0,05 ... 0,001 мм - пил; 0,001 ... 0,0001 мм - мул; менше 0,0001 мм (<0,1 мкм) - колоїди. Крім того, зазвичай всі елементарні частинки крупніше 1 мм називають ґрунтовим скелетом, а дрібніше 1 мм - мілкоземом.

Співвідношення вмісту в ґрунті скелета і дрібнозему покладено в основу класифікації ґрунту за каменястістю. У некам'янистих ґрунтах частки крупніше 1 мм (камені і гравій) складають менше 0,5%, слабокам'янистих - 0,5 ... 5, середньокам'янистих - 5 ... 10, сильнокам'янистих - більше 10%.

В основу класифікації ґрунтів за механічним складом покладено умовний поділ елементарних ґрунтових часток на дві фракції: «фізичну глину» - частинки розміром менше 10 мкм (0,01 мм) і «фізичний пісок» - частинки розміром більше 10 мкм (0,01 мм). Залежно від змісту «фізичної глини» ґрунти підрозділяють на глину (більше 50%), суглинок (від 50 до 20%), супісок (від 20 до 10%) і пісок (менше 10%).

Найважливіша характеристика твердої фази ґрунту поряд з механічним складом - його структурність. Основний елемент структури ґрунту - структурна одиниця, агрегат, грудка. За розмірами структурні агрегати діляться на мікроструктурні (< 0,25 мм), макроструктурні (0,25 ... 10 мм) і мегаструктурні (> 10 мм). Для кількісної оцінки якості структури ґрунту іноді застосовують

коефіцієнт структурності, що представляє собою відношення маси агрегатів розміром 0,25 ... 7 мм до маси решти частини ґрунту.

Академік В.Р. Вільямс [21] запропонував оцінювати ґрунтові агрегати по двом основним властивостям: зв'язності і міцності. Під зв'язністю розуміють здатність агрегату протистояти механічному впливу, під міцністю (водостійкістю) – здатність протистояти розмиваючій дії води.

При механічному обробітку глинистих і суглинкових ґрунтів в перезволоженому стані робочі органи залипають, руйнуються (розмазуються) структурні агрегати, порушується технологічний процес; в пересохлому - утворюються великі брили і пилоподібні фракції, пошкоджуються структурні агрегати. Однак при оптимальній вологості структурний ґрунт легко і добре кришиться, на його обробіток витрачається мінімальна кількість енергії. Такий стан ґрунту називають «фізичної стиглістю».

Про кількість води, що міститься в ґрунті, судять по його абсолютній вологості W_a , %, яку визначають як відношення маси води до маси сухої твердої фази (скелета):

$$W_a = \frac{100 \cdot m_e}{m_c} = \frac{100 \cdot (m - m_c)}{m_c}, \quad (1.2)$$

де m_e і m_c - маси вологи і сухого ґрунту, що містяться у досліджуваній пробі; $m = m_e + m_c$ - маса вологого ґрунту.

Про ступінь насичення ґрунту водою судять по відносній вологості W_e , %, що являє собою відношення вмісту вологи в даній пробі до кількості, що насичує ґрунт до його загальної (польової) вологоємності:

$$W_e = \frac{100 \cdot W_a}{W_n}, \quad (1.3)$$

де W_n - польова (загальна) вологоємність - абсолютна вологість ґрунту після його повноти насичення і подальшого вільного відтоку гравітаційної вологи, тобто та яка враховує всі категорії ґрунтової вологи, крім гравітаційної.

«Фізична стиглість» ґрунту в залежності від її механічного складу настає при відносній вологості 40...70%, що відповідає абсолютній вологості 15...30%.

До заходів обробітку ґрунту відносяться: оранка (обробіток, при якому оброблюваний шар ґрунту обертається не менш як на 135° , кришиться і розпушується); безполічкове розпушування (обробіток, без перевертання скиби і збереження пожнивних решток); лушення (обробіток, при якому відбувається розпушування, кришіння, часткове обертання ґрунту і підрізання бур'янів; культивация (поверхневий або мілкий обробіток, який забезпечує підрізання бур'янів, кришіння, розпушування, вирівнювання і часткове перемішування ґрунту); боронування (поверхневий обробіток, який кришить ґрунт, вирівнює і частково перемішує його, знищує сходи однорічних бур'янів); шлейфування (вирівнювання поверхні та подрібнення грудок); коткування (ущільнення ґрунту, подрібнення грудок, вирівнювання поверхні).

1.2. Аналіз технологічних і конструктивних особливостей ротаційних робочих органів для поверхневого обробітку ґрунту та їх класифікація

Основна мета поверхневого обробітку ґрунту полягає в тому, щоб привести його до оптимального стану для росту культурних рослин, використовуючи для цього різні робочі органи пасивної або активної дії.

Ротаційні робочі органи машин, знарядь і агрегатів за способом їх приводу діляться на три основні групи: з активним приводом, безприводні (без приводу від ВВП трактора) і ґрунтоприводні.

До першої групи ротаційних ґрунтообробних машин відносяться ґрунтофрези, роторні плуги, просапні фрези, привід яких здійснюється від вала відбору потужності (ВВП) трактора, електро- і гідроприводу.

ґрунтообробні знаряддя з активними робочими органами не знайшли ще широкого застосування в сільськогосподарському виробництві.

Причинами цього є наступні фактори [21, 23]:

- відносно висока енергоємність;
- порівняно низька продуктивність і робоча швидкість;
- складність конструкції і велике зношування робочих органів.

До другої групи належать ротаційні ґрунтообробні знаряддя з пасивними робочими органами: голчасті, ножові і дискові борони, мотики, луцильники, катки, шнекові культиватори, пруткові (пластинчасті) роторні борони.

Різновидом безприводних ротаційних робочих органів є конусоподібні барабани, робочими елементами яких можуть бути зуби (голки), ножові спіралі, гладка поверхня (каток). Осі обертання цих робочих органів можуть бути горизонтальними або похилими, фронтально або косопоставленими (під кутом "атаки") [23].

До третьої групи відносяться ротаційні машини ґрунтоприводної дії, які отримують своє обертання шляхом кінематичного зв'язку робочих органів, батареї (секції) яких встановлюють у два і більше ряди і обладнують ланцюговими, пасовими, зубчастими та іншими передачами. Такі машини можуть працювати в режимі прискореного обертання (фрезерування) або уповільненого (загальмованого) обертання частини робочих органів і мають різні передаточні відношення механізмів (редукторів). Відомі також конструкції ґрунтоприводних знарядь, робочі органи яких кінематично пов'язані з опорними колесами машини [9].

У даній роботі досліджуються лише безприводні ротаційні робочі органи другої групи.

Знаряддя з безприводними ротаційними робочими органами перспективні [21]. Вони здатні працювати в різних умовах, а на ґрунтах легких і середніх за механічним складом забезпечують інтенсивне кришіння поверхневого шару ґрунту на глибину до 0,1-0,12 м. Такі знаряддя не вимагають складної і ненадійної системи приводу від ВВП трактора. На відміну від робочих органів розпушувального типу (лап), вони здатні самоочищатися від налипаючих частинок ґрунту і рослинних залишків. До переваг безприводних ротаційних робочих органів відносяться також [9]:

- здатність працювати на високих швидкостях (9-15 км/год і більше), що дозволяє більш повно використовувати енергетичні можливості сучасних швидкісних енергонасичених тракторів;

- порівняно низька енергоємність;
- простота конструкції;
- відносно висока зносостійкість;
- не вимагають ретельного догляду і ремонту.

Безприводні ротаційні робочі органи рухаються за рахунок реакції ґрунту, обертаючись у напрямку поступального руху знаряддя. Колова швидкість периметра (кінців зубів або голок) дорівнює поступальній швидкості знаряддя або незначно відрізняється від неї у бік прискорення або уповільнення.

Безприводні ротаційні робочі органи знарядь для кришіння ґрунту дуже різноманітні і мають різні конструктивні рішення: дискові, голчасті, ротори з пелюстковими елементами, ножами, лопатами, зубами [21].

Завданням цієї групи робочих органів є розпушування пласта, кришіння брил і грудок, часткове вирівнювання мікрорельєфу, перемішування ґрунтових шарів між собою і ґрунту з добривами, а також лушення, дискування, щільювання і боронування ґрунту.

Голчасті робочі органи менше розпилюють ґрунт, добре його сепарують, менш енергоємні, здатні працювати на підвищених швидкостях в порівнянні з розпушувальними (культиваторними) і активними (фрези) ротаційними органами [23].

Різноманітність таких робочих органів систематизовано у таблиці 1.1. Робочі органи 1.1, виконані у вигляді голчастих дисків, знаходять дуже широке застосування як в одноопераційні знаряддях, так і в комбінованих агрегатах. Зуби розташовуються на диску радіально або під кутом до радіусу (а.с. № 565643, СРСР), або під кутом до площини обертання диска (патент № 1350078, Англія). Зуби мають саму різну форму: (патент № 3941193, США) - форма зуба відповідає ділянці циклоїди, описаної його кінцем до моменту торкання його з ґрунтом; (а.с. № 578917, СРСР) - голка, виконана по гіперболічній кривій. Форми зуба також мають велике різноманіття: голчастий диск із зубом, який має похилу ріжучу кромку із змінюваним по його довжині перерізом (патенти № 315349, США; № 49-78881, Японія; № 2111675, Франція). Відомі голчасті диски з

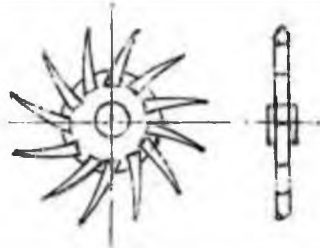
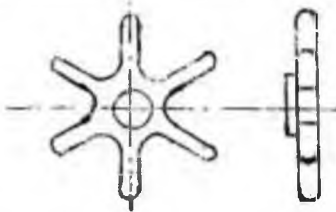
еластичним кріпленням робочої частини зуба до основи диска (патент № 398434, Швеція), з пружинними зубами прямокутного перерізу, який зменшується до його кінця (патент № 7606684, Франція).

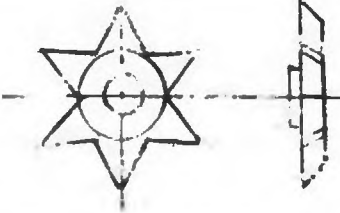
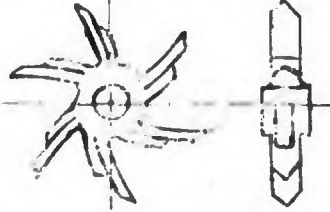
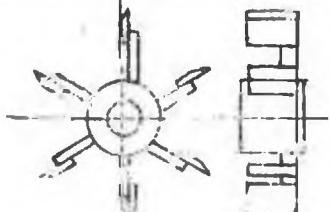
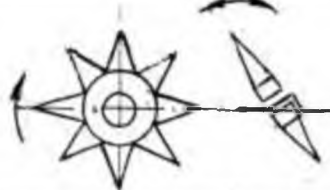
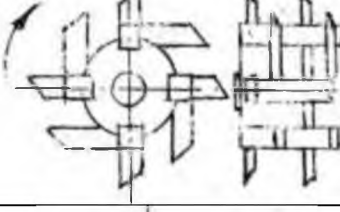
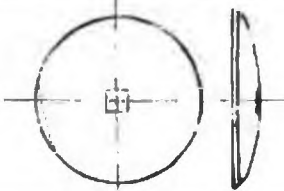
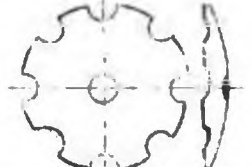
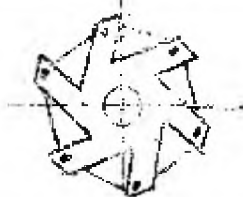
Широке поширення закордоном отримали зірчасті борони 1.2. і 1.3. (табл. 1.1) [119], які мають зуби круглої або клиноподібної загостреної форми (патенти № 3988809, № 265938, № 12215982 та № 685930, Німеччина; № 11227719, Англія).

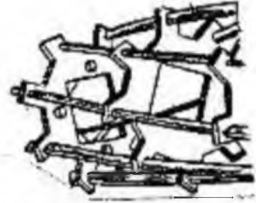
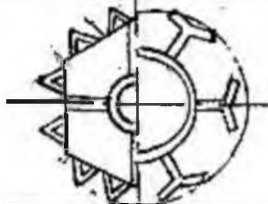
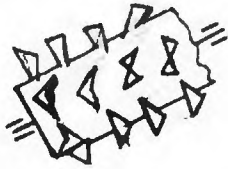
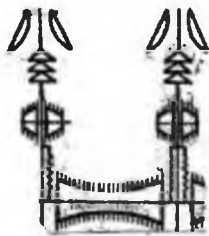
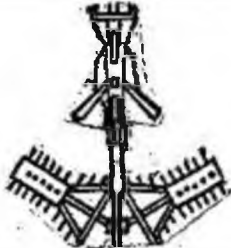
Ротаційні культиватори 1.4 випускаються в Німеччині. У США випускається знаряддя для передпосівного вирівнювання поверхні поля, виконане у вигляді лопатевого культиватора 1.5 [9].

Хитку ротаційну голчасту борону 1.6. випускає німецька фірма RAU (патент № 2206433, № 2019703, № 7032389, Німеччина). Ця борона цікава тим, що на вільно обертальній осі є непаралельні їй ділянки, на яких вільно обертаються голчасті диски. При русі знаряддя по полю, диск обертається в поздовжній і гойдається в поперечній площинах, забезпечуючи тим самим підвищений вплив робочих елементів на ґрунт.

Таблиця 1.1 - Робочі органи для кришіння ґрунту

№ п/п	Назва	Форма робочих органів	Область застосування
1.1	Голчатий диск		Борони голчаті БІГ-3, БМШ-15, МТ-12, МТ-16 (США)
1.2	Зірчата борона		В-452 (Німеччина), КР-1Б-400 (Угорщина)

1.3	Зірчата борона		В-452 (Німеччина), КР-1Б-400 (Угорщина)
1.4	Ротаційний культиватор		Кришіння, розпушення і вирівнювання грунту
1.5	Лопатний культиватор		Розпушення грунту
1.6	Хитка ротаційна борона		Кришіння, розпушення і вирівнювання грунту
1.7	Батарея голчатих дисків		Приспосіблення ПСТ-2,5, ПСТ-4,5 до чизельних плугів ПЧ-2,5 і ПЧ-4,5
1.8	Сферичний диск		Лущення стерні, дискування грунту. Лущильники серії ЛДГ
1.9	Сферичний диск з вирізами		Лущення стерні, дискування. Дискові плуги, борони
1.10	Дротяна(струнна) борона		Кришіння, вирівнювання посівного шару грунту

1.11	Розрихлював прутковий (планчатий)		Кришіння, вирівнювання ґрунту
1.12	Подрібнювач ґрунту		Подрібнювання брил і грудок, ущільнення посівного шару
1.13	Ґрунтовий розрихлював А.І. Тимофєєва		Кришіння, вирівнювання ґрунту
1.14	Ротаційне обладнання до пропашного культиватора		Нарізання грядок з розпушенням відкосів. Знищення бур'янів в агрегаті з культиватором КРН-4,2
1.15	Ротаційна борінка БРУ-0,7		Нарізання гребенів з розпушенням їх до сходів і після сходів

Промисловістю випускаються чизельного плуги ПЧ-2, 5 і ПЧ-4,5, які обладнані пристосуваннями ПСТ-2, 5 і ПСТ-4, 5 для додаткового поверхневого обробітку ґрунту. Пристосування ПСТ включає раму, чистики та батарею з розпушувальними голками. Голки 1.7 кріпляться на чотирьох поперечних квадратних стержнях з відносним зсувом на 90° [21].

Сферичні диски 1.8 і сферичні диски з вирізами 1.9 отримали своє масове застосування в дискових луцильниках, садових дискових боронах, комбінованих агрегатах (АКП-2, 5; ЛДС-6), на важких дискових боронах типу БДТ-7 як в нашій країні, так і закордоном. Оптимальна робоча швидкість дискових робочих органів знаходиться в межах 7,0-10,0 км/год [21]. При більш

високій швидкості сферичні диски далеко відкидають ґрунт, якість роботи знижується.

Знаряддя зі струнними (прутковими) ротаційними робочими органами (боронами) 1.10 випускає фірма RAU (Німеччина) та багато інших фірм (патент № 47613 та № 1904799). В агрегаті з зубових боронами або культиватором з S-подібними зубами ротаційні борони проводять розділювання і вирівнювання пласта з частковим ущільненням.

В Австрії фірма "GRAMER" випускає на базі культиваторів комбіновані агрегати для передпосівного обробітку ґрунту з одно-або дворядними прутковими боронами-розпушувачами 1.11. Робочі кромки пруткових котків мають гладку або рифлену поверхню, при цьому рифи мають різну форму і розміри.

Ротаційний подрібнювач ґрунту 1.12 був створений в СРСР для ґрунтообробного комбайна ВК-3 і ВК-6.

ґрунтовий розпушувач професора А.І. Тимофєєва 1.13 являє собою трубу, на якій по гвинтовій лінії закріплені пластинчасті елементи спеціальної форми, які описують складну траєкторію при русі знаряддя і проводять якісне розпушування ґрунту.

Ротаційне пристосування 1.14 до просапних культиватору КОН-2,8 використовується при обробітку картоплі на грядках [23]. Воно необхідне для нарізки гряд одночасно з розпушуванням відкосів і знищення бур'янів.

Ротаційна боронка 1.15 складається з двох частин: циліндричної зубчатої і конічної зубчатої. Вона застосовується в агрегаті з просапних культиватором при обробітку картоплі на гребенях для нарізки гребенів і знищення бур'янів [21].

1.3 Результати досліджень технологічних властивостей ґрунту

Значний внесок по дослідженню фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунту, при її обробці, внесли вчені В.П. Горячкін, В.А. Желіговський, Г.Н. Синєок, І.М. Панов, А.М. Ширяєв, М.М. Ковальов, В.В.

Сафонов та ін

Під технологічними властивостями ґрунту слід розуміти лише ті її фізичні властивості, які істотно впливають на закономірності і характер протікання технологічних процесів його механічного обробітку. До технологічних властивостей ґрунту відносять міцнісні, фрикційні, липкість, пластичність, пружність, в'язкість і крихкість.

Ротаційні знаряддя з голчастими робочими органами здійснюють проникнення в ґрунт шляхом проколювання, а деформацію можуть здійснювати відривом тобто розтяганням. Оскільки межа міцності ґрунту на розтяг на порядок нижче можливе зниження тягового опору та енергоємності процесу.

Коефіцієнт тертя ґрунту - величина непостійна. Вона залежить від багатьох факторів, головні з яких - механічний склад і вологість ґрунту. Наприклад, по Н.В. Шучкіну, коефіцієнт тертя глинистого ґрунту приблизно в 2 рази вище, ніж піщаного (рис. 1.1, а). Чим вище дисперсність (менший розмір елементарних частинок) ґрунту, тим більші коефіцієнт і кут його тертя.

