

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:  
завідувач кафедри

---

«\_\_\_\_\_» листопада 2020 р.

«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА ҐРУНТУ»

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи 6-АІ  
Левицький Вадим Володимирович  
Керівник: к.т.н., доцент  
Швець Людмила Василівна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії і технічного сервісу

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ 2020 р.

ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ  
магістранту \_\_\_\_\_ Левицький Вадим Володимирович \_\_\_\_\_

на тему:

«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА ҐРУНТУ»

Затверджена наказом по університету від 26.02.2020р № 36 м

Вихідні дані для роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План магістерської роботи.
3. Підручники і навчально – методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, патенти) щодо трелювальних засобів та лісового господарства.
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.

### Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи	Обсяг, стор.	Термін підготовки
Реферат	3	травень
Розділ I. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ	22	червень
Розділ II. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА	22	липень
Розділ III ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40	вересень
Розділ IV. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА	19	жовтень
Висновки	2	листопад
Список використаних джерел	8	листопад

Термін подання роботи на кафедру  
для попереднього захисту 20.11.2020р.

Дата видачі завдання 06.05.2020р.

Керівник \_\_\_\_\_ / Л.В. Швець /  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ / В.В. Левицький /  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

Левицький Вадим Володимирович. Обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту. Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 – Агроінженерія.

На сьогоднішній день Україна є однією із найбільших європейських країн-виробників сільськогосподарської продукції. Її унікальний природний потенціал дозволяє стати лідером на європейському ринку торгівлі продукцією сільськогосподарського виробництва. Для досягнення цієї мети необхідно забезпечити не тільки валове виробництво, але й конкурентоспроможність продукції, яка в першу чергу залежить від рівня механізації технологічних процесів виробництва сільськогосподарської продукції, зменшення трудових та енергетичних витрат, підвищення якості технологічних операцій та збільшення врожайності [33].

Нині використовують різноманітні способи обробітку ґрунту, але основним залишається механічний обробіток ґрунту пасивними і активними ґрунтообробними знаряддями. Головною проблемою такого обробітку є зниження енергетичних витрат і покращення якості підготовки ґрунту. Тому виникає потреба в удосконаленні робочих органів і знарядь механічної дії на ґрунт [32, 33, 41].

Намітилась тенденція до використання ротаційних ґрунтообробних знарядь, але на сьогоднішній день існуючі ґрунтообробні знаряддя є конструктивно недосконалими, їх можна агрегатувати із тракторами класу 3 і більше, якість підготовки ґрунту даними знаряддями під посів недостатня, а витрати потужності на обробіток ґрунту дуже великі. Це приводить до різкого зростання собівартості виробництва продукції. З іншого боку господарства агропромислового комплексу недостатньо забезпечені технікою, а наявна у господарствах на сьогоднішній день техніка є фізично і морально застарілою і не може задовольнити сучасних агротехнічних вимог

до якості виконання технологічного процесу поверхневого передпосівного обробітку ґрунту [4] .

**Актуальність теми.** Сучасна аграрна галузь базується на механізованих технологіях, ефективність яких залежить від їх технічної оснащеності, рівня використання та наявності енергозберігаючих елементів.

Найбільш трудомісткими, енерговитратними сільськогосподарськими операціями традиційно вважається обробіток ґрунту [41].

Аграрною наукою та виробничим досвідом доказано, що максимальна якість обробітку ґрунту забезпечується при використанні активних ротаційних ґрунтообробних машин.

Тому, удосконалення технологічного процесу ротаційного обробітку ґрунту, покращення якості та зменшення питомих енерговитрат є основою актуальності теми.

**Мета і задачі досліджень.** Мета роботи – забезпечити необхідну якість та зменшити енерговитрати у процесі поверхневого обробітку ґрунту завдяки використанню ротаційного розпушувача, розробленого на основі розкриття сукупності явищ механічної дії системи його ножів на ґрунт.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасні технології і способи поверхневого обробітку ґрунту та технічні засоби, що використовуються для цього, їх вплив на фізико-механічні властивості ґрунту, з'ясувати недоліки чинних ротаційних робочих органів;

- обґрунтувати конструкцію ротаційного розпушувача ґрунту з комбінованою дією на його структурні агрегати;

- на основі теоретичного дослідження розкрити сукупність явищ комбінованої механічної дії на ґрунт ножів ротаційного розпушувача та визначити його раціональні конструкційні параметри та режими роботи;

- дослідити експериментально вплив фізико-механічних властивостей ґрунтів та конструкційних параметрів ротаційного розпушувача на якість розпушування ґрунту;

- провести порівняльну оцінку роботи ротаційного ґрунтообробного знаряддя і серійних машин за агротехнічними і енергетичними показниками;
- розробити методику технологічного проектування та розрахунку ротаційного розпушувача ґрунту;
- визначити техніко-економічну ефективність застосування ротаційного розпушувача ґрунту та впровадити його у виробництво.

**Об'єкт досліджень** – процес поверхневого обробітку ґрунту та ротаційний розпушувач.

**Предмет досліджень** – вплив характеристик ґрунтового середовища і конструкційно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача на якість поверхневого обробітку ґрунту.

**Методи досліджень.** Для проведення теоретичних досліджень використовувались методи теоретичної механіки та математики. Експериментальні дослідження виконувались у лабораторних та польових умовах відповідно до обґрунтованої методики і галузевих стандартів із використанням теорії планування багатофакторного експерименту, динамометрування, прямих вимірювань. Опрацювання результатів експериментальних досліджень здійснювалось на ПК з використанням розроблених і стандартних програм обробки статистичних даних, регресивного і кореляційного аналізу.

## ЗМІСТ

.....	стор
<b>РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	8
1.1. Аналіз конструкцій ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь .....	8
1.2. Аналіз дослідження ротаційних ґрунтообробних машин .....	24
1.3. Постановка задач досліджень .....	29
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО</b>	
<b>РОЗПУШУВАЧА</b> .....	32
2.1. Обґрунтування конструкції ротаційного розпушувача ґрунту .....	32
2.2. Обґрунтування математичної моделі процесу розпушування ґрунту	34
2.3. Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача.....	37
2.4. Опір різання ґрунту ножом розпушувача.....	52
<b>РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	61
3.1. Програма досліджень .....	61
3.2. Методика експериментальних досліджень .....	63
3.3. Методика польових досліджень .....	70
<b>РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА</b> .....	75
4.1. Результати експериментальних досліджень .....	75
4.2. Результати польових досліджень експериментального ротаційного розпушувача.....	86
4.3. Розрахунок техніко-економічної ефективності використання ротаційного розпушувача ґрунту.....	91
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	95
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	977

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз конструкцій ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь

Ротаційні ґрунтообробні знаряддя застосовуються в діапазоні ґрунтів від сухих твердих до залитих водою рисових чеків. Тому, при розробці цих машин і їх робочих органів, необхідно враховувати, що машини повинні відповідати таким вимогам: забезпечувати необхідну якість обробітку ґрунту; мати високу прохідність, що забезпечувала б роботу на вологих ґрунтах; забезпечувати можливість зміни робочих режимів різання ґрунту так, щоб не відбувалось намотування рослинних решток і залипання робочих органів вологим ґрунтом; залишати поверхню ґрунту після обробітку без борозен і гребенів; мати високу стійкість до зношування, міцність і пристрої, які захищають робочі органи від поломок при зустрічі їх з перешкодами.

У зв'язку з цими вимогами, ротаційні ґрунтообробні машини класифікуються за різними ознаками. Блок – схема класифікації існуючих машин показана на рисунку 1.

За призначенням ротаційні ґрунтообробні машини поділяються на польові, садові, просапні, болотні.

За способом агрегування робочих органів вони поділяються на начіпні і причіпні. Найбільш широке застосування знайшли начіпні машини.

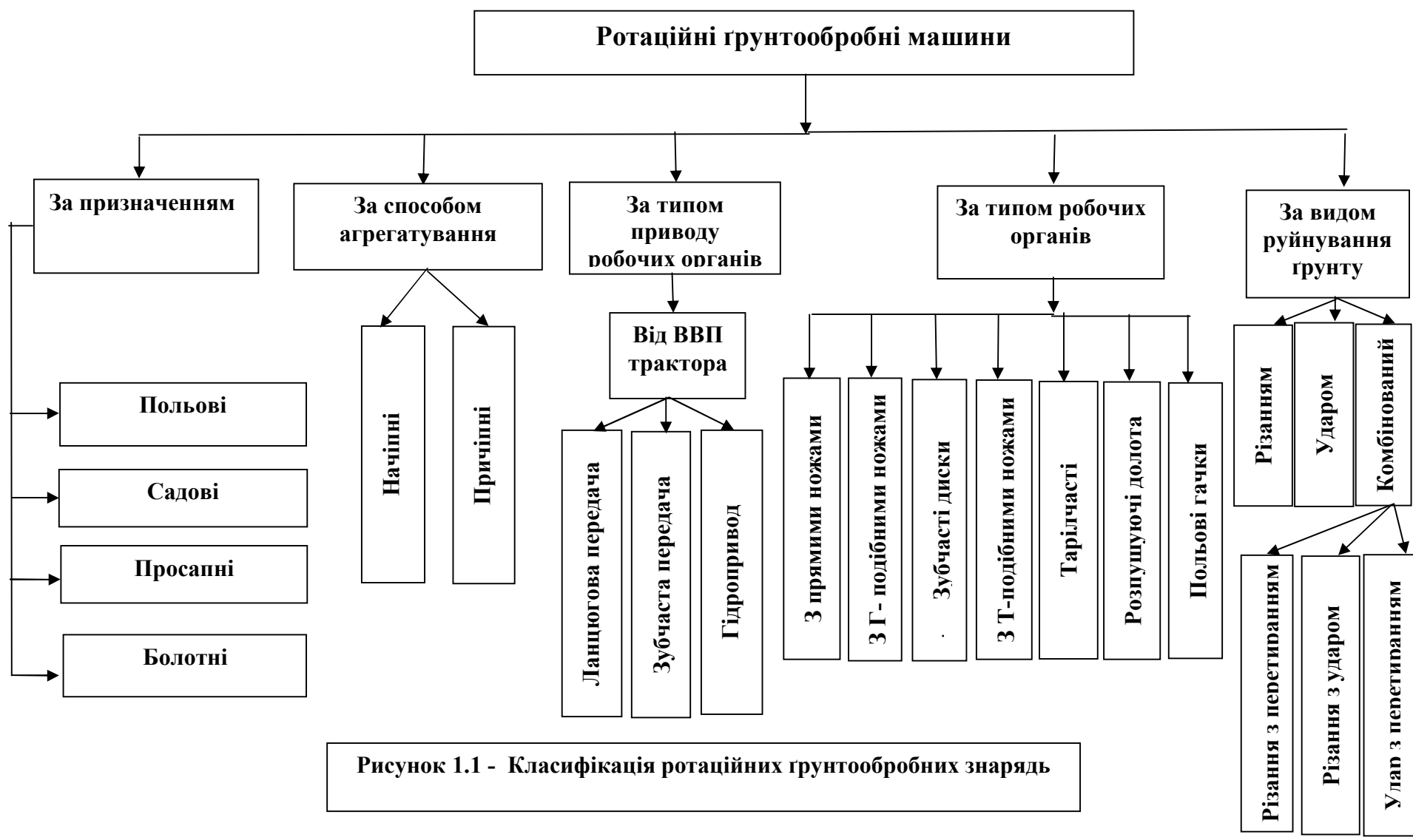
За видами руйнування ґрунту ротаційні робочі органи можна поділити на такі типи: із застосуванням різання; ударної дії; комбінованого способу – різання із перетиранням, різання з ударом, удару з перетиранням.

Ротаційні ґрунтообробні знаряддя за споживаною потужністю можна поділити на:

важкі –  $N > 180$  кВт, агрегуються з тракторами класу 3 – 5 ;

середні –  $N = 60 - 180$  кВт, агрегуються з тракторами класу 1,4 -3;





легкі –  $N = 30 - 60$  кВт, агрегатуються з тракторами класу 0,6 – 1,4;  
особливо легкі –  $N < 30$  кВт, агрегатуються з тракторами класу  $< 0,6$ .

Глибина обробітку ґрунту важкими ротаційними ґрунтообробними знаряддями складає 0,3 м; середніми – до 0,25 м; легкими – до 0,15 м; особливо легкими – до 0,10 м.

Ширина захвату ротаційних ґрунтообробних знарядь змінюється в межах від 0,85 до 9,0 м.

Питома металомісткість ротаційних ґрунтообробних знарядь складає 1425 т/га - 1461 т/га.

Швидкість руху ротаційних знарядь перебуває в межах 0,7 - 3,5 м/с.

Основні технічні характеристики існуючих ґрунтообробних ротаційних знарядь приведені в таблиці додатків А.

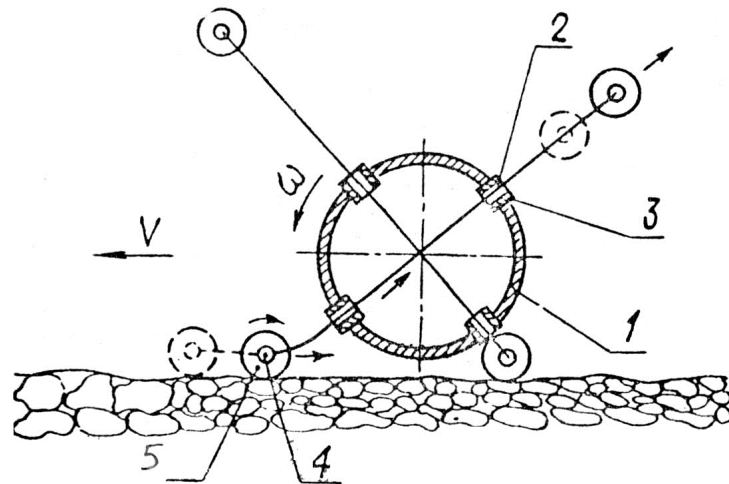
Найкращу якість кришення ґрунту дає комбінований режим обробітку, так як суміщення декількох способів руйнування ґрунту збільшує ступінь його подрібнення.

Застосування одного режиму руйнування ґрунту, наприклад різання, для отримання необхідної якості обробітку ґрунту вимагає створення великої частоти обертання ротора – від  $540 \text{ хв}^{-1}$  до  $1000 \text{ хв}^{-1}$ . Показник кінематичного режиму  $\lambda = 4-8$ . На процес обробітку ґрунту витрачається велика потужність двигуна трактора.

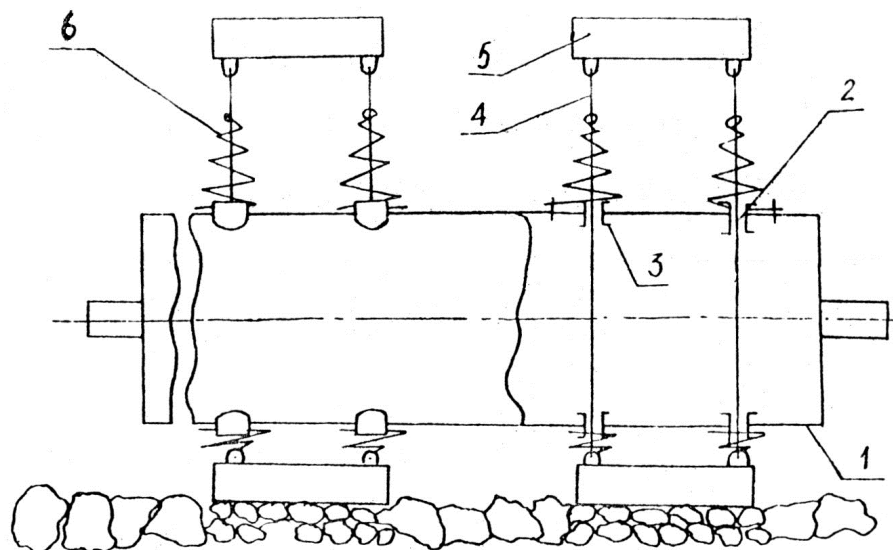
Відомі конструкції ротаційних робочих органів ударної дії (рис.1.2, 1.3). Область застосування цих робочих органів обмежена. Вони рекомендуються для розбивки твердих грудок ґрунту. Основним недоліком цих знарядь є те, що вони сильно ущільнюють поверхню ґрунту і мають низьку надійність роботи.

За розміщенням валів роторів знаряддя бувають з горизонтальними (рис. 1.2, 1.3) і вертикальними валами (рис. 1.4).

Для ротаційних машин з вертикальними валами, за даними досліджень [12], споживана потужність двигуна зменшується на 10 – 15%. Однак, в сучасних конструкціях ротаційних машин в більшості застосовуються робочі органи з горизонтальними валами.



a)



б)

Рис. 1.2. Ротаційні робочі органи ґрунтообробного знаряддя ударної дії:

а) – круглої бочки; б) – прямокутного бруса;

1 – барабан; 2 – 4 – гнучкий тримач; 3 – втулка;

5 – робочий елемент; 6 – гнучкий кільцеподібний елемент.

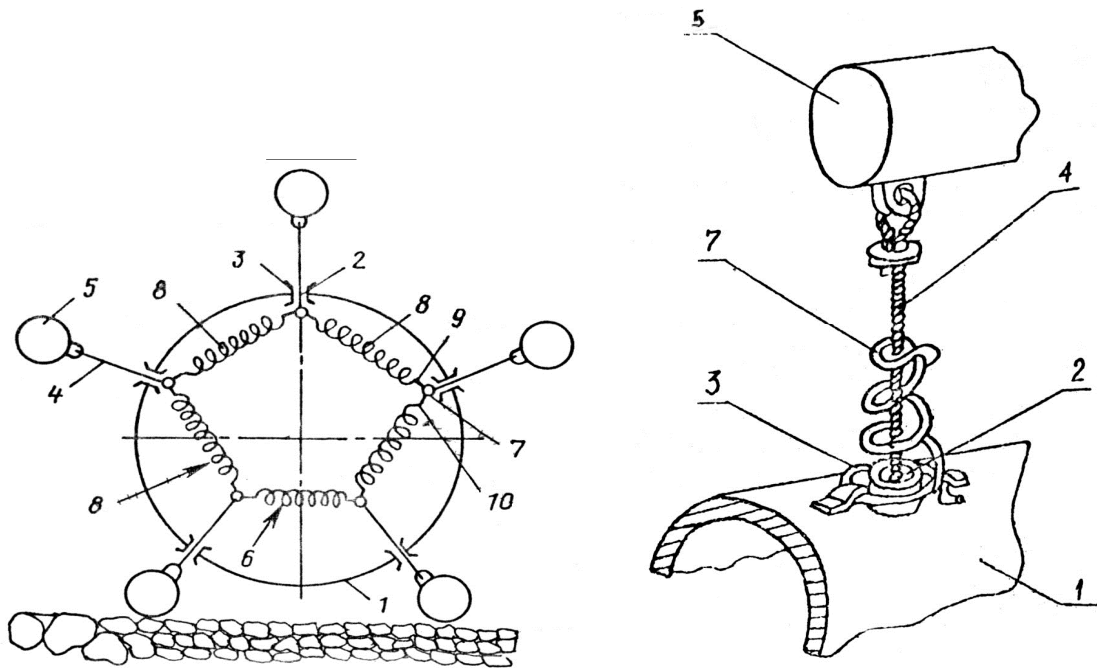


Рис. 1.3. Ротаційні робочі органи ґрунтообробного знаряддя ударної дії:

а) – у вигляді кулі ; б) – у вигляді циліндра;

1 – барабан; 2-4 – гнучкий тримач; 3 – втулка; 5 – робочий елемент; 6 – гнучкий кільцеподібний елемент; 7 – кільце; 8 – пружина; 9-10 – гачок пружини.

Для обробітку ґрунту на глибину до 0,25м застосовують фрези [24, 35]. Фрези при роботі відділяють від основного масиву невеликі стружки ґрунту, які вдаряються у пруткову решітку і кожух, в результаті чого ґрунт інтенсивно розпушується і перемішується.

Болотні фрези застосовуються для розпушування пластів ґрунту після первинної оранки осушених боліт і заболочених земель, покращення лугів і пасовищ, добування торф'яної крошки на добрива.

Польові фрези придатні для обробітку тяжких ґрунтів перед посівом рису, овочевих та інших сільськогосподарських культур.

Садові фрези застосовуються для розпушування ґрунту і знищення бур'янів в міжряддях молодих садів, ягідних і кущових насаджень та лісосмуг.

Просапні фрези застосовують для обробітку міжрядь просапних культур.

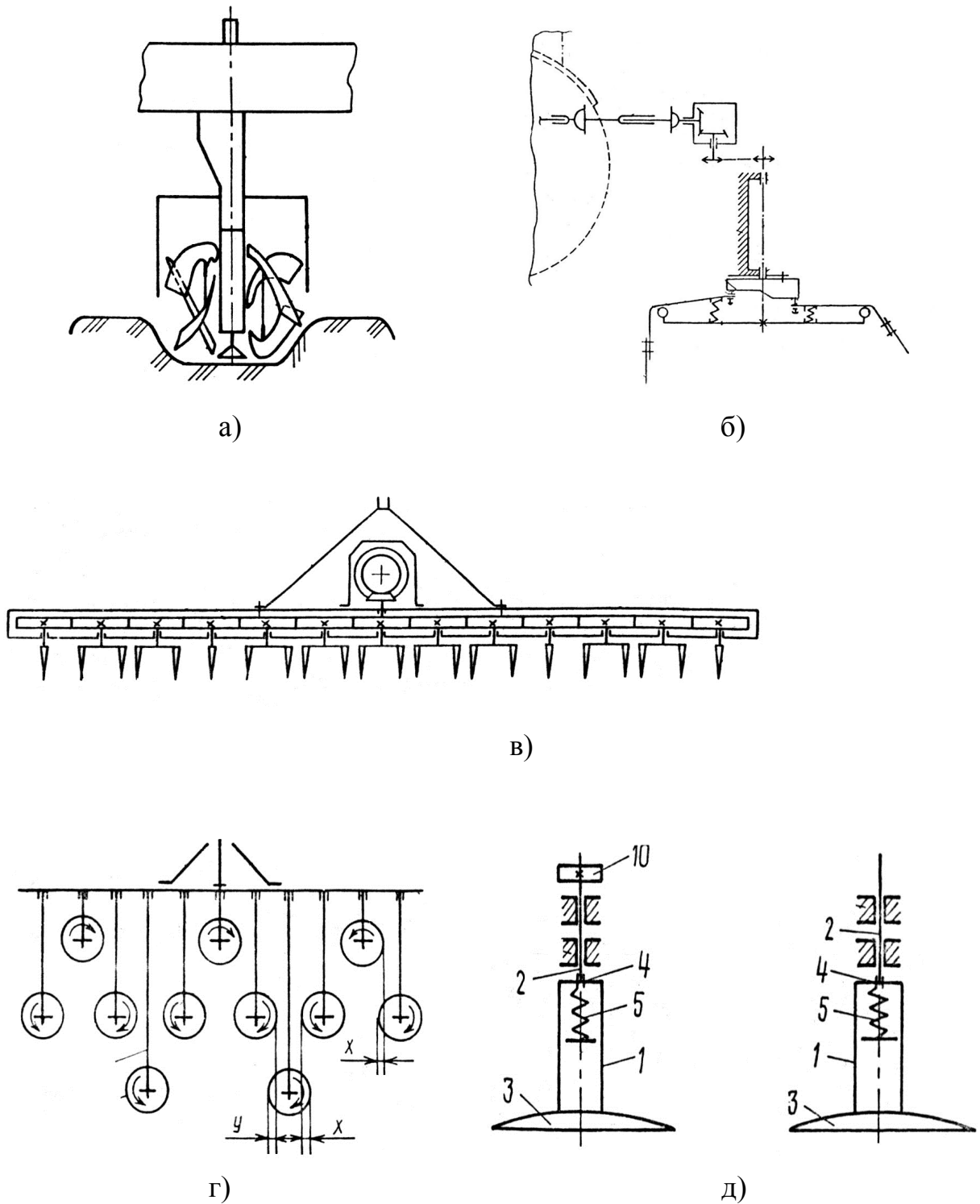


Рис. 1.4. Ротаційні робочі органи ґрунтообробних знарядь

з вертикальними валами:

1 – фреза; 2 – вал; 3 – ніж; 4 – втулка; 5 – пружина; 6 – диск;  
7 – маточина; 8 – тримач; 9 – синхронізатор; 10 – зубчасте колесо.

Робочі органи фрез, як правило, представляють собою барабан, на якому встановлені ножі і рідше гачки та долота. На рис. 1.5 показані основні види ріжучих елементів робочих органів фрез [45].

Робочими органами фрез можуть бути прямі і зігнуті ножі, пружинні гачки, розпушуючі долота.

Прямі ножі (рис. 1.5) застосовують для скарифікації лугової дернини і обробітку нових земель на глибину до 0,15 м.

Прямі ножі можуть встановлюватись на дискові (барабанові), фланці, радіально, або з відхиленнями по ходу, чи проти ходу обертання диска.

Зігнуті ножі (рис. 1.5) застосовують для обробітку болотних і задернілих лугових ґрунтів. Вони підрізають кореневу систему, більш інтенсивно перемішують органічні і мінеральні елементи ґрунту.

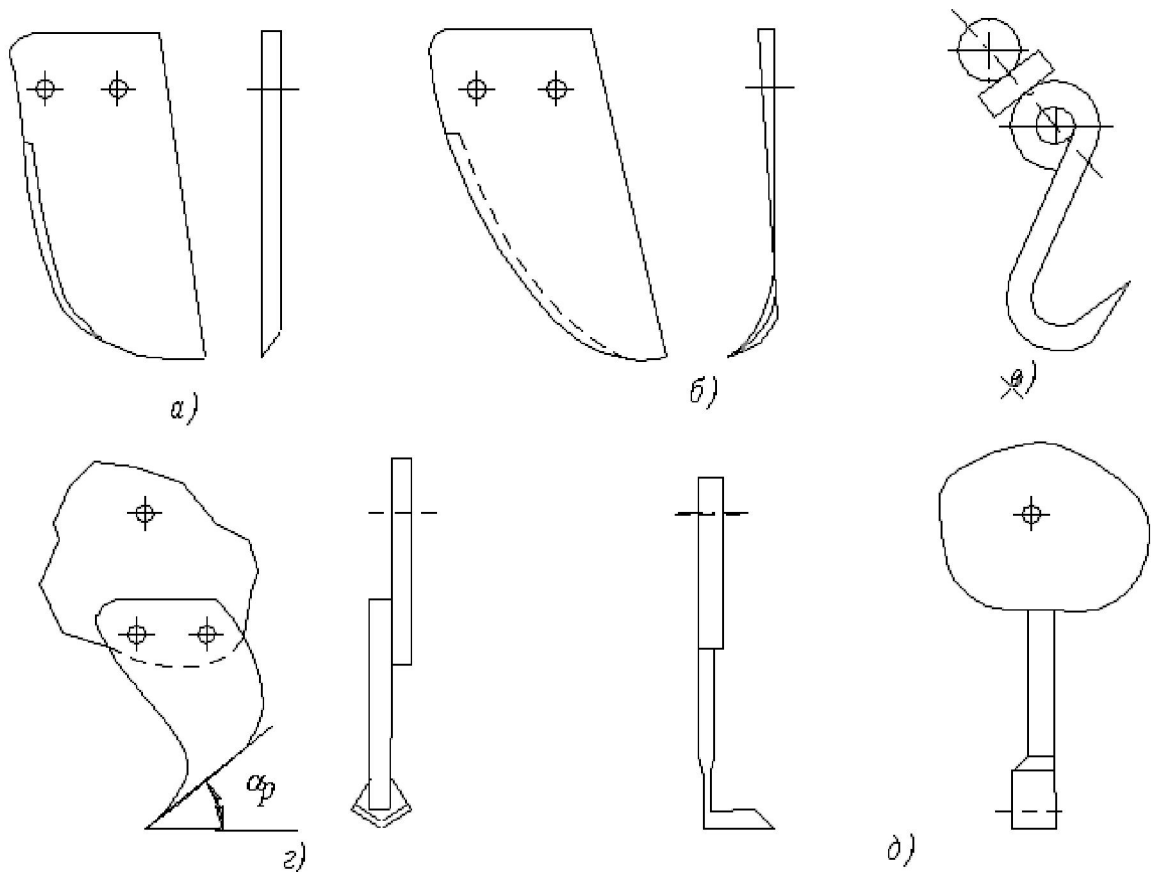


Рис. 1.5. Основні типи ножів робочих органів фрез:

- а) – прямий ніж; б) – зігнутий ніж; в) – пружинний гачок;
- г) – розпушуюче долото; д) – зігнутий ніж проріджувача.

Ширина захвату крила ножа 0,045 – 0,15м. Для різання з ковзанням лезо стійки відхилено від радіуса диска на кут не менше  $30^{\circ}$ , а лезо крила – від напрямку руху на кут не більше  $60^{\circ}$ .

Пружинні гачки (рис.1.5.) застосовують для обробітку ґрунтів з великим вмістом дрібного каміння і коренів рослин, для обробітку твердих ґрунтів вони не придатні.

Розпушуючі долота або польові гачки (рис.1.5.) застосовують для розпушування мінеральних, староорних, вільних від рослинних решток ґрунтів при основному і передпосівному їх обробітках. Вони мають розгорнутий кут кришення  $\alpha_p$  і інтенсивно розпушують ґрунт, на засмічених ґрунтах легко забиваються рослинними рештками.

Ножі проріджувачів (рис.1.5.) призначені для проріджування сходів цукрових буряків вздовж рядків, а також одночасного знищення бур'янів і розпушування ґрунту. Обертаючись в поперечній площині (поперек рядків) або під гострим кутом до них, ножі роблять косі вирізи в рядку. Глибина їх ходу – 0,02 – 0,03 метра.

Висока якість розпушування ґрунту, рівномірне перемішування його з рослинними залишками, а також з органічними і мінеральними добривами свідчить про те, що ротаційні ґрунтообробні машини в принципі можуть замінити систему найпростіших ґрунтообробних знарядь з пасивними робочими органами.

Недоліком фрез є неповна заробка рослинних залишків, велика енергомісткість процесу і мала продуктивність. Вітчизняні болотні фрези мають одношвидкісний редуктор, що обмежує можливість їх використання на ґрунтах різних типів.

Для більш конкретного аналізу розглянемо існуючі конструкції ротаційних культиваторів і фрез.

ґрунтообробне знаряддя (рис. 1.6.) складається із центрального редуктора і закріпленого на його вихідному валу Г-подібних ножів, розміщених з обох сторін редуктора. З метою поліпшення якості роботи,

знаряддя має встановлений з боку центрального редуктора привідний ланцюг з закріпленими на ньому правими і лівими ножами Г-подібного типу [18].

У зв'язку з тим, що для приводу ножів використовується ланцюгова передача, то неможливо застосовувати знаряддя для обробітку тяжких задернелих ґрунтів. До того ж така конструкція ґрунтообробної фрези не забезпечує доброго перемішування ґрунту.