Ще більший вплив на коефіцієнт тертя має вологість W_a ґрунту (рис. 1.10,б). При відносно низькій вологості ґрунтова волога не надходить до матеріалу і не впливає на процес тертя - відбувається справжнє, або сухе, тертя і коефіцієнт тертя не залежить від вологості (горизонтальні ділянки кривих). При подальшому зволоженні ґрунту виникають сили молекулярного притягання між ґрунтовою вологою і матеріалом і процес вступає у фазу зовнішнього тертя – присипання - відбувається різке збільшення коефіцієнта тертя (висхідні ділянки кривих). При $W_a = 30-40\%$ (в залежності від механічного складу ґрунту) значення коефіцієнта тертя досягають максимуму. І нарешті, якщо вміст вологи достатній для того, щоб забезпечити безперервний її приплив до поверхні контакту ґрунту з матеріалом, то вона грає роль мастила; процес вступає у фазу, коли внутрішнє тертя між шарами вологи і коефіцієнт тертя різко знижуються (низхідні ділянки кривих). Для наближених орієнтовних розрахунків, тобто без урахування механічного складу і вологості ґрунту, приймають $f = 0,5$.

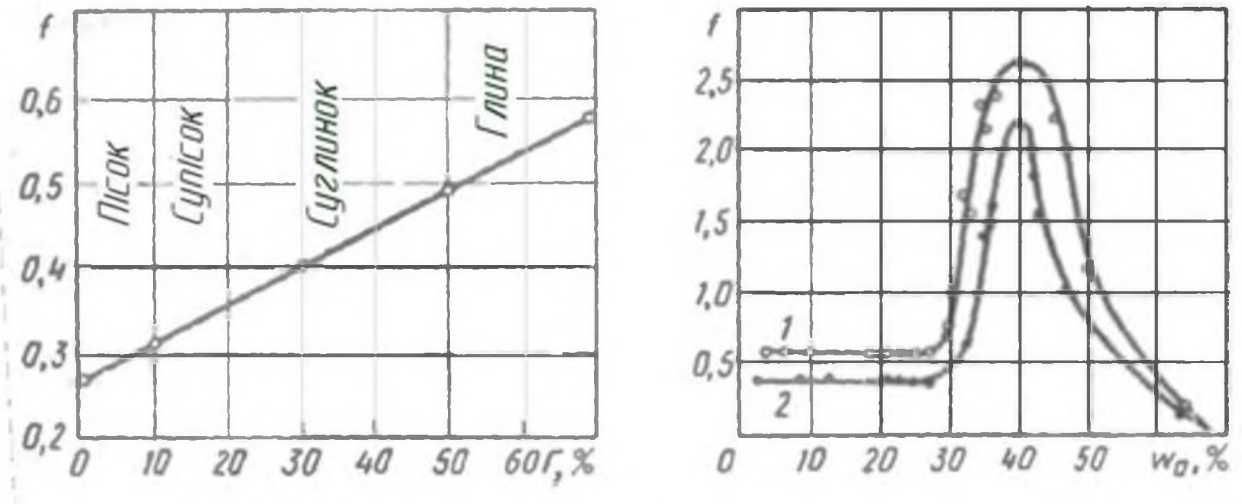


Рисунок 1.1 - Залежність коефіцієнта тертя ґрунту: а - від вмісту фізичної глини G (по Н.В. Щучкіну), б - від абсолютної вологості глинистого ґрунту (по А. Гарсія); 1 - по сталі; 2 - по фторопласті

У роботі Н.І. Кленіна і В.А. Сакуна [128] наведена залежність питомої сили прилипання оброблюваного ґрунту до робочих органів від вологості ґрунту (рис. 1.2).

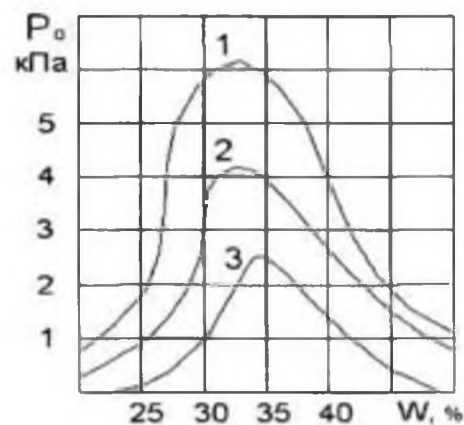


Рисунок 1.2 - Залежність питомої сили прилипання P_0 від абсолютної вологості ґрунту W_a : 1 - сталь; 2 - капрон; 3 - фторопласт

З аналізу залежностей, представлених на рис. 1.11, випливає, що верхня межа вологості визначається появою сил липкості на поверхні контакту оброблюваного ґрунту і робочого органу. Із збільшенням вологості липкість спочатку зростає, потім зменшується; до капрону і фторопласту ґрунт прилипає

значно менше ніж до сталі. Для робочого органа який має робочу поверхню, виконану з металу, найменше залипання буде при вологості в 20%, а для робочих органів, покритих капроном це ж залипання буде вже при вологості 23,5%, а покритих фторопластом - при 29%.

1.4 Результати досліджень роботи пасивних ротаційних робочих органів

Технологічний процес ротаційних робочих органів типу голчастий диск, голчаста мотика полягає в тому, що при вільному перекочуванні їх в шарі ґрунту голки входять в нього, зминаючи і зрушуючи його в напрямку обертання, частково відкидаючи його назад і на боки, провадячи розпушування пласта, кришіння брил, зароблення рослинних залишків і часткове витягування їх з ґрунту, а також знищують бур'яни і розрівнюють нерівності мікрорельєфу.

Р.Ф. Зіязетдіновим, М.В. Сабліковим, Х.І. Іргатовим, Г.М. Куктой, П.А.Самойловим та іншими авторами вивчалися питання технології роботи цих робочих органів. Ними обґрунтовані основні параметри плоских голчастих дисків.

Кінематику ротаційних робочих органів, зокрема дискових, розглядали багато дослідників. Найбільш повний аналіз кінематики сферичних дисків різних типів з необхідними вихідними даними для розрахунку і конструювання дискових машин виконаний Г.Н. Сінеоковим і І.У. Пановим, а також В.Ф. Стрельбицьким [23].

Батарей дискових машин часто встановлюють під кутом "атаки" до напрямку руху. Площина обертання дисків утворює кут " α " з напрямком руху машини, тому робоча поверхня дисків здійснює складний рух у просторі.

Р.Ф. Зіязетдінов досліджував ротаційні робочі органи при обробці сільськогосподарських культур і, зокрема визначав залежність вертикальної складової реакції ґрунту від глибини ходу голчастих дисків [21]. Він встановив, що із збільшенням глибини ходу голчастих дисків від 0,04 до 0,07 м реакція ґрунту у вертикальній площині збільшується відносно повільно, а в подальшому

майже пропорційно збільшенню глибини. Для орієнтовних розрахунків вертикального навантаження запропонована спрощена формула:

$$Q = k \cdot a, \quad (1.4)$$

де a -глибина заглиблення голок диска; k - коефіцієнт пропорційності, $k = 1,2$ кг/см – експериментальна величина коефіцієнта для суглинистого чорнозему.

Отримано залежність величини результуючого опору ґрунту R і кута її нахилу до горизонту ψ :

$$\psi = Q/P, \quad (1.5)$$

де P - горизонтальна складова.

А.Т. Вагін, А.З. Пілецький [21] експериментально встановили, що в зоні достатнього зволоження поверхневий обробіток ґрунту доцільно проводити голчастими боронами з дисками діаметром 0,55 - 0,60 м, відстанями між дисками 0,16 - 0,20 м, кутами "атаки" 20-25 ° і вертикальним навантаженням на диск не менше 600 Н. Із збільшенням поступальної швидкості зростає ступінь розпушування. Однак, зазначається що при збільшенні швидкості руху понад 3,0 м/с зменшується глибина обробітку. Якість розпушування підвищується із збільшенням кута "атаки", але, при кутах "атаки", які перевищують 25 °, спостерігається зсування ґрунту, а також значно зростає бічне навантаження на диски.

С.М. Панцулая [23], вважає, що для підвищення розпушувальної здатності голчастого робочого органу необхідно його голкам надати дещо загальмований рух в ґрунті. У цьому випадку кочення поєднується із ковзанням, тобто кінці голок обертаються з меншою коловою швидкістю ($V_o = \omega \cdot R$), ніж швидкість (V_n) поступального руху знаряддя. Автор встановив, що при вільному перекочуванні диска мотики МВН-2,8 радіусом $R=0,22$ м, що має 12 зубів, зі швидкістю поступального руху $V_n = 1,1$ м/с, більше 80 % довжини борозенки залишається необробленою.

Голчастий диск із загальмованим рухом збільшує ступінь розпушування порівняно з вільним переміщенням. Зі збільшенням поступальної швидкості

знаряддя від 1,4 до 2,2 м/с ступінь розпушування підвищується від 75 до 91 %.

Чайгіц Н.В. [21] вважає, що агротехнічні та енергетичні показники роботи голчастих дисків залежать від розмірів лунок, утворених голками при русі дисків. Ефективність роботи пропонується оцінювати показником впливу робочих органів на ґрунт, який є відношенням сумарної довжини зони впливу голок за один оборот диска до пройденого шляху:

$$\chi = \frac{b \cdot n}{2\pi R}, \quad (1.6)$$

де b - довжина лунки; n - число зубів на диску; R - радіус кола, при якому диск рухається без ковзання.

Експериментально встановлено, що зі збільшенням діаметра дисків ступінь впливу голок на ґрунт зменшується. Відмінною особливістю результатів досліджень Чайгіц Н.В. є те, що диски рухаються в ґрунті з буксуванням, яке збільшується при збільшенні глибини обробітку.

Даценко Н.В. [9] досліджував процес роботи голчастих дисків для обробки посівів просапних культур. Автор досліджував вплив жорсткості голки на критичну швидкість кришення брил і силу удару, використовуючи для цього коефіцієнт жорсткості.

Робота голчастого диска оцінюється ступенем впливу голок на ґрунт, який рівний відношенню сумарної довжини шляху впливу, взятого з середньої глибини ходу, до шляху, пройденого диском за один оборот.

Пропонується формула (1.7) для визначення відстані (інтервалу) між кінцями голок з умови суцільності обробки ґрунту:

$$l = \frac{d + 2h \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}{\cos \varphi}, \quad (1.7)$$

де d - діаметр голки; h - глибина обробітку; θ - кут сколювання ґрунту; φ - кут тертя голки об ґрунт.

З точки зору максимального розпушування ґрунту оптимальними параметрами голчастого диска є: діаметр 0,45 м; діаметр голки 0,01-0,012 м; глибина обробки 0,05-0,06 м; інтервал між кінцями голок 0,11-0,12 м; кут "атаки"

20-25 °, швидкість руху 8-10 км/год.

Ковриков І.Т. [21] теоретично обґрунтував форму голки і параметри голчастого диска для поверхневого обробітку ґрунту. Запропоновано формулу для визначення радіусу голчастої борони [55]:

$$R = h_{\max} + a + 0,5d, \quad (1.8)$$

де h_{\max} - максимальна глибина обробітку; a - висота стерні; d - діаметр маточини.

Труфанов В.В. відзначає, що голчасті диски найбільш перспективні для руйнування брил і вирівнювання поверхні ґрунту після роботи плугів, глибокорозпушувачів, чизельних культиваторів, важких дискових борін і т.д. [23]. Експериментально було досліджено енергоємність і кришіння сухих брил голчастими дисками діаметрів 0,55 м із голками у формі: загостреного круглого циліндра, трикутника, чотирикутної піраміди, квадрата, прямого круглого конуса і двогранного клина.

Бакулін В.К. вивчав заглиблення голчастих дисків на твердому ґрунті [21]. Самозаглиблення голчастих дисків можна забезпечити використовуючи ефект, що виникає при уповільненні їх обертання, коли колова швидкість кінців голок менше поступальної швидкості знаряддя, який полягає в прояві вертикальної складової опору ґрунту, спрямованої вниз. Ступінь уповільнення дисків визначається за формулою:

$$K = \frac{n}{n_0}, \quad (1.9.)$$

де n і n_0 - частота обертання уповільненого диска і диска-шляховимірювача.

Чим вище ступінь уповільнення, тим більша довжина борозенки, утвореної однією голкою. При коефіцієнті уповільнення рівному $K=4-5$, довжина борозенки складає 0,08-0,12 м, що достатньо для заглиблення диска на 0,06-0,1 м при твердості ґрунту 1,7 МПа в шарі 0-0,05 м.

Аналіз літературних джерел дозволив систематизувати параметри голчастих дисків, що випускаються різними фірмами (табл. 1.2).

Таблиця 1.2. - Технічні характеристики голчастих дисків

№ п/п	Марка знаряддя	Діаметр. диска, м	Кількість голок на диску, шт	Інтервал між кінцями голок, м	Довжина голки, м
1	БІГ-3, БІГ-3А	0,550	12	0,140	0,200
2	БМШ-15, БМШ-20	0,550	11	0,154	0,200
3	МТ-12, МТ-16 (Джон-Дір)	0,457	11	0,128	0,185
4	КЛТ-28	0,450	12	0,115	0,130
5	МВХ-5	0,340	12	0,085	0,095
6	УСМК-5, 4	0,300	12	0,078	0,080
7	ПСТ-2,5 (4,5)	0,515	8	0,200	0,100
8	АКП-2, 5	0,450	10	0,140	0,100
9	Диски "ВІМ"	0,550	12	0,140	0,100

1.5 Постановка питання, мети і завдання досліджень

На підставі проведеного аналізу та відповідно до мети даної роботи сформульовано наступні завдання досліджень:

1. Розробити та вдосконалити технологічні процеси, направлені на підвищення якості обробітку ґрунту.

2. Виявити механіко-технологічні підстави для забезпечення якості обробітку ґрунту і на цій основі обґрунтувати параметри і режими роботи відповідної конструкції голчатої борони з підвищеними техніко-економічними показниками.

3. Дослідити котіння голок борони в поздовжньо-вертикальній площині і визначити кінематичні показники її роботи.

- Дослідити вплив розташування голчатої борони та її вплив на тиск на ґрунт; дослідити плоско-паралельний рух дисків з голками по ґрунту; визначити зусилля необхідне для занурення голок борони у ґрунт; розрахувати роботу яку необхідно витратити для проколювання ґрунту голками голчатої борони.

4. Експериментально дослідити технологічні процеси та робочі органи експериментальної секції голкової борони з метою перевірки адекватності їх математичних моделей.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Опис розробленої голчатої борони

Схему однодискової борони зображено на рис. 2.1, *а* і *б*, де вигляд збоку (*а*), а вигляд голок і їх кріплення у диску (*б*).

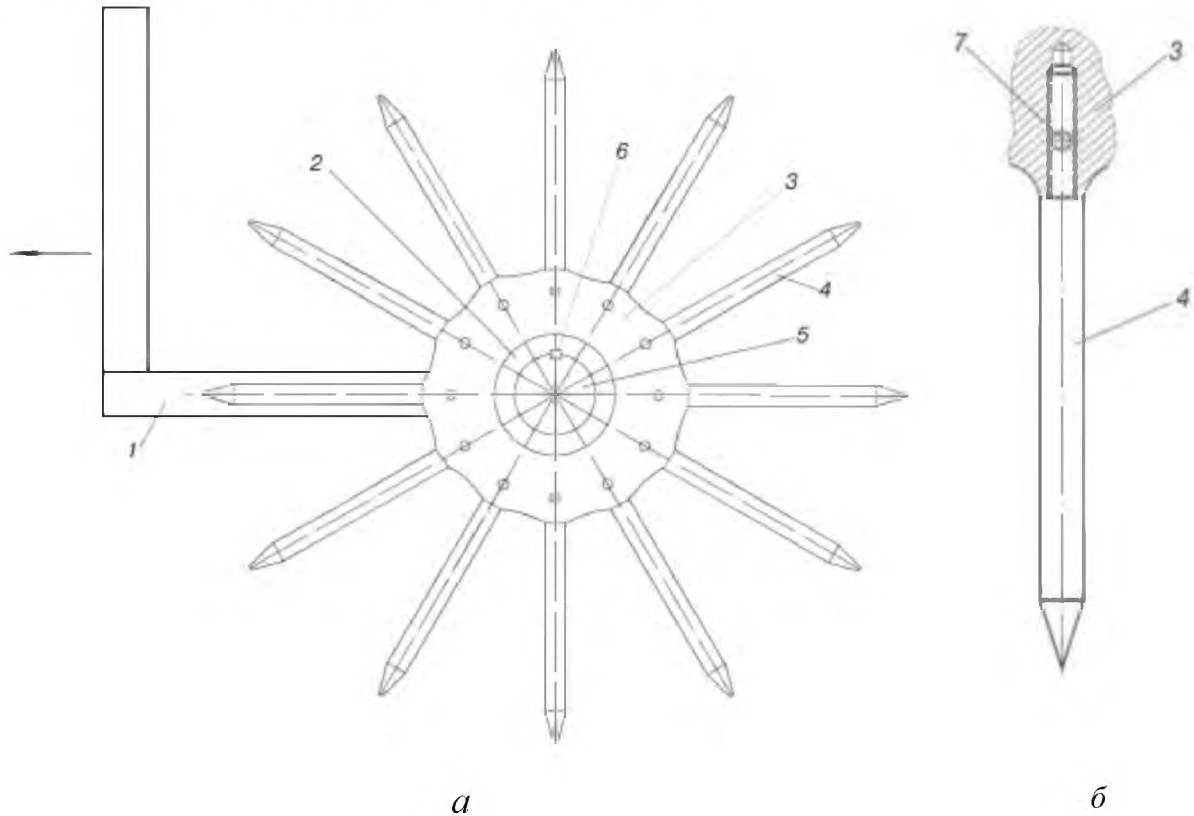


Рисунок 2.1 - Схематичне зображення голкової борони: 1 – рама, 2 – ступиця, 3 – диск, 4 – голка, 5 – вал, 6 – шпонка, 7 – стопорний гвинт

Голчата борона має раму 1, маточину 2, диск 3 і голки 4. Маточина 2 кріпиться на вал 5 голчатої борони за допомогою шпонки 6. Кожен диск 3 має отвори для голок 4. Диск 3 виконаний у вигляді плоскої фігури з торцевими отворами по всьому його контуру на однаковій відстані один від одного; в цих отворах нарізана різьба. Кожна голка 4 має циліндричну форму з конусним кінцем з однієї сторони, а на другому кінці голки нарізана різьба такого ж калібру, як різьба у торцевих отворах маточини голки. Голки своєю різьбовою частиною закручуються в отвори контуру диску і стопоряться за допомогою стопорного гвинта 7.

Число голок по контуру повинно бути таким, щоб відстань між кінцями голок була однаковою, тобто щоб кут між сусідніми голками був один і той самий. Найчастіше встановлюється кут між голками 30° , але може бути і більше, наприклад 45° .

Голчата борона працює наступним чином.

Під час роботи агрегату на полі нижні кінці голок під дією ваги борони заглиблюються у ґрунт і проколюють його. При зрушенні агрегату з місця нижні кінці голок залишаються в ґрунті, а диски, з прикріпленими до них голками, починають котіння рухаючись вперед, при цьому голки проколюють ґрунт на своєму шляху. Таким чином працює агрегат.

У голок борони багато параметрів, але головний із них – це половина кута при вершині конуса, подвоєний тангенс, який являє собою його конусність. Позначимо цей кут α_k . На рис. 2.2 показано три конуси голок, в межах яких може знаходитись названий вище кут α_k .

Основні параметри борони, крім вказаного кута, наступні: діаметр диска з голками, довжина голки, діаметр циліндричної частини голки, висота конічної частини голки і кут між двома сусідніми голками диска.

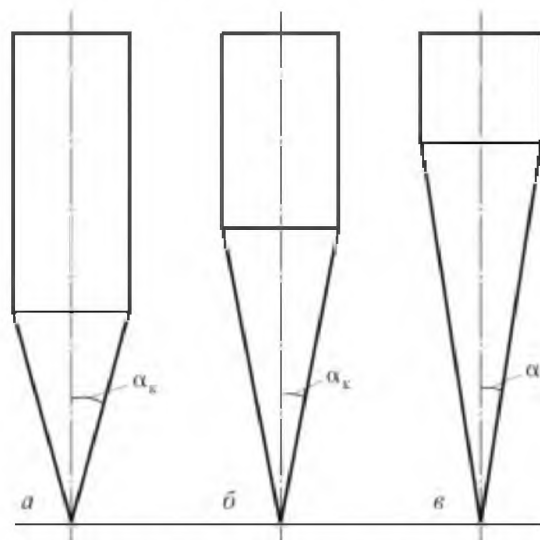


Рисунок 2.2 - Схеми загострення голок: *a* – голка менш гостра, *б* – голка середньогостра, *в* – голка більш гостра

Обґрунтування і визначення цих та інших параметрів борони буде викладено в наступних пунктах.

2.2 Дослідження руху дисків голчатої борони по ґрунту

Секція голчатої борони складається із ряду голчатих дисків (рис. 2.1, *a*), осі яких жорстко зв'язані одна з одною. Кожний диск має маточину, вісь, втулку та голки, жорстко з'єднанні із маточиною. Голка являє собою радіально закріплений на диску прямолінійний стрижень, форма якого в середній частині близька до циліндричної; в кінцевій частині кожна голка виконана у вигляді конуса і закінчується вістрям. Для підвищення жорсткості голки у середній її частині можуть бути виконані одночасно з ребрами жорсткості. При русі дисків з голками кінець кожної голки описує у повітрі циклоїду.

Під час руху борони кожен диск з голками обертається навколо своєї осі, яка в свою чергу жорстко зв'язана з загальним тримачем осей для всіх дисків, рухається на однаковій висоті від поверхні ґрунту. Так працює борона при жорсткому зв'язку осей дисків одна з одною. Якщо ж розглядати рух окремого голкового диска, вісь якого не зв'язана з загальним тримачем осей, то характер його руху змінюється. Розглянемо спочатку такий рух при невеликому зануренні голок у ґрунт.

Нехай диск з голками, вісь якого не зв'язана з вісями інших дисків (рис. 2.3), рухається вліво по рівному однорідному ґрунту, що не містить тверді включення (каміння). Швидкість його центру тяжіння C позначимо v_C . Під дією сили тяжіння G диска одна з голок заглиблюється у ґрунт на глибину h_0 . На початку руху машини, голка, що опустилася у ґрунт, може затриматися, і якась з її точок стане миттєвим центром обертання (це точка, швидкість якої в даний момент дорівнює нулю). Нехай цим миттєвим центром обертання буде нижня точка C_b . Обґрунтування, що точка C_b стала миттєвим центром обертання наступне: точка C_b знаходиться у ґрунті глибоко, і їй важко швидко змінювати своє положення.

Якщо точка C_b є миттєвим центром обертання, то радіусом повороту буде лінія CC_b і кутова швидкість обертання голки ω_T буде дорівнювати:

$$\omega_n = \frac{v_C}{CC_v}, \quad (2.1)$$

де CC_v – відстань від точки C до точки C_v .

Під час руху диску вліво всі його точки (крім C_v) також будуть здійснювати рух; точка D набуде швидкість v_D , точка B набуде швидкість v_B , точка A буде мати швидкість v_A ; ці швидкості будуть дорівнювати:

$$\left. \begin{aligned} v_D &= \omega_n (C_v D); \\ v_B &= \omega_n (C_v B); \\ v_A &= \omega_n (C_v A), \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де $(C_v D)$ – відстань $C_v D$, $(C_v B)$ – відстань $C_v B$, $(C_v A)$ – відстань $C_v A$ (відстань $C_v D$, $C_v B$, і $C_v A$ – це радіус обертання точок C , B и A).

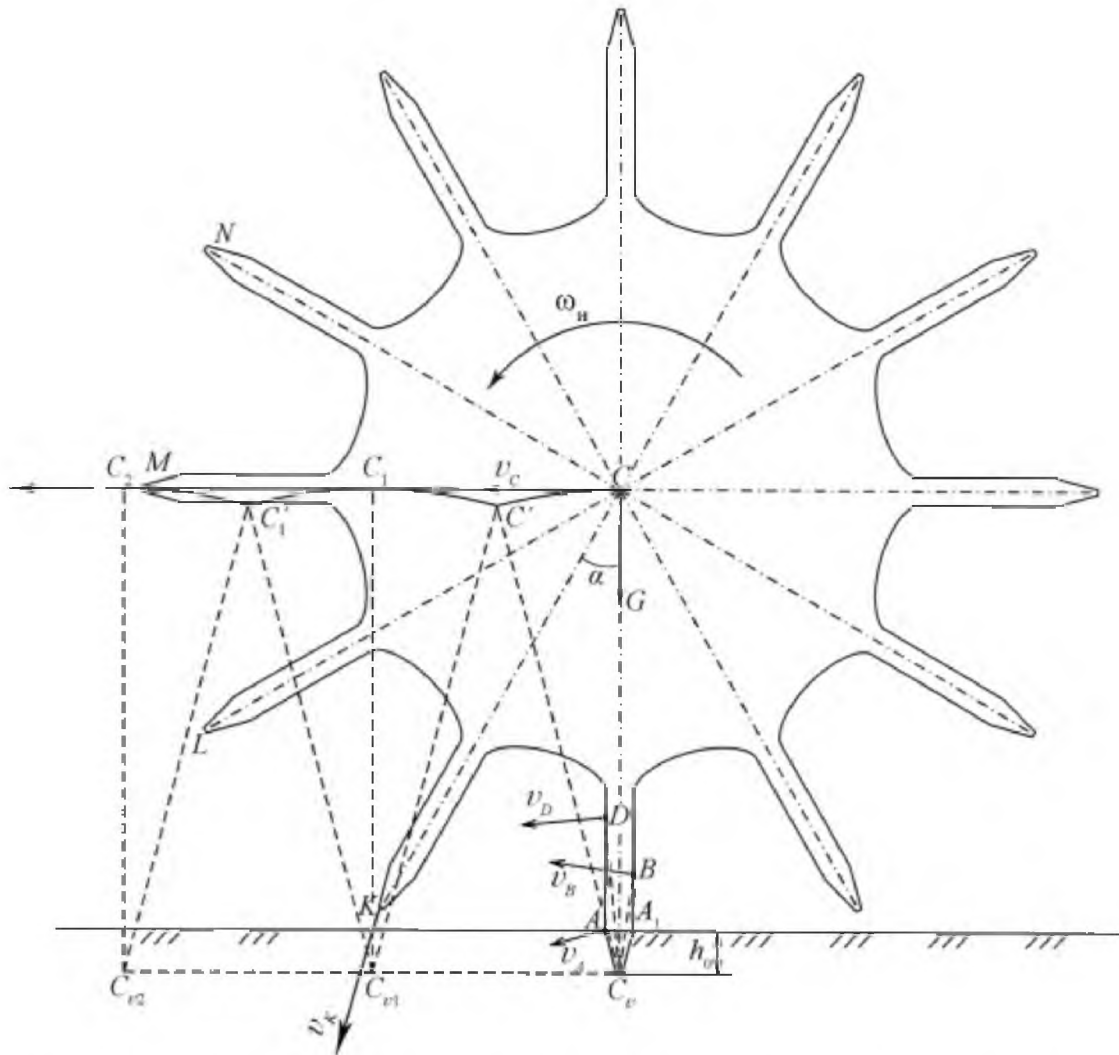


Рисунок 2.3 - Схема до аналізу руху по полю диска голчатої борони, вісь якого не зв'язана з осями інших дисків, а глибина занурення голок незначна

Вектори цих швидкостей показані на рис. 2.3 (вони перпендикулярні радіусам обертання). З представлених даних видно, що чим більша відстань від точки C_v до точки голки, що розглядається, тим більша її швидкість.

Якщо мати на увазі, що положення точки C_v якийсь час не змінюється під час руху машини, то під час руху центру C вліво цей центр повинен буде дещо опуститися, що видно з рис. 2.3, на якому показано нове положення голки C_vC' при переміщенні центру C вліво до точки C' . Дуга CC' – це траєкторія руху точки C на початку переходу голки C_vC разом з диском голкової борони із положення C_vC в положення C_vC' .

За час цього переходу голка KC , що опинилась попереду голки C_vC , також повернеться разом з диском навколо точки C_v проти годинникової стрілки, при цьому точка K (кінець голки CK , що знаходиться попереду) прийде зі швидкістю v_K , що дорівнює ω_r , помноженої на відстань KC_v , в точку C_{v1} (тут C_{v1} – положення миттєвого центру обертання голки CK в кінці повороту навколо точки C_v) залишиться в цьому місці (C_{v1}) у ґрунті.

Як тільки голка $C'K$ почне повертатися навколо точки C_{v1} , вона (голка) вийде з положення C_vC' вгору і вліво, точка C' (центр диску) разом з верхньою частиною голки $C_{v1}C'$ спрямується вліво і вгору в точку C_1 ; туди ж прийде центр C диску після того, як голка KC набуде вертикального положення $C_{v1}C_1$, тобто точка C' перейде в положення C_1 .

При подальшому русі машини з голкою KC_1 , яка зайняла вертикальне положення $C_{v1}C_1$, почнеться те саме, як вже відбулось з голкою C_vC , а саме, відбудеться поворот голки навколо точки C_{v1} з рухом точки C_1 по дузі C_1C_1' , яку опише ця точка C_1 при подальшому русі диска (рис. 2.3). При цьому центр голчатого диска C прийде в точку C_1' , а з голкою LC , що слідує за голкою KC , буде відбуватися те саме, як раніше відбулось з голкою KC , а до цього – з голкою C_vC .

Таким чином, рух центру C окремого диска не є рухом по прямій лінії. Цей рух складається з ряду коливань вниз по траєкторіях CC' , C_1C_1' та ін. і вгору по таких траєкторіях, як $C'C_1$, $C_1'C_2$ і т.д. Заглиблення голки у ґрунт відбудеться

через кожні 30° повороту диску з голками при довжині кола кінців цього диску з голками, що дорівнює $3,14 \cdot 2 \cdot 144 \approx 904$ мм (тут 144 мм – це прийнятий для розрахунків радіус кола, який позначимо $r_{дг}$); заглиблення у ґрунт голок диску будуть відбуватися через кожні $904/12 \approx 75$ мм шляху.

Описані вище коливання (вниз і вгору) під час руху центру C диска, коли його вісь не зв'язана з вісями інших дисків, мають місце не лише при невеликій глибині h_0 заглиблення голок, але і при великому заглибленні голок у ґрунт.

Як видно з рис. 2.3, при повороті диску на 360° нижні точки K, L, M, N та інші точки голки опишуть 12 таких хорд кола радіусом CC_v , як C_vK, KL та ін. Відстань C_vC_{v1} (вона ж дорівнює відстані $C_{v1}C_{v2}$ або KL) є основою рівнобедреного трикутника і дорівнює (з урахуванням того, що кут C_vCK , позначений α):

$$C_vC_{v1} = 2(CC_v)\sin(\alpha/2). \quad (2.3)$$

Загальна довжина L_K 12 таких хорд складе, враховуючи, що радіус CC_v позначений $r_{дг}$:

$$L_K = 12(C_vK) = 24 r_{дг} \sin(\alpha/2). \quad (2.4)$$

Для кута $\alpha = 30^\circ$, $\sin(\alpha/2) = 0,2588$, а довжина L_K контуру, що з'єднує кінці всіх голок, складе:

$$L_K = 24r_{дг} 0,2588 = 6,2112 r_{дг}. \quad (2.5)$$

Довжина L_0 кола радіусом $r_{дг}$ дорівнює $2\pi r_{дг} = 6,2831 \cdot r_{дг}$. Ми бачимо, що величина L_K менше $2\pi r_{дг}$ на $0,0719r_{дг}$. У процентному співвідношенні це зменшення складе $\frac{0,0719}{6,2831} 100 \approx 1,14\%$. Це невелике відхилення від довжини кола радіусом $r_{дг}$.

В загальному випадку, якщо у диска є n_Γ голок, то кут α між голками складе $360/n_\Gamma$ градусів або $2\pi/n_\Gamma$ радіан. Тоді довжина контуру L_K буде:

$$L_K = 2n_\Gamma r_{дг} \sin(\alpha/2) = 2n_\Gamma r_{дг} \sin(\pi/n_\Gamma), \quad (2.6)$$

якщо α дана в радіанах і

$$L_K = 2n_\Gamma r_{дг} \sin(\alpha/2) = 2n_\Gamma r_{дг} \sin(180/n_\Gamma). \quad (2.6')$$

якщо α дана в градусах.

Слід відмітити, що радіус диска з голками $r_{д.г}$ дорівнює сумі

$$r_{д.г} = r_{д} + l_{г}, \quad (2.7)$$

де $r_{д}$ – радіус диску,

$l_{г}$ – довжина голки без різьбової частини (рис. 2.1, б).

Розглянемо тепер рух диска, вісь якого входить до складу п'яти дисків з вісями, жорстко зв'язаними з загальним тримачем осей, завдяки чому всі диски рухаються в тому напрямку і на тій же висоті, що і тримач осей. Ця схема наведена на рис. 2.4.

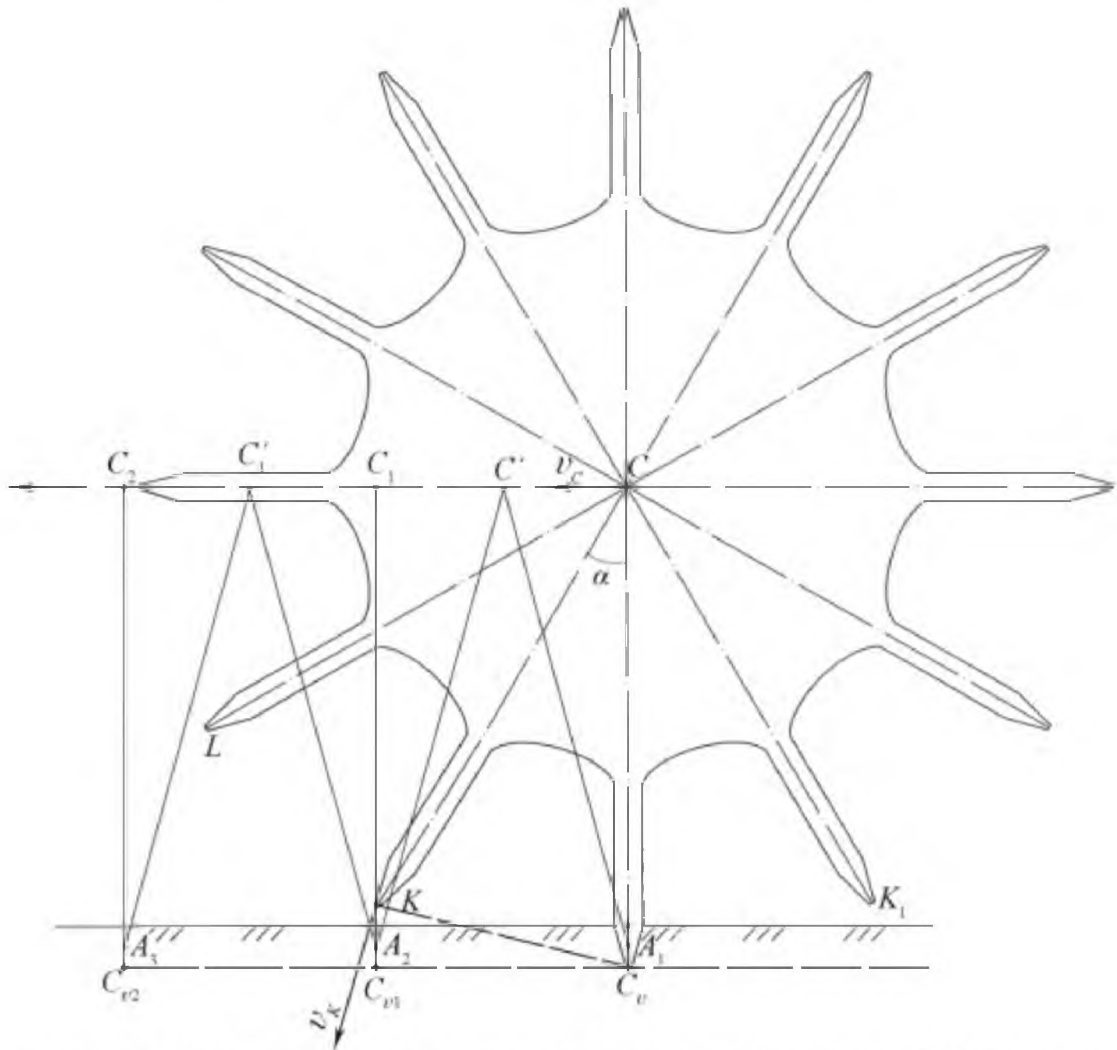


Рисунок 2.4 - Схема до аналізу руху по полю диску голкової борони, вісь якого зв'язана з осями інших дисків, а глибина занурення голок незначна.

Нехай диск з центром C , що переміщується разом з іншими дисками, рухається так, що швидкість v_c центру C спрямована по горизонталі, а глибина занурення голок незначна. Спочатку радіус CC_v вертикальний, а точка C_v

(миттєвий центр обертання) знаходиться в нижній точці вертикальної голки CC_v . При русі центра C по горизонталі вліво, вліво подається верхня частина голки CA_1 , точка C залишиться на рівні лінії $CC'C_1C_1'C_2$, а нижній кінець голки CA_1 буде виходити з ґрунтового заглиблення біля точки C_v та підніметься вгору спочатку на невелику висоту C_vA_1 , з огляду чого можна вважати, що точка A_1 залишилась на лінії C_vC , хоча в дійсності вона (точка A_1) стала трохи лівіше цієї лінії C_vC на висоті C_vA_1 , тобто буде мати місце наближена рівність $CC_v \approx C'A_1$.