Розпушування ґрунту проводиться методом різання. Це також відноситься до недоліків знаряддя, так як використовується тільки один вид руйнування ґрунту. Г-подібна конструкція ножів забезпечує ударне входження робочих органів в ґрунт. Це приводить до ударних навантажень робочих органів і їх приводу, що зменшує надійність застосування цього знаряддя.

Виходячи із вищесказаного, можна зробити висновок про те, що таке знаряддя можна застосовувати тільки у вузько направлених технологіях обробітку ґрунту і у випадках крайньої необхідності.

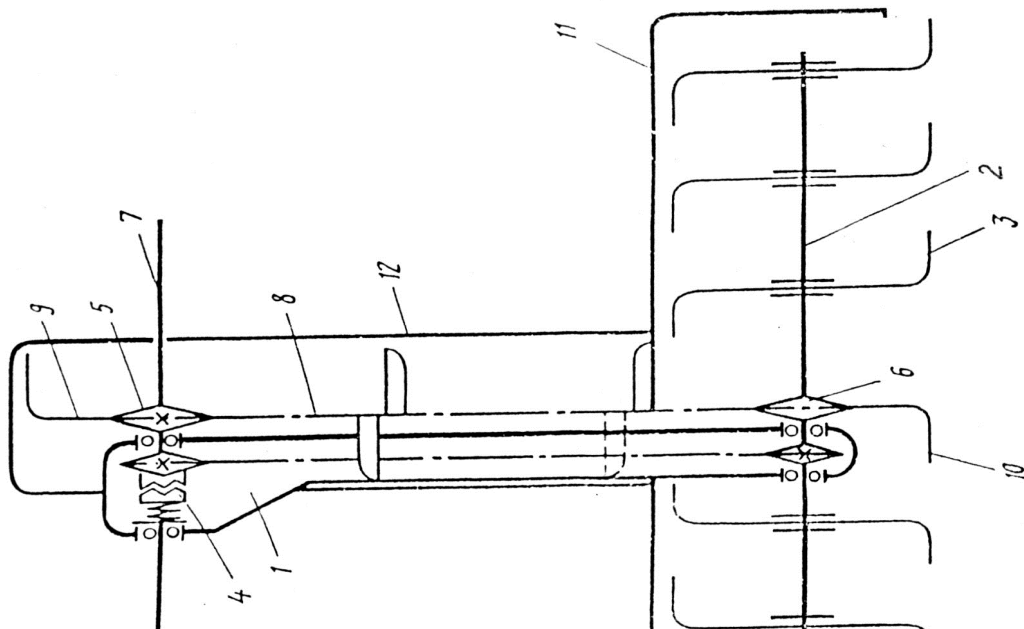


Рис.1.6. Ґрунтообробна фреза:

- 1 – кожух ланцюгової передачі; 2 – вал; 3 – ножі; 4 – муфта;  
 5, 6 – зірочки; 7 – вхідний вал; 8 – привідний ланцюг;  
 9,10 – ножі; 11,12 – кожух.



При роботі фрези (рис. 1.7.) зменшення енерговитрат і покращення якості подрібнення ґрунту відбувається за рахунок збереження кута траєкторії відкидання фрезерним барабаном ґрунту з площиною відбивача близьким до  $90^0$  при різних величинах заглиблення фрезерного барабана.

При зміні висоти кронштейна, підтримуваний ролик відбивач обертається навколо своєї осі. При віддалі від осі обертання ролика до осі обертання барабана і до нижньої точки опорного засобу, рівній  $1,1 \dots 1,3$  радіуса фрезерного барабана, рівному  $0,5 \dots 0,7$  його радіуса, забезпечується кут падіння грудочок ґрунту на відбивач біля  $90^0$  при різних величинах фрезерного барабана [84].

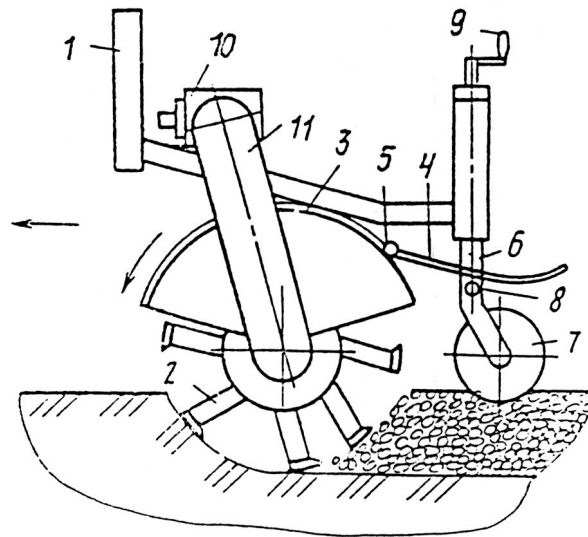


Рис.1.7. Фреза:

- 1 – рама; 2 – фрезерний барабан; 3 – кожух; 4 – відбивач;
- 5 – шарнір; 6 – крон-штейн; 7 – опорне колесо; 8 – ролик;
- 9 – гвинтовий механізм; 10 – редуктор; 11 – бортова передача.

Відмінною рисою фрези є те, що при зміні величини заглиблення фрезерного барабана, відрізаний ним ґрунт відкидається і вдаряється в поверхню відбивача під кутом  $\alpha$ , близьким до  $90^0$ . Такий кут падіння забезпечує повноту використання енергії удару ґрунту на його подрібнення і одночасно виключається можливість затаскування грудок ґрунту фрезерним барабаном під кожух.

Як бачимо, в даному випадку використовується комбінований спосіб подрібнення ґрунту: різання і удар. Однак, зменшення енерговитрат при використанні даної ґрунтообробної фрези незначне, так як багато енергії іде на відрізання і надання необхідної швидкості грудочкам ґрунту для їх найкращого розбивання відбивачем. Недоліком цієї фрези є також складність конструкції, так як подрібнення ґрунту здійснюється двома видами робочих органів: ножами фрезерного барабана і відбивачем. Тому дана ґрунтообробна фреза не може бути широко задіяна для обробітку ґрунту.

Автори ґрунтообробного знаряддя (рис.1.8.) пропонують знаряддя, мета використання якого – поліпшення якості обробітку ґрунту на схилах по всій довжині гона і зменшення злипання пластин.

При русі фрезерного барабана поперек схилу підняті ножами грудки ґрунту рухаються в просторі, обмеженому поверхнею кожуха зверху, пластинами з боків і поверхнею ґрунту знизу, що повністю виключає можливість зміщення ґрунту в сторону від лінії дії ножів. При ударах оброблюваного ґрунту по пластинах вони коливаються, що виключає можливість їх злипання. Упори встановлені на пластинах обмежують коливання задньої частини останніх і виключають удари по ножах [90] .

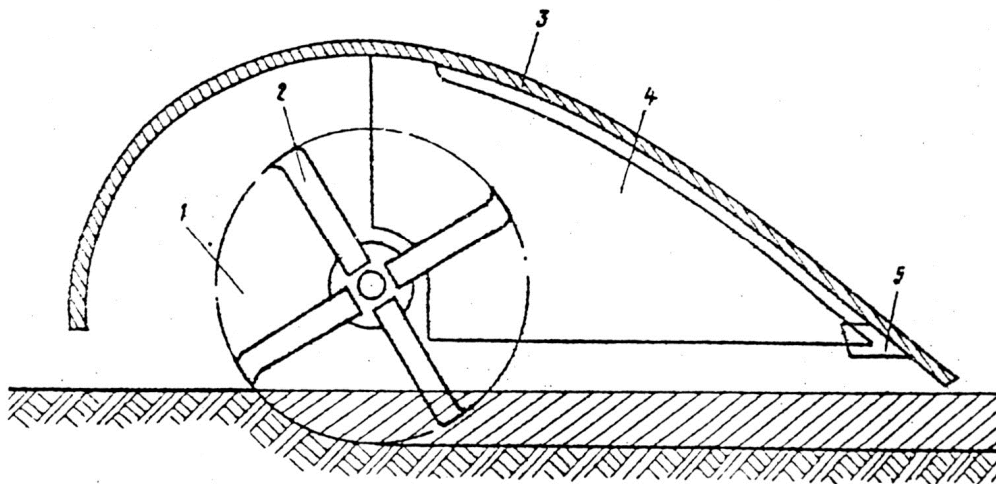


Рис.1.8. Ґрунтообробне знаряддя:

- 1 – фрезерний барабан; 2 – ніж; 3 – захисний кожух;
- 4 – пластина; 5 – упор.

При впровадженні цього знаряддя для обробітку ґрунту не вирішується проблема енергозберігаючих технологій. Тому його доцільно застосовувати тільки на схилах, де чітко виражений факт водної ерозії ґрунту. В іншому випадку застосування ґрунтообробного знаряддя буде економічно невиправдане. В той же час знаряддя призначене виключно для певного типу ґрунтів і застосування його для інших ґрунтів недоцільне.

Білоруський НДІ лісового господарства пропонує фрезерне ґрунтообробне знаряддя, яке може використовуватись переважно в лісовому господарстві (рис. 1.9.), застосування якого підвищує якість фрезерування ґрунту на нерозкорчованих вирубках [28].

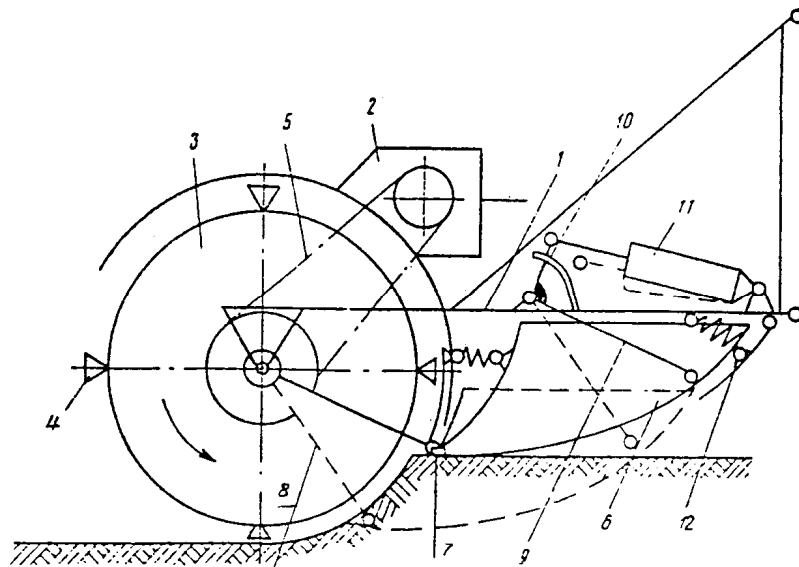


Рис.1.9. Фрезерне ґрунтообробне знаряддя конструкція Білоруського НДІ лісового господарства:

1 – рама; 2 – редуктор; 3 – фрезерний барабан; 4 – робочі органи; 5 – привод; 6 – відбійна плита; 7 – протиріжучий ніж; 8 – поводок; 9 – додатковий поводок; 10 – кронштейн; 11 – гідроциліндр; 12 – козирок.

Фрезерний барабан при русі знаряддя робочими органами фрезерує ґрунт на задану глибину обробітку, яка встановлюється гідроциліндром.

Перевагами даного ґрунтообробного знаряддя є: забезпечення рівномірної глибини обробітку ґрунту і оптимального режиму фрезерування.

До недоліків даного ґрунтообробного знаряддя відносяться: великі затрати енергії при різанні деревини і пнів, складність і матеріаломісткість конструкції.

Машина розроблена спеціально для фрезерування ґрунту на нерозкорчованих вирубках і не може бути використана для звичайного поверхневого або передпосівного обробітку ґрунту в польових умовах України.

Ротаційний робочий орган ґрунтообробного знаряддя (рис. 1.10), розроблений в Білоруському інституті механізації, дозволяє підвищити якість розпушування поверхневого шару ґрунту. Цей робочий орган має вал з гідромотором. На валу жорстко закріплені, встановлені з нахилом до поздовжньої і поперечної пластин, що проходять через вісь обертання, зубчасті диски, які мають форму еліпса. Довжина зубів в площині еліпса є неоднаковою, а розміщені симетрично відносно, наприклад, великої осі еліпса, вони мають рівну довжину для забезпечення рівномірного розпушування ґрунту по всій ширині захвату, що покращує якість підготовки ґрунту під посів. Зуби відхилені в напрямку обертання під гострим кутом  $\varphi$  до осей еліпса для заробки рослинних залишків, забезпечують часткове обертання пласта ґрунту, що підвищує якість обробітку ґрунту [11].

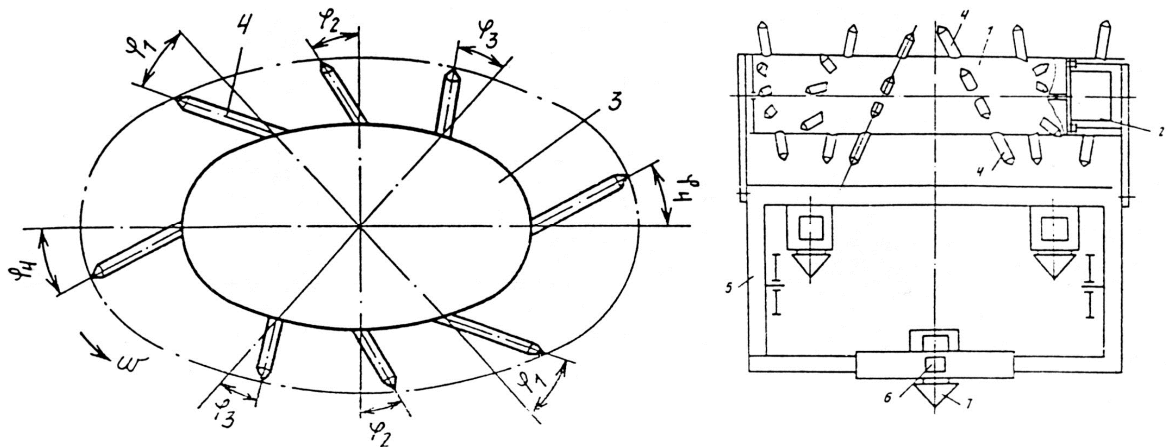


Рис. 1.10. Схема ротаційного робочого органа ґрунтообробного знаряддя:

- 1 – вал; 2 – гідромотор; 3 – зубчасті диски; 4 – зуби; 5 – рама;  
6 – чизельна стійка; 7 – лапи.

Зубчасті диски розміщені на валу з кутовим кроком, рівним  $\pi/n$  -  $де n$  – кількість зубчастих дисків, що забезпечують рівномірність крутного моменту, найменший опір і прямолінійність руху знаряддя.

При русі знаряддя по полю стрілочасті лапи глибоко розпушують ґрунт, а зуби рівномірно кришать поверхневий шар ґрунту. Розміщення зубів під кутом до напрямку обертання підвищує ступінь заробки рослинних залишків, виключає забивання зубів, сприяє частковому обертанню пласта ґрунту.

Застосування стрілочастих лап разом із активними робочими органами зменшує енергомісткість процесу, хоча одночасно збільшується матеріаломісткість і ускладнюється конструкція знаряддя. Аналізуючи процес обробітку ґрунту даним знаряддям, ми бачимо, що активні робочі органи виконують розпушування ґрунту з допомогою одного виду його руйнування – різання. Це можна віднести до недоліків знаряддя, так як існують альтернативні рішення цього питання, а саме – створення знарядь, які тільки б з допомогою ротаційних органів виконували б зразу декілька видів руйнування ґрунту, наприклад, різання і перетирання.

Запропонована нижче ґрунтообробна фреза (рис. 1.11) покращує якість подрібнення ґрунту, завдяки тому, що решітка виконана у вигляді ножів, розміщених в два ряди і повернених лезами в сторону фрезерного барабана, при цьому ножі першого ряду розміщені між секціями робочих органів, а ножі другого ряду – між ножами першого.

Фреза складається із рами з закріпленим на ній фрезерним барабаном, що складається із секції робочих органів. За фрезерним барабаном встановлена решітка, виконана у вигляді ножів, встановлених в два ряди. Ножі першого ряду розміщені між секціями робочих органів, а ножі другого ряду – між секціями першого. Кількість ножів другого ряду встановлюється залежно від необхідної якості кришення ґрунту.

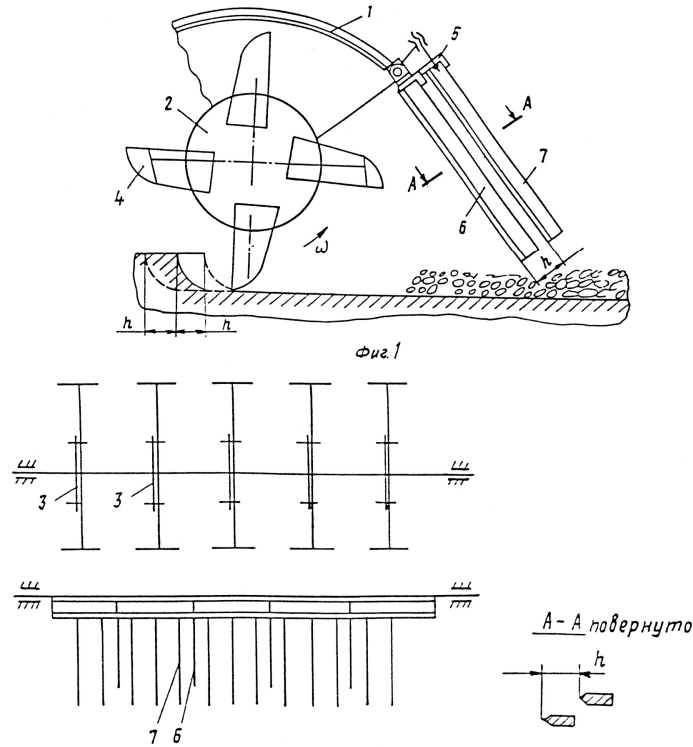


Рис. 1.11. Грунтообробна фреза

1 – рама; 2 – барабан; 3 – секції; 4 – робочі органи; 5 – решітка;  
6, 7 – ножі.

Наявність решітки забезпечує більш ефективне подрібнення ґрунту за рахунок кінетичної енергії потоку ґрунту, що відкидається робочими органами.

Перевагою даного знаряддя є те, що при обробі ґрунту використовується два способи його руйнування – різання і удар. Негативним фактором застосування даного знаряддя є те, що використовується також два типи робочих органів, що знову таки збільшує матеріаломісткість конструкції і вартість знаряддя. Процес фрезерування цим знаряддям є енергомістким, так як для досягнення необхідної якості обробки ґрунту, обороти фрези повинні бути більшими, а робоча швидкість агрегату не перевищує 6 км/год [9].

Більш широке застосування в сільському господарстві мають культиватори ротаційні (КРК–2,7; КРК–9), культиватори фрезерні (ФПУ–4,2; ФБН–2; КФК– 1,4С; КФК–2,8С; КВФ–2,8; КФ–2,7; КФ–6,1К; ФМН–0,9; ФМН–1,2) вітчизняного виробництва.

До класу тяжких ротаційних культиваторів відноситься знаряддя КРК–9. Культиватор ротаційний комбінований КРК–9 причіпний, агрегатується з тракторами класу 3 і призначений для суцільного передпосівного обробітку ґрунту після оранки під посів зернових і технічних культур. Питома металомісткість і енергомісткість машини відповідно 461,5 кг·год/га і 20,3 кВт·год/га. Глибина обробітку ґрунту до 0,15 м.

Ротаційний культиватор КРК–2,7 можна віднести до класу легких знарядь. Він агрегатується з тракторами класу 1,4. питома металомісткість і енергомісткість машини відповідно 618 кг·год/га і 40,0 кВт·год/га. До особливо легких ротаційних ґрунтообробних знарядь відносяться моделі фрез ФМН–0,9 і ФМН–1,2. Питома металомісткість і енергомісткість машин відповідно складає 1800–1571,4 кг·год/га і 120–85,7 кВт·год/га. Вони призначені для суцільного розпушування ґрунту на глибину 0,18 м, знищення бур'янів, подрібнення рослинних залишків, заробки добрив і вирівнювання поверхні поля

Для розробки староорних ґрунтів, задернелих пластів і груд після оранки, обробітку ґрунту замість переорювання зябу рекомендуються тяжкі ротаційні борони і тяжкі ротаційні культиватори. Глибина обробітку ґрунту від 0,2 до 0,3 м. Агрегатуються такі ґрунтообробні знаряддя з тракторами класу 3 – 5.

Із зарубіжних тяжких ротаційних ґрунтообробних знарядь відомі такі: СР45, СР50 (виробник: Делаплас Музон), серії „Magnum”- 3000/12, 4500/18, 5000Р (виробник: КРМ, К- 070); SKE- 60 ( виробник: Rabewerk, Р-111); КG - 602 (виробник: Атасонен-Орке, А-006); G350,G400 (виробник: Магго, М-089) (табл. додатків Б.2).

В цих машинах використовуються Г-подібні і прямі ножі. Кришення ґрунту проходить при частоті обертання ротора 540–1000 хв<sup>-1</sup> і в режимі різання ріжучими робочими елементами. Питома металомісткість і енергомісткість тяжких ротаційних знарядь відповідно складають 477,4 – 1057,1 кг · год/ га і 43,7 – 102,8 кВт · год/ га.

Середні ротаційні ґрунтообробні знаряддя зарубіжного виробництва (табл. додатків Б.3) агрегуються з тракторами класу 1,4 – 2,0. Застосовуються для обробітку ґрунту на глибину 0,16 – 0,3 м, робоча швидкість руху цих знарядь складає 3,6км/год. Питома металомісткість і енергомісткість відповідно рівні 932 – 1774,2кг·год/ га і 61,25 – 130,7 кВт·год/ га. Кришення ґрунту проводиться в режимі різання ножами, що встановлені на роторі.

Легкі і особливо легкі зарубіжні ротаційні ґрунтообробні знаряддя агрегуються з тракторами класу менше 1,4. Глибина обробітку ґрунту 0,1 – 0,22м. Вони застосовуються для поверхневого обробітку ґрунту в невеликих господарствах, (табл. додатків Б.4). Питома металомісткість і енергомісткість відповідно складають: 370–2000кг·год/га і 27,2–61,2 кВт·год /га. Основні недоліки даного типу знарядь такі: мала глибина обробітку ґрунту (0,02–0,06 м), неможливість роботи на тяжких ґрунтах.

Схеми інших відомих конструкцій і процес роботи ротаційних розпушувачів ґрунту приведені у додатку В. Запропоновані робочі органи покращують якість обробітку ґрунту за рахунок підвищення рівномірності розпушування. Але складність конструкції робочих органів звужує область їх застосування і значно підвищує енергомісткість процесу при зменшенні продуктивності агрегату.

Аналіз конструкцій ротаційних робочих органів ґрунтообробних машин дає можливість визначити їх недоліки і намітити шляхи створення нових конструкцій ротаційних робочих органів: спрощення конструкції, покращення якості обробітку, значне зменшення енергомісткості технологічного процесу обробітку ґрунту.

## 1.2. Аналіз дослідження ротаційних ґрунтообробних машин

Питаннями дослідження роботоздатності ротаційних ґрунтообробних машин займались багато вчених. Завдяки роботам таких вчених як Панов І.М., Босой Є.С., Сакун В.О, Коновал А.І., Кацігін В.В., Деграф Г.А.,



Юзбашев В.А., Коккоз В.А., Павлинов А.І., Кузнецов Ю.А., Андреев В.І., Ісраділев Н.А., Яцук Є.П., Герук С.М., Попов І.М., Єфімов Д.М., Далін А.Д., Павлов П.В., і ін. [3, 12, 25, 34] були вирішені задачі оптимізації параметрів фрезерних і ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь і машин, режимів їх роботи і енергомісткості процесів.

Є.С.Босой [12] рекомендує визначати основні параметри фрези таким чином:

- діаметр фрези  $D_\phi = (2,5 - 3,5) a$ , (де  $a$  – глибина обробітку, м);
- число ножів  $Z$ , що закріплені на одному диску зв'язано з подачею  $S$ , тобто залежить від швидкості руху агрегату. Для фрез, що мають робочу швидкість 3 – 5 км/год приймають число ножів рівним 4, 6, 8;
- від подачі  $S$  залежить ступінь подрібнення ґрунту: для задернілих ґрунтів  $S = 40 - 80$  мм, для староорних ґрунтів  $S = 100 - 150$  мм;
- частота обертання фрези рівна:

$$n = \frac{V_\phi}{\pi \cdot D_\phi} = \frac{2V}{S \cdot Z}, \quad (1.1)$$

де  $V_\phi$  – колова швидкість обертання фрези, м/с;

$V$  – швидкість агрегату, м/с;

$l$  – віддаль між сусідніми дисками рівна:  $l = 100 \dots 200$  мм.

Основним показником роботи фрези є показник кінематичного режиму  $\lambda$  [10]:

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot R}{S \cdot Z}, \quad (1.2)$$

де  $R$  – радіус фрези, м.

При кількості ножів на диску фрези  $Z = 3-8$  показник кінематичного режиму рівний 2–6 при обробітку староорних ґрунтів, і 4–16 – при обробітку зв'язаних задернілих ґрунтів.

За даними Мера І.І. діаметр фрези  $D_\phi = (1,4 - 2,0) \cdot a$ , колова швидкість фрези меліоративної машини залежить від необхідного ступеня подрібнення. За експериментальними даними для формування частинок ґрунту від 0,001-

0,01 м і ділянок ґрунту без деревини –  $V_k = 8 - 10$  м/с. Збільшення колової швидкості  $V_k$  приводить до збільшення потужності приводу.

Розмір стружки також залежить від необхідного ступеня подрібнення:

$$\delta_{\text{н\delta}} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot V_e^{-a} \cdot a_{cp}^{-1}, \quad (1.3)$$

де  $a_1$  і  $a_2$  – коефіцієнти, що залежать від породи, фізико-механічних властивостей деревини і режиму фрезерування;

$a_3$  – коефіцієнт, що враховує напрямок обертання фрези,  $a_3 = 1$  і  $1,7 - 2,1$ , відповідно для прямого і зворотного обертання фрези;

$a_{cp}$  – розмір кусків подрібненої деревини,  $a_{cp} \leq 0,1$  м.

Робоча швидкість переміщення [37] для всіх типів ротаційних робочих органів, м/год:

$$V_p = \frac{\dot{I} \cdot \dot{\phi}}{S}, \quad (1.4)$$

де  $\dot{I} \cdot \dot{\phi}$  – технічна продуктивність, м<sup>3</sup>/год;

$S$  – площа поперечного перерізу ґрунту, що розробляється робочим органом за один прохід, м<sup>2</sup>.

Відношення глибини обробітку  $a$  до радіуса фрези  $R$  рекомендується вибирати рівним:  $m = \frac{a}{R} = 0,7 - 0,8$  [60].

Найбільша товщина стружки при фрезеруванні складає:

$$\delta_{\text{max}} = S_z \cdot \sqrt{2m - m^2}, \quad (1.5)$$

де  $S_z$  – подача на ніж, м.

Сакун В.А. [16] пропонує витрату енергії на обробіток ґрунту оцінювати за питомою енергомісткістю процесу, тобто за роботою, яка витрачається на одиницю її об'єму. Як бачимо із графіків (рис.1.12), питома робота зростає із зменшенням подачі на ніж і збільшенням поступової швидкості, тому робочі швидкості фрез відносно невеликі – 1,1–1,4 м/с. Витрати енергії на фрезерування ґрунту в декілька раз більші, ніж її витрати на обробіток плугом.

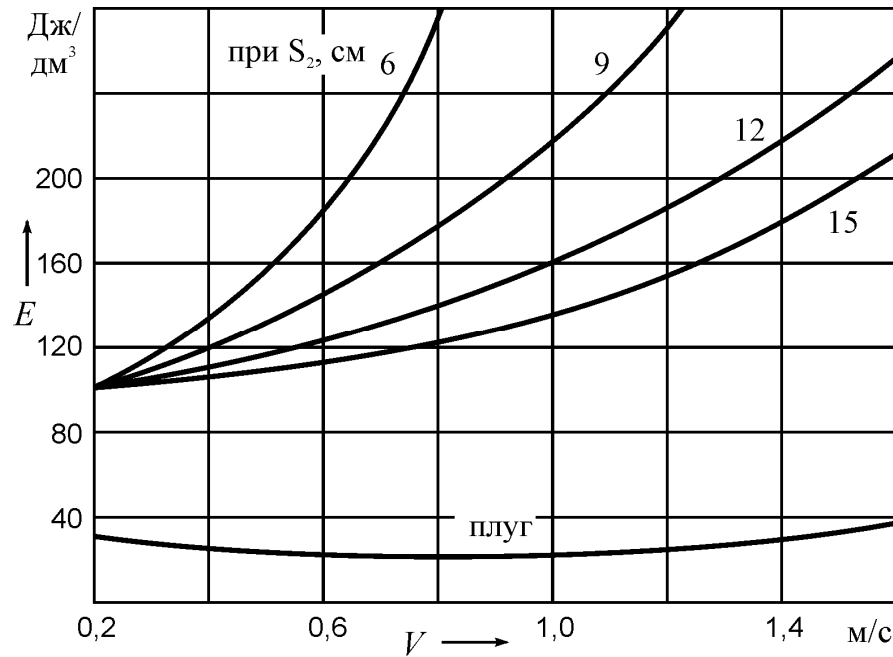


Рис. 1.12. Зміна питомої роботи, яка витрачається на обробіток ґрунту плугом (при  $a = 0,2$  м) і фрезою при різних подачах ножа залежно від швидкості руху знаряддя.

А.І.Коновал [34] поставив завдання: знайти технічне рішення, яке дозволило б зменшити витрати енергії на фрезерування ґрунту, зменшити витрату енергії на його відкидання. Він запропонував формулу, яка визначає енергію на відкидання ґрунту:

$$W = \frac{\hat{A} \cdot h \cdot \gamma \cdot v_i \cdot v_A}{2 \cdot g}, \quad (1.6)$$

де  $B$  – ширина захвата знаряддя, м;

$h$  – глибина фрезерування, м;

$\gamma$  – об'ємна маса ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

$v_m$  – поступальна швидкість фрези, м/с;

$v_A$  – абсолютна швидкість ґрунту в момент відриву його від площини ножа, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Із формули [1.6] можна зробити висновки, що при заданій поступальній швидкості фрези, ширині і глибині фрезерування, щільності ґрунту, енергію на відкидання частинок ґрунту можна зменшити, якщо зменшити швидкість

протікання цього процесу. Тобто, формула може застосовуватись для розрахунку енергомісткості обробітку ґрунту розроблюваного розпушувача.

А.І.Коновал, щоб знайти швидкість відкидання частинок ґрунту, провів дослідження, які дозволили встановити аналітичні залежності між швидкістю відкидання частинок ґрунту і параметрами робочих органів:

$$v_{\dot{a}} = \sqrt{v_{\dot{r}}^2 + v_{\dot{a}}^2}, \quad (1.7)$$

горизонтальна складова:

$$v_r = v_i - \omega \cdot R \cdot \sin(\omega t - \alpha) - v_0 \cos(\omega t + \gamma) + \omega \Delta \sin(\omega t + \gamma), \quad (1.8)$$

вертикальна складова:

$$v_a = v_0 \sin(\omega t + \gamma) + \omega \Delta \cos(\omega t + \gamma) - \omega R \cos(\omega t - \alpha), \quad (1.9)$$

де  $\omega$  – частота обертання ножа,  $c^{-1}$ ;

$R$  – радіус фрезерного барабана, м;

$t$  – час руху ножа від горизонтальної осі, проведеної через миттєвий центр обертання фрезерного барабана, до моменту відриву частинки ґрунту від його площини, с;

$\alpha$  – кут між радіусами, проведеними із центра фрезерного барабана до ріжучої кромки ножа і його спинки, град.;

$\gamma$  – кут встановлення ножа, рад.

Як бачимо, вирази (1.7)-(1.9) дозволяють встановити залежність енергії на відкидання ґрунту фрезою від параметрів і режиму її роботи. Таким чином, щоб зменшити витрати енергії на відкидання потрібно зменшити діаметр і частоту обертання фрезерного барабана, кут встановлення ножів і збільшити поступальну швидкість агрегату. Максимальна ефективність досягається при зменшенні ширини ножа.

Дослідження були проведені на макетному зразкові 6-рядної комбінованої машини з шириною захвату 4,2м, що агрегатується з трактором Т-150К. Машина виготовлена на базі культиватора КФГ-3,6 і сівалки СУПН-8. Комбінована машина виконувала глибоке розпушування ґрунту в міжряддях, смугове фрезерування в зоні рядків на глибину заробки насіння, укладання їх на тверде ложе, присипання і прикочування.

У своїх дослідженнях А.І. Коновал розглядає питання зменшення енерговитрат процесу фрезерування за рахунок зміни конструкції робочого органа і застосування фрези в комбінованій машині. Необхідно враховувати те, що новий робочий орган проводить тільки один вид розпушування ґрунту – різання. Хоч, як показують дослідження, при використанні такого робочого органа в комбінованій машині цього достатньо для того, щоб виконувались агротехнічні вимоги, що висуваються до передпосівного обробітку ґрунту. Також необхідно відмітити, що зменшення енерговитрат на процес фрезерування є ще і результатом зміни режиму роботи ротаційного знаряддя, а саме – зменшення частоти обертання фрезерного барабана завдяки новій конструкції робочих органів і збільшенні робочої швидкості агрегату, що є новим в теорії і дослідженнях ротаційних робочих органів. Тобто робиться спроба зменшення коефіцієнта кінематичного режиму  $\lambda$  ротаційного ґрунтообробного знаряддя.

### 1.3. Постановка задач досліджень

Одним із досягнень ротаційних ґрунтообробних знарядь є висока якість обробітку ґрунту з різними фізико – механічними властивостями.

Однак конструкції ротаційних ґрунтообробних знарядь мають такі недоліки:

- низька швидкість переміщення знаряддя – до 1,5 м/с, відповідно невелика продуктивність;
- велика частота обертання вала ротора ( $540 - 1000 \text{ хв}^{-1}$ ), що приводить до великих енерговитрат;
- високі питомі металомісткість і енергомісткість конструкцій.

Такі недоліки в конструкції ротаційних ґрунтообробних машин звужують їх область використання, так як вони можуть тільки агрегатуватись з тракторами класу 1.4, 0.6 і нижче.

Існуючі наукові дослідження в основному були направлені на вирішення питань оптимізації режимів роботи, параметрів, споживаної

потужності ротаційних знарядь, в яких в конструкції ротаційних ріжучих елементів закладений тільки один спосіб руйнування ґрунту – різання. Тому для здійснення необхідної якості обробітку слід забезпечити високу частоту обертання ротора і невелику швидкість переміщення знаряддя, показник кінематичного режиму складе від 2 до 16. Це приводить до великих енерговитрат і маси знаряддя.

Одним із перспективних напрямків розвитку ротаційних знарядь і, зокрема, ротаційних культиваторів і розпушувачів є зменшення енергомісткості процесу фрезерування, маси знаряддя при дотримуванні вимог до якості обробітку за рахунок суміщення в конструкції ріжучих елементів ротора декількох способів руйнування ґрунту. Це приведе до зменшення частоти обертання вала ротора і, відповідно зменшення споживаної потужності і маси знаряддя в цілому.

Враховуючи те, що в даний час сільськогосподарські підприємства не забезпечені ґрунтообробними знаряддями, що агрегуються з тракторами класу нижче 1,4, то створення ефективних ротаційних знарядь, які споживають менше енергії при ґрунтообробітку і відповідають всім агротехнічним вимогам до якості обробітку ґрунту, є актуальним завданням.

До якості обробітку ґрунту ротаційними знаряддями висуваються такі вимоги:

- розмір структурних агрегатів ґрунту після обробітку з точки зору волого проникності, тепломісткості, повітромісткості не повинен перевищувати 10 мм, а коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів повинен бути в межах 9 -16. Такі вимоги до якості обробітку ґрунту охороняють його від водної і вітрової ерозії;
- відхилення глибини обробітку ґрунту не повинно перевищувати  $\pm 1,0$  см при нерівності поверхні поля  $\pm 2,0$  см;
- ґрунт кришать і вкладають з повною заробкою бур'янів, пожнивних решток і внесених на поверхню поля добрив.

Науково – обґрунтоване вирішення задачі підвищення продуктивності і зменшення споживаної потужності на обробіток ґрунту при забезпеченні

необхідної якості обробітку ґрунту ротаційними культиваторами є метою і задачами даної роботи.

Метою дисертаційної роботи є забезпечення необхідної якості та зменшення енерговитрат у процесі поверхневого обробітку ґрунту завдяки використанню ротаційного розпушувача, розробленого на основі розкриття сукупності явищ механічної дії системи його ножів на ґрунт.

Зменшення споживаної потужності на обробіток ґрунту можна добитись за рахунок зменшення частоти обертання вала ротора ґрунтообробної машини до  $150 - 200 \text{ хв}^{-1}$ , якість обробітку ґрунту можна забезпечити застосуванням декількох способів руйнування ґрунту робочими органами роторної машини. Ступінь подрібнення ґрунту буде рівна  $i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot \dots \cdot i_i$ , де  $i_1, i_2, i_3, i_i$  - перший, другий, третій ...  $i$ -й способи руйнування ґрунту.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувались такі завдання досліджень:

- проаналізувати сучасні технології і способи поверхневого обробітку ґрунту та технічні засоби, що використовуються для цього, їх вплив на фізико-механічні властивості ґрунту, з'ясувати недоліки чинних ротаційних робочих органів;

- обґрунтувати конструкцію ротаційного розпушувача ґрунту з комбінованою дією на його структурні агрегати;

- на основі теоретичного дослідження розкрити сукупність явищ комбінованої механічної дії на ґрунт ножів ротаційного розпушувача та визначити його раціональні конструкційні параметри та режими роботи;

- провести порівняльну оцінку роботи ротаційного ґрунтообробного знаряддя і серійних машин за агротехнічними і енергетичними показниками;

- розробити методику технологічного проектування та розрахунку ротаційного розпушувача ґрунту;

- визначити техніко-економічну ефективність застосування ротаційного розпушувача ґрунту та впровадити його у виробництво.

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА

## 2.1. Обґрунтування конструкції ротаційного розпушувача ґрунту

Проведений аналіз конструкцій ротаційних ґрунтообробних знарядь дає змогу стверджувати, що існуючі на сьогоднішній день ротаційні розпушувачі ґрунту потребують радикального вдосконалення. Використання в роботі нераціональних способів дії елементів робочих органів на ґрунтовий моноліт, недостатнє забезпечення відповідного ступеня подрібнення і розмірів структурних агрегатів ґрунту, призводять до нераціонального використання потужності агрегата і до низької якості підготовки ґрунту в різних ґрунтово-кліматичних зонах вирощування сільськогосподарських культур.

Для зменшення енергомісткості процесу і підвищення якості обробітку на основі знання про фізико-механічні властивості ґрунту необхідно застосовувати такі способи його деформації, щоб опір різанню був якнайменший, а робочі органи створювали різнонаправлені деформації за рахунок декількох способів руйнування ґрунтового моноліту [13,14,19]. Важливо, щоб структурні агрегати ґрунту рухались по поверхні робочого органа, як суцільна скиба і одночасно переміщувались один відносно одного, причому значно швидше, ніж по робочому органіві. Це в першу чергу залежатиме від форми і геометрії робочих органів та кінематики їх руху.

Таким чином, проблема створення нового ротаційного розпушувача є важливою і актуальною.

Для забезпечення раціональної роботи нового ротаційного розпушувача слід всебічно дослідити і визначити раціональні параметри та режими роботи ротаційного розпушувача.

Отже, основною метою досліджень є підвищення якісних показників процесу розпушування ґрунту шляхом розробки конструкції ротаційного розпушувача із частотою обертання робочих органів не більше  $180 \text{ хв}^{-1}$ .



Для досягнення поставленої мети в програмі теоретичних досліджень слід передбачити вирішення наступних задач:

- розробити нову конструктивно-технологічну схему ротаційного розпушувача ґрунту та ідентифікувати головні його параметри і режими роботи;
- ідентифікувати головні параметри процесу переміщення структурних агрегатів ґрунту по поверхні ножів та визначити їх взаємозв'язок із параметрами та режимами роботи розпушувача;
- на основі фізико-механічних властивостей ґрунту і досліджень явищ різання ґрунту, стискування і перетирання структурних агрегатів розробити математичну модель деформації ґрунту;
- оптимізувати головні параметри та режими роботи ротаційного розпушувача ґрунту.

Зроблений аналіз конструкцій ротаційних ґрунтобробних знарядь показав, що вони мають багато недоліків, серед яких складність конструкції багатьох машин, низька якість подрібнення ґрунту і його сепарації, знищення бур'янів, подрібнення і заробки пожнивних решток та мінеральних і органічних добрив, обороти вала відбору потужності більше  $540 \text{ хв}^{-1}$  і великі енергетичні затрати.

Проведений аналіз конструкційно-технологічних схем ротаційних розпушувачів ґрунту і процесу їх роботи показав, що найбільший вплив на технологічний процес розпушування мають такі параметри: ширина захвату, робоча швидкість, частота обертання вала ротора, кількість робочих ножів, крок витка розміщення ножів, ширина ножа та інші його геометричні характеристики. Саме від цих параметрів в першу чергу залежить деформація ґрунту і зменшення опору різанню.

Конструкційно-технологічна схема розпушувача наведена на рис. 2.1

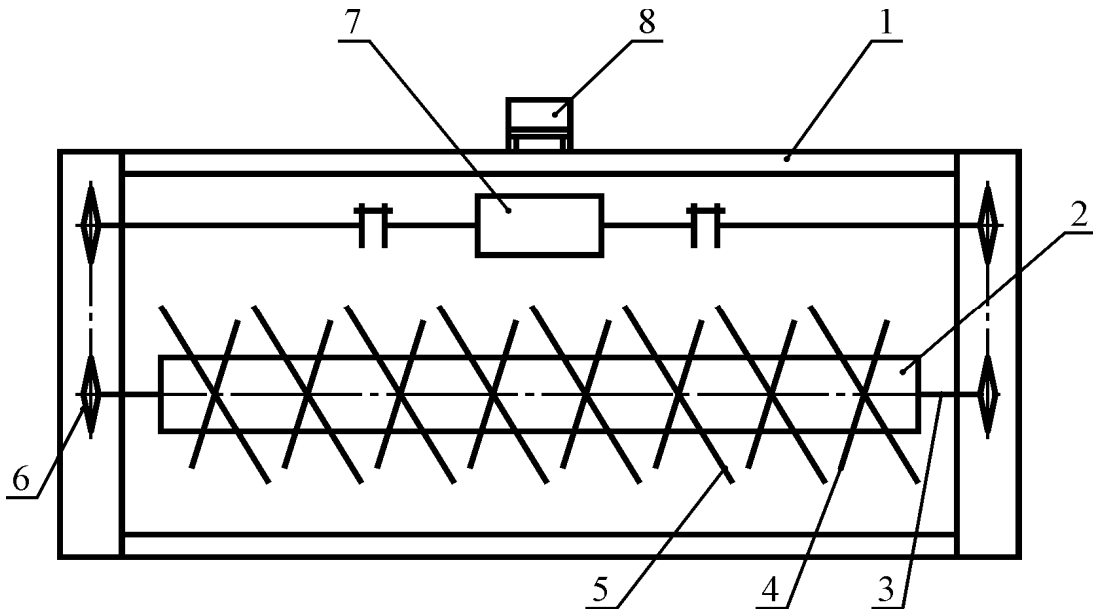


Рис. 2.1. Конструкційно-технологічна схема ротаційного розпушувача

Ротаційний розпушувач складається з рами 1, на якій розміщені барабан 2, що містить основні робочі ножі 5 і додаткові ножі 4. Основні і додаткові ножі мають трикутну форму. Основні ножі 5 розташовані під кутом до осі барабана 3 і закріплені на барабані по гвинтовій лінії з правою навивкою до основи лінії машини, і навпаки, друга сторона розпушувача від осьової лінії машини містить основні ножі 5, розташовані під кутом до барабана по гвинтовій лінії з правою навивкою, таким чином, на другій стороні барабана вони розташовані дзеркально.

Привод робочих органів здійснюється через ланцюгову передачу 6, конічний редуктор 7, карданний вал 8 від валу відбору потужності трактора.

Ротаційний розпушувач ґрунту працює таким чином. При переміщенні машини вздовж поля основні ножі 5 розпушують нижні шари ґрунту, а додаткові ножі 4 – верхні шари ґрунту з одночасним подрібненням рослинних решток, перемішуючи верхні і нижні шари ґрунту вздовж осі барабана назустріч один одному, що полегшує деформацію ґрунту і покращує якість розпушування.

Головні параметри та режими роботи зведені в таблиці 2.1.

## Головні параметри та режими роботи ротаційного розпушувача

Назва параметру чи режиму	Позначення	Одиниці вимірювання
Параметри: ширина захвату	$B_m$	м
Кількість ножів по колу	$z$	шт
Крок витка ножів	$T$	м
Ширина ножа	$l_H$	м
Кут зсуву ножа в плані	$\varepsilon$	град
Режими роботи: Швидкість руху	$V_m$	м/с
Кінематичний режим	$\lambda$	
Критерії оцінки: Ступінь подрібнення	$i_i$	
Потужність на обробіток	$N$	кВт

## 2.2. Обґрунтування математичної моделі процесу розпушування ґрунту

Подрібнення ґрунту ґрунтообробними знаряддями виконується в основному механічним способом. У цьому випадку матеріал розпушується під дією робочого органу. Існує декілька різновидів механічного способу подрібнення ґрунту: різання, сепарація, стискування, роздавлювання, гравітаційне падіння, розколювання, перетирання, злом і удар. Найбільш якісні показники забезпечуються при застосуванні одночасно декількох способів. Так в першому розділі було зроблено аналіз конструктивно-технологічних схем існуючих ґрунтообробних знарядь і було виявлено, що найчастіше використовуються такі комбіновані різновиди способів подрібнення ґрунту: різання з перетиранням, різання з ударом, удар з перетиранням. У нашому випадку процес обробітку ґрунту складається із трьох одночасно протікаючих процесів: різання, стискування і перетирання. Одночасно із подрібненням ґрунту відбувається знищення і заробка пожнивних решток та бур'янів. Зрозуміло, що на цей процес мають вплив, як фізико-механічні властивості ґрунту так і параметри ротаційного

розпушувача ґрунту. Таким чином, при розробці математичної моделі подрібнення ґрунту входними змінними будуть фізико-механічні властивості ґрунту (некеровані чинники):

- вологість ґрунту;
- твердість ґрунту;
- кут зовнішнього тертя;
- кут внутрішнього тертя;

параметри ротаційного розпушувача (змінні чинники):

- показник кінематичного режиму;
- крок витків розміщення ножів;
- кількість ножів по периметру барабана;
- швидкість руху ґрунтообробного знаряддя;
- ширина ножа;
- кут встановлення ножа в плані

параметри процесу розпушування ґрунту (керована дія)

Модель процесу розпушування ґрунту буде мати такий вигляд:

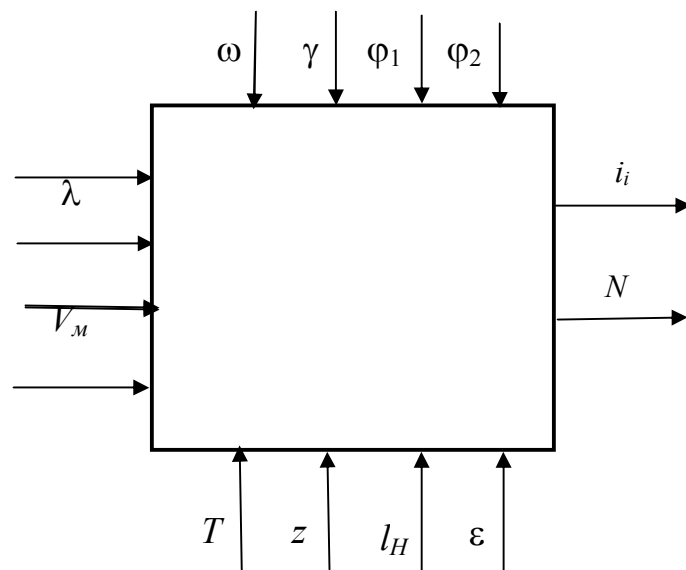


Рис. 2.2. Модель процесу розпушування ґрунту ротаційним розпушувачем

При розгляді цієї моделі слід скористатись такими припущеннями:

1. Частинки, із яких складається ґрунт, представляють собою абсолютно однакові тверді кульки з постійним кутом вкладання їх в об'ємі заданої глибини обробітку;
2. Розміри кульок малі у порівнянні із розмірами ділянки, що обробляється і глибиною обробітку ґрунту;
3. Між кульками в точці контакту діють постійні сили зчеплення;
4. Рух кульок в потоці проходить по траєкторіях, що пересікаються, і представляють собою лінії ковзання.

## 2.3. Обґрунтування параметрів ротаційного розпушувача

### 2.3.1. Показник кінематичного режиму

Схема для визначення основних параметрів ротаційного розпушувача приведена на рисунку 2.3.

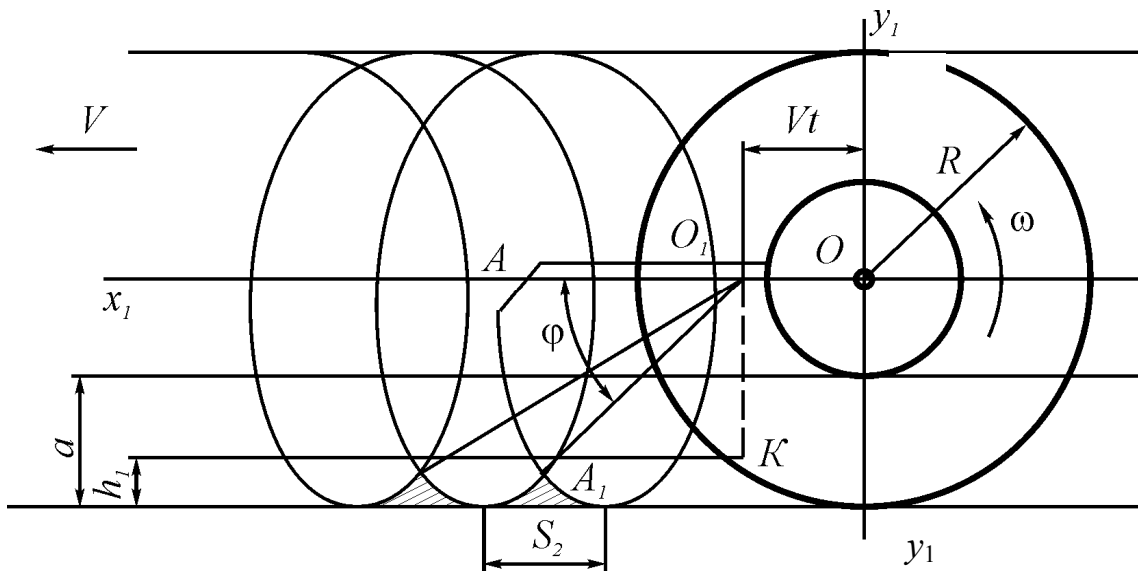


Рис. 2.3. Схема до визначення основних показників ротаційного розпушувача

Робочі органи ротаційного розпушувача здійснюють складні рухи: поступальний (переносний) і обертний (відносний). Траєкторія руху будь-якої точки лапи розпушувача – є циклоїда (рис. 2.3).

Розглянемо рух точки  $A$  лапи через проміжок часу  $t$ . Вісь барабана переміститься в положення  $O_1$ , проходячи шлях  $V_M \cdot t$ , а диск барабана повернеться на кут  $\varphi = \omega \cdot t$  (де  $V_M$  – швидкість поступального руху ротаційного розпушувача,  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора). При цьому точка  $A$  лапи перейде із положення  $A$  в положення  $A_1$  з координатами

$$\begin{aligned}\tilde{o}_1 &= V_i \cdot t + R \cdot \cos(\omega \cdot t); \\ \acute{o}_1 &= R \cdot \sin(\omega \cdot t),\end{aligned}\quad (2.1)$$

де  $R$  – радіус траєкторії крайньої точки лапи.

Рівняння 2.1 в параметричній формі характеризує траєкторію абсолютного руху точки  $A$  лапи ротаційного розпушувача. Таку ж траєкторію буде мати і довільна точка лапи.

Горизонтальна і вертикальна складові абсолютної швидкості руху лапи відповідно рівні

$$V_{x_1} = \frac{dx_1}{dt} = V_i - R \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad (2.2)$$

$$V_{\acute{o}_1} = \frac{dy_1}{dt} = -R \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t). \quad (2.3)$$

Коли горизонтальна складова абсолютної швидкості руху лапи рівна нулю, точка  $A_1$  представляє собою висоту гребеня, рівну  $h_1$ . Тоді

$$V - R \cdot \omega \cdot \sin \omega \cdot t = 0, \quad (2.4)$$

відповідно звідси

$$\sin(\omega \cdot t) = \frac{V_i}{R \cdot \omega} \text{ або } \sin \varphi = \frac{V_i}{R \cdot \omega}. \quad (2.5)$$

Із трикутника  $A_1 O_1 K$

$$\frac{\hat{I}_1 \hat{E}}{\hat{I}_1 \hat{A}_1} = \sin \varphi \text{ або } \frac{R - h_1}{R} = \sin \varphi. \quad (2.6)$$

Прирівнюючи вирази 2.5 і 2.6 визначимо висоту гребеня

$$\frac{V}{R \cdot \omega} = \frac{(R - h_1)}{R}; \quad h_1 = R \left(1 - \frac{V}{\omega \cdot R}\right). \quad (2.7)$$

Враховуючи, що показник кінематичного режиму ротаційного розпушувача

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V},$$

тоді 
$$h_1 = R\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right). \quad (2.8)$$

Кількість лап можна визначити за формулою

$$Z = \frac{h_1}{h} = \frac{R\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right)}{0,2a} = \frac{5R\left(1 - \frac{1}{\lambda}\right)}{a}, \quad (2.9)$$

де  $h$  – висота гребеня за агротехнічними вимогами, м,  $h \leq 0,2a$ , приймаємо  $h = 0,2 a$ ;

$a$  – глибина розпушування ґрунту, м.

Використовуючи вираз (2.9) визначаємо показник кінематичного режиму ротаційного розпушувача

$$\lambda = \frac{5R}{5R - a \cdot Z}. \quad (2.10)$$

Подачу на лапу  $S_z$  визначаємо за формулою

$$S_z = V \cdot t_1. \quad (2.11)$$

де  $t_1$  – час, за який задня лапа у відносному русі займе положення попередньої, с.

Час  $t_1$  складає

$$t_1 = \frac{t_{i\dot{a}}}{z}, \quad (2.12)$$

де  $t_{o\dot{o}}$  – час, за який труба повернеться на один оберт, с.

Враховуючи, що  $t_{i\dot{a}} = \frac{2\pi}{\omega}$  і  $\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V}$ , подача на лапу буде мати вигляд

$$S_z = \frac{2\pi \cdot R}{\lambda \cdot z}. \quad (2.13)$$

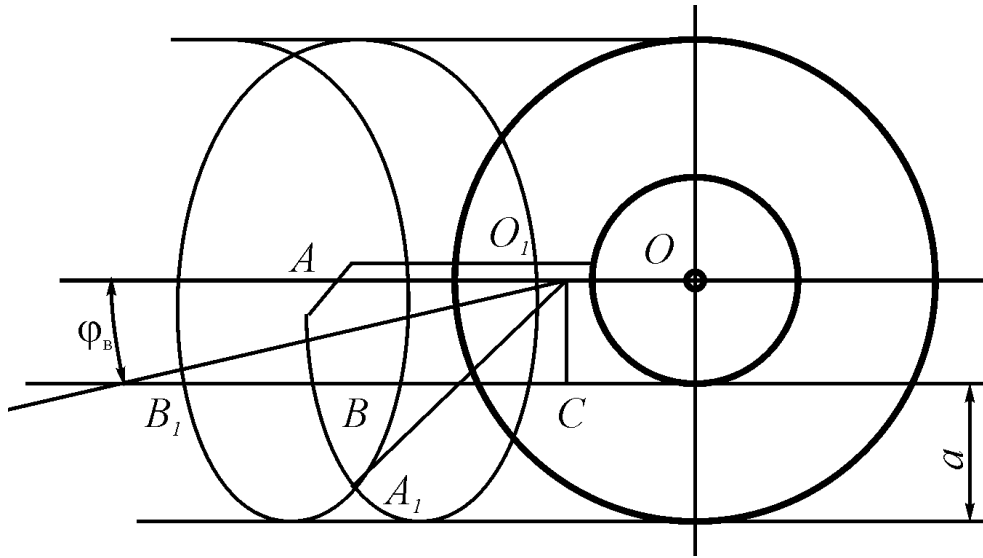
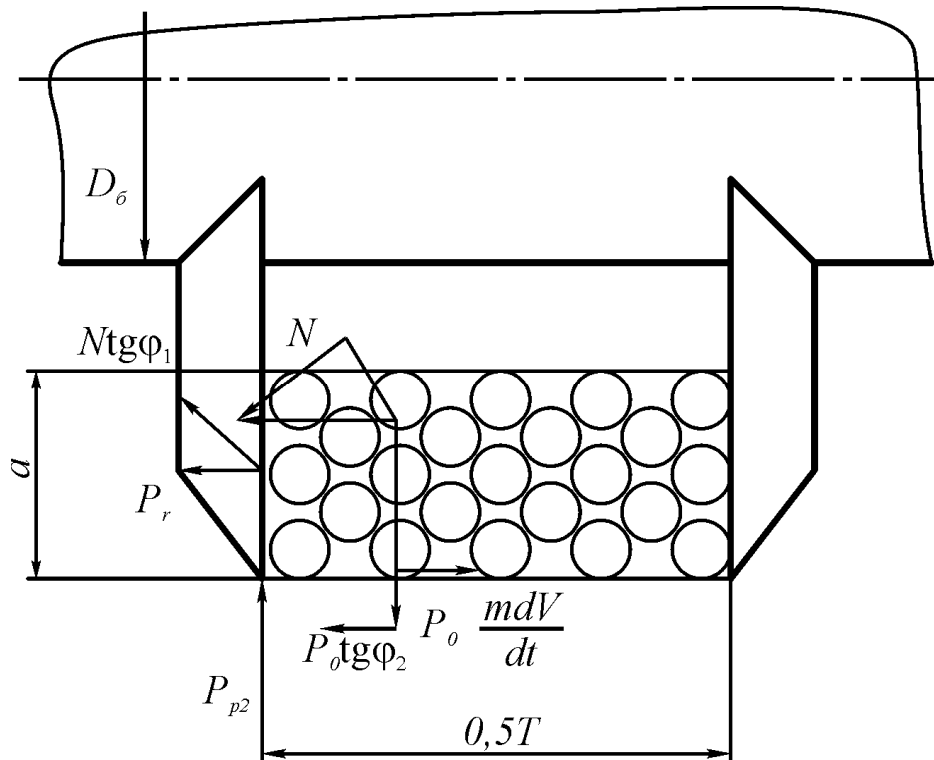
Рис. 2.4. Схема до визначення кута  $\varphi_B$ 

Рис. 2.5. Схема сил, що діють на ніж

Товщина стружки  $\delta$  рівна

$$\delta = S_z \cdot \cos \varphi_{\hat{a}}, \quad (2.14)$$

де  $\varphi_{\hat{a}}$  – кут повороту ножа в момент заглиблення в землю, град.

Із  $\Delta O_1BC$  кут  $\varphi_{\hat{a}}$  становить:

$$\varphi_{\hat{a}} = \arcsin \left( 1 - \frac{a}{R} \right). \quad (2.15)$$



Підставляючи значення (2.13), (2.15) в формулу (2.14), отримаємо товщину стружки

$$\delta = \frac{2\pi \cdot R}{\lambda \cdot z} \cos \arcsin\left(1 - \frac{a}{R}\right). \quad (2.16)$$

На ніж діє радіальна сила  $P_r$  із сторони структурних агрегатів  $D_{50}$ . При обертанні на його поверхні виникає сила тертя  $N \cdot \tan \varphi_1$  (де  $N$  – нормальна сила від тиску структурних агрегатів) і поперечна сила різання  $P_{pz}$ . Пласти структурних агрегатів переміщуються. Виникає опір переміщенню пластів  $P_o \cdot \tan \varphi_2$  (де  $P_o$  – осьове зусилля тиску структурних агрегатів).

Рівняння руху структурних агрегатів буде мати вигляд

$$\frac{m dV}{dt} = P_r + P_o \tan \varphi_2 + N \cdot \tan \varphi_1 \cdot \sin \varepsilon, \quad (2.17)$$

де  $m$  – маса структурних агрегатів, кг;

$\frac{dV}{dt}$  – прискорення руху структурних агрегатів, м / с<sup>2</sup>.

Радіальна сила  $P_r$  визначається за формулою проф. Панченка А.М. [18].

$$P_r = \frac{P_o (1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o}, \quad (2.18)$$

де  $\alpha_o$  – кут укладання структурних агрегатів, град.  $\alpha_o = 48 \dots 50^\circ$  для пухких ґрунтів,  $\alpha_o = 80 \dots 84^\circ$  для щільних ґрунтів;

$P_o$  – осьове зусилля тиску структурних агрегатів, кН.