Одночасно повернеться вліво весь диск з голкою A_1C , яка займе положення A_1C' ; також одночасно повернеться вниз голка CK і опуститься також вниз точка K голки CK . При подальшому русі вліво центра C точка K опуститься вниз в положення A_2 , а потім голка CK займе вертикальне положення C_1C_{v1} , при цьому $C_1C_{v1} \approx C'A_2$.

При подальшому русі центра C вліво буде мати місце повторення подій, а саме центр C підійде до положення C_1' , при цьому нижній кінець K голки CK вийде з положення точки C_{v1} у ґрунті, до цього часу голка CL опуститься вниз і точка L буде наближатися до точки A_3 , а потім і до точки C_{v2} . В той час, коли центр C підійде до положення C_2 , кінець L голки опуститься у ґрунтове заглиблення, де знаходяться точки A_3 і C_{v2} , а в момент, коли центр C буде в положенні C_2 голка KL займе вертикальне положення C_2C_{v2} .

З наведених на рис. 2.4 даних видно, що рух центру C має місце по прямій $CC'C_1C_1'C_2$, а нижні точки A_1, A_2, A_3 голок CC_v, CK і CL опускаються на повну глибину у ґрунт лише у тих випадках, коли голки займають такі вертикальні положення, як CC_v або C_1C_{v1} або C_2C_{v2} і т.д.

І в першому (рис. 2.3), і в другому випадку (рис. 2.4) голки в положенні близькому до вертикального, опускаються у ґрунт і заглиблюються в нього.

На рис. 2.5 показано рух по ґрунту диска з голками при великій глибині їх занурення. Зі схеми видно, що характер котіння по ґрунту диска з голками мало змінюється, але зростає навантаження на голки, які руйнують значно більшу кількість ґрунтових часток, чим у випадках, представлених на рис. 2.3 і 2.4.

З рис. 2.5 видно, що вектор v_K швидкості точки K голки спрямований під

грунту не була відхилена від вертикалі, а якщо і відхилена, то на досить невеликий кут β (про який вище відмічалось). Враховуючи, що відстань $C_v C = r_{дг}$, де $r_{дг}$ – радіус диску борони з голками, а кут KCC_v дорівнює α (рис. 2.5), то з трикутника KCC_v знаходимо:

$$KC_v = 2r_{дг} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (2.9)$$

Тут α – кут між голками CK і CC_v .

Позначимо відстань KC_{v1} через h_K (тобто h_K – це висота точки K над лінією $C_{v2}C_{v1}C_v$), тоді

$$h_K = \sqrt{(KC_v)^2 - (C_{v1}C_v)^2}. \quad (2.10)$$

Так як $h_K = (KC_v)\sin\beta$, а $C_{v1}C_v = (KC_v)\cos\beta$, то у результаті проведення подальших розрахунків отримаємо:

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{h_K}{2r_{дг} \sin \frac{\alpha}{2}} \right)^2}. \quad (2.11)$$

З отриманого рівняння видно, що чим менше h_K , тим менше кут β . При зменшенні h_K до 0 кут β також дорівнюватиме нулю, а швидкість v_K буде спрямована по вертикалі вниз, тобто проколювання ґрунту буде відбуватися по вертикалі.

А нам це і потрібно, так як при такому проколюванні ґрунту сили тертя голки з ґрунтом будуть меншими, ніж при куті β більше нуля; покращиться також якість обробітку ґрунту.

2.3 Визначення зусилля, яке необхідне для занурення у ґрунт голки голчатої борони

При роботі голкових борін їх голки можуть проникати у ґрунт з деяким відхиленням від перпендикуляра, або перпендикулярно до його поверхні. Це питання частково розглянуто у підрозділі 2.2, де відмічено, що швидкість руху голки при проколюванні ґрунту може бути відхилена від перпендикуляра до

поверхні ґрунту на кут β , значення якого змінюється від $15-20^\circ$ на початку руху і наближується до нуля в момент закінчення проколу ґрунту [вираз (2.11)]. За таких умов будемо вважати, що кут β змінюється в межах від 0 до 20° .

Схему занурення в ґрунт деформатора у вигляді голки наведено на рис. 2.2, 2.3 і 2.4. Аналогічні схеми наведено на рис. 2.6 і 2.7, б. Силу, яка тисне, позначено через G . На рис. 2.7, а, наведено схему занурення у ґрунт деформатора у вигляді плоского горизонтального круглого тіла. За допомогою таких плоских деформаторів визначають твердість ґрунту. Для порівняння схем занурення у ґрунт різних деформаторів на рис. 2.7 наведено пристрої у вигляді: горизонтального круглого тіла (рис. 2.7, а) та вертикального конусу, який обернено вістряє вниз (рис. 2.7, б).

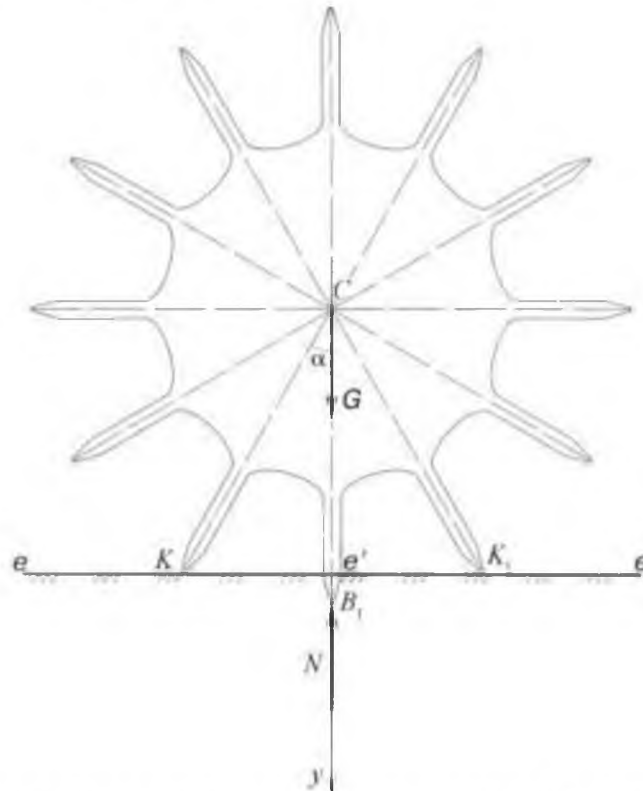


Рисунок 2.6 - Схема занурення у ґрунт голки диску борони під дією сили G

За умов деформації ґрунту при заглибленні деформатора (плунжера) твердоміра у ґрунт (рис. 2.7, а) на реєструючій частині твердоміра записується діаграма, яка представляє собою залежність сили G тиску на плунжер від глибини λ_i його занурення у ґрунт (рис. 2.8). За допомогою цієї діаграми визначають твердість p ґрунту

$$p = \frac{h_{\text{ср}} \kappa}{S}, \quad (2.12)$$

де $h_{\text{ср}}$ – середнє значення ординати (в см) на ділянці OA цієї діаграми,

$\kappa_{\text{пр}}$ – жорсткість пружини (Н/см),

S – площа плунжера в місці його контакту з ґрунтом (см²). Твердість ґрунту вимірюється в Н/см².

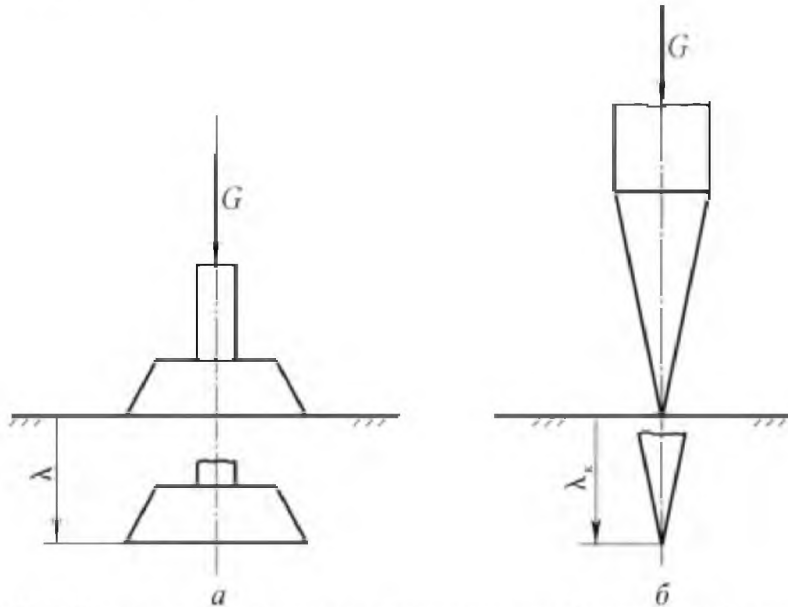


Рисунок 2.7 - Схема занурення у ґрунт на глибину λ деформатора різної форми: a – плоске горизонтальне кругле тіла; b – вертикальний конус, який обернуто вістрям донизу

Пряма OA на діаграмі характеризує зростання сили G в залежності від глибини λ_i , а пряма AB – умови деформації ґрунту, коли він «тече», тобто продовжує деформуватися під дією постійної сили G_A тиску на нього (це межа несучої властивості ґрунту). Точка A на діаграмі знаходиться на значній глибині λ_i від поверхні ґрунту (20 см та більше). Такою є закономірність деформації ґрунту плунжером, який виконано у вигляді плоского горизонтального круглого тіла. Проте закономірності деформації ґрунту конусною голкою (рис. 2.7, b) ще не встановлено.

Жорсткість пружини $\kappa_{\text{пр}}$ – це сила $P_{\text{п}}$ (Н), яка необхідна для повздовжнього стискання пружини на одну одиницю її довжини (см)

$$k_{np} = \frac{P_n}{a_n}, \quad (2.13)$$

де a_n – деформація стискання пружини, вимірюється в см.

Відрізки $\lambda_1 a_1$, $\lambda_2 a_2$, $\lambda_A A$ (рис. 2.8) – відповідають відстані a_n , на які стискається пружина твердоміра при заглибленні у ґрунт деформатора, тобто це шлях переміщення по паперу кінця самописця приладу під дією сили G .

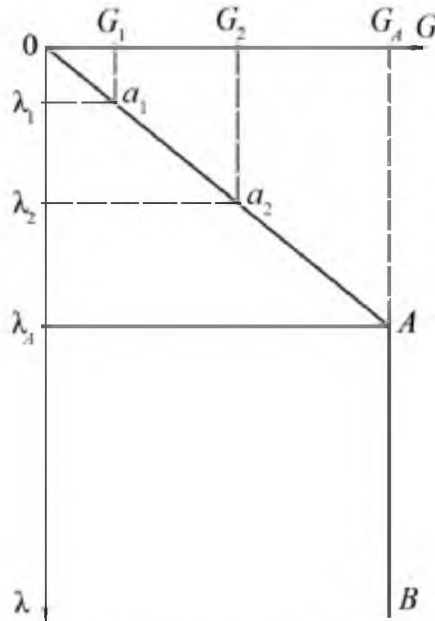


Рисунок 2.8 - Залежність зміни сили G тиску плунжера на ґрунт від глибини λ його занурення (діаграма змінання ґрунту)

Як зазначено вище, величина λ_n згідно з літературними даними [56] знаходиться в межах значень λ , які не перевищують межі глибини шару ґрунту, що обробляється, а глибина ґрунту, який обробляється голковими боронами не перевищує 70 мм [21].

На рис. 2.8 силі стиску G_1 відповідає відрізок $\lambda_1 a_1$, силі G_2 – $\lambda_2 a_2$, а G_A – відповідно $\lambda_A A$.

За таких умов можемо стверджувати, що в разі використання таких борін опір ґрунту занурення в нього голки буде змінюватися лінійно за прямою, аналогічній OA (рис. 2.8).

Голкову борону, кінці голок якої мають конусну форму, наведено на рис. 2.9. На цьому рисунку повністю наведено нижнє конусне тіло голки довжиною

h_k і частину циліндричного тіла голки з довжиною $h_{ц}$. Рівень ґрунту при проколюванні його голкою відповідає лінії $E_1O_1E_2$, але може бути і нижче цієї лінії. Загальна довжина частини голки, яка занурилася у ґрунт, визначається $h_k + h_{ц}$, за умов, що рівень ґрунту вище лінії $E_0O_0E_0$. Проте ця довжина може бути менше h_k , в разі якщо рівень ґрунту нижче лінії $E_0O_0E_0$. За умов, якщо рівень ґрунту проходить по лінії $E_0O_0E_0$, глибина занурення голки у ґрунт λ відповідає h_k .

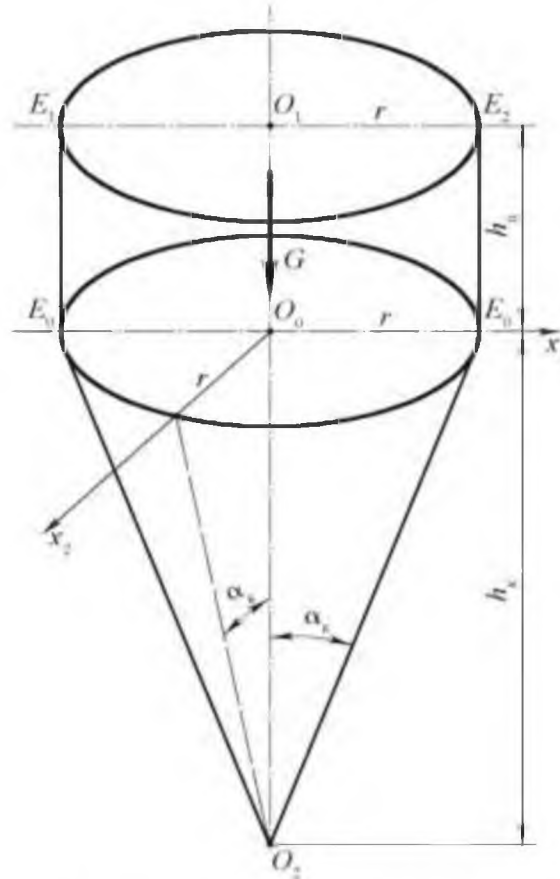


Рисунок 2.9 - Схема частини голки, що взаємодіє з ґрунтом.

Об'єм V частини голки, що знаходиться у ґрунті, в загальному випадку дорівнює $V_k + V_{ц}$, де V_k і $V_{ц}$ – об'єм відповідно конусної та циліндричної частини голки, зануреної у ґрунт. Так як об'єм конусу V_k дорівнює $\frac{\pi}{3}r^2h_k$, а об'єм циліндра $V_{ц}$ дорівнює $\pi r^2h_{ц}$, де r – радіус кола в основі конуса (циліндра), то

$$V = \pi r^2 \left(h_{ц} + \frac{1}{3} h_k \right). \quad (2.14)$$

Конус голки, в разі її занурення під дією сили G , буде впливати на ґрунт

(розпирати) його в напрямках, перпендикулярних твірним конуса. Проте він може одночасно і ковзати по ґрунту. За таких умов виникають сили тертя ковзання по всій поверхні контакту конуса із ґрунтом. Схему таких дій наведено на рис. 2.10, *a* (з тертям) та рис. 2.10, *б* (без тертя).

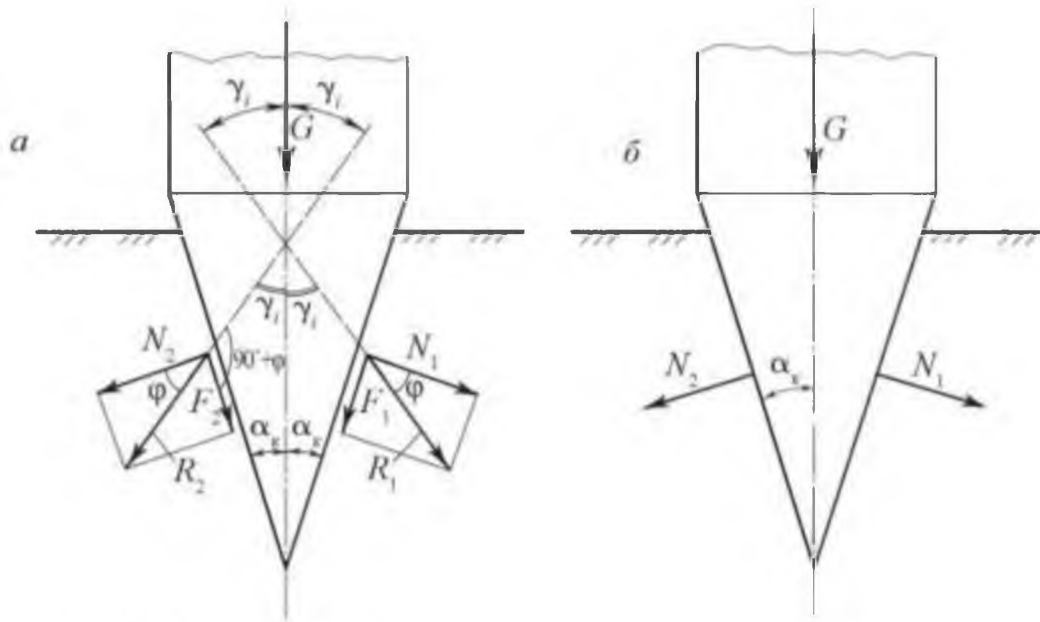


Рисунок 2.10 - Схема дії сил бічних поверхонь конусної частини голки на ґрунт: *a* – рівномірне вертикальне занурення ; *б* – без занурення

На рис. 2.10, *a* наведено результат взаємодії конусної частини голки із ґрунтом під час її занурення внаслідок дії сили G . Внаслідок такої взаємодії з боку бічної поверхні на ґрунт будуть діяти нормальні сили реакції N_1 і N_2 перпендикулярно поверхні конуса і сили тертя ковзання F_1 і F_2 по твірних конуса в напрямку протилежному дії сили G . Ці сили наведено в двох точках, але такі сили діють по всій поверхні контакту голки із ґрунтом. Рівнодійну сил N_1 і F_1 позначено R_1 , а сил N_2 і F_2 відповідно R_2 .

Напрямок дії сили R_1 відхилено від напрямку дії сили N_1 на кут тертя φ , на такий же кут φ відхилена сила R_2 від сили N_2 . Сила F_1 дорівнює fN_1 , а сила F_2 – fN_2 , де f – коефіцієнт тертя ковзання, який визначається $\operatorname{tg}\varphi$.

На рис. 2.11, *a* наведено аналогічно рис. 2.10, *a* результат взаємодії під дією сили G , яка достатня для заглиблення конуса, бічної поверхні конуса голки та ґрунту. З боку ґрунту на бічну поверхню конуса будуть діяти нормальні сили

реакції N_1' і N_2' перпендикулярно поверхні конусу і сили тертя ковзання F_1' і F_2' по твірних конуса в бік протилежний напрямку сили G . Ці сили наведено в двох точках, але вони діють по всій поверхні.

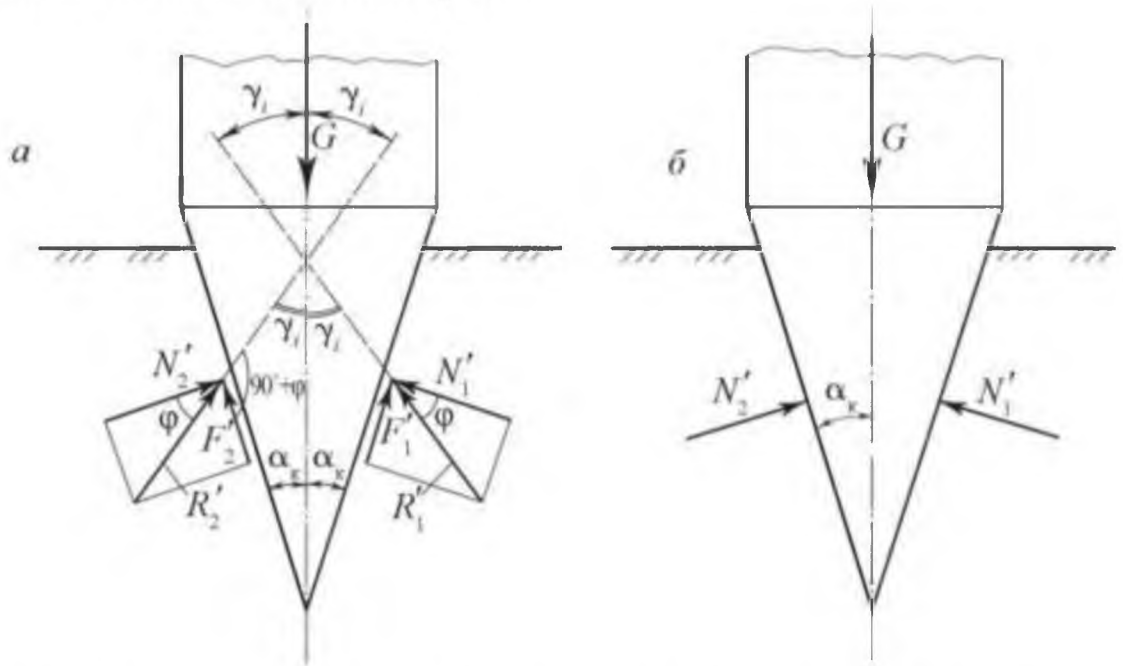


Рисунок 2.11 - Схема дії сил на бокові поверхні конусної частини голки:
a – рівномірне вертикальне занурення у ґрунт; *б* – без занурення у ґрунт дотику голки з ґрунтом. Рівнодіючу сил N_1' і F_1' позначено R_1' , а рівнодіючу N_2' і F_2' відповідно R_2'

Напрямок дії сили R_1' відхилений від напрямку дії сили N_1' на кут тертя φ , на такий же кут φ відхилена сила R_2' від сили N_2' . Сила F_1' дорівнює fN_1' , а сила $F_2' = fN_2'$, де f – коефіцієнт тертя ковзання, який дорівнює $\operatorname{tg}\varphi$. Сили R_1' і R_2' , а також R_1 і R_2 (рис. 2.10) діють по всій поверхні конусної частини голки, яка занурена у ґрунт. Позначимо кожну з них R_i .

Для забезпечення рівномірного руху конуса вниз (рис. 2.11, *a*) необхідне виконання наступних умов: $G_A = \sum_{i=1}^n R_i \cos\gamma_i$, де γ_i – кут між напрямком дії сили R_i і вертикаллю, а n – кількість сил R_i по всій поверхні конусної частини голки, що має контакт із ґрунтом.

Кут γ_i визначається $180^\circ - \alpha_k - (90^\circ + \varphi) = 90^\circ - \alpha_k - \varphi$, а $\cos\gamma_i = \cos(90^\circ - \alpha_k - \varphi)$, який в свою чергу дорівнює $\sin(\alpha_k + \varphi)$. Внаслідок цього

$$G_A = N(\sin\alpha_k + f \cos\alpha_k), \quad (2.15)$$

где N – сума нормальних сил по всій поверхні конусної частини голки, що контактує із ґрунтом ($\sum N_i$).

В разі, якщо плунжер не занурюється у ґрунт і сили тертя дорівнюють нулю (рис. 2.19, б), тобто $f = 0$, рівновага сил буде за умов рівності нулю сили G , яка визначається

$$G_A = \sum_{i=1}^n N_i \cos\delta_i, \quad (2.16)$$

З урахуванням (2.16) знаходимо

$$\sum N_i = \frac{G}{\sin\alpha_k}. \quad (2.17)$$

Із аналізу рівняння (2.15) і (2.16) відмітимо, що для забезпечення занурення конусної частини голки у ґрунт необхідно створити більшу силу, ніж при її урівноваженому положенні (рис. 2.10, б). Це пояснюється необхідністю подолання сил тертя, які виникають при русі голки у ґрунті.

Визначимо умови, за яких одна із голок занурюється у ґрунт настільки глибоко, щоб дві її сусідні K (ліворуч) і K_1 (праворуч) залишилися на поверхні $e-e$ (рис. 2.16). На цій же поверхні $e-e$ розташована точка e' голки, яка заглибилась на довжину B_1e' , яка визначається $CB_1 - (CK)\cos\alpha$, де CK – радіус $r_{дг}$ диску з голками, а кут α зазвичай дорівнює 30° . Позначивши через h_0 глибину B_1e' , отримуємо

$$h_0 = r_{дг} - r_{дг}\cos\alpha = r_{дг}(1 - \cos\alpha). \quad (2.18)$$

Визначимо необхідну глибину занурення голок у ґрунт при його обробці.

Як відомо [26], проколювання ґрунту голками здійснюється з метою його розпушування на глибину 4-6 см, знищення поверхневої кірки, вирівнювання рельєфу, закриття вологи, загортання насіння та знищення бур'янів. Внаслідок цього, агрофон ґрунту в разі його проколювання голками не може бути занадто щільним. Швидше за все він буде мати стан, який утворюється через якийсь час після оранки поля, або при обробці міжряддя просапних культур. Тобто, значення твердості ґрунту за таких умов не буде занадто великим.

Як відзначено вище, в разі встановлення показників твердості ґрунту за

діаграмою на рис. 2.8, глибина λ голки, що занурюється у ґрунт, повинна бути менше проекції прямої OA на вісь $O\lambda$ на цьому графіку. Ця глибина λ буде значно менша глибини орного шару ґрунту та межі несучої здатності цього ґрунту (точка A на рис. 2.8). Тобто зростання опору ґрунту зануренню в нього конусної голки буде менше, ніж у випадку деформації ґрунту по прямій AB (рис. 2.8).

З урахуванням викладеного проаналізуємо занурення голки в ґрунт на підставі наведених в даному параграфі результатів теоретичного аналізу та особливостей конструкції твердоміра ґрунту.

Розглянемо тепер визначення основних параметрів голки голчатої борони, що містить циліндричну і конічну частини.

Ці параметри наступні: кут α_k конусу нижньої частини голки, висота h_k конусної частини голки та радіус r циліндричної частини голки, причому $r = h_k \operatorname{tg} \alpha_k$.

Для визначення необхідного кута α_k конусності голки проаналізуємо ще раз схему на рис. 2.11. На цій схемі сили N_1 і N_2 та інші аналогічні сили діють з боку ґрунту на конус. З такими ж силами, але у протилежному напрямку, діє конус на ґрунт. За результатами аналізу цього явища отримано залежність (2.17), яка показує, що за умов постійного значення сили G збільшення кута α_k призводить до зростання суми сил $\sum N_i$, що діють на ґрунт та виконують його прокол і руйнування. Таким чином встановлено, що кут α_k повинен бути по можливості меншим, тоді буде меншим зусилля, під дією якого голка занурюється у ґрунт та руйнує його. Це важлива якість кута α_k , так як чим менший цей кут, тим менша необхідна діюча сила і тим менша, таким чином, робота, що витрачається на проколювання ґрунту.

Проте, за малих значень кута α_k конус голки буде тонше, довше та гостріше; це небажано через небезпеку поламки голок. Крім цього, за умов занадто малої конусності і товщини голки ґрунт може бути взагалі погано проколотий, залишитись не подрібненим та не розпушеним. Прикінцеве вирішення питання стосовно вибору необхідного кута α_k буде визначено за результатами польових випробувань дисків з голками різної конусності.

Таким чином встановлено, що основними факторами, які впливають на визначення необхідного значення сили для заглиблення у ґрунт голок голкової борони, є: глибина λ занурення голки, кут тертя голки по ґрунту та кут, що характеризує конусність голки. Крім цього, сила, яка необхідна для заглиблення голки у ґрунт, залежить від твердості ґрунту, тобто від його механічного складу та вологості. Проте існуючі технології механічного обробітку ґрунту не передбачають використання голкових борін за високого значення його вологості.

Визначимо залежність глибини занурення у ґрунт голки від сили тиску на неї, її параметрів та властивостей ґрунту.

Голки борони приєднуються до дисків консольно. Консоль краще опирається вигину, якщо вона виконана конусною. Таким чином голки представлено у вигляді конусів, кожен з яких у верхній частині має достатньо великий діаметр, знизу ж його кінець загострений.

Глибина повного занурення конусу голки у ґрунт позначена λ_k , вона дорівнює висоті конусу h_k ; при цьому глибина занурення будь-якої точки поверхні голки у ґрунт позначені λ (тобто без букви k). Якщо ж голка повністю в ґрунт не занурилась, то глибину її нижнього кінчика також позначимо λ_k , але ця λ_k в даному випадку менше h_k .

З аналізу приведених вище даних випливає, що сили G , які потрібно прикласти до кожної голки зверху вниз для просування їх у ґрунті та виконання проколів, тим більші, чим більший подвоєний тангенс кута α_k , глибини λ і λ_k , а також коефіцієнт тертя голки з ґрунтом (тобто сила G прямо пропорційна коефіцієнту f , глибинам λ і λ_k та двом тангенсам кута α_k).

На основі викладеного залежність сили G від факторів, що впливають, можна математично представити таким чином:

$$G \approx \kappa_{II} f \lambda 2 \operatorname{tg} \alpha_k, \quad (2.19)$$

де κ_{II} – коефіцієнт, що враховує твердість ґрунту в вихідному стані.

2.4 Визначення роботи, що витрачається на проколювання ґрунту голками голчатої борони

Робота, що витрачається на проколювання ґрунту голчатою бороною може бути визначена як добуток числа нанесених цьому ґрунту проколів на роботу, що витрачається на проколювання одного отвору у ґрунті.

На рис. 2.12 представлена схема ділянки поля, на якій посіяна широкорядна культура. На схемі показані три ряди рослин, міжряддя та захисні полоси. Ширина міжряддя позначена B_M , вона складається з двох захисних полос шириною a_{Π} , де проколювання ґрунту не повинно мати місце, і ширини b_{Π} частини міжряддя, що обробляється (проколюється), де виконується обробка ґрунту.

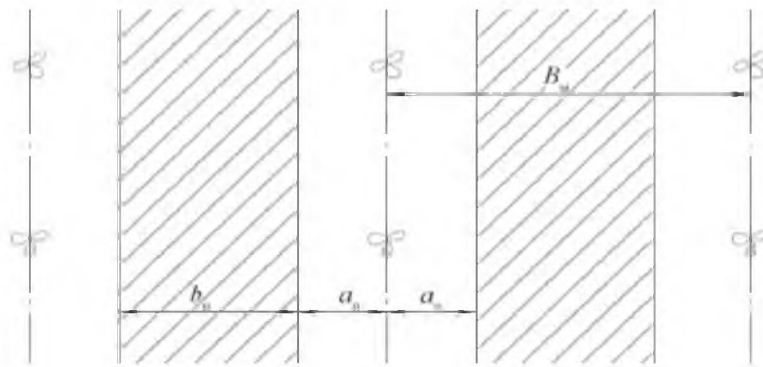


Рисунок 2.12. Схема ділянки поля, де посіяна широкорядна культура і де в проміжку між рядами виконується рихлення ґрунту (ці ділянки заштриховані): a_{Π} – захисна полоса; b_{Π} – зона дії голок борони, B_M – ширина міжряддя.

Розрахунки проводимо за наступних допущень: а) ґрунт однорідний за своїм складом; б) всі голки опускаються у ґрунт на однакову глибину.

Позначимо через W роботу, що витрачається на проколювання ґрунту голками за певний проміжок часу. Цю роботу представимо у вигляді добутку:

$$W = W_0 m_{\Gamma}, \quad (2.20)$$

де W_0 – робота, що витрачається на виконання голкою одного проколу;

m_{Γ} – число проколів, які роблять голки за згаданий проміжок часу.

Визначимо спочатку величину W_0 .

Для цього звернемося до рис. 2.13, на якому представлена графічна залежність сили G тиску плунжера твердоміра на ґрунт від глибини λ занурення цього плунжера (діаграма зім'яття ґрунту). На цій діаграмі λ – це глибина занурення плунжера у ґрунт, а G – сила стискання пружини, що тисне на плунжер.

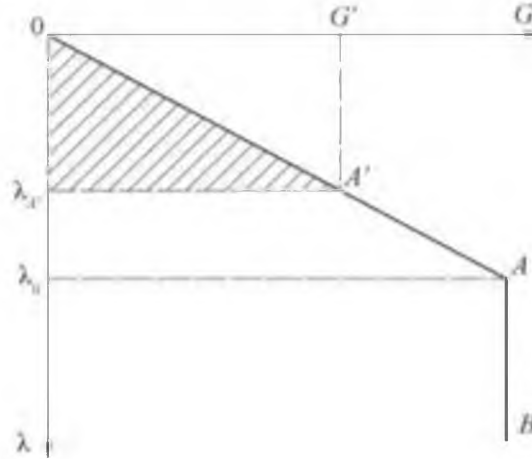


Рисунок 2.13. Графічна залежність глибини λ занурення голки у ґрунт від сили G тиску на голку (діаграма зім'яття ґрунту).

Діаграма апроксимується двома прямими лініями OA і AB , що характеризують дві фази деформації ґрунту. Під час першої фази (лінія OA) сила опору ґрунту зростає пропорційно лінійній деформації λ . Під час другої фази (лінія AB) при зростанні деформації λ опір ґрунту майже не змінюється, тобто ґрунт «тече» (деформується) під дією постійного тиску на нього.

Будемо вважати, що проколи ґрунту голками відбуваються під час першої фази, при якій глибина занурення плунжера мала (тобто менше відстані $O\lambda_{II}$ на діаграмі). Тоді робота W_0 , що витрачається на один прокол ґрунту, дорівнює, в відповідності до літературних даних [23], добутку лінійно зростаючої сили G на глибину λ , поділеному на 2, тобто $G\lambda/2$; так, наприклад, робота на прокол ґрунту силою G' на глибину $O\lambda_{A'}$ до точки A' (рис. 2.15) дорівнює добутку $G'\lambda_{A'}/2$, тобто дорівнює площі трикутника $OA'\lambda_{A'}$ у обраному масштабі (ця площа на рис. 2.15 заштрихована). Дана залежність, як вже вказувалось, справедлива при змінній силі G і глибини λ від точки O до точки A по прямій лінії, з огляду чого можна

представити залежність роботи W_0 на виконання голкою одного проколу від факторів, що впливають, наступним чином:

$$W_0 = \frac{G\lambda}{2}, \quad (2.21)$$

де λ – глибина проколу ґрунту голкою силою G .

Для визначення числа m_{Γ} врахуємо, що за один оберт диску голчатої бороны ґрунту наноситься число n_{Γ} проколів (яке в нашому випадку дорівнює 12). Число проколів n_{Γ} , яке здійснює секція за один оберт, дорівнює $n_{\Gamma}m_{\text{д}}$, де $m_{\text{д}}$ – число дисків в секції (в нашому випадку $m_{\text{д}} = 5$). Число обертів диску на гоні довжиною L_{Γ} дорівнює $L_{\Gamma}/L_{\text{к}}$, де $L_{\text{к}}$ – довжина контуру одного диску, визначається за формулою (2.22), якщо кут α підставити в неї в рад. Тоді

$$\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{к}}} = \frac{L_{\Gamma}}{2n_{\text{и}}r_{\text{д}} \sin \frac{\pi}{n_{\text{и}}}}. \quad (2.22)$$

Число m_{Γ} проколів, яке зробить секція за весь проміжок часу, буде дорівнювати:

$$m_{\text{и}} = n_{\text{и}}m_{\text{д}} \frac{L_{\Gamma}}{2n_{\text{и}}r_{\text{д}} \sin \frac{\pi}{n_{\text{и}}}} = \frac{L_{\Gamma}m_{\text{д}}}{2r_{\text{д}} \sin \frac{\pi}{n_{\text{и}}}}. \quad (2.23)$$

Підставляючи значення W_0 по (2.21) та m_{Γ} по (2.23) в рівняння (2.20), знаходимо W :

$$W = \frac{G\lambda}{2} \cdot \frac{L_{\Gamma}m_{\text{д}}}{2r_{\text{д}} \sin \frac{\pi}{n_{\text{и}}}} = \frac{GL_{\Gamma}m_{\text{д}}\lambda}{4r_{\text{д}} \sin \frac{\pi}{n_{\text{и}}}}, \text{ Дж}. \quad (2.24)$$

$L_{\Gamma} = 1000$ м; $m_{\text{д}} = 5$; $r_{\text{д}} = 0,15$ м; $n_{\text{и}} = 12$; λ змінюється від 0 до 0,08м; G змінюється від 0 до 33 Н (маса п'ятидискової батареї 16,5 кг – значить на один диск приходить 3,3 кг, тобто 33 Н).

Так виражається робота, що витрачається на проколювання ґрунту голчатою бороною на гоні довжиною L_{Γ} . З формули видно, що робота W тим більше, чим більше число дисків, число голок на диску, сила тиску голок на ґрунт і глибина λ проколу.