Нормальна сила тиску структурних агрегатів згідно рис 2.5 складає

$$N = (P_r + P_o \cdot \tan \varphi_2) \cdot \cos \varepsilon. \quad (2.19)$$

Підставляючи (2.18) в формулу (2.17), отримаємо

$$m \frac{dV}{dt} = \frac{P_o (1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o} + P_o \tan \varphi_2 + \left[ \frac{P_o (1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o} + P_o \tan \varphi_2 \right] \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot \tan \varphi_1 \quad (2.20)$$

Після розділення змінних і інтегрування виразу (2.20), отримаємо швидкість руху структурних агрегатів

$$\int dV = \frac{1}{m} \left[ \frac{P_o(1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o} + P_o t g \varphi_2 \right] \cdot (1 + \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot t g \varphi_1) \int dt.$$

$$V = \frac{1}{m} \left[ \frac{P_o(1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o} + P_o t g \varphi_2 \right] \cdot (1 + \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot t g \varphi_1) \cdot t + C.$$

При  $t = 0$  і  $V = 0$ , а тому стала інтегрування  $C = 0$ .

Приймаємо  $t = \frac{0,5T}{V}$ , отримаємо

$$V = \sqrt{\frac{0,5T}{m} \left[ \frac{P_o(1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o} + P_o \cdot t g \varphi_2 \right] \cdot (1 + \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot t g \varphi_1)}. \quad (2.21)$$

З іншого боку швидкість структурних агрегатів поперек руху ротаційного розпушувача рівна

$$V = \frac{T \cdot \omega}{2 \cdot \pi}, \quad (2.22)$$

де  $T$  – крок витка, м;

$\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $\text{с}^{-1}$ .

Прирівнюючи вирази (2.21) і (2.22), визначаємо кутову швидкість обертання ротора

$$\omega = \frac{2\pi \cdot V}{T} = \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{0,5T}{m} \left[ \frac{P_o(1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o} + P_o t g \varphi_2 \right] \cdot (1 + \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot t g \varphi_1)}. \quad (2.23)$$

Враховуючи, що показник кінематичного режиму рівний

$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V_i}$ , визначаємо показник кінематичного режиму

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot R}{T} = \frac{2\pi R}{TV_i} \sqrt{\frac{0,5T}{m} \left[ \frac{P_o(1 - \cos \alpha_o)}{\sin \alpha_o} + P_o t g \varphi_2 \right] \cdot (1 + \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot t g \varphi_1)} \quad (2.24)$$

Приймаючи масу структурних агрегатів

$$m = 0,5 \cdot \hat{a} \cdot \hat{n} t g \varepsilon \cdot \delta \cdot T \cdot \gamma = 0,5 \cdot l_H \cdot \sin \varepsilon \cdot \delta \cdot T \gamma,$$

одержимо

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot R}{T \cdot V_i} \sqrt{\frac{1}{l_H \cdot \sin \varepsilon \cdot \delta \cdot \gamma} \left[ \frac{P_0(1 - \cos \alpha_0)}{\sin \alpha_0} + P_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \right] \cdot (1 + \sin \varepsilon \cdot \cos \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \varphi_1)}. \quad (2.25)$$

Показник кінематичного режиму ротаційного розпушувача залежить від багатьох факторів: глибини обробітку  $a$ , кількості ножів по колу  $Z$ , осьового тиску структурних агрегатів  $P_0$ , кроку витка розміщення ножів  $T$ , швидкості руху знаряддя  $V_m$ , ширини ножа  $l_H$ , кута зсуву ножа в плані  $\varepsilon$ .

При виконанні агротехнічних вимог обробітку ґрунту, коли висота гребеня  $h=0,2a$ , із зростанням глибини обробітку ґрунту  $a$  показник кінематичного режиму  $\lambda$  збільшується при (рис. 2.6). Більш значне збільшення  $\lambda$  проходить при більшій кількості ножів по колу  $Z$ . Наприклад, при збільшенні глибини обробітку від 0,05м до 0,2м при  $Z = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  показник кінематичного режиму зростає відповідно від 1,1 - 1,14; 1,15 - 1,28; 1,29 - 1,52; 1,53 - 2,25; 2,27-3,0.

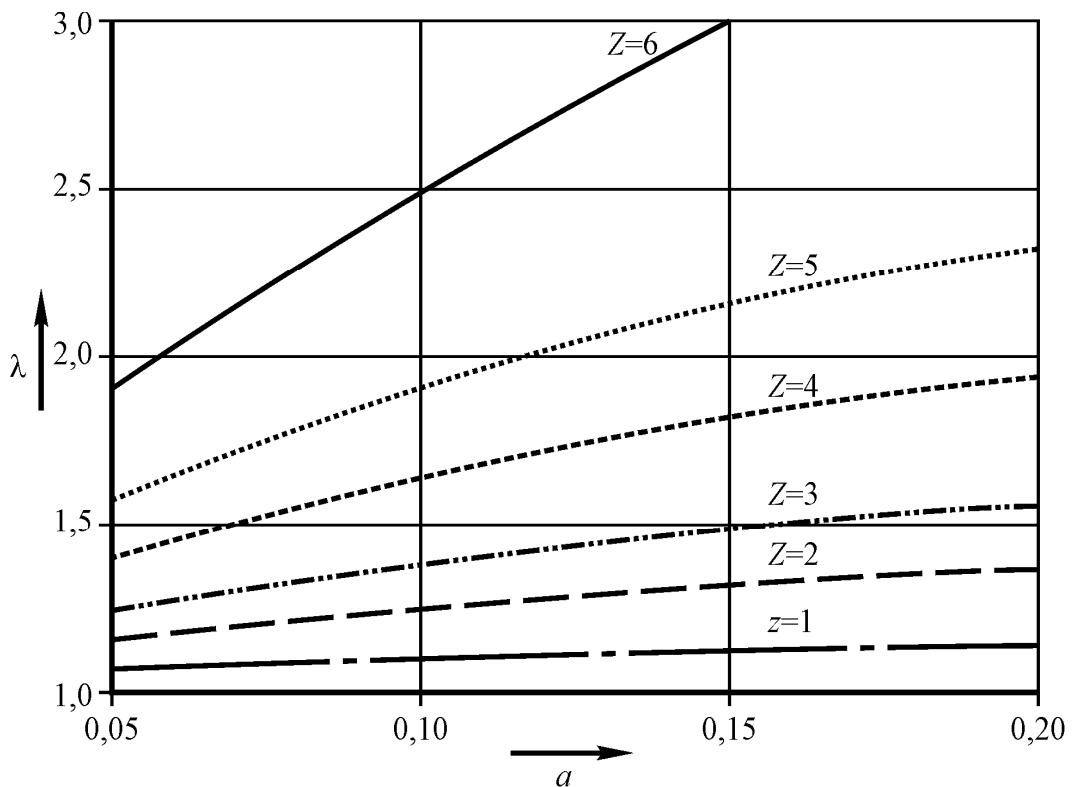


Рис. 2.6. Залежність показника кінематичного режиму  $\lambda$  від глибини обробітку ґрунту  $a$  для різної кількості ножів  $Z$ .

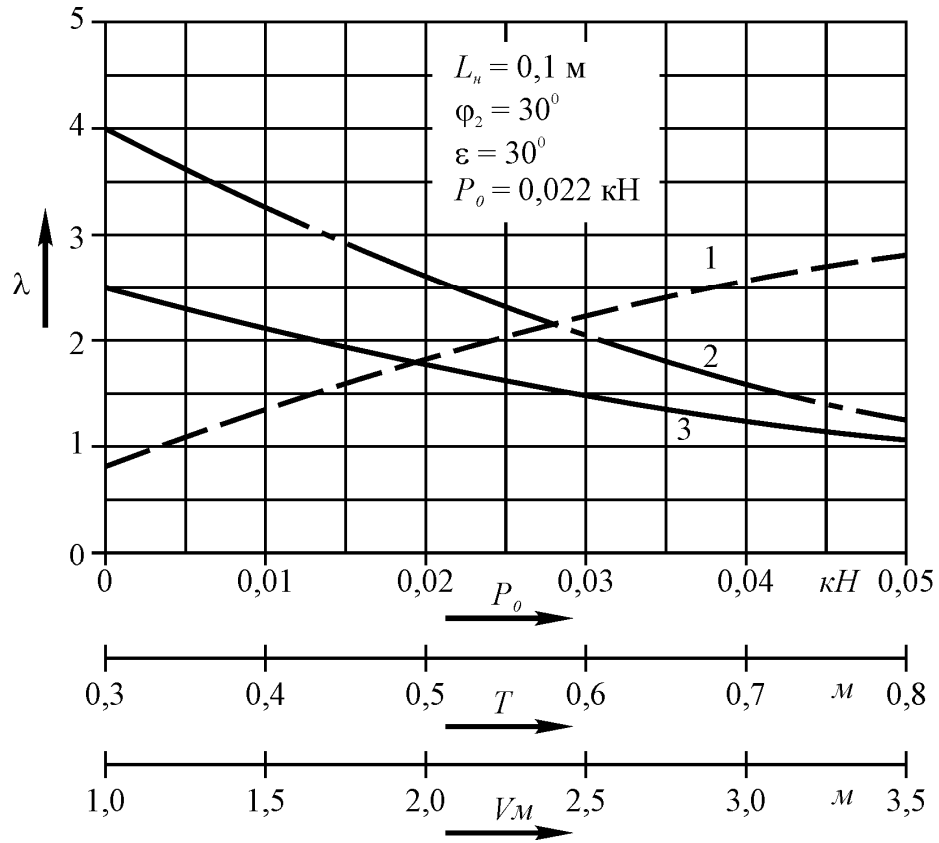


Рис. 2.7. Залежність показника кінематичного режиму  $\lambda$  від:

- 1) осьового зусилля тиску структурних агрегатів  $P_0$ ;
- 2) кроку витка  $T$ ; 3) швидкості руху зняття  $V_m$ .

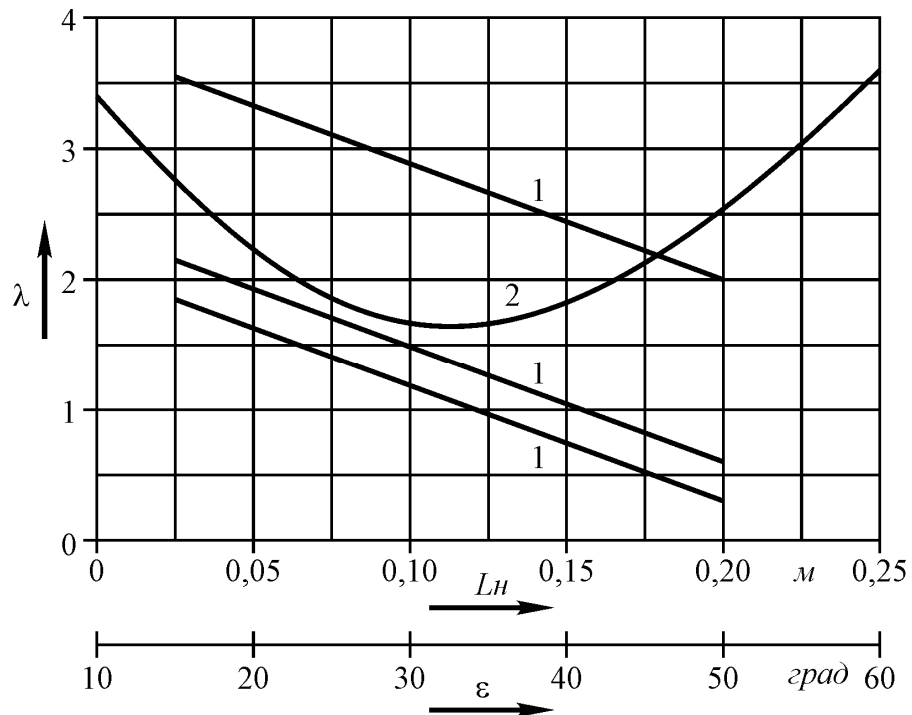


Рис. 2.8. Залежність показника кінематичного режиму  $\lambda$  від:

- 1) ширини ножа  $l_n$ ; 2) кута зсуву ножа в плані  $\varepsilon$ .

Параметри ножа ( ширина ножа  $l_H$ , кут зсуву ножа в плані  $\varepsilon$  ) також впливають на показник кінематичного режиму  $\lambda$ .

Із збільшенням ширини ножа  $l_H$  від 0,05м до 0,2м при різних кутах зсуву ножа в плані  $\varepsilon=10^0$  ;  $30^0$  ;  $45^0$  показник кінематичного режиму  $\lambda$  зменшується відповідно від 3,4 до 2,0; 1,8 до 0,4; 2,2 до 1,6.

Для показника кінематичного режиму  $\lambda=1,72$  кут зсуву ножа складає  $\varepsilon=30^0$ . Це значення кута задовольняє вимогам ковзання ґрунту по периметру ножа, так як  $\varepsilon \geq 45^0 - \varphi_1$  ( де  $\varphi_1$  - кут зовнішнього тертя ґрунту,  $\varphi_1 = 18-20^0$ );

$$30^0 \geq 45^0 - 22^0 = 23^0.$$

### 2.3.2. Крок витка розміщення ножів

Максимальна товщина стружки  $\delta$  виникає при повороті ножа на кут  $\alpha_b$  (рис. 2.9). Вздовж ножа під кутом  $(45^0 + \varphi_2)$  від передньої грані АС проходить скол ґрунту по лінії АВ (рис. 2.9, а).

Для побудови поперечного сколу деформації ґрунту по лінії АВ використовуємо таку методику. Продовжуємо довільно лінію АВ. Беремо на лінії АВ довільну точку А. Від т. А симетрично відкладаємо ширину захвата ножа  $v$ . Одержуємо т.т.  $A_1$  і  $A_2$ . По осі симетрії відкладаємо довжину сколу АВ. Через т. В проводимо лінію, паралельну  $A_1, A_2$ . З т. т.  $K_1$  і  $K_2$  під кутом внутрішнього тертя  $\varphi_2$  до вертикалі проводимо лінії до перетину з  $B_1 B_2$ . Одержуємо т.т. М і N. Довжина М N визначає ширину зони деформації поперек. З'єднуємо т. т. М і N з т. т. відповідно  $A_1$  і  $A_2$ . Одержана трапеція

$A_1 A_2 N M$  є зоною деформації ґрунту ножом поперек руху по лінії АВ. Кут  $\varphi$  визначає напрям сколу поперек до вертикалі. Для визначення цього кута використовуємо рис. 2.9, б.

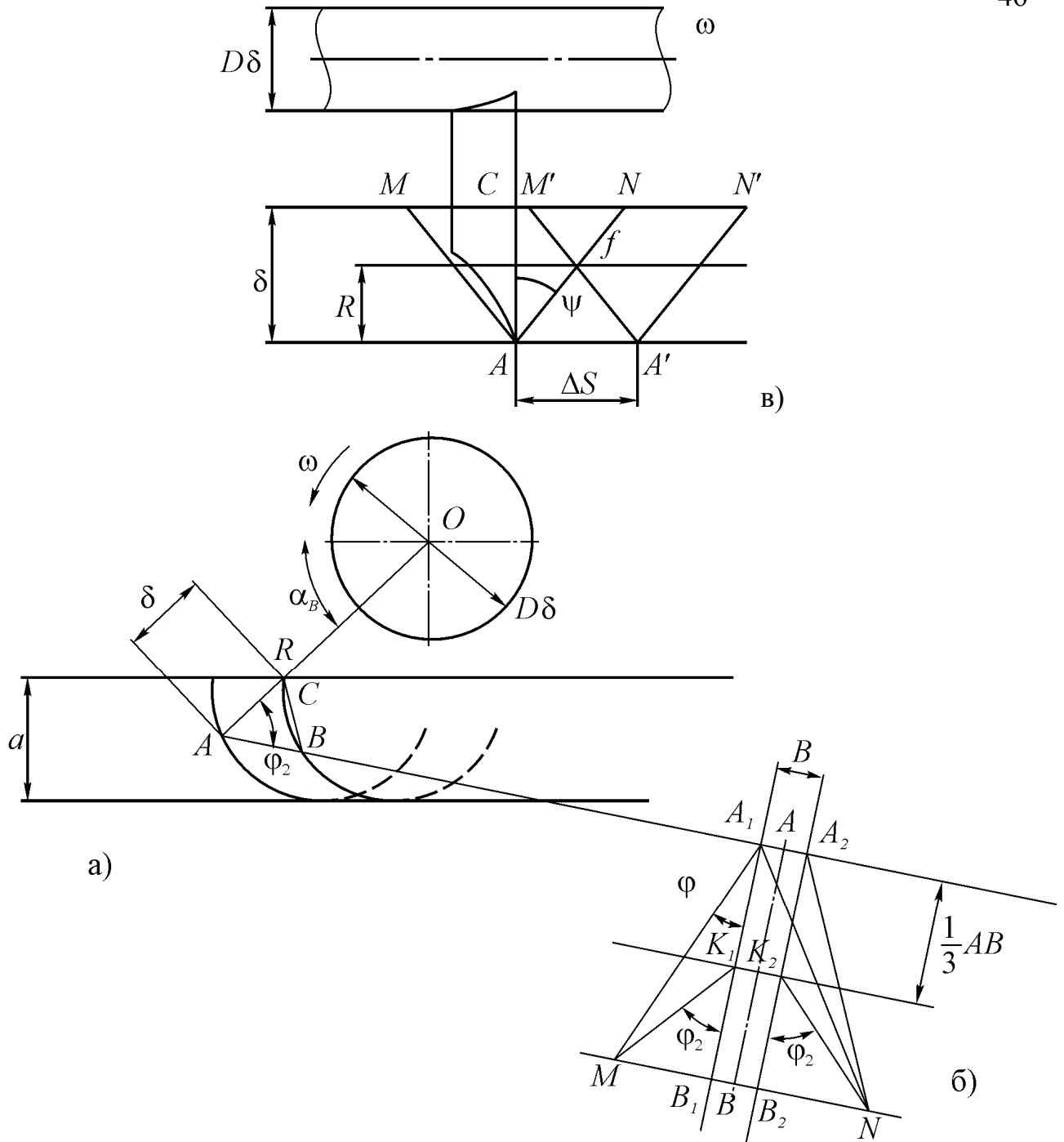


Рис.2.9. Зони деформації ґрунту ножем ротаційного розпушувача:  
 а) поздовжня зона деформації; б) поперечна зона деформації по лінії сколу;  
 в) поперечна зона деформації по максимальній товщині зрізаної стружки ґрунту

Із трикутника  $K_1B_1M$  довжина

$$MB_1 = 0,66 \cdot AB \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (2.26)$$

З другої сторони із трикутника  $A_1B_1M$

$$MB_1 = AB \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.27)$$

Порівнюючи вирази (2.26) і (2.27) один до одного, знайдемо кут  $\varphi$ .

$$\varphi = \arctg(0,66 \cdot \operatorname{tg}\varphi_2) \quad (2.28)$$

На рис. 2.9в показана схема зони поперечної деформації ґрунту по максимальній товщині зрізаної стружки  $\delta$ .

Від вертикальної осі симетрії АС в дві сторони відкладаємо величину MN. З'єднуємо т.т. А з т.т. М і N. Кут між лініями тертя АМ і АN до вертикалі рівний  $\psi$ .

Кут  $\psi$  із трикутника АСN рівний

$$\psi = \arctg \frac{CN}{\delta}; \quad (2.29)$$

$$CN = 0,5 \cdot MN \quad (2.30)$$

Із трикутника А<sub>1</sub>МВ<sub>1</sub> довжина МВ<sub>1</sub> дорівнює

$$MN = 2 \text{ МВ}_1 + \text{в}; \quad (2.31)$$

$$\text{МВ}_1 = \text{АВ} \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (2.32)$$

Для визначення довжини сколу АВ використовуємо рис. 2.10.

Визначаємо довжину АВ

$$\hat{A}\hat{A} = \hat{A}\hat{A} + \hat{A}\hat{A} = \delta \tilde{n} \hat{is}(\varphi_2) + EB = 2 \cdot \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \quad (2.33)$$

де  $AE = \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2)$

Площа трикутника СЕВ рівна

$$S_{CEB} = 0,5 CE \cdot EB = 0,5 \delta \cdot \sin(45^\circ + \varphi_2) \cdot EB, \quad (2.34)$$

де  $\tilde{N}E = \delta \cdot \sin(45^\circ + \varphi_2)$ .

З іншого боку

$$\begin{aligned} S_{CEB} &= S_{CAB} \cdot S_{CAE} = 0,5 \cdot \delta \cdot AE \cdot \sin(45^\circ + \varphi_2) = \\ &= 0,5 \cdot \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \sin(45^\circ + \varphi_2). \end{aligned} \quad (2.35)$$

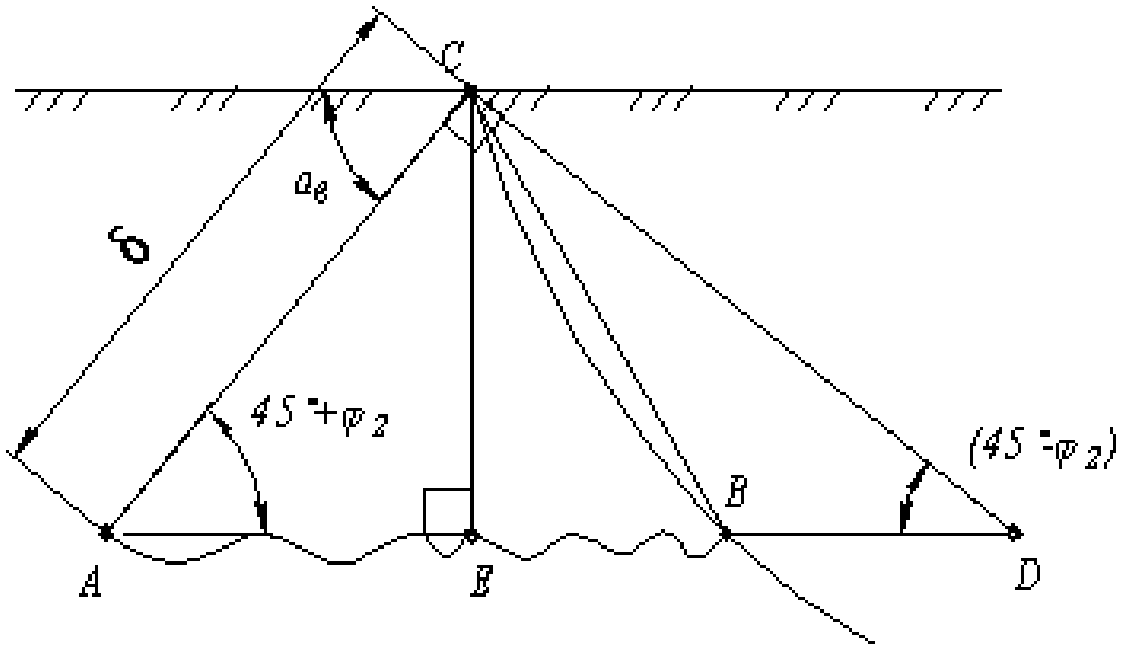


Рис. 2.10. Схема по визначенню довжини сколу АВ

Порівнюючи вирази (2.34) і (2.35), одержимо:

$$\hat{AA} = \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2),$$

тобто  $AE = \hat{AA} = \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2).$

Довжина поперечної зони деформації складає:

$$MN = 2AB \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \hat{a} = 1,32 \hat{AA} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \hat{a}. \quad (2.36)$$

Із подібності  $\Delta AMN$  і  $\Delta AfA'$  визначимо віддаль між ножами в ряду  $\Delta S$  (рис. 2.11).

$$\frac{MN}{\delta} = \frac{\Delta S}{h_1} = \frac{5\Delta S}{a}; \quad (2.37)$$

$$\Delta S = \frac{MN \cdot a}{\delta} = \frac{(1,32 \hat{AA} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \hat{a}) \hat{a}}{\delta}. \quad (2.38)$$

Підставляючи значення АВ в формулу (2,38), визначаємо

$$\Delta S = \frac{(1,32 \cdot 2\delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \hat{a}) \hat{a}}{\delta} = \frac{(2,64\delta \cdot \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg} \varphi_2 + \hat{a}) \hat{a}}{\delta} \quad (2.39)$$

Крок витка  $T$  згідно рис. 2.10 буде рівний

$$T = (Z - 1) \cdot (\Delta S + \hat{a}), \quad (2.40)$$



або після підстановки величини (2.39) визначимо кінцево

$$\dot{O} = (Z - 1) \cdot \left( \frac{[2,64\delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \hat{a}] \cdot a}{\delta} + \hat{a} \right). \quad (2.41)$$

Підставляючи значення  $\delta$  в формулу, визначимо

$$\begin{aligned} T &= (Z - 1) \cdot \left( \left[ 2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \frac{\hat{a}}{\delta} \right] \cdot \hat{a} + \hat{a} \right) = \\ &= (Z - 1) \cdot \left( \left[ 2,64 \cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot \operatorname{tg}\varphi_2 + \frac{\lambda \cdot Z \cdot \hat{a}}{2\pi \cdot R \cdot \cos \arcsin(1 - \frac{a}{R})} \right] \cdot a + \hat{a} \right). \end{aligned} \quad (2.42)$$

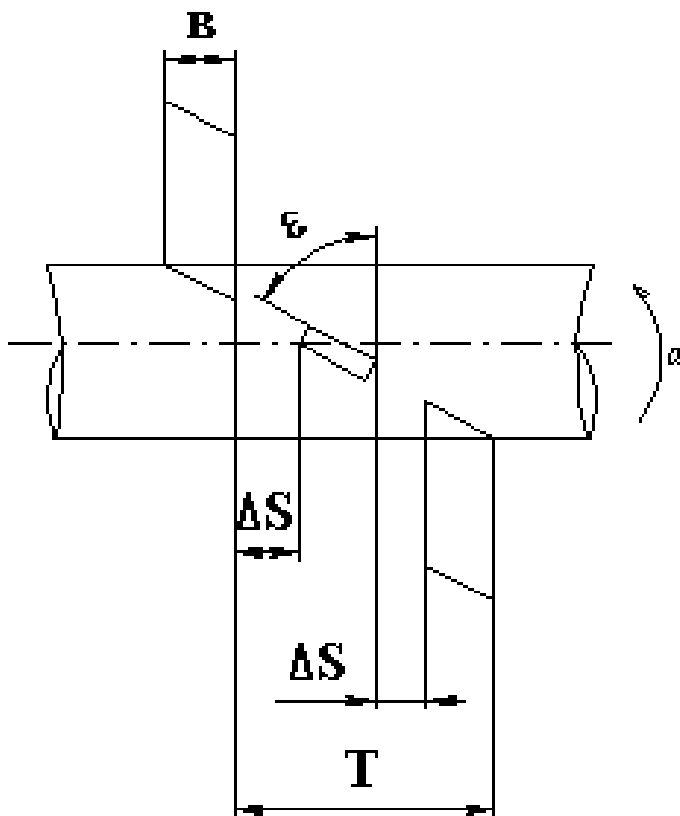


Рис. 2.11. Схема для визначення кроку витка

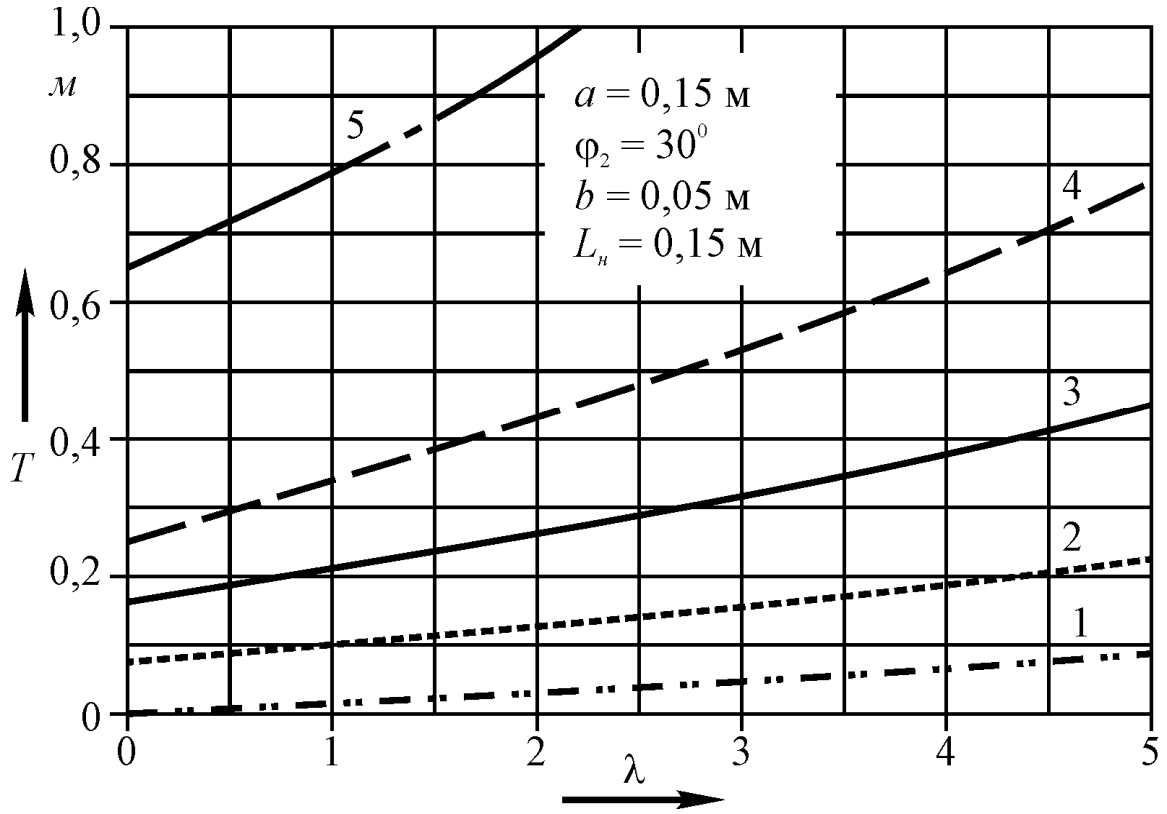


Рис. 2.12. Залежність кроку витка від показника кінематичного режиму  $\lambda$  при різних значеннях кількості ножів по колу  $Z$