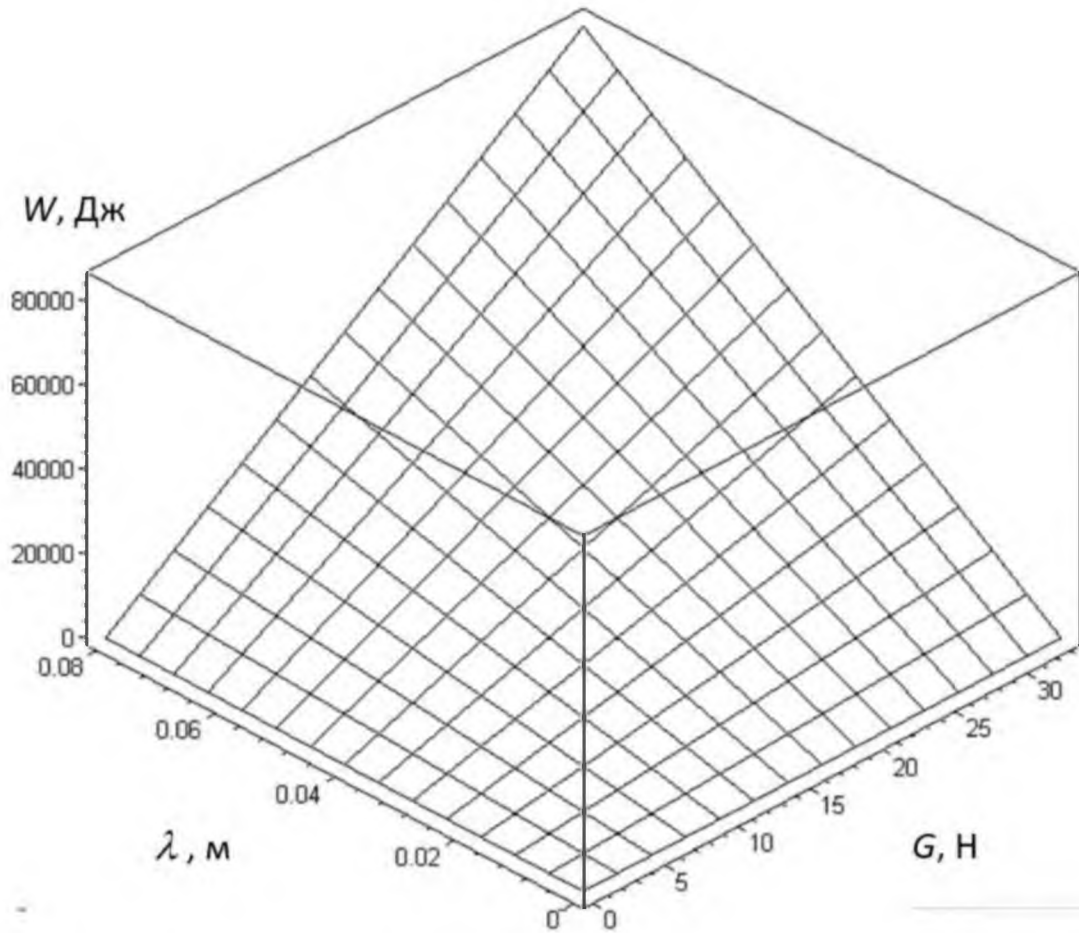


Рисунок - 2.14 Залежність роботи W від сили G тиску голок на ґрунт і глибина λ проколу

Якщо довжину гону L_T помножити на ширину міжряддя B_M , що дорівнює $b_{\Pi} + 2a_{\Pi}$, то отримаємо оброблену площу F_{Π} :

$$F_{\Pi} = B_M L_T = L_T (b_{\Pi} + 2a_{\Pi}), \text{ м}^2. \quad (2.25)$$

Площа, оброблена за 1 секунду F_c , буде дорівнювати:

$$F_c = \frac{F_{\Pi}}{t} = \frac{L_T (b_{\Pi} + 2a_{\Pi})}{t}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, \quad (2.26)$$

де t – час роботи агрегату, с.

Якщо роботу W в Дж поділити на час t роботи голкової борони під час руху по гону в с, то отримаємо потужність N_M , що споживається. Час t дорівнює L_T/v_M , де v_M – швидкість руху агрегату. Тоді

$$N_M = \frac{G m_{\Delta} \lambda v_M}{4r_{\Delta} \sin \frac{\pi}{n_T}}, \text{ Вт} \quad (2.27)$$

2.5 Висновки

За представленими у даному розділі дослідження можна зробити наступні висновки:

1. У результаті аналізу існуючих конструкцій голкових борін, що здійснюють рух по ґрунту у повздовжньо-вертикальній площині, розроблена однодискова голкові борони із змінними голками.

2. Теоретичним дослідженням переміщення дисків борони з голками по ґрунту в поздовжньо-вертикальній площині встановлені характер руху дисків і голок борін, швидкості точок дисків і точок голок, а також контурів, що описані кінцями голок [формули (2.4), (2.5), (2.6) і (2.7)]. Аналізом характеру переміщення по ґрунту дисків з голками встановлено, що під час руху будь-якого диску, вісь якого не зв'язана з осями інших дисків, центр диску не буде рухатися по прямій; його рух буде складатися з ряду коливань вниз і ввєрх. Для прямолінійного руху центру диску без коливань вниз і ввєрх потрібно, щоб вісі усіх дисків секції були в одному тримачі і рухались разом з ним. Кут β між напрямком вектору швидкості v_k кінця голки, що опускається, і вертикаллю визначається за формулою (2.11) і тим менший, чим ближче кінець цієї голки, що повертається вниз до горизонталі $C_v C_{v1} C_{v2}$, а при опусканні кінця голки на цю горизонталь даний кут β дорівнює нулю, тобто голка при її опусканні на горизонталь стає вертикально.

3. Результат роботи борони залежить від ступеня синхронності дії голок різних дисків на ґрунт. Якщо нижні голки опускаються у ґрунт одночасно, то буде одночасний прокол цими голками ґрунту; якщо ж голки різних дисків не опускаються у ґрунт одночасно, то буде почергове проникнення голок різних дисків у ґрунт, причому виникнення цих проколів може мати випадковий характер та залежати від положення голок одного диску відносно іншого перед проколом. Кут проколу ґрунту, тобто кут повороту диску з голками для заглиблення однієї голки у ґрунт і виходу з нього при рівномірному русі центра диска в два рази більший кута повороту диска для опускання кінця голки та його заглиблення у ґрунт на повну глибину.

4. Згідно дослідним даним сила Q пропорційна глибині λ_k занурення конуса голки у ґрунт. В момент дотику кінця голки до ґрунту, коли можна рахувати, що глибина λ_k дорівнює 0, сила Q також дорівнює нулю. В іншому ж сила Q дорівнює $k\lambda_k$, де k – дослідний коефіцієнт. В дисертації наводяться значення цього коефіцієнту.

5. Виведена математична модель (2.19), що дозволяє визначити силу, яка необхідна для заглиблення голки у ґрунт. Ця сила G тим більша, чим більший кут конусності голки α_k , твердість p ґрунту і коефіцієнт тертя f голки з ґрунтом.

6. Робота, що витрачається на проколювання ґрунту голками голчатої борони, зростає зі збільшенням числа дисків з голками в машині, сили тиску голок на ґрунт, глибини занурення голок у ґрунт і довжини гону та зі зменшенням радіусу диска і кута між голками в диску. Потужність, що споживається при роботі голкової борони зростає зі збільшенням швидкості руху машини, числа дисків з голками, сили тиску голок на ґрунт та зменшенням радіуса диска з голками.

7. При проектуванні голчастих борін з метою мінімізації рушійної сили необхідно забезпечити глибину занурення голок в ґрунт на величину, обумовлену застосовуваною технологією обробітку. Для цього конструкція голчатої борони повинна передбачати її установку на задану глибину обробки ґрунту та дотримання цієї глибини в ході виконання технологічного процесу. Крім того, матеріал, з якого виготовляються голки, повинен мати достатню міцність і зносостійкість, щоб у процесі роботи зберігалась початкова (вихідна) конусність голок.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма досліджень

Дослідження проводили на розроблених приладах і установках в лабораторіях і польових умовах з метою підтвердження та доповнення зроблених теоретичних припущень і отримання необхідних експериментальних даних для розрахунків параметрів і режимів роботи, досліджуваних робочих органів.

У відповідності з метою передбачалося вирішення таких завдань:

- визначення твердості ґрунту;
- визначення сили тиску конуса голки на ґрунт (сили опору ґрунту проникненню в нею голки) в залежності від глибини проникнення, сили тиску на голку і параметрів голки;
- визначення тягових зусиль (у поздовжньо – вертикальній площині) експериментальної секції голкової борони та секції голкової борони культиватора УСМК-5,4;
- сканування верхнього обробленого шару ґрунту з метою визначення показників якості виконання технологічного процесу.

3.2. Методика вимірювання твердості ґрунту і впливу кута конусності плунжера на зусилля заглиблення

Визначення твердості ґрунту і впливу кута конусності плунжера на зусилля заглиблення здійснювали за допомогою твердоміра Рев'якіна (рис. 3.1, а) із змінними плунжерами (рис. 3.1, б).

Твердомір винахідника Рев'якіна відрізняється від інших приладів тим, що запис шляху λ руху деформатора (плунжера) відбувається по вертикалі (у напрямку λ на рис. 3.2), а реєстрація деформації стискання пружини відбувається по горизонталі (перпендикулярно напрямку шляху λ). Схему реєструючої частини цього твердоміра наведено на рис. 3.2. На діаграмі, яку отримуємо в такому приладі (рис. 3.2), шлях деформації ґрунту відкладається вниз по

вертикалі (рис. 3.2, лінія λ), а деформація стискання пружини зображується по горизонталі (рис.3.2, лінія $ав$, паралельна вісі Oy_1).

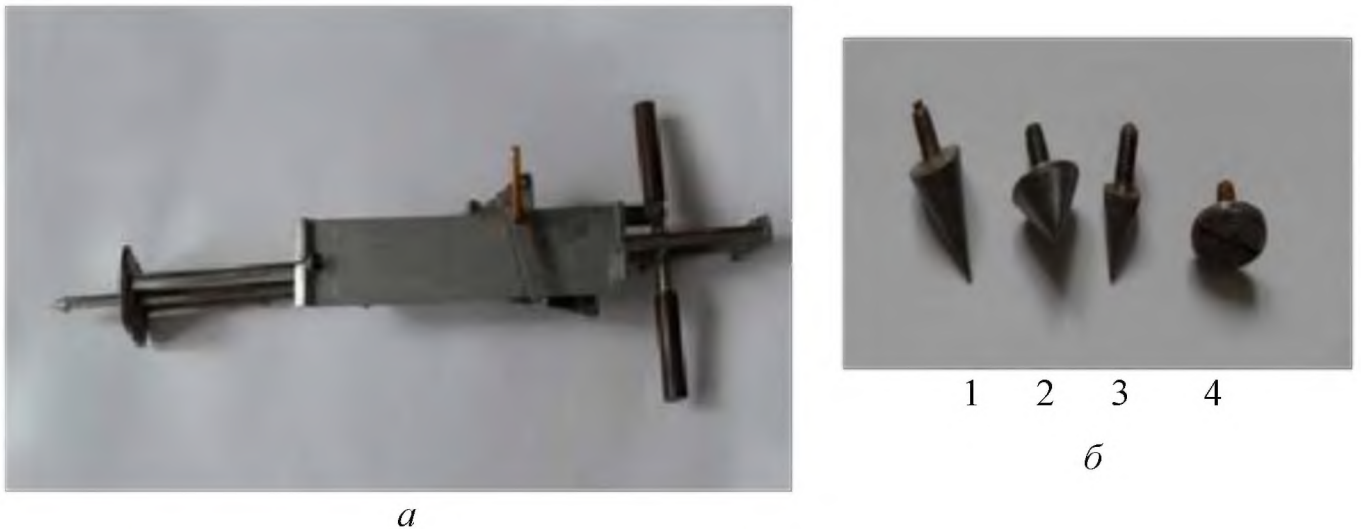


Рисунок 3.1 - Твердоміра Рев'якіна (а) і варіанти плунжерів (б): 1 - з кутом конусності 5° 2 - з кутом конусності, 7° – 3 - з кутом конусності 3° , 4 – стандартний плунжер для визначення твердості ґрунту

У такому приладі зображення деформації ґрунту за умови, що ґрунт цей «тече», тобто продовжує деформуватися під дією постійного тиску на нього, наведено на рис. 3.2 у вигляді вертикальної прямої AB . Як вже відмічено раніше, точка A цієї прямої AB розташована значно нижче глибини λ , на яку опускається кінчик голки борони в разі занурення у ґрунт. Відповідно, залежність сили G тиску на конусну частину голки від глибини λ її занурення у ґрунт близька до лінійної та знаходиться в межах глибини занурення голки до точки A на діаграмі (рис. 3.2), яка одержана за допомогою твердомірів.

Представлений на рис. 3.1, б деформатор 4 необхідний для визначення твердості ґрунту, а деформатори 1, 2 і 3 – для визначення опору ґрунту зануренню в нього голки.

З метою оброблення дослідних даних, отриманих за результатами експериментальних досліджень, використовувалися методи комплексного статистичного дослідження [148], що включають у себе методи описової статистики, дисперсійний та регресійний аналізи тощо.

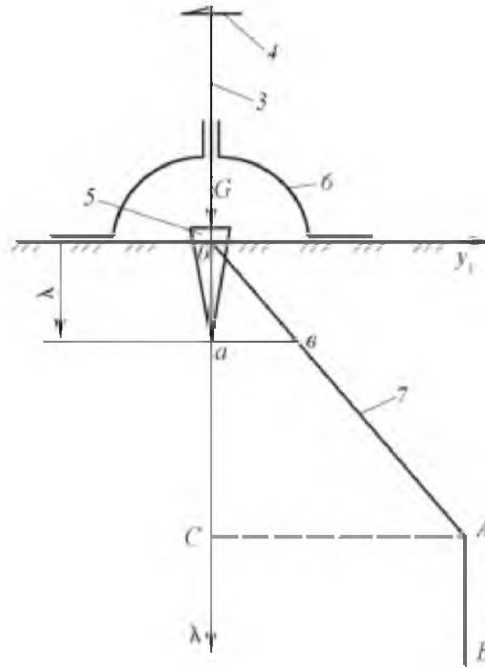


Рисунок 3.2 - Схема реєструючої частини твердоміра ґрунту конструкції Рев'якіна: 3 – штанга, 4 – упор, 5 – деформатор, 6 – направляюча, 7 – лінія деформації ґрунту голкою, AB – лінія зміни тиску, (межа несучої властивості ґрунту).

3.3. Визначення тягового опору експериментальної секції голчатої борони

Борона голчата призначена для весняного й осіннього поверхневого розпушування ґрунту на глибину 4-6 см з метою закриття вологи, загортання насіння, знищення бур'янів, а також для вирівнювання мікрорельєфу, створеного попереднім обробітком.

Намагання зменшити тяговий і питомий опір сільськогосподарських машин вимагає постійного дослідження більш досконаліх з точки зору енергоємності робочих органів і технологій проведення польових робіт.

Усі фактори, які впливають на тяговий опір машини, можна класифікувати наступним чином: природно-кліматичні (тип і стан ґрунту, рельєф, каменястість, метеорологічні умови); конструкційні (тип, форма та кількість робочих органів,

матеріал, з якого вони виготовлені та технології виготовлення, вага машини, тип і конструкція ходового апарату тощо); експлуатаційні (технічний стан машини, правильність регулювань, ступінь зношення робочих органів тощо).

Тяговий опір є величиною, яка постійно змінюється в процесі роботи. В якості сило вимірювального елемента використовували давачі сили КМ1502/КТ150 (рис.3.3).



Рисунок 3.3 - Давач сили КМ1502/КТ150

Реєстрація вимірювальних параметрів здійснювалася на жорсткий диск персонального комп'ютера, який розміщували у енергетичному засобі (тракторі). Конструктивно пристрій для визначення тягового опору розміщували на причіпній рамці для кожної секції окремо.

Дослідження процесу оброблення ґрунту експериментальною та серійною секціями голчатої борони проводили на експериментальній установці (рис. 3.4), яка включає в себе основну раму 1, на якій встановлено експериментальну 2 та серійну 3 секції. Експериментальна секція голкової борони складається із ряду голкових дисків 4 (рис. 3.4), вісі яких жорстко зв'язані одна з одною. Кожний диск має ступицю 5, вісь 6, втулку 7 та голки 8, жорстко з'єднанні із ступицею. Голка 8 являє собою радіально закріплений на диску прямолінійний стрижень, форма якого в середній частині близька до циліндричної; в кінцевій частині кожна голка виконана у вигляді конуса і закінчується вістрям. При русі дисків з голками кінець кожної голки описує у повітрі циклоїду.

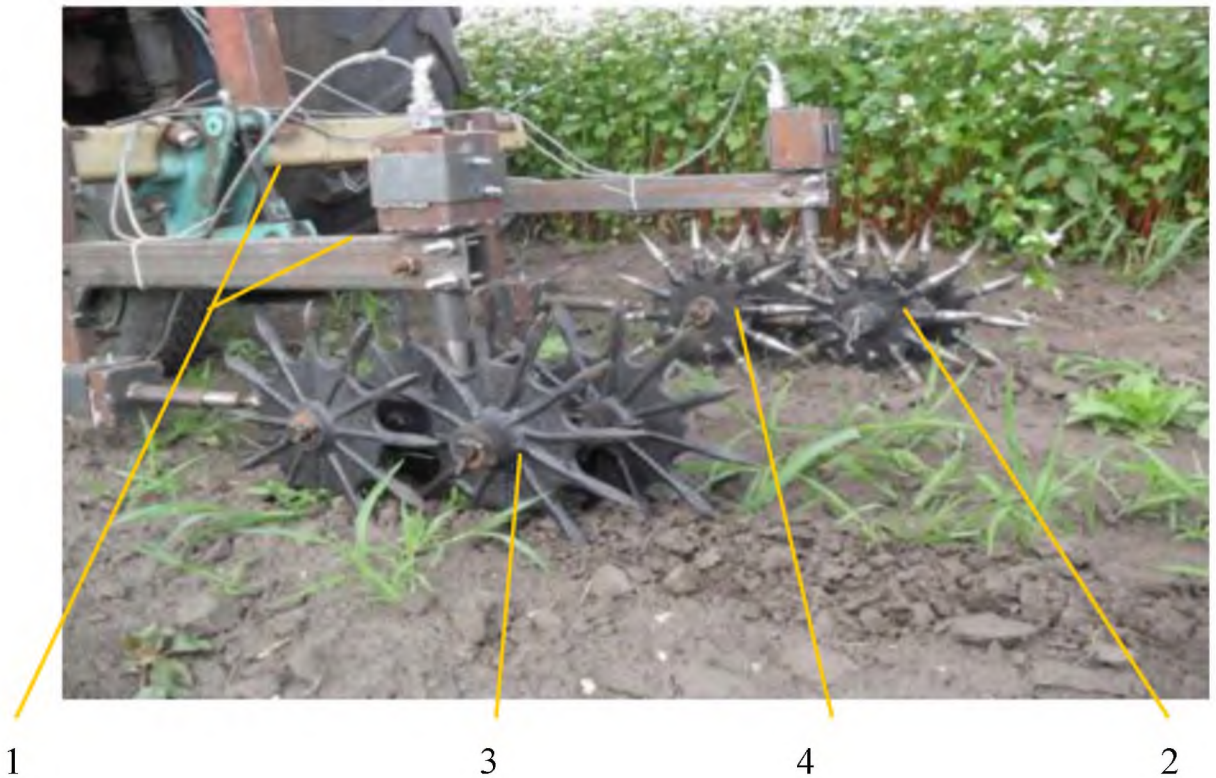


Рисунок 3.4 - Експериментальна установка для експлуатаційно-технологічної та енергетичної оцінки секції голчатої борони: 1 – рама; 2 – експериментальна секція ; 3 – серійна секція; 4 – диск голок.

Під час руху експериментальної установки диск з голками обертається навколо осі, яка закріплена на рамі 1. Аналогічно на окремій осі закріплено секцію серійного культиватора, яка також обертається навколо власної осі. Експериментальна установка забезпечує рух секцій на однаковій висоті від поверхні ґрунту.

Методика проведення досліджень включала вибір ділянки з характерним для даного поля покриттям. Тяговий опір секцій серійної і експериментальної борін, встановлених на спільній рамі, визначали за умов встановлення на експериментальній секції голок з різним кутом конуса (5° , 7° і 9°). Агрегування здійснювали трактором МТЗ-80.

Визначали залежність горизонтальної і вертикальної складових тягового опору від глибини обробки см, (фактор X_1), швидкості руху агрегата, м/с (фактор X_2) та кута загострення голки (фактор X_3) (трифакторний експеримент).

Досліди проведено в трикратній повторності.

3.4. Дослідження з визначення показників якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту експериментальною секцією голчатої борони

Дослідження процесу обробітку ґрунту експериментальною та серійною секціями голчатої борони проводили на експериментальній установці (рис. 3.4), яка включає в себе експериментальну та серійну секції. В якості серійної використано секцію УСМК 5,4. Експериментальну секцію голчатої борони укомплектували спочатку диском із голками, які мають кут загострення 9° і 5° . Взяття проб здійснювали в шарі ґрунту на глибині 0-5, 5-10 та 10-20см. Визначення показників якості ґрунту здійснювали згідно ДСТУ ISO 11465-2001 «Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою» та ДСТУ ISO 11272-2001 «Якість ґрунту. Визначення щільності структури на суху масу». Досліди проведено в трикратній повторності.

3.3.1 Визначення вологості ґрунту

Визначення вологості ґрунту методом висушування здійснюється в наступній послідовності:

- а) зважують пустий бюкс з кришкою на електронних вагах (рис.3.5), це буде маса m_1 ;
- б) беруть наважку ґрунту 0,015-0,020 кг, кладуть її в бюкс, закривають його кришкою і зважують, отримуємо масу m_2 ;
- в) ставлять бюкс з ґрунтом і знятою кришкою у сушильну електричну шафу (рис. 3.6). і висушують ґрунт при температурі 105°C до досягнення постійної маси (біля 5 годин);
- г) виймають бюкс з сушильної шафи, закривають кришкою і ставлять в ексикатор на 30 хвилин для охолодження;
- д) охолоджений бюкс з сухим ґрунтом зважують, отримуємо масу m_3 . Результати зважувань записують у таблицю. Повторюваність визначення вологості п'ятикратна;
- е) визначають вологість кожного повтору з точністю до 0,1 % за формулою:

$$w_a = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100\% ; \quad (3.2)$$

ж) вираховують середнє значення вологості.



Рисунок 3.5 – Фото електронної ваги

Рисунок 3.6 – Сушильна шафа

Для визначення вологості відбираються проби ґрунту за допомогою бура в місцях, розташованих по діагоналі ділянки, в п'ятикратній повторності.

3.3.2 Визначення щільності ґрунту

Визначення щільності (об'ємної маси) ґрунту здійснюється до і після проходу голчастої борони на заданій глибині (в місцях визначення твердості і вологості ґрунту).

Під час відбору проб ґрунту для визначення щільності використовують спеціальний інвентар (рис. 3.7).

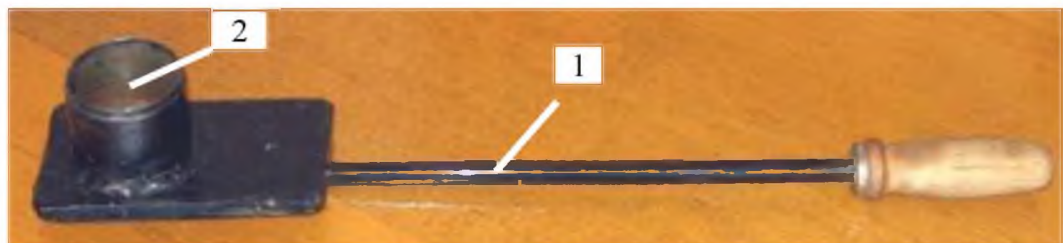


Рисунок 3.7 - Прилад для виміру щільності ґрунту: 1 – прилад для взяття проби ґрунту; 2 – циліндр проби ґрунту

Додаткове обладнання: штикова лопата; молоток; ніж; тара для зважування. Порядок проведення замірів:

1. Вибрати ділянку на полі.
2. Заглибитись до відповідного ґрунтового горизонту (вертикально за допомогою штикової лопати).
3. Опустити прилад на потрібну глибину уздовж до зрізу ґрунту, який розташований перпендикулярно до входження лопати у ґрунт (для уникнення додаткового ущільнення).
4. Заглибити прилад за допомогою молотка до повного заповнення циліндра (рис. 3.8).

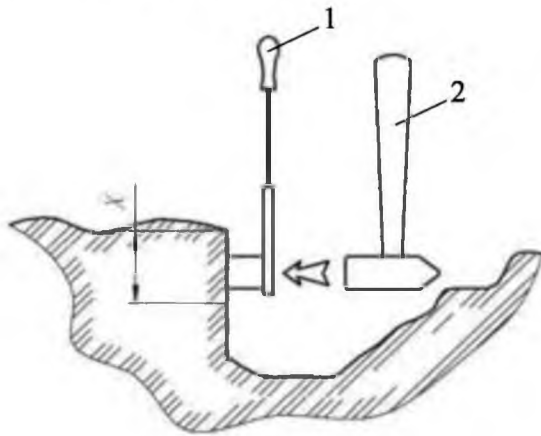


Рисунок 3.8 – Схема взяття проби ґрунту: 1 – прилад; 2 – молоток; Х – глибина заміру

5. Вийняти обережно прилад. Якщо циліндр заповнений ґрунтом частково, необхідно його очистити від ґрунту й виконати заміри повторно.
6. За допомогою ножа обрізати край циліндра.
7. Ввімкнути ваги кнопкою. Налаштувати ваги на зважування в грамах кнопкою. Поставити тару для зважування на ваги та обнулити значення ваги
8. Висипати весь ґрунт із циліндра у тару для зважування.
9. Записати значення щільності для даної проби.

Визначаємо об'єм циліндра приладу, см^3

$$V = S \cdot h, \quad (3.2)$$

де S – площа дна циліндра приладу, см^2 ; h – висота циліндра приладу, см .

Визначаємо щільність проби ґрунту, $\text{г}/\text{см}^3$

$$\rho_{\text{г}} = \frac{m}{V}, \quad (3.3)$$

де m – маса ґрунту, розміщеного у циліндрі, г .

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Результати досліджень впливу форми плунжера на зусилля твердості ґрунту

Для визначення твердості ґрунту відбиралися ділянки характерні для даного поля. Досліди проводилися на ділянках призначених для посіву цукрових буряків. Спосіб обробітку ґрунту традиційний, осіння глибока оранка, весняне лущіння і закриття вологи. Досліди проводили на ділянці довжиною 50-75 м.

За результатами експерименту визначалося зусилля опору проникнення плунжера (голки) у ґрунт, що виникає в залежності від їх конфігурацій (геометричних характеристик), характеристик ґрунту (вологість, щільність), Досліди проводилися в 15 повторностях.

Дослідження з визначення твердості ґрунту проводилися твердоміром Ревякіна (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 - Визначення твердості ґрунту твердоміром Ревякіна.

Досліджували вплив форми плунжера на значення твердості ґрунту. Для цієї серії дослідів використали плунжера з площею поперечного перетину $1,01 \text{ см}^2$ циліндричної форми, плунжера конічної форми з подвійним кутом при

вершині 10° , 14° і 18° (рис. 3.2, б). Аналіз отриманих результатів показала, що розподіл значень твердості, отриманої за умов використання одного плунжера, не суттєвий (рис. 4.2).

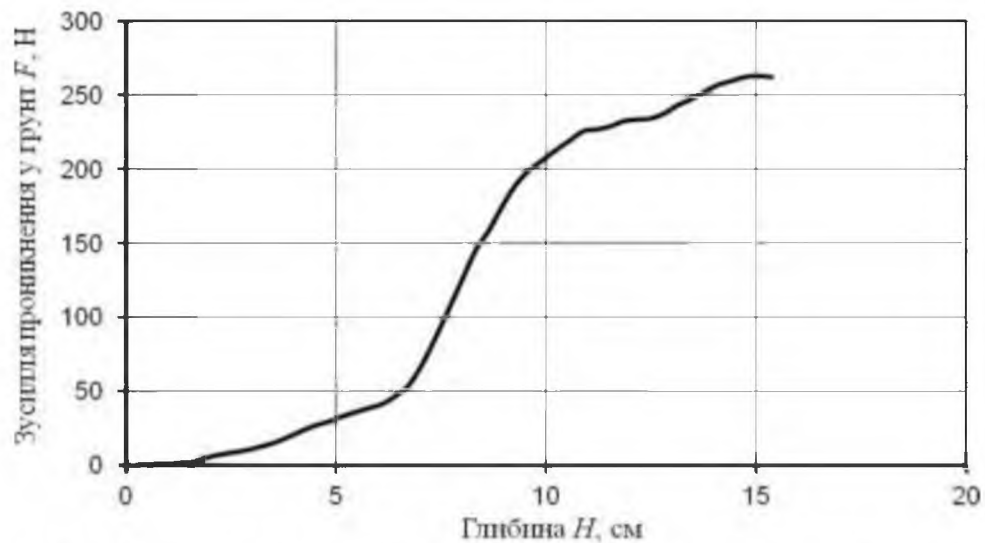


Рисунок 4.2. Діаграма твердості ґрунту визначена конусним плунжером з площею поперечного перетину – $1,01 \text{ см}^2$.

Значення зусилля проникнення у ґрунт плунжера конічної форми отримані за результатами досліджень плунжерів різної форми відрізняються (рис. 4.3).

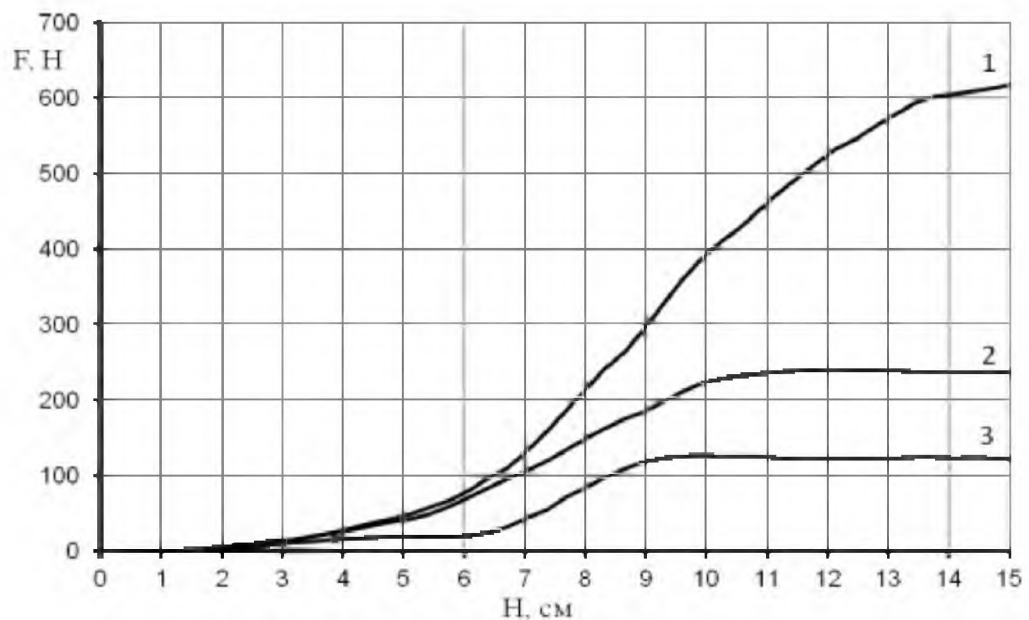


Рисунок 4.3. Діаграма зусилля проникнення у ґрунт плунжера конічної форми з подвійним кутом при вершині: 1 – 18° , 2 – 14° , 3 – 10° .

Застосувавши до отриманих даних методи математичної статистики, обчислимо середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, помилку досвіду і точність досліду по кожному плунжеру. Проаналізувавши отримані результати встановлено, збільшення кута при вершині плунжера призводить до збільшення зусилля для проникнення плунжера у ґрунт. Так, для плунжера конічної форми з кутом при вершині 10° : 1,17 Н, 11,18, 19,03, 23,93, 84,37 Н; з кутом при вершині 14° : 2,35 Н, 15,89, 38,26, 83,77, і 148,71 Н; з кутом при вершині 18° : 0,78 Н, 15,70, 42,18, 96,92 та 213,46 Н відповідно.

На підставі аналізу отриманих залежностей встановлено, що показники твердості ґрунту не залежать від площі поперечного перетину плунжера. За умов збільшення точності вимірювання для ґрунту із меншою твердістю доцільно встановлювати плунжер із більшою площею поперечного перетину. Найкращі показники по значенню зусилля проникнення у ґрунт має плунжер з подвійним кутом при вершині 10° . Проте, з міркувань забезпечення надійності, довговічності, зносостійкості конструкції, а також стабільності виконання технологічного процесу перевагу було надано плунжеру з подвійним кутом при вершині 14° .

Можна зробити висновок, що збільшення кута призводить до зростання сили опору, що діє на ґрунт та одночасно здійснює його руйнування. За умов малого значення кута конусності менше буде і значення зусилля, під дією якого голка проникає у ґрунт і руйнує його. Проте за малих кутів конус голки буде менше, а сама голка довшою та гострішою, що може викликати небажані її поломки, а також швидке абразивне зношення. Одночасно, за малої конусності і товщини голки ґрунт може бути недостатньо проколотий, погано подрібнений та розрихлений.

4.2. Результати експериментальних досліджень з визначення експлуатаційно-технологічних і енергетичних показників голчатої борони

Дослідження з визначення тягового опору проведено на трьох швидкостях 1,9 м/с, 2,77 та 3,05 м/с.

Похибку вимірювання оцінювали перед початком дослідів (при підбиранні і таруванні вимірювальної апаратури) – по граничній похибці, після проведення дослідів – по найбільшій статистичній похибці.

За результатами досліджень встановлено, що збільшення глибини та швидкості обробітку ґрунту призводить до зростання результуючого тягового опору для усіх голок. Відмічено, що експериментальна секція голкової борони задовільно виконує технологічний процес в умовах, що спостерігалися під час проведення досліджень і були типовими для проведення поверхневого обробітку ґрунтів.

Результуюча сила опору експериментальної секції голчатої борони, яка складалася із дисків з голками різними кутами конусності (10° ; 14° ; 18°), на усіх режимах випробувань (швидкостях 1,9-3,05 м/с; глибині оброблення 4-8 см) була меншою за аналог.

В порівнянні із серійною секцією УСМК-5,4 результуючий тяговий опір експериментальної секції був менший для голок з кутом конусності 10° на 30%, а для голок з кутом 14° на 17%. Для голок з кутом конусності 18° значення результуючого тягового опору дорівнює тяговому опору серійної секції з відхиленням $\pm 2\%$.

Встановлено, що із збільшенням глибини обробітку ґрунту інтенсивність зростання сил опору вища на 24% ніж при меншій глибині обробітку ґрунту. При збільшенні середньої швидкості секції від 1,90 м/с до 3,05 м/с зростає результуюча сила тягового опору секції.

Отримано рівняння регресії, що встановлюють значення зусилля опору від таких факторів: кут загострення голки, швидкість та глибина заглиблення голки: $Y = -81,48 + 3,83 \cdot \alpha + 39,84 \cdot h + 4,66 \cdot v - 2,58 \cdot h^2$ ($R^2 = 0,8978$). Глибина заглиблення голки у ґрунт є найбільш вагомим фактором, який впливає на значення сили опору.

Аналіз наведених двовимірних перерізів показує, що із збільшенням швидкості руху та глибини обробітку ґрунту значення результуючої сили опору для серійної і експериментальної секцій зростає. Встановлено, що збільшення

швидкості від 1,9 м/с до 3,05 м/с призводить до зростання результуючої сили тягового опору для секції на глибині 4 см з кутом конусності голки: 10° на 16%, 14° – на 11%, 18° – 6%; на глибині 6см: 10° на 7%, 14° – 7%, 18° – 14%; на глибині 8см: 10° на 5%, 14° – 12%, 18° – 24% відповідно. Збільшення глибини обробітку ґрунту від 4 до 8 см призводить до зростання результуючої сили тягового опору для секції з кутом конусності голки 10° на 33-47%, 14° – 45-47%, 18° – 37-61%. В середньому збільшення швидкості руху призводить до зростання тягового опору на 5-24%, а глибини обробітку ґрунту на 37-61%.