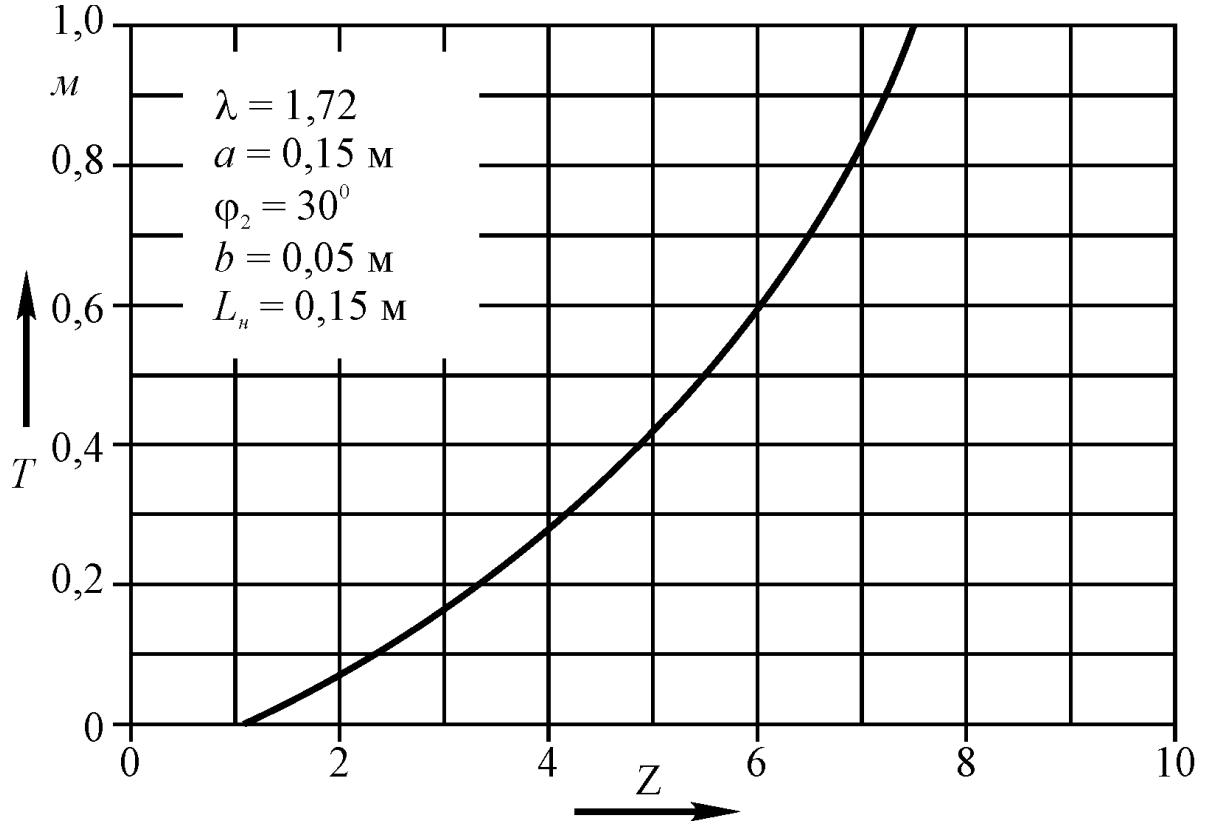


Рис. 2.13. Залежність кроку витка  $T$  від кількості ножів  $Z$

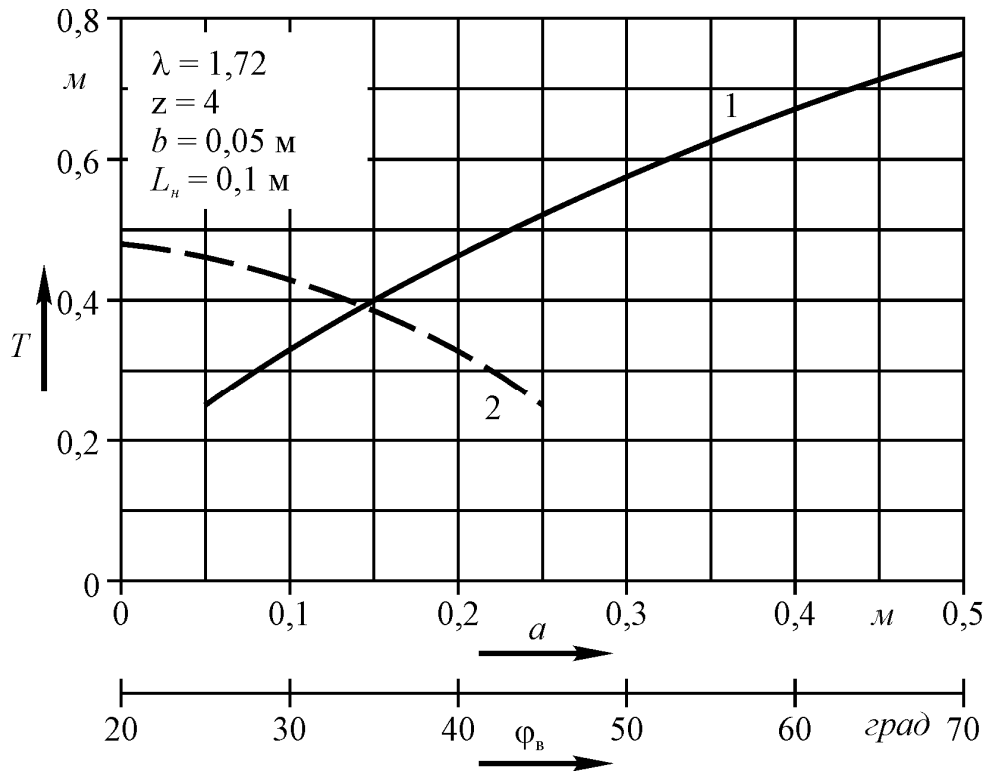


Рис. 2.14. Залежність кроку  $T$  від 1) глибини обробки  $a$  2) кута внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi_2$

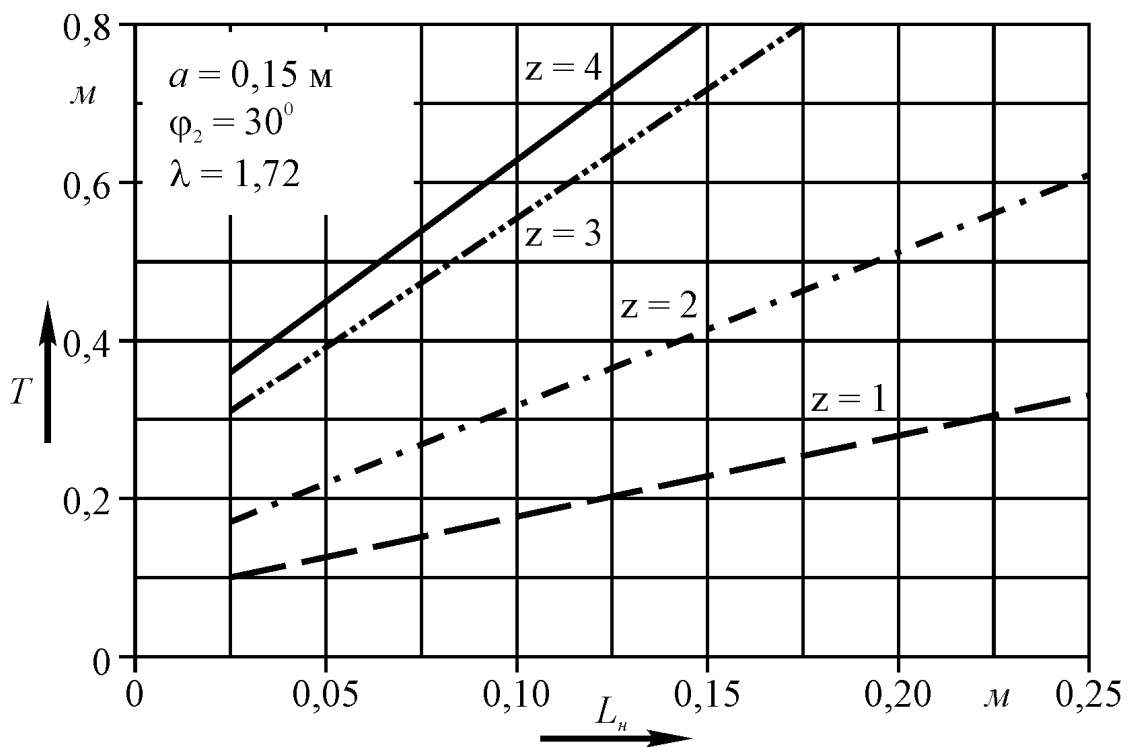


Рис. 2.15. Залежність кроку  $T$  від ширини ножа  $l_n$  при куті його розташування в плані  $\varepsilon = 30^\circ$

На величину кроку витка ножів відповідно впливають: показник кінематичного режиму  $\lambda$ , кількість ножів по колу  $Z$ , глибина обробітку  $a$ , ширина ножа  $l_H$ , кут внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi_2$ .

Із збільшенням показника кінематичного режиму  $\lambda$  від 0,5 до 5,0 при  $Z = 1; 2; 3; 4; 8$  крок витка ножів відповідно збільшується від 0,09 м до 0,18 м; 0,18 м до 0,32 м; 0,28 м до 0,54 м; 0,75 м до 1,6 м (рис. 2.10). При показнику кінематичного режиму  $\lambda = 1,72$ , кількість ножів  $Z = 4$ , крок витка складає  $T = 0,44$  м.

Збільшення глибини обробітку ґрунту  $a$  приводить до збільшення кроку витка  $T$  (рис. 2.14). Наприклад, при зміні глибини обробітку ґрунту від 0,05 м до 0,45 м крок витка зростає від 0,27 м до 0,7 м.

Ширина ножа  $l_H$  також впливає на крок витка  $T$  (рис. 2.15). Із збільшенням ширини ножа  $l_H$  від 0,05 м до 0,25 м при  $Z = 1, 2, 4$  збільшується крок відповідно від 0,12 м до 0,32 м; 0,22 м до 0,61 м; 0,3 м до 0,9 м.

При  $\lambda = 1,72$ ,  $\varepsilon = 30^\circ$ ,  $a = 0,15$  м при  $Z = 4,0$   $T = 0,44$  м, ширина ножа складає  $l_H = 0,1$  м.

Кут внутрішнього тертя  $\varphi_2$  ґрунту зазвичай знаходиться в межах  $\varphi_2 = 28 - 35^\circ$  [38]. При зміні кута  $\varphi_2$  в цих межах крок  $T$  витка змінюється від 0,445 до 0,4 м.

Таким чином, при швидкості руху знаряддя  $V_m = 3,0$  м/с, глибині обробітку  $a = 0,15$  м, осьовому тиску структурних агрегатів  $P_0 = 0,022$  кН визначені такі показники ротаційного розпушувача:

- показник кінематичного режиму  $\lambda = 1,72$ ;
- кількість ножів по колу  $Z = 4,0$ ; - крок витка  $T = 0,44$  м;
- ширина ножа  $l_H = 0,1$  м; - кут зсуву ножа в плані  $\varepsilon = 30^\circ$ .

#### 2.4. Опір різання ґрунту ножем розпушувача

Дотична складова опору різання ґрунту ножем рівна:

$$P_{p1} = S_T + 2S_{\dot{a}\dot{\varepsilon}} + S_{\dot{\varphi}\dot{\alpha}} + P_v, \quad (2.43)$$

де  $S_T$  – опір різанню ґрунту від скола в поздовжньому напрямку;  
 $S_{бок}$  – опір різанню ґрунту від скола в поперечному напрямку;  
 $S_{зам}$  – опір від площадки затуплення ножа;  
 $P_v$  – опір від швидкості різання

При сколюванні ґрунту виникає опір сколу  $T$ . Його проекція на дотичну в точці  $A$  є опором різанню ґрунту від сколу в поздовжньому напрямку  $S_T$ .

$$S_T = T \cos(45^0 - \varphi_2) = C_{\acute{o}\grave{a}} \cdot F_{СК} \cdot \cos(45^0 - \varphi_2), \quad (2.44)$$

де  $C_{\gamma\delta}$  – питоме зчеплення частинок ґрунту. кН /м<sup>2</sup>;  
 $F_{СК}$  – площадка сколу по лінії  $AB$  поперек, м<sup>2</sup>;

Із рис. 2.8, б площа сколу рівна

$$F_{СК} = 0,5 \cdot (\hat{a} + MN) \cdot AB. \quad (2.45)$$

Підставляючи значення (2.33) і (2.36) в формулу (2.45), одержимо

$$F_{СК} = 0,5 \cdot (2\hat{a} + 1,32 ABtq\varphi_2) \cdot AB; \quad (2.46)$$

$$S_T = 0,5 \cdot C_{\acute{o}\grave{a}} (2\hat{a} + 1,32 ABtq\varphi_2) \cdot AB. \quad (2.47)$$

Опір різанню ґрунту від сколу в поперечному напрямку рівний (рис. 2.16)

$$S_{\acute{a}\acute{i}\acute{e}} = (S'_{\acute{a}\acute{i}\acute{e}} + S''_{\acute{a}\acute{i}\acute{e}}) \cdot tq\varphi_1, \quad (2.48)$$

де  $S'_{бок}$  – нормальний тиск на бокову частину ножа від сили сколу  $T_1$ , кН;  
 $S''_{бок}$  – нормальний тиск на бокову частину ножа від сили тиску  $E$ , кН;  
 $\varphi_1$  – кут зовнішнього тертя ґрунту, град.

Нормальний тиск на бокову частину ножа складе

$$S'_{\acute{a}\acute{i}\acute{e}} = T_1 \cdot \sin \psi = C_{\acute{o}\grave{a}} \cdot F_{ABC} \cdot \sin \psi, \quad (2.49)$$

де  $F_{ABC}$  – площа сколу, м<sup>2</sup>;  
 $\psi$  – кут сколу, град.

Площа сколу (рис. 2.8, б) рівна

$$F_{ABC} = \delta \cdot AB \cdot \sin(45^0 + \varphi_2), \quad (2.50)$$



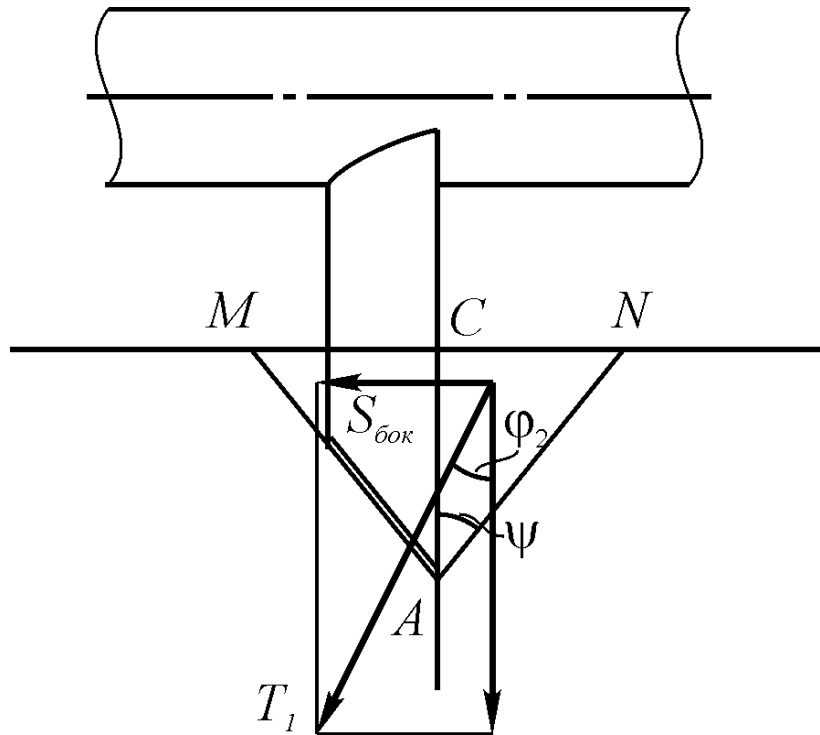


Рис. 2.17. Залежність нормального тиску на бокову сторону ножа від сили  $E$

$$S''_{áiè} = 4,9 \cdot l_H \cdot \cos \varepsilon \cdot \delta^2 \cdot tq^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_2}{2} \right) \cdot \gamma \cdot \sin \varphi_2, \quad (2.55)$$

Підкладаючи значення  $S''_{бок}$  і  $S'_{бок}$  в формулу (2,48), одержимо:

$$S_{áiè} = \left\{ C_{óä} \cdot \delta \cdot AB \cdot \sin \arctg \left[ \frac{0,66tq\varphi_2}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} \right] \sin(45^\circ + \varphi_2) + \right. \\ \left. + 4,9l_H \cdot \cos \varepsilon \delta^2 tq^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_2}{2} \right) \gamma \sin \varphi_2 \right\} tq\varphi_1. \quad (2.56)$$

Опір від площадки затуплення визначаємо за формулою Ветрова [20]:

$$S_{çäò} = K'(X + Ztq\varphi_1) \cdot \hat{a}, \quad (2.57)$$

де  $K'$  - гранична несуча здатність ґрунту,  $\text{кН/м}^2$ ,  $K' = 50 - 500 \text{ кН/м}^2$ ;

$X$  і  $Z$  - параметри площадки затуплення, м (рис. 2.18).

$$X = \delta_3 \cdot \sin \varepsilon; \quad Z = \delta_3 \cdot \cos \varepsilon$$

$\delta_3$  - товщина площадки затуплення, м.

Додаткову силу різання, яка враховує вплив швидкості різання, також визначаємо по формулі Ветрова [20, 21]:

$$S_v = \hat{a} \cdot \delta \cdot \gamma \frac{\sin \varepsilon \cdot \cos \Theta'}{\sin(\varepsilon + \Theta')} \cdot V_p^2, \quad (2.58)$$

де  $V_p$  – швидкість ротора, м/с;

$\Theta'$  - задній кут ножа, град.

Підставляючи одержані вирази (2.44), (2.56), (2.57) і (2.58) в загальну формулу, визначимо

$$\begin{aligned}
 P_{p1} = & 0,5C_{\acute{o}\acute{a}}(2\hat{a} + 1\acute{a}32\hat{A}\hat{A} \cdot tq\varphi_2)AB + \\
 & 2\left\{ \tilde{N}_{\acute{o}\acute{a}} \cdot \delta \cdot \hat{A}\hat{A} \cdot \sin \arctan q \left[ \frac{0,66tq\varphi_2}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} \right] \cdot \sin(45^\circ + \varphi_2) + \right. \\
 & + 4,9 \cdot l_f \cdot \cos \varepsilon \cdot \delta^2 \cdot tq^2 (45^\circ - 0,5\varphi_2) \gamma \sin \varphi_2 \left. \right\} \cdot tq\varphi_1 + \\
 & + K'(\tilde{O} + Ztq\varphi_q)\hat{a} + \hat{a} \cdot \delta \cdot \gamma \frac{\sin \varepsilon \cdot \cos \Theta'}{\sin(\varepsilon + \Theta')} V_p^2.
 \end{aligned} \tag{2.59}$$

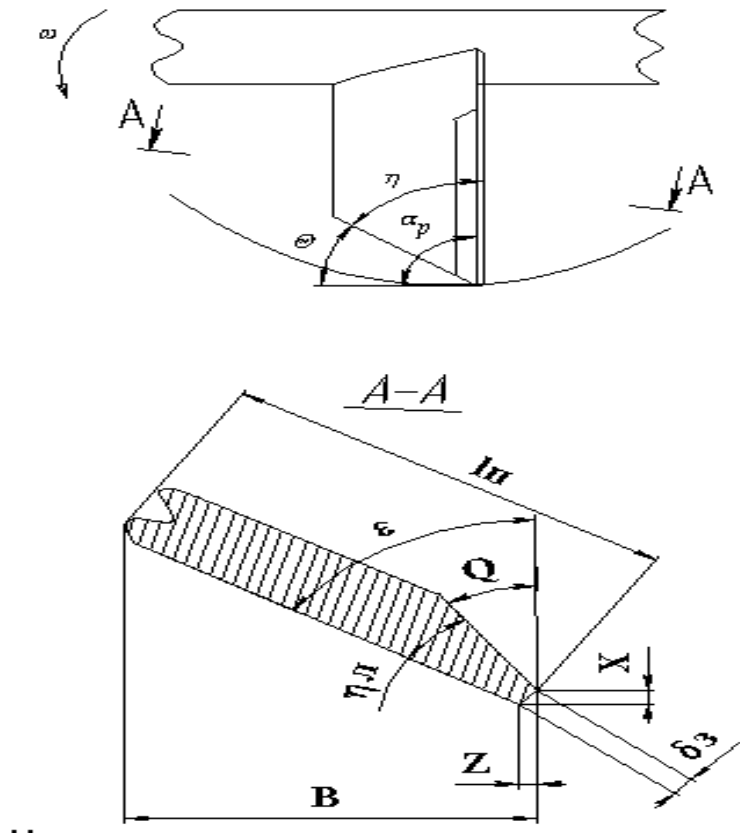


Рис. 2.18. Геометричні параметри ножа

Підкладемо в формулу (2.59) значення АВ (2.33) і одержимо



$$\begin{aligned}
P_{p1} = & C_{i\epsilon\delta} \cdot [2\hat{a} + 2,64\delta \cdot \tilde{n}\cos(45^\circ + \varphi_2) \cdot tq\varphi_2] \cdot \delta \cdot \cos(45^\circ + \varphi_2) + \\
& + 2 \cdot \left\{ 2C_{\acute{o}\acute{a}} \cdot \delta^2 \cdot \cos(45^\circ + \kappa_2) \cdot \sin \arctg \left[ \frac{0,66tq\varphi_2}{\cos(45^\circ + \varphi_2)} \right] \cdot \sin(45^\circ + \varphi_2) \right. \\
& + 4,9 \cdot l_f \cdot \cos \epsilon \cdot \delta^2 tq^2 (45^\circ - 0,5\varphi_2) \cdot \gamma \cdot \sin \varphi_2 \left. \right\} \cdot tq\varphi_1 + \\
& + K'(X + Z \cdot tq\varphi_1) \cdot \hat{a} + \hat{a} \cdot \delta \cdot \gamma \frac{\sin \epsilon \cdot \cos \Theta'}{\sin(\epsilon + \Theta')} \cdot V_{p}^2.
\end{aligned} \tag{2.6}$$

Нормальна складова опору різанню ґрунту [76]

$$P_{p2} = 0,2 \cdot P_{p1} \tag{2.61}$$

Відповідно (рис.2.19) поперечна сила, направлена перпендикулярно руху ножа, рівна

$$P_{p3} = P_{p1} \cdot ctg(\epsilon + \varphi_1) \tag{2.62}$$

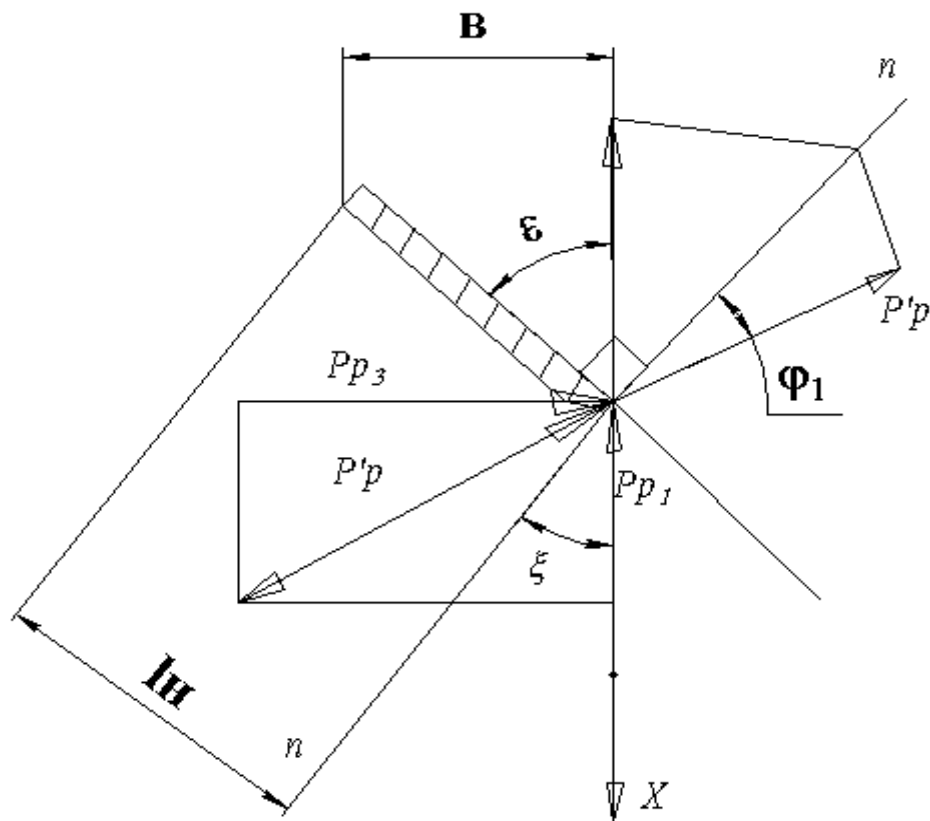


Рис. 2.19. Схема до визначення сили  $P_{p3}$

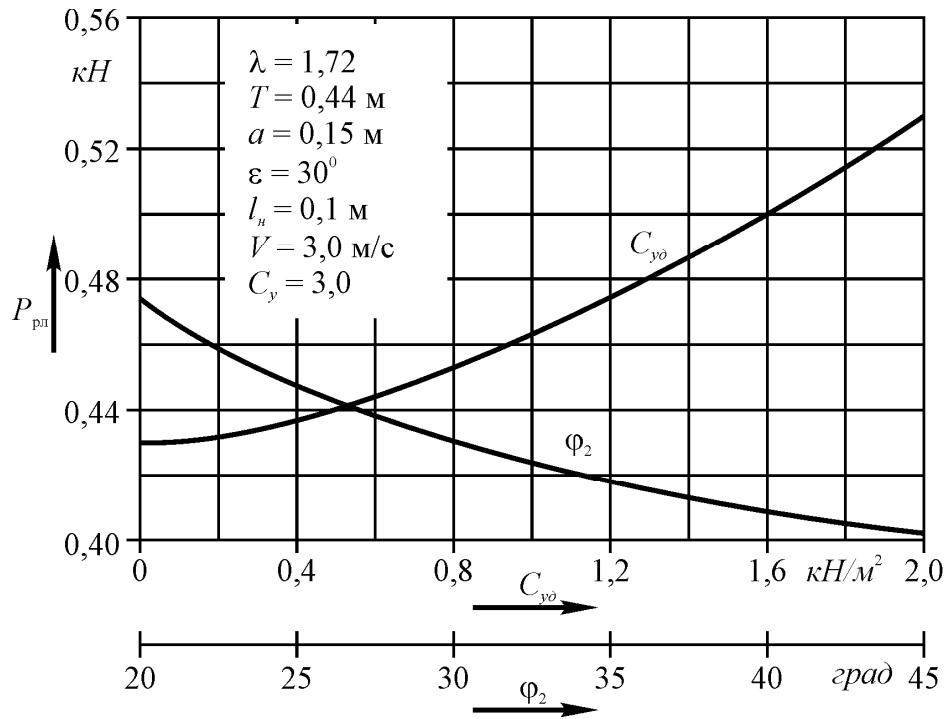


Рис. 2.20. Залежність дотичної складової опору різання ґрунту  $P_{p1}$  від питомого зчеплення частинок  $C_{nut}$ , кута зовнішнього тертя  $\phi_2$  ґрунту

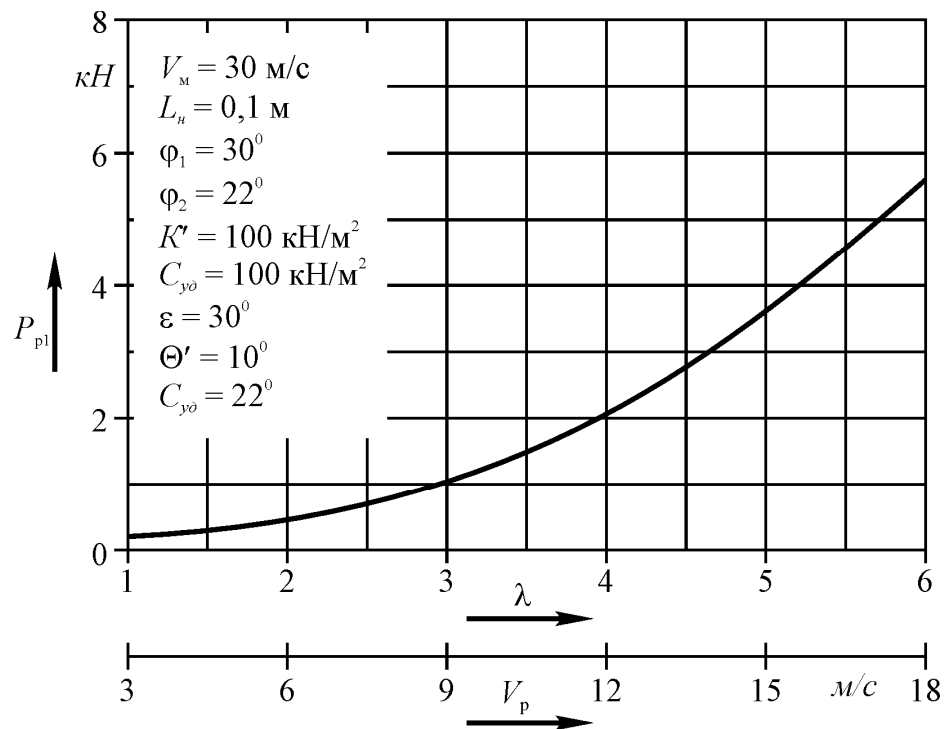


Рис. 2.21. Залежність дотичної складової опору різання ґрунту  $P_{p1}$  від показника кінематичного режиму  $\lambda$ , швидкості обертання ротора  $V_p$

Дотична складова опору різання ґрунту залежить від фізико – механічних властивостей ґрунту (питомого зчеплення частинок  $C_{num}$ , кута внутрішнього тертя  $\varphi_2$ ), показника кінематичного режиму  $\lambda$ .

З ростом показника кінематичного режиму  $\lambda$  дотична складова опору різання ґрунту  $P_{pl}$  збільшується (рис. 2.20). Наприклад. Збільшення  $\lambda$  від 1 до 6 приводить до збільшення опору  $P_{pl}$  від 0,24 кН до 5,2 кН. При швидкості знаряддя  $V_m = 3,0$  м/с швидкість обертання ротора відповідно збільшується від 3 до 18 м/с.

Дотична складова опору різання ґрунту ножом  $P_{pl}$  збільшується із збільшенням питомого зчеплення частинок ґрунту  $C_{num}$  і зменшенням кута внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi_2$  (рис. 2.20).

Із збільшенням питомого зчеплення частинок ґрунту  $C_{num}$  від 0 до 2,0 кН/м<sup>2</sup> опір  $P_{pl}$  збільшується на 22 – 22,5 %.

## Висновки

1. Обґрунтована конструкція ротаційного розпушувача ґрунту передбачає реалізацію комбінованого процесу розпушування на основі операцій різання, стискання та перетирання структурних агрегатів за допомогою системи ножів, розміщених під кутом до осі барабана і закріплених на барабані по гвинтовій лінії з правою навивкою до основи лінії машини, і навпаки, інший бік ножів розміщений дзеркально від осьової лінії машини.

2. Отримана залежність для розрахунку показника кінематичного режиму  $\lambda$  ротаційного розпушувача (2.25) і виявлено вплив на показник кінематичного режиму  $\lambda$  глибини обробітку ґрунту  $a$ , кількості ножів по колу  $Z$ , осьового тиску структурних агрегатів на дно борозни  $P_0$ , кроку витка ножів  $T$ , швидкості руху знаряддя  $V_m$ , ширини ножів  $l_H$ , кута зсуву ножа в плані. Визначені раціональні параметри ротаційного розпушувача і режими його роботи для глибини обробітку ґрунту  $a = 0,15$  м. Швидкість руху знаряддя  $V_m = 3,0$  м/с,  $\lambda = 1,72$ ,  $Z = 4,0$ ,  $P_0 = 0,022$  кН,  $l_H = 0,1$  м,  $\varepsilon = 30^\circ$ ,  $T = 0,44$ .

3. Одержана формула для розрахунку кроку витка ножів (2.42) і виявлено як на величину кроку витка ножів впливають: показник кінематичного режиму  $\lambda$ , кількість ножів по колу  $Z$ , глибина обробітку  $a$ , ширина ножа  $l_H$ , кут внутрішнього тертя ґрунту  $\varphi_2$ .

4. Розроблена математична модель для розрахунку опору різання ґрунту ножем ротаційного розпушувача по зонах деформації ґрунту і складені формули для розрахунку трьох складових опору різання дотичної  $P_{31}$ , нормальної  $P_{32}$ , поперечної  $P_{33}$ . (2.60, 2.61, 2.62) Виявлено вплив на дотичну складову опору різання таких факторів:

- з ростом показника кінематичного режиму від 1 до 6 опір збільшується від 0,24 до 5,2 кН;

- при збільшенні питомого зчеплення частинок ґрунту  $C_{num}$  від 0 до 2,0 кН/м<sup>2</sup> опір збільшується на 22 – 22,5 %;

5. Визначена використана потужність на обробіток ґрунту ротаційним розпушувачем (2.87) і виявлено вплив різних факторів на її величину:

- із збільшенням дотичної складової опір різанню  $P_{31}$  від 0,18 до 1,6 кН потужність зростає від 7,0 до 65 кВт;

- із збільшенням ширини захвату знаряддя  $B_0$  від 1,5 до 6,0 м потужність збільшується в 4,6 рази;

- із збільшенням швидкості руху знаряддя  $V_M$  від 0,5 до 5,0 м/с потужність збільшується в 6 разів;

6. Одержана порівняльна характеристика споживаної потужності на обробіток ґрунту запропонованого ротаційного розпушувача і діючої фрези з прямими ножами:

- при ширині захвату  $B_0 = 3,0$  м, швидкість руху знаряддя  $V_M = 3,0$  м/с при ступені подрібнення  $i = 20$  потужність запропонованого ротаційного розпушувача в 3,1 – 3,72 рази менша, ніж для діючої фрези;

- при зниженні швидкості діючої фрези до 1,5 м/с потужність зменшується в 1,9 рази.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма досліджень

Теоретичні дослідження довели перспективність використання ротаційного розпушувача ґрунту, в якого у конструкції ріжучих елементів ротора закладено декілька способів руйнування і подрібнення структурних агрегатів ґрунту, а частота обертання вала ротора зменшується до 150-200 хв<sup>-1</sup>.

Експериментальні дослідження роботи ротаційного розпушувача проводились на лабораторних установках.

Основні завдання досліджень:

1. Визначення фізико-механічних властивостей досліджуваних ґрунтів.
2. Визначення осьового зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни.
3. Дослідження впливу теоретично обґрунтованих параметрів ротаційного розпушувача (показника кінематичного режиму  $\lambda$ , глибини обробітку  $a$ , кількості ножів  $Z$ , кроку витка  $T$ ) та фізико-механічних властивостей ґрунту на ступінь його подрібнення.

Для виконання приведеної програми експериментальних досліджень необхідно було вирішити наступні завдання:

- розробити методику проведення окремих етапів досліджень;
- розробити і виготовити конструкцію лабораторної установки для визначення зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни;
- виготовити лабораторний стенд для визначення ступеня подрібнення ґрунту у ґрунтовому каналі;
- підготувати зразки ґрунту для досліджень;
- провести тарування всіх вимірювальних приладів;
- організувати проведення досліджень у відповідності із методикою планування експериментів та обробки результатів досліджень.

Експериментальними дослідженнями було підтверджено результати теоретичних досліджень ротаційного розпушувача ґрунту. В результаті експериментальних досліджень було вивчено фізико–механічні властивості досліджуваних ґрунтів, визначено значення осьового зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни та досліджено вплив теоретично обґрунтованих параметрів ротаційного розпушувача (показника кінематичного режиму  $\lambda$ , глибини обробітку  $a$ , кількості ножів  $Z$ , кроку витка  $T$ ) та фізико–механічних властивостей ґрунту на ступінь його подрібнення.

Програмою польових досліджень передбачено підтвердити правильність теоретичних обґрунтувань процесу розпушування ґрунту і отриманих результатів досліджень експериментальної установки в ґрунтовому каналі.

Для виконання приведеної програми експериментальних польових досліджень необхідно було вирішити наступні завдання:

- розробити методику проведення окремих етапів польових досліджень;
- розробити і виготовити конструкцію дослідного зразка ротаційного розпушувача ґрунту для лабораторно-польових випробувань;
- розробити методику проведення лабораторно-польових досліджень;
- визначити вплив конструктивно-технологічних параметрів ротаційного розпушувача ґрунту на якісні показники роботи при суцільному поверхневому передпосівному обробітці ґрунту – якість розпушування (ступінь подрібнення, різнозернистість і гранулометричний склад структурних агрегатів), гребнистість поверхні, знищення бур'янів;
- визначити питому енергоємність процесу розпушування ґрунту ротаційним розпушувачем;
- провести порівняльну оцінку агротехнічних і енергетичних показників роботи досліджуваного ротаційного розпушувача і серійного ґрунтообробного знаряддя;
- визначити економічну та енергетичну ефективність ротаційного розпушувача ґрунту.

### 3.2. Методика експериментальних досліджень

До фізико–механічних властивостей ґрунту, які значною мірою впливають на процес їх подрібнення і величину опору різання, відносяться пито́ме зчеплення частинок ґрунту  $C_{\text{пит}}$ , наявність частинок  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм –  $\tau$ , вагова вологість  $\omega$ , об'ємна маса  $\gamma$ , кути внутрішнього  $\varphi_2$  і зовнішнього  $\varphi_1$  тертя. При проведенні досліджень застосовували сім зразків ґрунту, фізико – механічні властивості яких приведені в таблиці 3.1.

Для визначення об'ємної маси  $\gamma$ , вагової вологості  $\omega$ , кількості ударів твердоміра ДорНДІ  $C_y$ , граничну несучу здатність ґрунту  $K$ , склад частинок  $d_{0,01}$ -  $\tau$  використовували загальновідомі методики [9, 15, 110].

Пито́ме зчеплення частинок  $C_{\text{пит}}$  і кути зовнішнього і внутрішнього тертя ґрунту застосовували методику, яка розроблена професором А.М. Панченком [75]. Зсуваючий прилад мав внутрішній діаметр рухомої обойми  $D = 91,6$ мм; висоти рухомої і нерухомої обойм відповідно 15 і 25мм.

Переміщення обойми проводилось при допомозі гвинтової пари з кроком різьби 1мм через динамометр стискування ДОСМ – 0,5–0 штирем жорсткого штампу. Похибка приладу не перевищує  $\pm 2\%$ . По результатах досліджень зразків ґрунту побудовані графіки зсуву, по яких визначені значення кутів внутрішнього  $\varphi_2$  і зовнішнього  $\varphi_1$  тертя, зусилля зчеплення  $C$ . Графіки зсуву досліджуваних зразків ґрунту приведені на рис. 3.1.

Пито́ме зчеплення частинок ґрунту визначали по формулі

$$\tilde{N}_{i\delta} = \tilde{N} \cdot F_{\delta}^{-1}, \quad (3.1)$$

де  $C$  – сила зчеплення, Н;

$F_{\text{зр}}$  – поперечний переріз зрізувача приладу,  $\text{м}^2$ ,  $F_{\text{зр}} = 0,00658\text{м}^2$ .

Підрахунок кутів внутрішнього тертя ґрунту проводиться по формулі:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{\tilde{S}_1 - \tilde{S}_2}{9,8(G_1 - G_2)} = \arctg \frac{\tilde{S}_2 - \tilde{S}_3}{9,8(G_2 - G_3)} = \dots = \arctg \frac{\tilde{S}_i - \tilde{S}_{i+1}}{9,8(G_i - G_{i+1})}, \quad (3.2)$$

де  $\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \tilde{S}_3, \dots, \tilde{S}_i, \tilde{S}_{i+1}$  - зсуваючі зусилля приладу для відповідних сил ваги наважок на траверсу  $G_1, G_2, G_3, \dots, G_i, G_{i+1}$ .

Фізико-механічні властивості ґрунтів, які застосовувались для досліджень

Параметри	Номер зразка ґрунту						
	1	2	3	4	5	6	7
Об'ємна маса: в щільному стані $\gamma_{\max}$	1,79	1,75	1,71	1,69	1,64	1,61	1,5
в розпушеному стані $\gamma_{\min}$ , Т/М <sup>3</sup>	1,32	1,28	1,24	1,22	1,21	1,18	1,12
Кути тертя:							
внутрішнього $\phi_2$ ,	29	29	30	33	35	36	37
зовнішнього $\phi_1$ , град	20	20	21	22	23	24	25
Критична вагова вологість, $\omega_{\text{кр}}$ , %	9	12	14	16	21	24	30
Середнє питоме зчеплення частинок ґрунту $\bar{c}_{\text{пит}}$ , кН/м <sup>2</sup>	0,5	0,75	1,01	1,4	2,1	2,6	3,02
Кількість ударів твердоміра, $C_{\text{уд}}$	3	4	6	9	12	14	16
Середнє значення граничної несучої здатності ґрунту, $\bar{K}$ , кН/м <sup>2</sup>	220	300	430	580	715	800	900
Вміст частинок, $d_{0,01}$ ,% - $\tau$	5,4	9,3	13,6	18,1	24,2	33,4	38,2

Для визначення кутів зовнішнього тертя  $\phi_1$  застосовували в приладі пластинку із матеріалу ріжучого органу замість нижньої нерухомої обійми.

Для визначення міцності структурних агрегатів використовуємо спеціальний прилад конструкції ВІСГОМ (рис.3.2) [10].



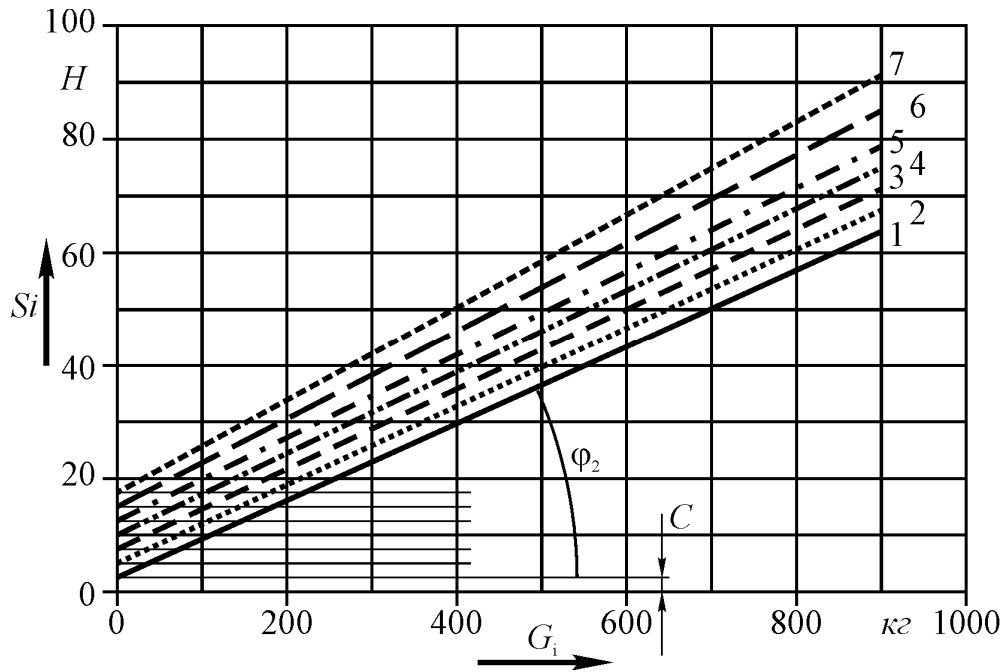


Рис. 3.1. Зсуваючі характеристики досліджуваних ґрунтів:

- 1 – зразок №1 ( $\tau = 5,4\%$  ;  $\omega = 9\%$ );
- 2 – зразок №2 ( $\tau = 9,3\%$  ;  $\omega = 12\%$ );
- 3 – зразок №3 ( $\tau = 13,6\%$  ;  $\omega = 14\%$ );
- 4 – зразок №4 ( $\tau = 18,1\%$  ;  $\omega = 16\%$ );
- 5 – зразок №5 ( $\tau = 24,2\%$  ;  $\omega = 21\%$ );
- 6 – зразок №6 ( $\tau = 33,4\%$  ;  $\omega = 24\%$ );
- 7 – зразок №7 ( $\tau = 38,2\%$  ;  $\omega = 30\%$ ).

Діапазони вимірюваних зусиль встановлюють зміщенням точки С кріплення пружини вздовж важеля 8. Похибка приладу  $\pm 1\%$ . Найбільша висота роздріблюваних грудок 100мм. Максимальне зусилля  $S_{max}$  фіксується другою стрілкою приладу.

Межа міцності структурного агрегату визначається по формулі

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{max.i}}{n \cdot \sum_{i=1}^n F_{Ki}}, \quad (3.3)$$

де  $S_{max.i}$  – максимальне зусилля роздавлювання структурних агрегатів;

$n$  – кількість дослідів ;

$F_{Ki}$  – площа контакту структурного агрегату з платформою приладу.

З метою полегшення визначення межі міцності структурних агрегатів в прилад закладали зразки ґрунтів № 1 – 7, виготовлені у вигляді куба розміром 10 x 10мм. При цьому варіювали вагову вологість ґрунту від 0 до 40%. Для зразків ґрунту вміст частинок ґрунту  $d_{0,01} \leq 0,01$ мм перебував в діапазоні 5,4 – 18,2%. Для отримання необхідної вагової вологості ґрунту добавляли в ґрунтове середовище воду вагою

$$D_{i^3} = D_{i^3} \cdot \left( \frac{\omega_s - \omega_0}{100} \right), \quad (3.4)$$

де  $P_{Pi}$  – вибрана вага ґрунту, кГ ;

$\omega_i$  – необхідна вагова вологість ґрунту, % ;

$\omega_0$  – початкова вагова вологість ґрунту, %.

Осьове зусилля тиску структурних агрегатів на дно визначалось в установці конструкції ДДАУ (рис. 3.3).

Установка складається із циліндричного барабана 1 з горловиною 6 для завантаження ґрунту, піддона 2, стійок 5. Піддон кріпиться через провувшини 3, що розміщені на бокових стінках барабана 1 і піддона 2, при допомозі динамометра розтягування 4. Радіус барабана складав  $R = 0,28$ м; довжина барабана  $T = 0,44$ м.

Барабан кріпиться до чотирьох стійок 5. Зазори між стінками барабана і піддоном складають 2мм. При проведенні експериментальних досліджень використовували зразки ґрунту № 1–7. При цьому змінювали розміри структурних агрегатів  $D_{500}$  в діапазоні від 10 до 100мм, змінювали коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів  $\eta$  від 10 до 90, вагову вологість ґрунту  $\omega$  від 0 до 40 відсотків.

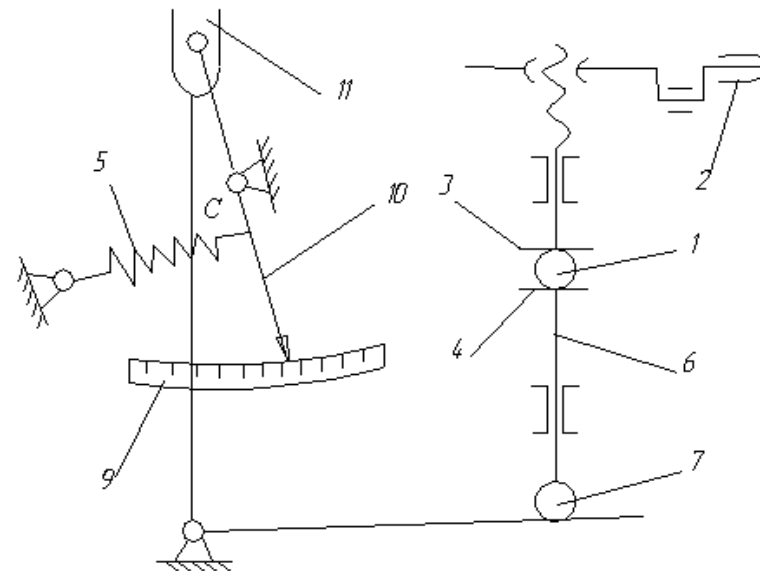


Рис. 3.2. Прилад для визначення міцності структурних агрегатів (ВІСГОМ)

1 – структурний агрегат; 2 – рукоятка; 3 – 4 – платформа; 5 – пружина;  
6 – шток; 7- ролик; 8 – важіль; 9 – шкала; 10 – стрілка; 11 – вилка.

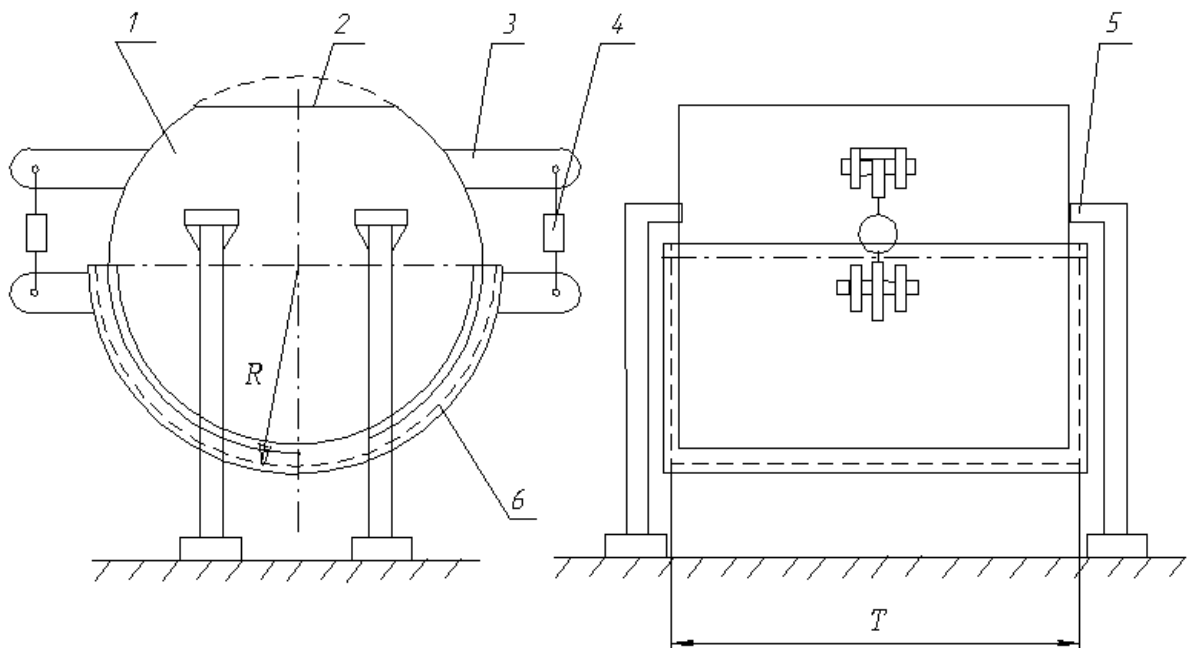


Рис. 3.3. Схема установки для визначення осевого зусилля тиску  
структурних агрегатів на дно

Для визначення ступеня подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем використовували спеціальний лабораторний стенд в ґрунтовому каналі.

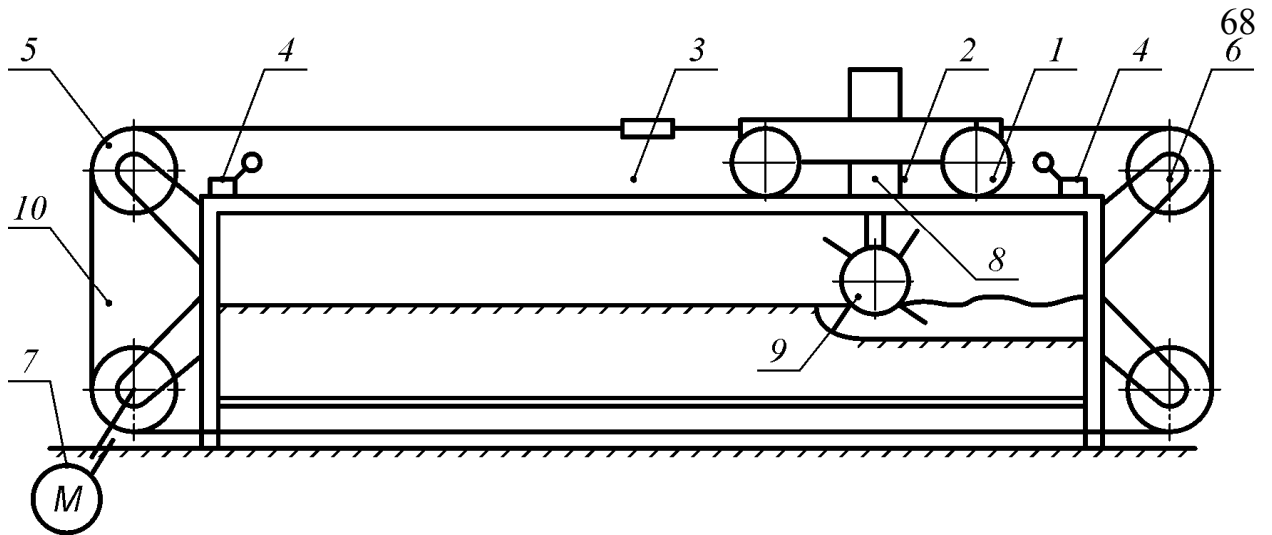


Рис. 3.4. Схема ґрунтового каналу

1 – ґрунтовий канал; 2 – візок; 3 – механізм тяги; 4 – кінцеві вимикачі; 5, 6 – зірочки; 7 – електродвигун з редуктором; 8 – шоки; 9 – робочий експериментальний орган; ланцюги.

Ступінь подрібнення ґрунту рівна

$$i = i_{\delta}^3 \cdot i_{\dot{\delta}}^3 \cdot i_{\ddot{\delta}}^3 \quad (3.5)$$

де  $i_p$  – ступінь подрібнення ґрунту ножем ротора;

$i_{cm}$  – ступінь подрібнення структурних агрегатів стискуванням ;

$i_{пер}$  – ступінь подрібнення структурних агрегатів перетиранням.

Для визначення ступеня подрібнення ґрунту ножем  $i_p$  використовували установку з ротором і ножами, які розміщені по периметру обертання. Параметри робочих органів приведені в таблиці 3.2. В процесі експерименту варіювали такими показниками : величиною кінематичного режиму  $\lambda$  от 1 до 8, кількістю ножів по периметру обертання ротора  $Z$ , поступальною швидкістю руху ротора в межах від 1,25 до 3,5 м/с.

При дослідженнях ступеня подрібнення ґрунту від стискування і перетирання ножі встановлювали по гвинтовій поверхні з кроком від 0,2 до 1,0м, глибина обробітку змінювалась від 0,05 до 0,25м. Ступінь подрібнення визначалась по формулі

$$\bar{i}_{\delta} \cdot \bar{i}_{\dot{\delta}} = \frac{\bar{i}}{\delta} \quad (3.6)$$

де  $\bar{i}_{\delta}$  – середня ступінь подрібнення ґрунту ножем ;

$\bar{i}_{\dot{\delta}}$  – середня ступінь подрібнення роторним культиватором ;

Параметри робочого органу для визначення  
ступеня подрібнення ґрунту ножем

Параметри	Позначення	Одиниці виміру	Результат
Радіус ротора	R	м	0,286
Ширина ножа	$l_H$	м	0,1
Кут зсуву ножа в плані	$\varepsilon$	град	30
Кількість ножів	Z	-	1; 2; 4; 6; 8

Таблиця 3.3

Параметри робочого органу для визначення ступеня подрібнення ґрунту від  
стискування і перетирання структурних агрегатів

Параметри	Позначення	Одиниці виміру	Результат
Радіус ротора	R	м	0,286
Ширина ножа	$l_H$	м	0,1
Кут зсуву ножа в плані	$\varepsilon$	град	30
Крок витка	T	м	0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0

Для визначення значення ступеня подрібнення використовували методику, розроблену професором Панченком [26].

Протягуємо ріжучий периметр по глибині  $a$  зі швидкістю  $V_M$  вздовж прозорої стінки ґрунтового каналу. Через прозору стінку визначаємо найбільш характерну ділянку по кришенню ґрунту.

Накладаємо на вибрану ділянку спеціальний прозорий шаблон розміром 50 x 50мм, розграфлений в кліточку з кроком 10мм

Заміряємо довжину  $l$  і товщину  $\delta$  структурних агрегатів і визначаємо їх приведений розмір по формулі

$$D_h = \sqrt{l_i \cdot \delta_i}, \quad (3.7)$$

де  $l_i$ ,  $\delta_i$  – відповідно довжина і товщина структурного агрегата, м.

В ранжованому порядку по зростанню зводимо приведені розміри в табл. 3.4. і визначаємо відсоток їх вмісту.

Із побудованого графіка гранулометричного складу структурних агрегатів визначаємо середній приведений розмір структурного агрегату  $D_{50i}$ , що складає 50 відсотків по площі.

Таблиця 3.4

## Розміри структурних агрегатів

Структурні агрегати		
Ранжований ряд приведених розмірів	Кількість розмірів	Відсоток вмісту частинок $\frac{\pi \cdot D_{li}^2 \cdot Z_{li}}{4 \cdot 0,05^2} \cdot 100\%$
$D_{l1}$	$Z_{l1}$	
$D_{l2}$	$Z_{l2}$	
$D_{l3}$	$Z_{l3}$	
...	...	
$D_{ln}$	$Z_{ln}$	
	Всього	100%

Розраховуємо ступінь подрібнення по формулі

$$\bar{x}_3 = \frac{D_{50i}}{D_{50^3}} = \frac{\sqrt[3]{\hat{a} \cdot \hat{a} \cdot \hat{E}_L}}{D_{50i}} \quad (3.8)$$

## 3.3. Методика польових досліджень

Польові дослідження експериментального ротаційного розпушувача ґрунту проводились на полях приватного сільськогосподарського підприємства "Залучанське".

Згідно із програмою досліджень метою польових досліджень було:

- перевірити якість розпушування ґрунту;
- визначити витрати потужності на обробіток ґрунту;
- визначити тяговий опір знаряддя.

Дослідження проводились з застосуванням ротаційного розпушувача ґрунту (рис.3.5) і діючого культиватора КВФ – 2,8. Технічні параметри ґрунтообробних знарядь приведені у таблиці.

Таблиця 3.5

## Технічна характеристика ротаційних ґрунтообробних знарядь

Показники	Позначення	Ґрунтообробні знаряддя	
		Діючий КВФ-2,8	Експериментальний ротаційний розпушувач
Ширина захвата, м	$B_0$	2,8	3,0
Продуктивність, га/год	П	1,9	2,6
Робоча швидкість, м/с	$V_m$	1.38 – 1,94	3,0
Глибина обробітку, м	$a$	0,14	0,15
Маса, кг	$G_p$	1300	600
Показник кінематичного режиму	$\lambda$	4 - 6	1,72
Число обертів вала ротора, хв. <sup>-1</sup>	n	540	180

Ротаційний розпушувач (рис. 3.5) складається із рами 1, на якій встановлений барабан 2. Барабан зроблено з горизонтальним валом 3. На барабані розміщені основні робочі ножі 4 і додаткові 5. Основні і додаткові ножі трикутної форми.

Основні ножі 4 розміщені під кутом до осі барабана і повернуті в плані на кут  $\varepsilon$  і закріплені на твірній поверхні барабана по гвинтовій лінії з правою навивкою. Між основними ножами розміщені додаткові ножі по гвинтовій лінії з лівою навивкою. Основні і додаткові ножі розміщені на другій половині довжини барабана дзеркально. Привід робочих органів здійснюється через ланцюгову передачу 6, конусний редуктор 7, карданний вал 8, вал відбору потужності трактора.

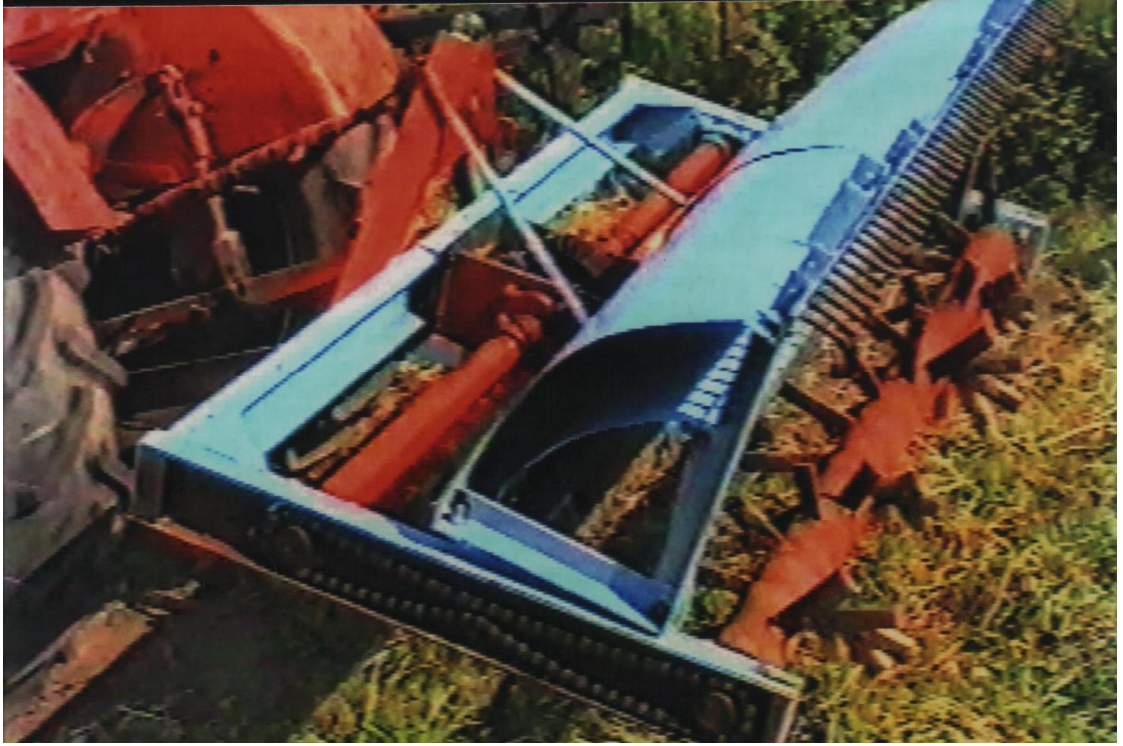


Рис. 3.5. Схема ротаційного розпушувача



Рис. 3.6. Ротаційний розпушувач ґрунту



Ротаційний розпушувач ґрунту працює таким чином: при обертанні барабана основні і додаткові ножі подрібнюють ґрунт і пожнивні рештки, перемішуючи нижні і верхні шари ґрунту вздовж осі барабана у взаємозустрічних напрямках. Ступінь подрібнення ґрунту досягається за рахунок різання ґрунту ножами, стискуванням і перетиранням структурних агрегатів. Суміщення трьох способів руйнування ґрунту покращує якість його обробітку.