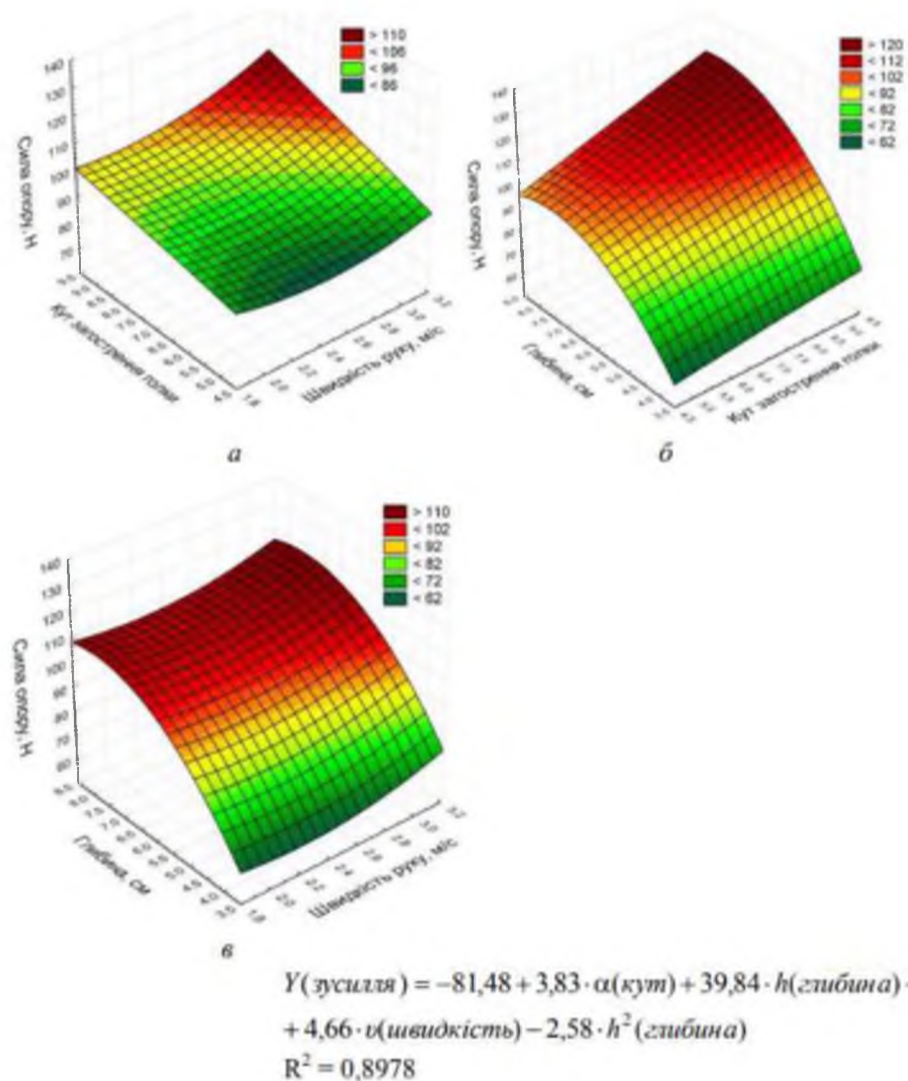


Рисунок 4.4 - Залежність результуючої сили опору експериментальної секції голчатої борони від швидкості руху та кута загострення голки (а); глибини занурення та кута загострення голки (б); глибини занурення та швидкості руху (в)

4.3. Результати досліджень з визначення показників якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту експериментальною секцією голчатої борони

Методика проведення досліджень викладена в п. 3.4.

У відібраних зразках проб визначалися вологість та щільність ґрунту. Результати досліджень з визначення показників якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту (рис. 4.5) експериментальною секцією голкової борони в порівнянні із серійною наведено у таблиці 4.2.



Рисунок 4.5 - Взяття проби ґрунту під час проведення експериментальних досліджень з визначення показників якості виконання технологічного процесу обробітку ґрунту

Відмічено, що експериментальна секція голкової борони задовільно виконує технологічний процес в умовах, що спостерігалися під час проведення досліджень і були типовими для проведення поверхневого обробітку ґрунтів. Підрізання (знищення) бур'янів в зоні обробітку було 98,5%; якість рихлення ґрунту (вміст фракцій розмірами до 25 мм) для голок з кутом конусності 10° становить 88,2%; для голок з кутом конусності 14° становить 90,5%, а для голок з кутом конусності 18° становить 93,5%.

Таблиця 4.2 - Значення вологості та щільності ґрунту

Шар ґрунту	До проходження		Після проходження							
			Склад агрегату				Склад агрегату			
			Секція із голкою 18°		УСМК- 5,4		Секція із голкою 10°		УСМК- 5,4	
Вологість, %	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Щільність, г/см ³	
0-5	14,4	1,28	14,5	0,88	13,9	0,96	15,0	0,98	14,5	1,08
	14,7	1,35	14,8	1,03	13,8	1,10	14,9	1,18	15,0	1,19
	14,3	1,42	14,6	0,98	15,2	1,14	14,5	1,11	14,6	1,14
5-10	19,6	1,34	18,6	1,09	19,3	1,08	18,3	1,04	18,2	1,04
	19,5	1,34	18,4	1,14	19,7	1,17	18,6	1,17	18,4	1,11
	19,0	1,27	19,5	1,11	18,3	1,17	18,0	1,18	18,0	1,14
10-20	20,4	1,25	19,8	1,33	20,1	1,28	20,8	1,33	20,4	1,33
	20,3	1,24	20,1	1,27	20,2	1,33	19,9	1,37	19,2	1,37
	20,4	1,22	20,7	1,34	19,7	1,31	20,0	1,31	19,4	1,14

4.5 Висновки

Проаналізувавши результати досліджень встановлено, що середня щільність ґрунту в шарі 0-5 см для секції з голками 18° склала 0,96 г/см³; секції з голками 10° – 1,09, а УСМК 5,4 відповідно 1,06 г/см³. В шарі ґрунту 5-10 см ці показники відповідно становили: 1,11 г/см³ – для голки з кутом 18°; 1,13 – 10° і 1,10 г/см³ для УСМК 5,4. В шарі 10-20см щільність ґрунту суттєво не змінилася. В порівнянні із початковим станом, середня щільність якого становила 1,35 г/см³, після впливу на ґрунт секції з кутом 18° його щільність зменшилася на 29% в шарі 0-5 см і на 16% в шарі 5-10 см; обробіток ґрунту секцією з голками 10° змінив його щільність на 19% в шарі 0-5см і на 14% в шарі 5-10 см. Застосування серійної секції призвело до зменшення щільності ґрунту на 21% в шарі 0-5см і на 16% в шарі 5-10см.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Удосконалено технологічні процеси поверхневого обробітку ґрунту боронами із змінними голками, кут загострення яких визначається станом оброблюваного середовища. Доведено безпосередній вплив параметрів голчатої борони на експлуатаційні показники використання знаряддя.

2. Теоретичними дослідженнями переміщення дисків борони з голками по ґрунту в поздовжньо-вертикальній площині встановлено характер руху дисків і голок борін, швидкості їх точок, а також траєкторії кінців голок. Встановлено, що центр диска, вісь якого не зв'язана з осями інших дисків, здійснює вертикальні коливання під час руху. Прямолінійний рух центра диска відбувається за умов об'єднання в одному тримачі осей усіх дисків секції, які рухаються разом з ним. Аналітично встановлено, що кут β між напрямком вектора швидкості v_K кінця голки, що опускається, і вертикаллю, тим менший, чим ближчий кінець цієї голки до рівня, що визначається глибиною h_0 обробітку ґрунту.

3. Виявлено, що ефективність роботи борони залежить від ступеня синхронності дії голок дисків секції на ґрунт. Встановлено, що за умов рівномірного руху центрів дисків, осі яких зв'язані між собою, значення кута проколювання ґрунту вдвічі менше за кут повороту диска, за якого голка входить на повну глибину і виходить з ґрунту.

4. В результаті теоретичних досліджень доведено, що плоско-паралельний рух диска борони з голками по ґрунту відбувається під дією горизонтально прикладеної в центрі диска рушійної сили P_d , а заглиблення – вертикально прикладеної сили ваги G . Отримано залежність, що дозволяє визначити силу, необхідну для заглиблення голки у ґрунт, яка зростає із збільшенням кута конусності голки α_k , твердості p ґрунту і коефіцієнта тертя f голки з ґрунтом. Встановлено, що робота, яка витрачається на проколювання ґрунту голками секції, зростає із збільшенням кількості дисків, сили їх тиску на ґрунт, глибини заглиблення голок, а також залежить від радіусів дисків і кута між голками в диску.

5. За результатами експериментальних досліджень отримані рівняння для визначення сили заглиблення плунжера з врахуванням деформації ґрунту за різних значень його конусності та встановлено, що збільшення кута призводить до зростання сили опору, яка діє на ґрунт та одночасно здійснює його руйнування. Найменше зусилля заглиблення конусного плунжера у ґрунт на глибину 30 мм у голк з кутом конусності 10° , а найбільше 18° і становить відповідно 84,37 Н та 125,76 Н.

6. За результатами польових випробувань експериментальної секції голчатої борони встановлено, що її тяговий опір, у порівнянні із серійною секцією УСМК-5,4, був менший для голок з кутом конусності 10° на 30%, а з кутом 14° – на 17%. Для голок з кутом конусності 18° значення тягового опору дорівнює тяговому опору серійної секції з відхиленням $\pm 2\%$. Встановлено, що збільшення швидкості руху агрегату призводить до зростання тягового опору на 5-24%, а глибини обробітку ґрунту на 37-61%.

7. У результаті проведення багатофакторного експерименту отримано рівняння регресії зусилля опору від кута загострення (10° - 18°), швидкості руху секції голчатої борони руху агрегата (2,77-3,05 м/с), глибина заглиблення голки (35-85 мм). Аналіз отриманого рівняння вказує, що із зменшенням глибини входження голок та кута загострення голки сила опору зменшується. При цьому раціональною швидкістю переміщення знаряддя є швидкість у межах 2,4-2,8 м/с.

8. Встановлено, що показники якості виконання розпушування ґрунту голчатою бороною становили: підрізання (знищення) бур'янів в зоні обробітку – 98,5%; вміст фракцій розмірами до 25 мм для голок з кутом 14° – 90,5%, що відповідає агротехнічним вимогам.

9. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень рекомендовані такі значення основних конструктивних параметрів голок: кут конусності $2\alpha_k$ в межах від 10° до 14° ; радіус циліндричної частини голки становить 13-14 мм.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Адамчук В. В. Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарської техніки / В.В. Адамчук, Г. Л. Баранов, О. С. Барановський. – К. : Аграрна наука, 2004. – 396 с.
2. Ветохін В. І. Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту. автореф. дис.на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук. Глеваха. 2010. 40 с.
3. Данильченко М.Г. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки. Навчально-методичний посібник для студентів економічних спеціальностей. М.Г. Данильченко, Б.Б. Гладич, Р.Б. Гевко. – Тернопіль: Економічна думка, 2001.
4. Кваліфікаційна робота магістра [Текст] : методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого (магістерського) рівня освітньо-професійної програми «Агроінженерія» галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство спеціальності 208 Агроінженерія денної та заочної форм навчання / уклад. В.В. Сацюк, Р.В. Кірчук, Л.Ю. Забродоцька. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. – 60 с.
5. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
6. Кравчук В.І., Хайліс Г.А., Шевчук В.В. О качении дисков игольчатой бороны при перемещении по поверхности почвы // Научно-технический журнал Техніка і технологія АПК. – 2011. - № 10.
7. Кравчук, В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин[Текст]: монографія. – К: НАУ, 2005. – 208с.
8. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для Вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 543 с
9. Кушнарєв С.А. Обоснование энергосберегающего технологического процесса

- обработки почвы и параметров упругих рабочих органов для условий южной степной зоны Украины: Дис... канд.техн. наук / ИМЭСХ УААН. – Глеваха, 1998. – 194 с.
10. Машини для технології Strip-till. Агробізнес сьогодні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/9965-mashyny-dlia-tekhnolohii-striptill.html>.
 11. Механізовані польові роботи. Методика розрахунку, норми виробітку та витрати пального на основний обробіток ґрунту / В.В. Вітвіцький, Н.М. Семененко, І.В. Лобастовий та ін.; За ред. В.В. Вітвіцького. – К.: УкрНДСагропром. Кн.4, 1996. – 655с.
 12. Палеха Ю. І. Основи науково-дослідної роботи: [навч. посіб.] / Ю. І. Палеха, Н. О. Леміш. – К. : Видавництво Ліра-К, 2013. – 336 с.
 13. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. – К.: Техника, 1992. – 312с.
 14. Технологія Topsoil-Mapper. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.topsoil-mapper.com/>
 15. Хайліс Г.А. Механіка рослинних матеріалів / Г.А. Хайліс, Ю.В. Федорусь. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2004. – 302 с.
 16. Хайліс Г.А. Механіка рослинних матеріалів / Г.А. Хайліс, Ю.В. Федорусь. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2004. – 302 с.
 17. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. посібник. – Київ: Вид-во УСГА, 1992. – 240 с.
 18. Хайліс Г.А. Основи теорії і розрахунку сільськогосподарських машин: Навч. Посібник. – Київ: вид-во УСГА, 1992. – 240 с.
 19. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навч.посібник. – К.: НМКВО. 1992 – 320с.
 20. Чабан Т.Р. Вдосконалення голчастої борони культиватора // Тези III студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, Луцький НТУ. – 2023 р.– С. 47-49.

21. Шевчук В.В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи голчатої борони : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Львів, 2015. 157 с.
22. Шевчук В.В., Юхимчук С.Ф., Грушецька М.Г. Вдосконалення голчато-дискової борони культиватора // Зб. наук. статей „Сільськогосподарські машини”, Вип.23, м.Луцьк, 2012. С.145-152.
23. Шейченко В.А. Экспериментальные исследования игольчатой бороны /, Г.А. Хайлис, В.В. Шевчук, И.А. Дудников, А.С. Пушка. Saarbrücken, Germany. : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 163 с
24. Юхимчук С.Ф. Методика польового досліджу [Текст]: Конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» галузі знань 13 механічна інженерія спеціальності 133 Галузеве машинобудування денної та заочної форми навчання/ уклад. С.Ф. Юхимчук. – Луцьк: Луцький НТУ, 2019. –104 с.
25. Nevko R., Brukhanskyi R., Flonts I., Synii S., Klendii O. Advances in methods of cleaning root crops. Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II. Transilvania University Press Brasov, Romania. 2018. Vol. 11(60). № 1. PP. 127-138.
26. Krumov I. Varringerug der Verluste bei der Zuckerrubenente. – Akademie Landwirtschaftswissenschaften der DDR Tagungsbericht, 2015. - Bd1. - №229. – s.163-168
27. Thompson J. Sugar Beet harvesting machine. // British Sugar Beet Review.- 2017.- Vol.158.- № 4.- p.59.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

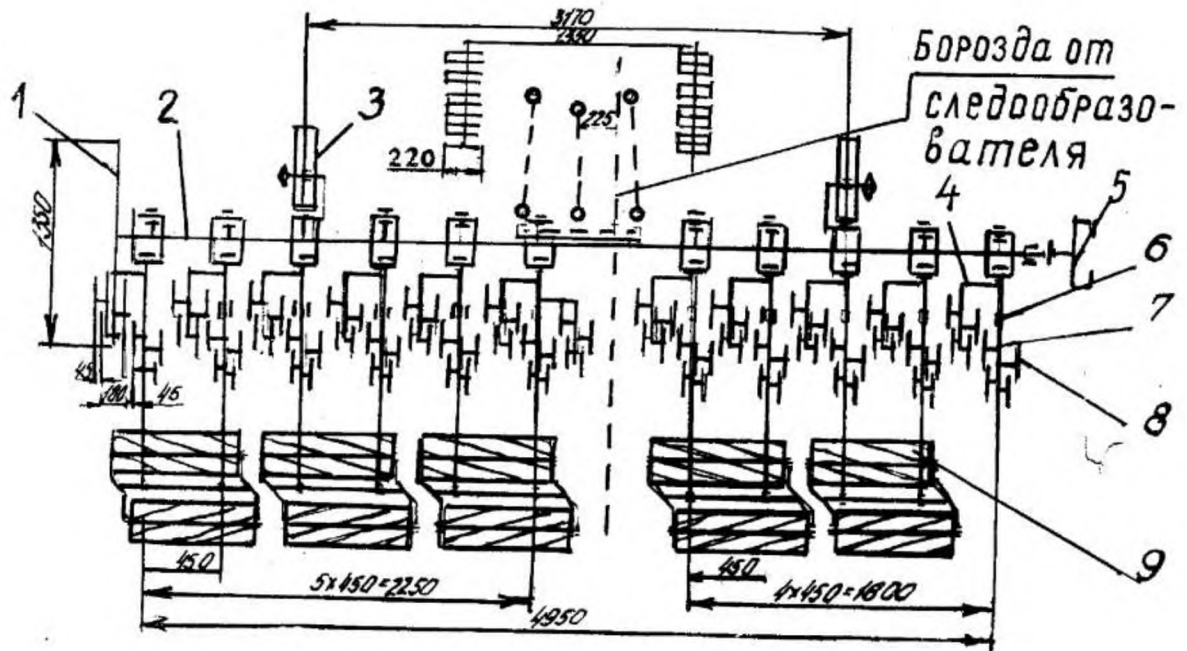


Рисунок А.1 – Досходове суцільне рихлення: 1 – транспортний пристрій; 2 – брус; 3 – колесо; 4 – валик (L=350 мм); 5 – дишло; 6 – держак (центральный); 7 – секція робочих органів; 8 – батарея п'ятидискова; 9 – ротор зі шлейфом

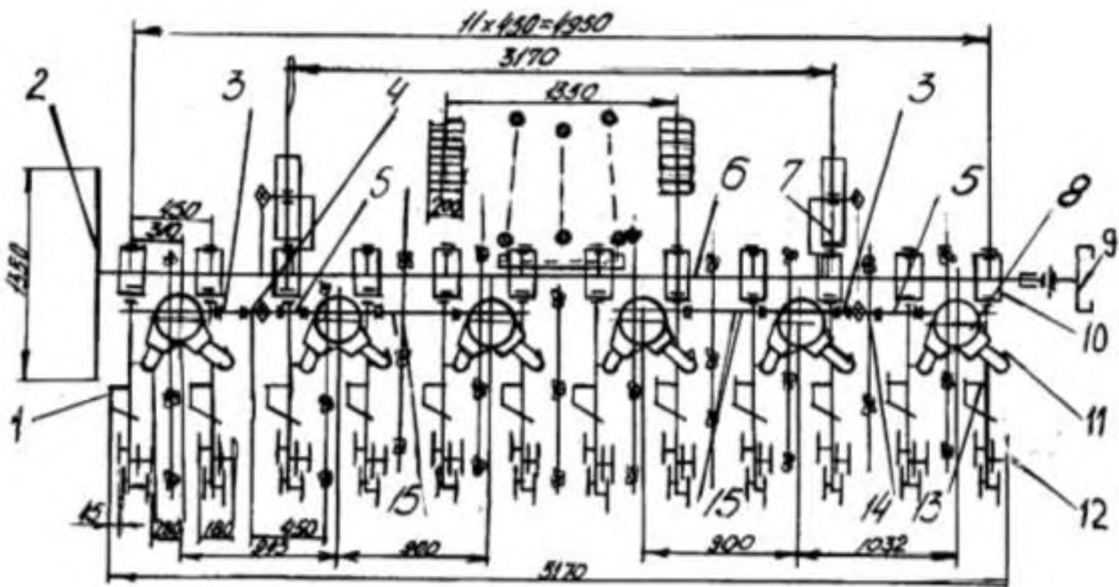


Рисунок А.2 – Підживлення твердими добривами (ширина міжрядь 450 мм): 1 – стійка з лапою (права) захватом 150 мм; 2 - транспортний пристрій; 3 – шарнір (L=135 мм); 4 – вал (L=225 мм); шарнір (L=106мм); 6 - брус; 7 – колесо; 8 – туковисівний апарат; 9 - дишло; 10 – секція робочих органів; 11 – ніж підживлювач; 12 - батарея п'ятидискова; 13 - держак (L=188 мм); 14 – валик (L=135 мм); 15 – шарнір (L=424 мм)