Робочий орган ротаційного розпушувача має такі параметри:

- радіус ротора  $R = 0,286\text{м}$ ;
- ширина ножа  $l_H = 0,1\text{м}$ ;
- кут зсуву ножа в плані  $\varepsilon = 30^\circ$ ;
- кут різання  $\alpha_p = 25^\circ$ ;
- діаметр  $d_\delta = 0,15\text{м}$ ;
- крок витка  $T = 0,44\text{ м}$ ;
- ширина робочого органу  $B_0 = 3,0\text{ м}$ ;
- число обертів ротора  $n = 180\text{ хв}^{-1}$ .

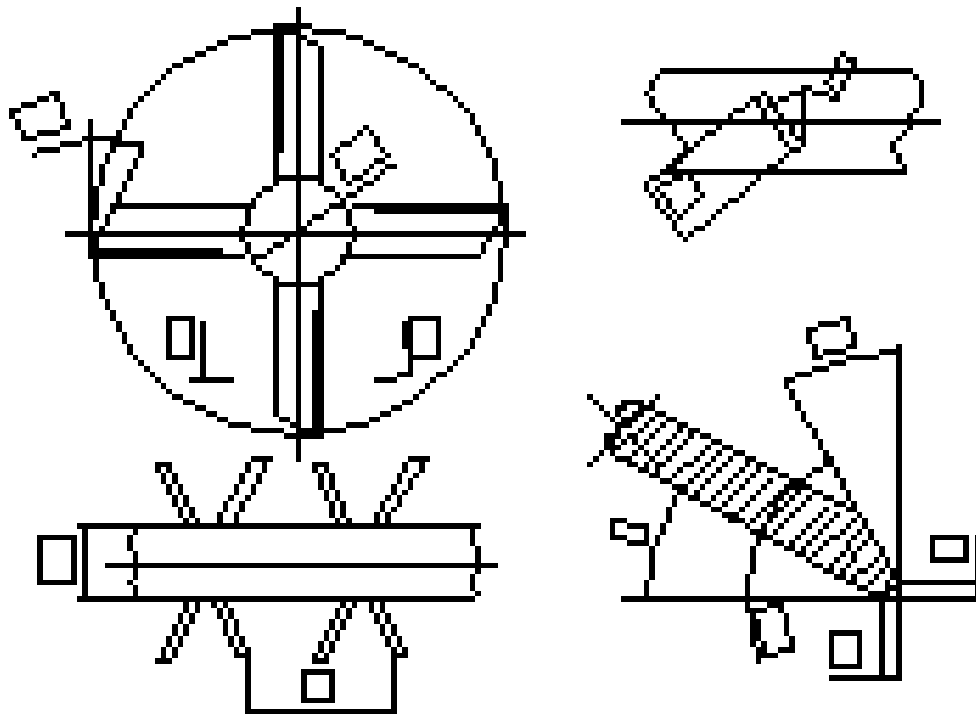


Рис. 3.7. Параметри робочого органу

Перевірка якості розпушування ґрунту включає :

- визначення ступеня подрібнення ґрунту і розмірів структурних агрегатів;
- визначення коефіцієнта різнозернистості;
- визначення висоти гребенів верхнього шару розпушеного ґрунту;
- визначення коефіцієнта забур'яненості поля пожнивними рештками.

Дослідження проводились на ділянці поля з такими характеристиками:

фон – стерня; коефіцієнт забур'яненості поля  $K_3 = 0,98$ .

Фізико – механічні властивості досліджуваного ґрунту такі:

- об'ємна маса ґрунту  $\gamma = 1,63 \text{ т/м}^3$ ;
- кути внутрішнього і зовнішнього тертя  $\varphi_2 = 30^\circ$  і  $\varphi_1 = 22^\circ$ ;
- вагова вологість ґрунту  $\omega = 22\%$ ;
- питоме зчеплення частинок  $C_{\text{пит}} = 0,58 \text{ кН/м}^2$ ;
- коефіцієнт вертикальної деформації ґрунту  $K_{\text{вд}} = 96 \text{ кН/м}^2$ ;
- межа міцності структурних агрегатів  $\sigma = 532 \text{ кН/м}^2$ .

Фізико–механічні властивості ґрунту визначались за загальноприйнятими методиками.

Питоме зчеплення частинок, кути внутрішнього і зовнішнього тертя визначались на приладі конструкції ДДАУ.

## РОЗДІЛ 4

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ РОТАЦІЙНОГО РОЗПУШУВАЧА

## 4.1. Результати експериментальних досліджень

## 4.1.1. Осьове зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни

Вплив на осьове зусилля тиску розміру структурних агрегатів  $D_{50i}$

Із збільшенням розмірів структурних агрегатів ґрунту осьове зусилля тиску їх на дно борозни зменшується (рис.4.1). Наприклад, при зміні розмірів структурних агрегатів  $D_{50i}$  від 10 до 100мм, при ваговій вологості  $\omega = 0$ , коефіцієнті різнозернистості структурних агрегатів  $\eta = 1,0$  для зразка ґрунту №7 осьове зусилля зменшується від 0,047 до 0,036 кН. Для супіщаних ґрунтів (зразок №4) осьове зусилля зменшилось від 0,049 до 0,039 кН.

В результаті виведена емпірична формула для визначення осьового зусилля тиску структурних агрегатів в залежності від їх розмірів  $D_{50i}$  (при  $\omega = 0$ ;  $\eta = 1,0$ ;  $\tau = 0$ )

$$\bar{E}_o^D = 0,028 \exp - 4,08 \bar{D}_{50i}, \quad (4.1)$$

Виведення формули приведено в додатку Д.1.

Вплив вагової вологості структурних агрегатів на осьове зусилля тиску

Осьове зусилля тиску структурних агрегатів суттєво змінюється від вагової вологості ґрунту. Із зростанням вагової вологості до критичного значення  $\omega_{кр}$  осьове зусилля тиску структурних агрегатів зменшується (рис. 4.2). Це пов'язано з тим, що при зростанні  $\omega$  збільшується питоме зчеплення структурних агрегатів і це приводить до зниження осьового зусилля тиску. При подальшому зростанні вагової вологості структурних агрегатів осьове зусилля збільшується, так як при  $\omega > \omega_{кр}$  питоме зчеплення структурних агрегатів зменшується. Залежно від вмісту частинок розміром менше 0,01 мм змінюється величина критичної вагової вологості. Наприклад для зразків ґрунту №1,2,3,4,5,6,7 із вмістом частинок  $d_{0,01} \leq 0,01$ мм 5,4%; 9,3%; 13,6%; 18,1%; 24,2%; 33,4%; 38,2% критична вагова вологість відповідно складає

9%; 12%; 14%; 16%; 21%; 24%; 30%. Візьмемо для прикладу зразок ґрунту №7. При збільшенні вагової вологості ґрунту від  $\omega = 0$  до  $\omega_{кр} = 30\%$  осьове зусилля тиску зменшується від 0,049 до 0,007 кН. При  $\omega$  більше 30 відсотків – від 30 до 40 % осьове зусилля тиску починає зростати з 0,07 до 0,09 кН.

Отримана емпірична формула залежності осьового зусилля тиску від вагової вологості при  $D_{50i} = 0,01\text{м}$ ;  $\eta = 1,0$ ;  $\tau = 0$

$$\bar{E}_0^\omega = 5,3 \cdot 10^{-5} \omega_i^2 - 0,0032 \cdot \omega_i + 0,055. \quad (4.2)$$

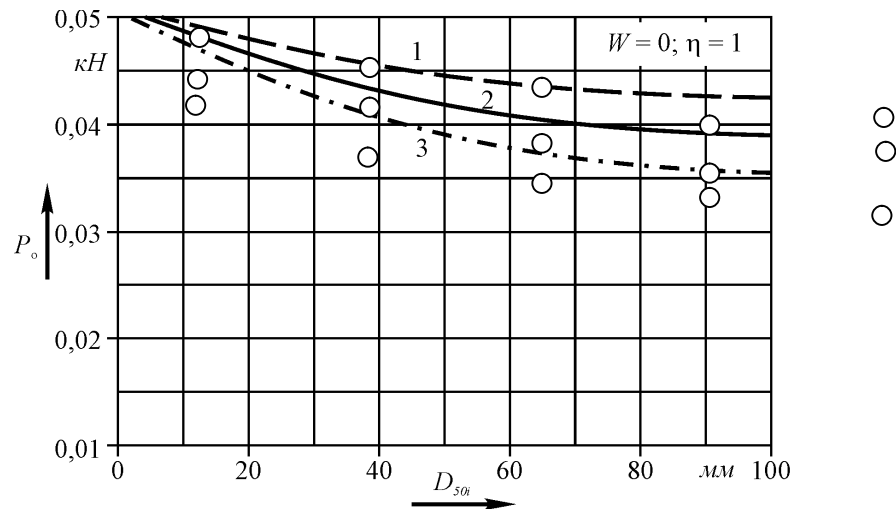


Рис. 4.1. Залежність осьового зусилля тиску структурних агрегатів  $P_o$  від розміру структурних агрегатів  $D_{50i}$

1 – для зразка ґрунту № 1; 2 – для зразка ґрунту № 4; 3 – для зразка № 7.

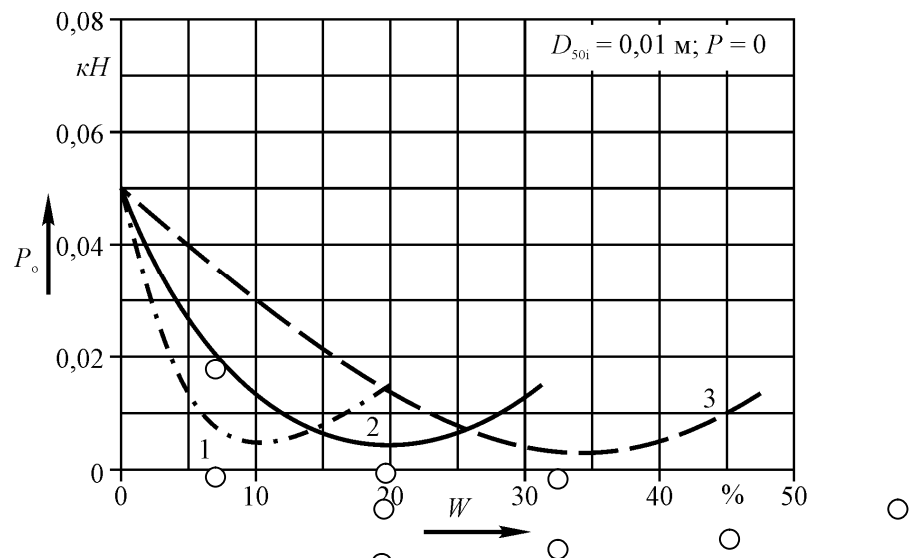


Рис.4.2. Залежність осьового зусилля тиску структурних агрегатів  $P_o$  від вагової вологості ґрунту  $\omega$

1 – для зразка ґрунту № 1; 2 – для зразка ґрунту № 4; 3 – для зразка № 7.

Вміст частинок розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм в складі ґрунту

Вміст частинок розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм в складі ґрунту суттєво впливає на питоме зчеплення частинок і структурних агрегатів, із збільшенням яких зменшується осьове зусилля тиску структурних агрегатів на дно борозни (рис. 4.3).

Наприклад, при збільшенні вмісту частинок  $\tau$  розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм від 0 до 25% в структурних агрегатах розміром  $D_{50} = 0,01$  м і коефіцієнтом різнозернистості  $\eta = 10$  з ваговою вологістю  $\omega = 20\%$  для зразка ґрунту №7 осьове зусилля тиску зменшується від 0,02 до 0,0075 кН.

Емпірична залежність осьового зусилля тиску від вмісту частинок  $\tau$  розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм буде мати вигляд (виведення формули в додатку Д.6)

$$\bar{D}_i^\tau = 0,0185 \alpha \delta \delta - 0,0344 \tau. \quad (4.3)$$

Коефіцієнт різнозернистості

Коефіцієнт різнозернистості  $\eta$  визначається із співвідношення

$$\eta = \frac{\bar{D}_{60i}}{\bar{D}_{10i}} \quad (4.4)$$

де  $\bar{D}_{60i}$ ,  $\bar{D}_{10i}$  - розміри структурних агрегатів, що відповідно складають 60% і 10% по площі перерізу, м.

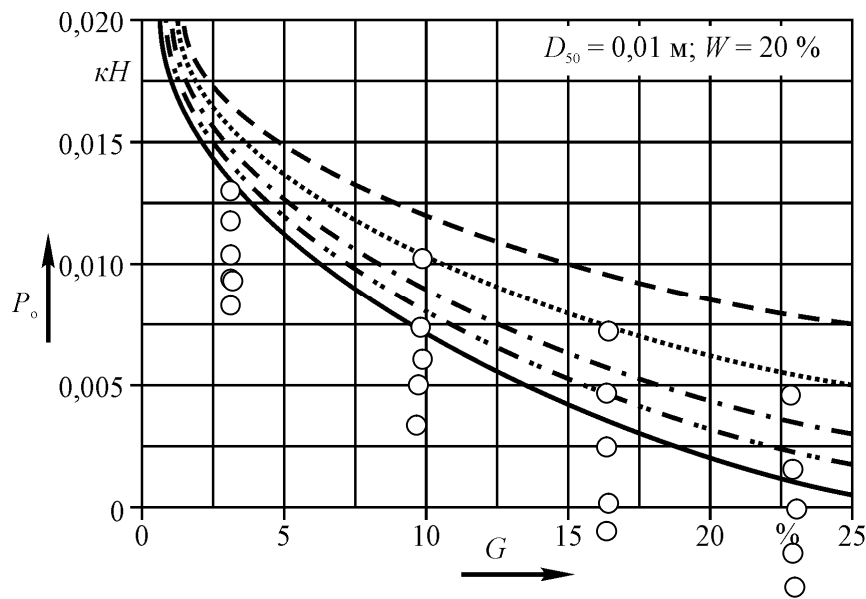


Рис. 4.3. Залежність осьового зусилля тиску структурних агрегатів  $P_0$  задежно від вмісту частинок розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм в об'ємі ґрунту при різних значеннях коефіцієнта різнозернистості структурних агрегатів

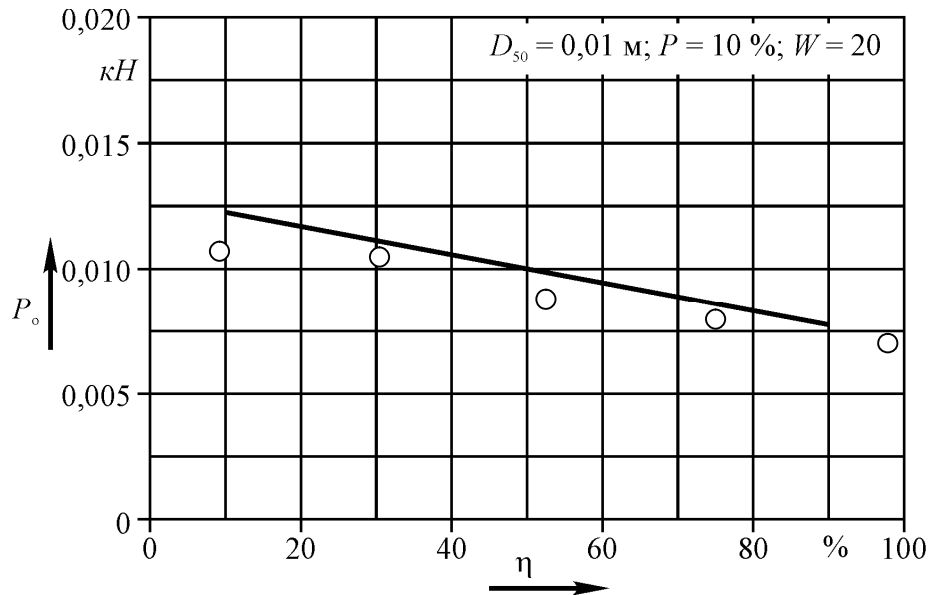


Рис. 4.4. Залежність осьового зусилля тиску структурних агрегатів  $P_0$  від коефіцієнта різнозернистості структурних агрегатів  $\eta$

Із збільшенням коефіцієнта різнозернистості структурних агрегатів осьове зусилля тиску зменшується (рис. 4.4). Це зв'язано з тим, що при великих значеннях  $\eta$  збільшується кількість структурних агрегатів невеликих розмірів, що приводить до додаткового збільшення питомого зчеплення структурних агрегатів. Наприклад, із збільшенням  $\eta$  від 10 до 90 для зразка ґрунту №7 при  $\tau = 10\%$ ;  $D_{50i} = 0,01$  м;  $\omega = 20\%$  осьове зусилля тиску знижується від 0,018 до 0,0075 кН.

Емпірична залежність осьового зусилля тиску  $P_0$  від коефіцієнта різнозернистості  $\eta$  складе (висновок в додатку Д.8).

$$\bar{D}_{0s}^{\eta} = -8,9 \cdot 10^{-5} \eta + 0,0148. \quad (4.5)$$

Отримана емпірична залежність осьового зусилля тиску  $P_0$  від різних факторів: розмірів структурних агрегатів  $D_{50i}$ , вагової вологості  $\omega$ , вмісту частинок  $\tau$  розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм, коефіцієнту різнозернистості структурних агрегатів  $\eta$  (висновок зроблено в додатку Д.9)

$$\begin{aligned} \bar{D}_{0s} = & 0,028 \bar{d}_{0,01} (-4,08 \bar{D}_{50i} - 0,0344 \tau_i) \cdot \\ & \cdot (96,3 \cdot 10^{-5} \cdot \omega_i^2 - 0,058 \omega_i + 1) \cdot (-142,0 \cdot 10^{-5} \eta + 0,236) \end{aligned} \quad (4.6)$$

## 4.1.2. Вплив різних факторів на межу міцності структурних агрегатів

## Вагова вологість структурних агрегатів

Як показали дослідження межа міцності структурних агрегатів залежить від вагової вологості  $\omega$ . Із збільшенням вагової вологості  $\omega$  до критичного значення  $\omega_{кр}$  межа міцності структурних агрегатів зростає до максимального значення (рис.4.5). При подальшому зростанню  $\omega$  межа міцності знижується.

Наприклад, для зразків ґрунту №1 ( $\tau = 5,4\%$ ); №2 ( $\tau = 9,03\%$ ); №3 ( $\tau = 13,6\%$ ); №4 ( $\tau = 18,1\%$ ); №5 ( $\tau = 24,2\%$ ); №6 ( $\tau = 33,4\%$ ); №7 ( $\tau = 38,2\%$ ) із збільшенням вагової вологості від 5% до  $\omega = \omega_{кр}$  межа міцності структурних агрегатів  $G$  збільшується відповідно від 130 до 180 кН/м<sup>2</sup>; від 180 до 230 кН/м<sup>2</sup>; від 200 до 280 кН/м<sup>2</sup>; від 220 до 370 кН/м<sup>2</sup>; від 240 до 480 кН/м<sup>2</sup>; від 250 до 670 кН/м<sup>2</sup>; від 300 до 890 кН/м<sup>2</sup>.

Емпірична формула залежності  $P_0$  від  $\omega$  має вигляд (додаток Д.2)

$$\bar{G}^{\omega_i} = -0,74 \cdot \omega_i^2 + 31\omega_i + 159,7. \quad (4.7)$$

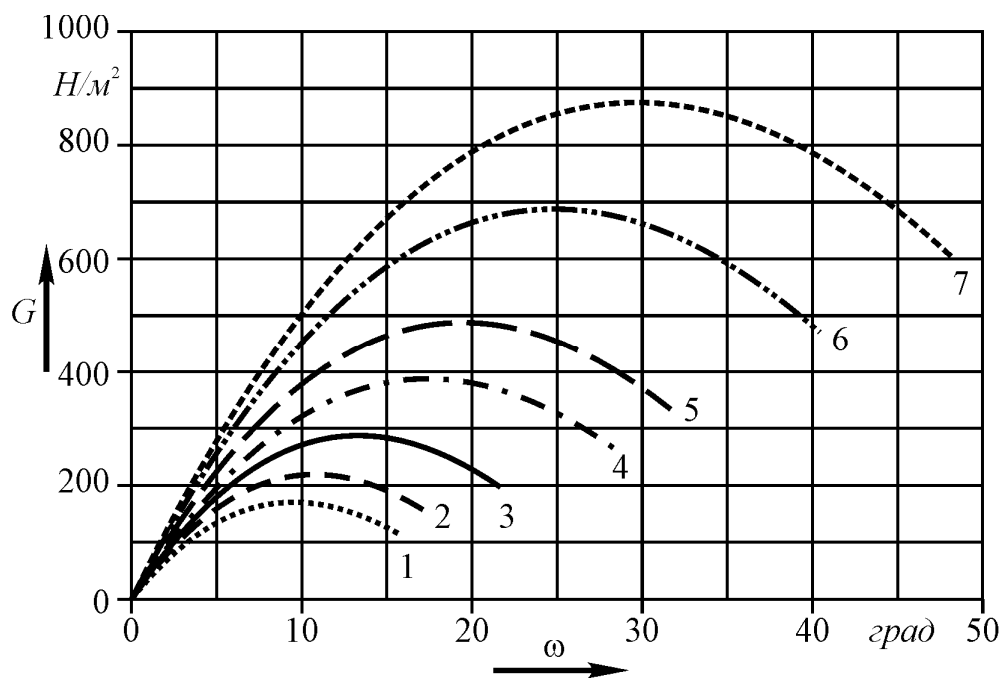


Рис. 4.5. Залежність межі міцності структурних агрегатів  $G$  від вологості  $\omega$

1 – зразок ґрунту №1; 2 – зразок ґрунту №2; 3 – зразок ґрунту №3;

4 – зразок ґрунту №4; 5 – зразок ґрунту №5; 6 – зразок ґрунту №6;

7 – зразок ґрунту №7.

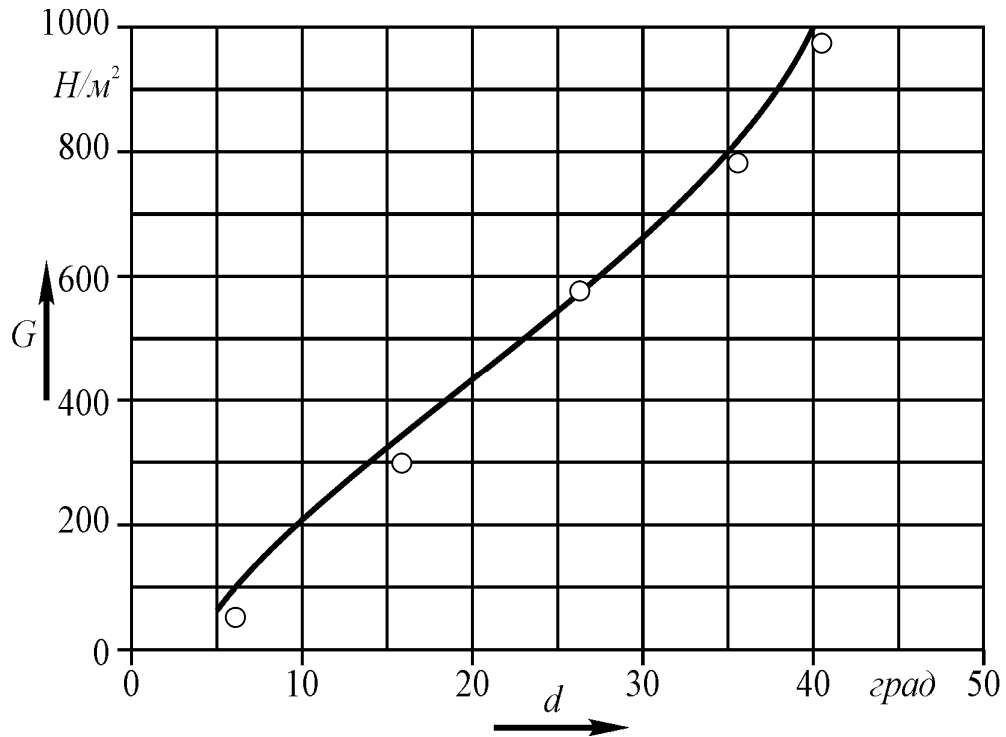


Рис. 4.6. Залежність межі міцності структурних агрегатів  $G$  від кількості частинок розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм в % при  $\omega = \omega_{кр}$

Склад частинок  $\tau$  розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм

Із збільшенням частинок розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм за рахунок збільшення питомого зчеплення частинок межа міцності структурних агрегатів збільшується (рис. 4.6).

Наприклад, із збільшенням розмірів частинок  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм від 5,5% до 38,2% при ваговій вологості  $\omega = \omega_{кр}$  межа міцності збільшується від 180 до 890 кН/м<sup>2</sup>.

Емпірична формула залежності  $G$  від  $\tau$  приведена в додатку Д.11:

$$\bar{G}^{\tau_i} = 135 \delta \delta \delta 0,049 \tau_s. \quad (4.8)$$

Кінцева емпірична формула залежності межі міцності структурних агрегатів від вмісту частинок розміром  $d_{0,01} \leq 0,01$  мм і вагової вологості буде мати вигляд, як у додатку Д.3:

$$\bar{\sigma} = 135 \delta \delta \delta 0,049 \tau_s \cdot (-0,00152 \omega_s + 0,064 \omega_s + 0,33). \quad (4.9)$$



### 4.1.3. Ступінь подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем

#### Ступінь подрібнення ґрунту $i_p$ ножами

На ступінь подрібнення ґрунту ножем впливають показник кінематичного режиму  $\lambda$ , швидкість руху знаряддя  $V_m$ , кількість ножів  $Z$ , межа міцності структурних агрегатів  $G$ .

Значно впливає на ступінь подрібнення ґрунту ножами розпушувача показник кінематичного режиму  $\lambda$  (рис.4.7). Із збільшенням показника кінематичного режиму  $\lambda$  від 1,0 до 8 при швидкості руху знаряддя  $V_m = 3,0 \text{ м/с}$  при розпушуванні ґрунту (зразок №5,  $\omega = 8\%$ ) ротаційним розпушувачем з кількістю ножів  $Z = 4$  ступінь подрібнення ножами збільшується від 2,25 до 17,8. При цьому число обертів вала ротора ( $R = 0,286 \text{ м}$ ;  $l_H = 0,1 \text{ м}$ ;  $\varepsilon = 30^\circ$ ) змінюється в межах від 150 до  $800 \text{ хв}^{-1}$ . Для показника кінематичного режиму  $\lambda = 1,72$  ступінь подрібнення ґрунту ножем складає  $i_p = 2,75$ .

Отримана емпірична формула для визначення ступеня подрібнення ґрунту ножами ротора залежно від показника кінематичного режиму  $\lambda$  (для  $V_m = 3,0 \text{ м/с}$ ;  $R = 0,286 \text{ м}$ ;  $l_H = 0,1 \text{ м}$ ;  $\varepsilon = 30^\circ$ ;  $\tau = 24,2\%$ ;  $G = 715 \text{ кН/м}^2$ ;  $C_{\text{пит}} = 0,5 \text{ кН/м}$ ;  $\omega = 18^\circ$ ;  $Z = 1 \text{ шт}$ ):

$$\bar{\lambda}^\lambda = 1,148 \lambda^{0,324} \lambda. \quad (4.10)$$

При значенні показника кінематичного режиму  $\lambda = 1,72$  із збільшенням поступальної швидкості знаряддя  $V_m$  від 1,0 до 3,5 м/с ступінь подрібнення ґрунту ножем  $i_p$  збільшується від 1,0 до 3,5 (рис. 3.16).

Емпірична формула залежності ступеня подрібнення ножами  $i_p$  від швидкості руху знаряддя (для  $\lambda = 1,72$ ;  $\tau = 24,2\%$ ;  $G = 715 \text{ кН/м}^2$ ;  $C_{\text{пит}} = 9$ ;  $\omega = 18^\circ$ ) має вигляд (висновки в додатку Д.10):

$$\bar{\lambda}^v = 21,0 \lambda^{0,75} \cdot (-0,75 \cdot V_i). \quad (4.11)$$

Зі збільшенням кількості ножів  $Z$  по периметру кола ротора також збільшується ступінь подрібнення  $i_p$  (рис. 4.8). Наприклад, для ротаційного розпушувача з кількістю ножів  $Z = 1; 2; 4; 6; 8$  при  $\lambda = 1,72$  і швидкості руху знаряддя  $V_m = 3,0 \text{ м/с}$  ступінь подрібнення ґрунту ножами відповідно складає 2,2; 2,7; 3,5; 5,1; 6,6.

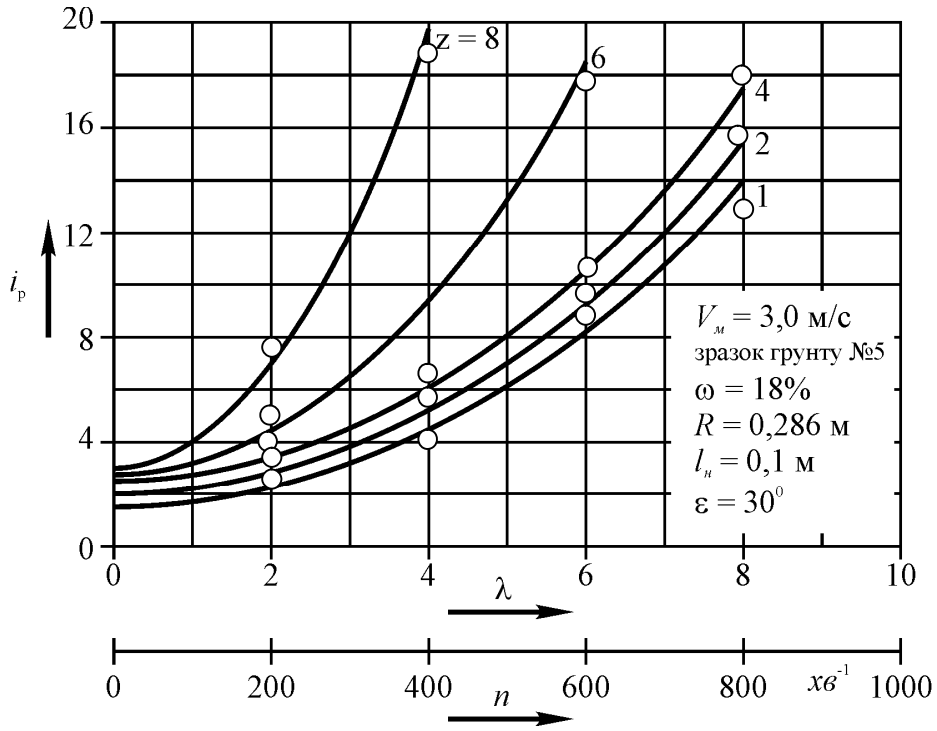


Рис. 4.7. Графіки залежності ступеня подрібнення ґрунту ножем від:  
 а – показника кінематичного режиму  $\lambda$ ;  
 б – числа обертів ротора  $n$ .

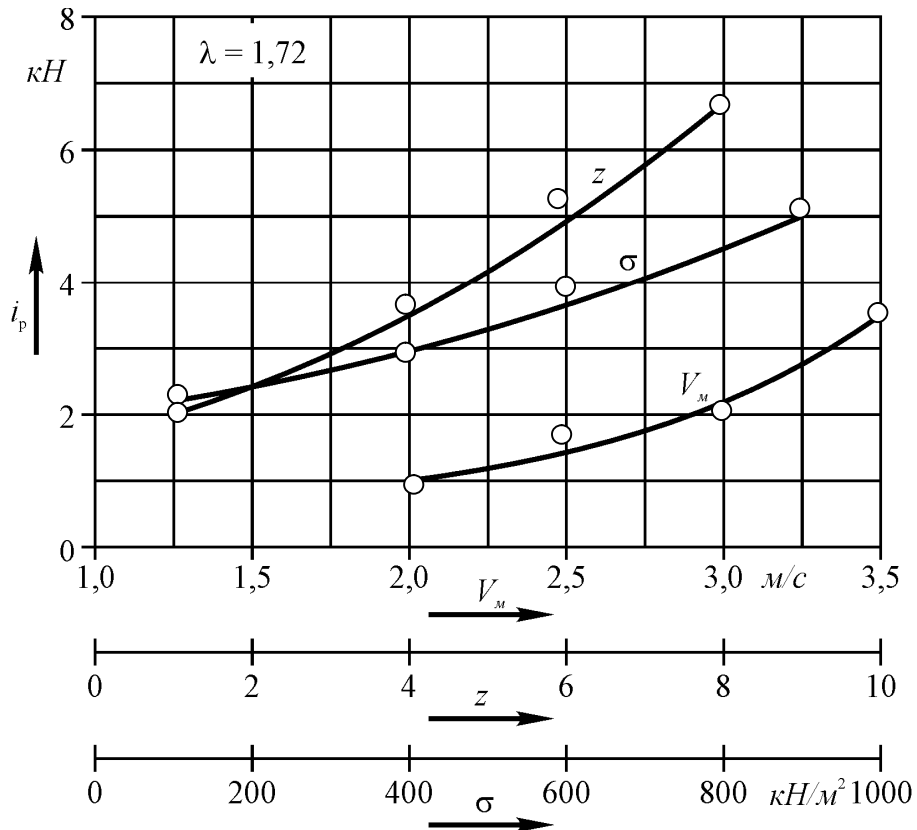


Рис. 4.8. Графіки залежності ступеня подрібнення ґрунту ножем від:  
 а – кількості ножів  $Z$ ; б – швидкості руху зняряддя  $V_m$ ;  
 в – межі міцності структурних агрегатів  $G$ .

Отримана емпірична формула залежності ступеня подрібнення ґрунту ножами від їх кількості  $Z$ :

$$\bar{i}_{\delta}^Z = 1,84 \cdot Z \cdot 0,173 \cdot Z. \quad (4.12)$$

Зі збільшенням межі міцності ґрунту для зразків ґрунту №1- 7 із 180 до 900 кН/м<sup>2</sup> (рис. 4.8) ступінь подрібнення ґрунту ножами  $i_p$  зростає лінійно від 2,2 до 5,0.

Емпірична формула має вигляд (висновок зроблено в додатку Д.12):

$$\bar{i}_{\delta}^G = 0,0034\sigma + 1,82. \quad (4.13)$$

Загальна емпірична формула для розрахунку ступеня подрібнення ґрунту ножами залежно від показника кінематичного режиму  $\lambda$ , кількості ножів  $Z$ , швидкості руху знаряддя  $V_m$ , межі міцності ґрунту  $\sigma$  (висновок у додатку Д.13):

$$\bar{i}_{\delta} = 9,15 \cdot (0,324\lambda + 0,173Z - 0,75V_i) \cdot (0,00081\sigma + 0,436). \quad (4.14)$$

Ступінь подрібнення ґрунту стискуванням і перетиранням структурних агрегатів  $i_{ст} \cdot i_{пер}$

Як показали емпіричні дослідження ступінь подрібнення структурних агрегатів стискуванням і перетиранням залежить від показника кінематичного режиму  $\lambda$ , швидкості руху знаряддя  $V_m$ , кроку витка  $T$ , глибини обробітку  $a$ , границі міцності структурних агрегатів  $\sigma$ .

Зі збільшенням показника кінематичного режиму  $\lambda$  від 1 до 8 ступінь подрібнення структурних агрегатів  $i_{ст} \cdot i_{пер}$  збільшується від 9,2 до 16,9 (рис. 4.10), для  $\lambda = 1,72 - i_{ст} \cdot i_{пер} = 12,0$ . Дану залежність можна виразити формулою додатку Д.14:

$$\bar{i}_{\delta}^{\lambda} = 9,2 \cdot \lambda. \quad (4.15)$$

для  $a = 0,15$  м;  $V_m = 3,0$  м/с;  $T = 0,44$  м;  $l_H = 0,1$  м;  $\varepsilon = 30^0$ ;  $\omega = 18\%$ ; зразки ґрунту №5.

На ступінь подрібнення  $i_{ст} \cdot i_{пер}$  також значно впливає крок витка  $T$  (рис. 4.10).

Збільшуючи крок витка  $T$  від 0,2 до 1,0 м, ступінь подрібнення  $i_{ст} \cdot i_{пер}$  зменшується в 3,6 рази. Для кроку витка  $T = 0,44$  м ступінь подрібнення структурних агрегатів від стискування і перетирання складає  $i_{ст} \cdot i_{пер} = 10,1$ .

Емпірична формула залежності  $i_{ст} \cdot i_{пер}$  від кроку витка  $T$  при  $\lambda = 1,72$ ;  $a = 0,15$  м;  $V_m = 3,0$  м/с; зразка ґрунту №5 рівна (виведення формули дано в додатку Д.15).

$$\bar{i}_{ст} \cdot \bar{i}_{пер} = 17,6 \cdot T^{-1,334} \quad (4.16)$$

При  $\lambda = 1,72$ ;  $T = 0,44$  м;  $a = 0,15$  м із збільшенням швидкості руху знаряддя  $V_m$  від 1,0 до 3,5 м/с ступінь подрібнення структурних агрегатів  $i_{ст} \cdot i_{пер}$  збільшується від 8,3 до 12,0.

$$\bar{i}_{ст} \cdot \bar{i}_{пер} = 7,8 \cdot V_m^{0,123} \quad (4.17)$$

Виведення емпіричної формули приведено в додатку Д.16.

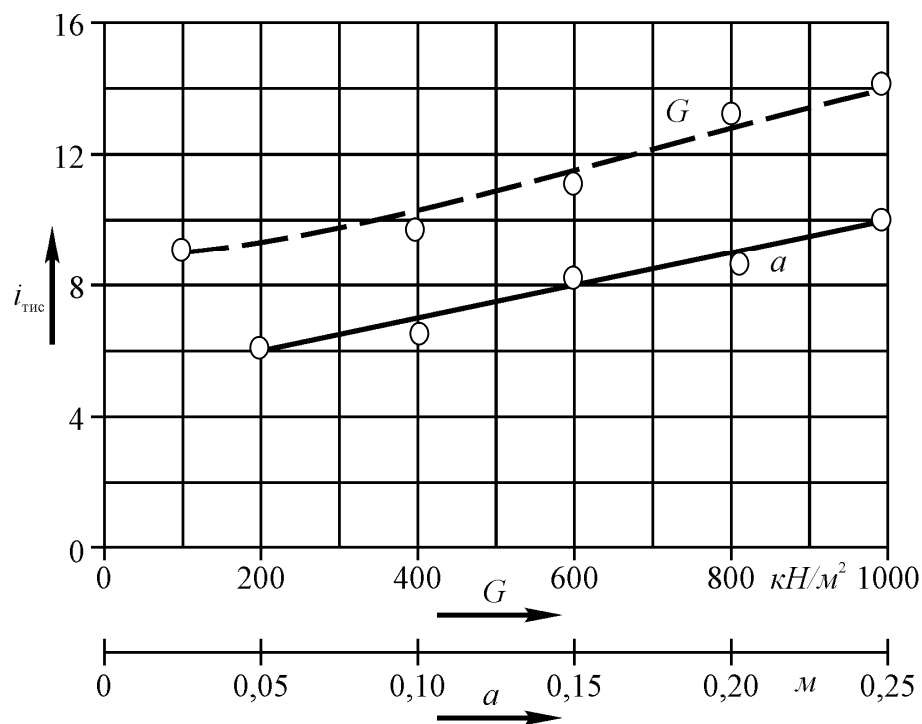


Рис. 4.9. Графіки залежності ступеня подрібнення ґрунту стискуванням і перетиранням від:

а – глибини обробки ґрунту  $a$ ;

б – границі міцності структурних агрегатів  $\sigma$ .

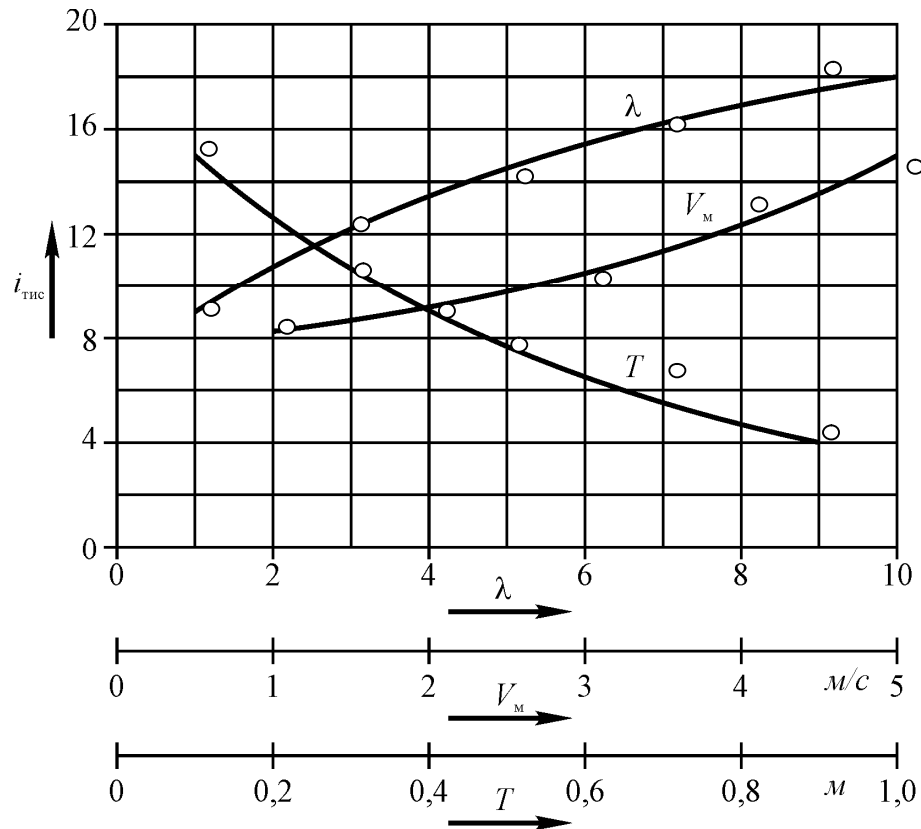


Рис. 4.10. Графіки залежності ступеня подрібнення ґрунту стискуванням і перетиранням від:

- а – показника кінематичного режиму  $\lambda$ ;
- б – швидкості руху знаряддя  $V_m$ ;
- в – кроку витка ножів  $T$ .

Із збільшенням глибини обробітку ґрунту  $a$  ступінь подрібнення  $i_{\text{ст}} \cdot i_{\text{пер}}$  збільшується лінійно (рис. 4.9). Наприклад, при збільшенні глибини обробітку ґрунту від 0,05 до 0,25 м ступінь подрібнення ротаційним розпушувачем збільшується від 6,1 до 12,9. Дану залежність можна виразити за емпіричною формулою: (при  $T = 0,44$  м,  $\lambda = 1,72$ ).

$$\bar{i}_{\text{нò}}^{\dot{a}} \cdot \bar{i}_{\text{іаò}}^{\dot{a}} = 6,5\dot{a} + 7,69. \quad (4.18)$$

Виведення залежності:

$$\bar{i}_{\text{нò}}^{\dot{a}} \cdot \bar{i}_{\text{іаò}}^{\dot{a}} = f(a).$$

Отримана емпірична формула для визначення ступеня подрібнення  $\bar{i}_{\text{ст}} \cdot \bar{i}_{\text{пер}}$  залежно від границі міцності структурних агрегатів  $\sigma$  (додаток Д.18).

$$\bar{i}_{\text{ст}}^{\sigma} \cdot \bar{i}_{\text{пер}}^{\sigma} = 0,43 \exp \cdot 0,00463\sigma \quad (4.19)$$

Із збільшенням межі міцності  $\sigma$  структурних агрегатів ступінь подрібнення  $i_{ст} \cdot i_{пер}$  збільшується (рис. 4.9). Наприклад, при збільшенні  $\sigma$  від 180 до 890 кН/м<sup>2</sup> ступінь подрібнення збільшується від 8,2 до 12,8.

Кінцева, емпірична формула для визначення ступеня подрібнення ґрунту стискуванням і перетиранням структурних агрегатів має вигляд:

$$\bar{i}_{ст} \cdot \bar{i}_{пер} = 0,264 \exp \cdot (0,83\lambda - 1,334T + 0,123V_{м} + 0,00463\sigma) \cdot (0,0008\psi + 0,436) \cdot (0,75a + 0,887) \quad (4.20)$$

Теоретичні та експериментальні дослідження показали, що найбільший вплив на процес розпушування ґрунту мають показник кінематичного режиму  $\lambda$  і поступальна швидкість знаряддя  $V_{м}$ . Тому під час експериментальних досліджень було встановлено вплив цих чинників на ступінь подрібнення ґрунту і та витрати потужності  $N$  на привод робочих органів. Матриці планування експериментів і значення параметрів оптимізації, обробка експериментальних даних для двох чинників наведені у додатках. За результатами обробки експериментальних даних були отримані рівняння в кодованій форм:

для ступеня подрібнення ґрунту:

для потужності на привод розпушувача:

Після переходу від кодованих позначень чинників до натуральних рівняння регресії набудуть вигляду:

для ступеня подрібнення ґрунту:

$$i = 8,8973 + 5,0827V + 4,02101\lambda - 0,6840V^2 - 0,3389\lambda^2;$$

для потужності на привод розпушувача:

$$N = 0,6456 + 0,0087V + 1,5295\lambda + 0,3916V^2$$

#### 4.2. Результати польових досліджень експериментального ротаційного розпушувача

Якість розпушування ґрунту

В результаті польових досліджень ротаційного розпушувача ґрунту визначено якість розпушування ґрунту.

В табл. 4.1. дано середнє значення ступеня подрібнення ґрунту. Гранулометричний склад структурних агрегатів ґрунту після розпушування ротаційним розпушувачем ґрунту і фрезерним культиватором приведено на рис. 4.15.

Із табл. 4.1. вибираємо початок відліку  $\tilde{i} = 20,0$  і приймаємо величину інтервалу  $\Delta S = 1,0$ .

Визначаємо середнє значення

$$\bar{e} = \frac{\sum m e}{m_s} = \frac{0,85}{19} = 0,0447.$$

$$\bar{i} = \tilde{i} + \Delta S \cdot \bar{e} = 20 + 1 \cdot 0,0447 = 20,045.$$

Середнє значення ступеня подрібнення ґрунту експериментальним ротаційним розпушувачем приведена у таблиці.

Таблиця 4.1.

Ступінь подрібнення ґрунту ротаційним розпушувачем

№ п/п	Середнє значення ступеня подрібнення, $\tilde{i}$	Потрібне значення ступеня подрібнення, $i$	Кількість $m$	Розрахунок			Контроль		
				$u$	$mu$	$mu^2$	$X$	$mX$	$mX^2$
1	16,3		1	-3,7	-3,7	1,69	-2,9	-2,9	8,41
2	17,4		1	-2,6	-2,6	6,76	1,8	-1,8	3,24
3	18,6		2	-1,4	-2,8	15,68	-0,6	-1,2	2,88
4	19,2		4	-0,8	-3,2	40,96	0	0	0
5	20,1	19,5	3	0,1	0,3	0,27	0,9	2,7	5,31
6	21,5		3	1,05	3,15	29,76	1,85	5,55	10,26
7	21,2		2	1,2	2,4	11,52	2,0	4,0	8,0
8	21,8		1	1,8	1,8	3,24	2,6	2,6	6,76
9	22,3		1	2,3	2,3	5,29	3,1	3,1	9,61
10	23,2		1	3,2	3,2	10,24	4,0	4,0	16,0
Сума		19,5	19	-	0,85	137,41	-	16,05	70,47

Як бачимо, контрольні розрахунки дають такі ж результати.

Відхилення розрахункового значення ступеня подрібнення і від експериментальних  $\bar{i}$  складе

$$\Delta^3 = \frac{\bar{z} - z}{\bar{z}} \cdot 100\% = \frac{20,045 - 19,2}{20,045} \cdot 100\% = 4,2\%.$$

Для удосконаленого ротаційного розпушувача без зубових борін якість розпушування ґрунту за один прохід така:

1) середній розмір структурних агрегатів після розпушування ґрунту складе:

$$\bar{D}_{50K} = \frac{0,95}{\bar{i}} = \frac{0,95}{20,045} = 0,0097i ;$$

2) коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів (рис. 4.12) рівний:

$$\bar{\eta} = \frac{\bar{D}_{60\dot{E}}}{\bar{D}_{10K}} = \frac{0,04}{0,021} = 18,9;$$

3) середнє значення ступеня подрібнення рівне:

$$\bar{z} = 20,045;$$

4) вагове середньоквадратичне відхилення:

$$\bar{\sigma} = \frac{13,52 + 2,688}{2} = 8,1.$$

Для фрезерного культиватора КВФ – 2,8 якість розпушування ґрунту за один прохід має такий результат:

1) середній розмір структурних агрегатів складає:

$$\bar{D}_{50K} = 0,0075i$$

2) коефіцієнт різнозернистості структурних агрегатів:

$$\bar{\eta} = \frac{\bar{D}_{60\dot{E}}}{\bar{D}_{10K}} = \frac{0,52}{0,0105} = 49,5;$$

3) середня ступінь подрібнення ґрунту рівна:

$$\bar{z} = \frac{0,195}{\bar{D}_{50K}} = \frac{0,195}{0,0075} = 26,0.$$



Розпушування ґрунту фрезерним культиватором відрізняється від ротаційного розпушувача тим, що структурні агрегати складають  $\bar{D}_{50\kappa} = 7,5\text{мм}$ , коефіцієнт різнозернистості більший на 30,6 і складає 49,5, що значно більше значення коефіцієнта різнозернистості за агротехнічними вимогами ( $\eta = 9 - 16$ ). В процесі розпушування ґрунту фрезерним культиватором утворюються в великій кількості структурні агрегати дрібних розмірів.

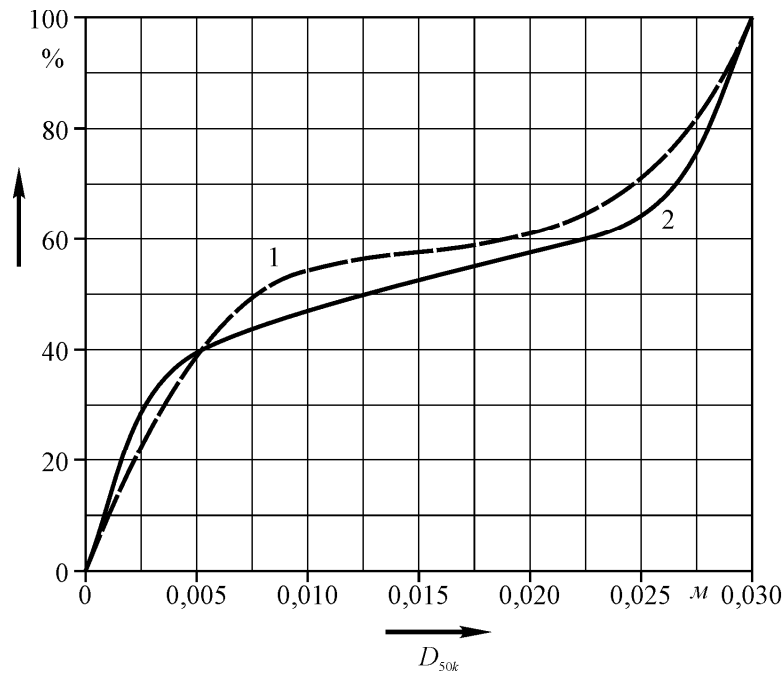


Рис. 4.15. Гранулометричний склад структурних агрегатів ґрунту після розпушування:

1 – експериментальним культиватором; 2 – фрезерним КВФ – 2,8.

Результати визначення коефіцієнта забур'яненості поля  $K_{\text{вб}}$  приведені у таблиці.

Таблиця 4.2

Знищення бур'янів експериментальним ротаційним розпушувачем ґрунту

№ ділянки	Кількість стерні на 1 м <sup>2</sup> , тис. шт		Коефіцієнт забур'яненості експериментального розпушувача $K_{\text{вб}}$	
	до обробітку	після обробітку	до обробітку	після обробітку
1	16,4	0,2	0,73	0,0012
2	17,3	0,03	0,71	0,0017
3	15,4	0,018	0,68	0,00117
4	13,3	0,016	0,54	0,0012

5	17,2	0,024	0,72	0,0014
6	18,5	0,025	0,84	0,00135
7	14,4	0,018	0,69	0,00125
8	15,7	0,016	0,68	0,00102
9	18,2	0,026	0,9	0,00142
10	19,3	0,03	0,86	0,00155
11	16,8	0,031	0,81	0,00184
12	17,3	0,032	0,74	0,00185
13	18,9	0,035	0,89	0,00185
14	17,7	0,027	0,81	0,00153

Таблиця 4.3

Статистичні характеристики варіації признаку  $K_{\text{вд}}$  при розпушуванні ґрунту експериментальним ротаційним розпушувачем

Найменування характеристики	Результат	
	До обробітку	Після обробітку
Середнє значення $\bar{K}_{\text{вд}} = \sum_{s=1}^n K_{\text{вд}i} g_i \cdot \frac{1}{n}$	0,75	0,00145
Дисперсія $D_{K_{\text{вд}}} = \sum_{i=1} (K_{\text{вд}i} - \bar{K}_{\text{вд}})^2 \cdot \frac{1}{n}$	-	$-11,69 \cdot 10^{-8}$
Середнє квадратичне відхилення $\sigma_{K_{\text{вд}}} = \sqrt{D_{K_{\text{вд}}}}$	-	$1,37 \cdot 10^{-12}$
Коефіцієнт варіації $K_v = \frac{\sigma_{K_{\text{вд}}}}{K_{\text{вд}}}$	-	$9,44 \cdot 10^{-10}$

Ножі ротаційного розпушувача дуже добре перемелюють пожнивні рештки і заробляють їх в ґрунт. Крім цього, зуби борони, які влаштовані в кожух ротора, прочісують залишки стерні і направляють їх на ножі ротора. Коефіцієнт забур'яненості ґрунту був в межах від 0,0012 до 0,0085. Середнє значення коефіцієнта забур'яненості складало 0,00145, що в повній мірі відповідає агротехнічним вимогам обробітку ґрунту.

Висота гребенів поверхневого шару була в межах від 0,012 до 0,024 м, а в середньому склала 0,017 м.

#### 4.3. Розрахунок техніко-економічної ефективності використання ротаційного розпушувача ґрунту

Завершальним етапом будь-яких досліджень та впровадження їх результатів у виробництво є оцінка економічної ефективності розробленої машини. Економічні показники визначали на основі існуючих методик за загальноприйнятими формулами, згідно ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88, ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24056-88 [30, 31, 69, 107].

За базовий агрегат приймаємо агрегат в складі трактора МТЗ-80 і ротаційного культиватора КВФ-2,8 [60, 107]. Розроблений ротаційний розпушувач ґрунту теж агрегується із трактором класу 1,4.

Таблиця 4.5

#### Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності ротаційного розпушувача ґрунту

Показники	Умовне позначення	Значення показників	
		Базова машина	Модернізована машина
Ширина захвату, м	$B$	2,8	3,0
Робоча швидкість руху, км/год	$V$	6,98	10,8
Коефіцієнт використання часу зміни	$\tau_{зм}$	0,8	0,8
Час зміни, год	$t_{зм}$	7	7
Нормативне річне завантаження, год:			
– трактора	$T_{тр}$	1200	1200
– ротаційного розпушувача ґрунту	$T_{рр}$	200	200
Балансова вартість, грн.:			
– трактора	$B_{тр}$	75000	75000
– ротаційного розпушувача ґрунту	$B_{рр}$	19000	12000
Маса трактора, кг	$M_{тр}$	3350	3350
Маса ротаційного розпушувача ґрунту, кг	$M_{рр}$	1300	600
Потужність двигуна трактора, кВт	$N_n$	58,9	58,9

Кількість обслуговуючого персоналу, люд	$n$	1	1
Тарифна годинна оплата механізатора, грн.	$f_{год}$	1,25	1,25
Норми відрахувань для трактора, %:			
– на реновацію	$a_{pm}$	12,5	12,5
– на капітальний ремонт	$a_{км}$	4,0	4,0
– на поточний ремонт	$a_{nm}$	22,0	22,0
Норми відрахувань для ротаційного розпушувача ґрунту, %:			
– на реновацію	$a_{ppp}$	16,6	16,6
– на поточний ремонт і ТО	$a_{npp}$	15,0	15,0
Питома витрата палива, кг/кВт · год	$g_e$	0,245	0,245
Теплотворна здатність палива, МДж/кг	$A_n$	52,8	52,8
Комплексна вартість палива, грн./кг	$Ц_n$	5,2	5,2
Коефіцієнти:			
– завантаження двигуна	$K_z$	0,93	0,93
– простоїв та холостих ходів	$K_{xx}$	0,94	0,94
– надбавки до заробітної плати	$K_{\phi}$	1,375	1,375
– ефективності капіталовкладень	$E$	0,15	0,15
– додаткових витрат енергії на видобування, виробництво і транспортування палива, МДж	$a_k$	10	10
Енергетичні еквіваленти, МДж:			
– трактора	$A_T$	86,4	86,4
– ротаційного розпушувача ґрунту	$A_{pp}$	75,0	75,0
– живої праці	$a_{п}$	43,4	43,4

Продуктивність агрегату за годину змінного часу:

$$W_{\text{аіа}} = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot \tau_{\text{сі}} , \quad (5.19)$$

де  $W_{\text{год}}$  – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год;

$B$  – ширина захвату агрегату, м;

$V$  – швидкість руху агрегату, км/год.

Енергомiсткiсть операцiї:

$$A_i = \frac{N}{W_{\text{сі}}} , \quad (5.20)$$

де  $N$  – потужність двигуна трактора, кВт.

Одержані значення техніко-економічних та енергетичних показників приведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Техніко-економічні та енергетичні показники ротаційного розпушувача

Показники	Умовні позна- чення	Значення показників	
		базовий	дослідний
Продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год	$W_{год}$	1,56	2,59
Змінна продуктивність агрегату, га/зміну	$W_{зм}$	10.94	18.13
Енергомісткість операцій, кВт/га	$E_m$	5,38	3,24
Матеріаломісткість операції, т/га	$M_m$	425,1	217,8
Енергонасиченість операції, кВт/т	$E_n$	0,012	0,015
Продуктивність праці обслуговуючого персоналу, га/люд.-год.	$П_{пр}$	1,56	2,59
Прямі затрати праці обслуговуючого персоналу, люд.-год./га	$З_{пр}$	0,091	0,055
Ступінь зниження питомих затрат праці обслуговуючого персоналу, %	$C_{зп}$		39,5
Експлуатаційні витрати, грн. /га	$B_e$	55.87	31,93
в тому числі:			
– сума амортизаційних відрахувань на агрегат	$\Sigma B_a$	1,61	0,15
– сума витрат на поточний ремонт і ТО	$\Sigma B_{пто}$	1,53	0,63
– витрати на ПММ	$B_{пмм}$	49,0	28,9
– витрати на оплату праці	$B_{оп}$	3.73	2.25
Річна економія експлуатаційних витрат, грн.	$E_{ев}$		12492,5
Ступінь зниження експлуатаційних витрат, %	$C_{ев}$		42,8

Питомі капіталовкладення, грн./га	$K_n$	60,9	23,1
Приведені експлуатаційні витрати, грн./га	$P_{ев}$	64,9	35,2
Річний економічний ефект, грн..	$E_p$		17179,4
Термін окупності конструкції дослідного ротаційного розпушувача ґрунту, років	$T_{ок}$		1
Питомі енергетичні витрати, МДж/га	$E_n$	664,5	385,1
в тому числі:			
– прямі витрати енергії	$E_{пр}$	454,1	273,5
– додаткові енерговитрати	$E_{дод}$	86,0	51,8
– енерговитрати засобів механізації	$E_{зм}$	96,6	43,0
– енерговитрати живої праці	$E_{жсп}$	27,8	16,8
Річна економія енергетичних витрат, ГДж	$E_{нев}$		144729,4
Коефіцієнт енерговитрат	$K_{ев}$		0,58
Рівень інтенсифікації, %	$P_i$		41,9

#### Висновки.

1. Польові дослідження ротаційного розпушувача підтвердили його ефективність і раціональні параметри робочого органа.

3. Тяговий опір ротаційного розпушувача менше в 1,54 рази в порівнянні з фрезерним культиватором КВФ – 2,8.

4. Потужність, яка витрачається на обробіток ґрунту ротаційним розпушувачем ґрунту менша в 5,0 разів порівняно з КВФ – 2,8, а повна потужність ротаційного розпушувача в 1,7 рази менша, ніж для фрезерного культиватора КВФ – 2,8.

Отже, в результаті розрахунків встановлено, що економічний ефект від використання ротаційного розпушувача ґрунту складає 17179,4 грн.

Річна економія енергетичних витрат становить 144729,4 ГДж на одну машину.

## ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Робота присвячена вирішенню задачі підвищення ефективності суцільного передпосівного розпушування ґрунту шляхом створення нового ротаційного розпушувача з обґрунтуванням його конструкційно-технологічних параметрів на основі теоретичного дослідження комбінованого процесу різання, стискання та перетирання структурних агрегатів ґрунту системою його ножів та експериментального визначення технологічних показників обробітку ґрунту.

Аналіз чинних способів і ротаційних технічних засобів для поверхневого передпосівного обробітку ґрунту дав змогу виявити такі головні їх недоліки – низька продуктивність роботи; значні енерговитрати; велика металомісткість.

2. Обґрунтована конструкція ротаційного розпушувача ґрунту передбачає реалізацію комбінованого процесу розпушування на основі операцій різання, стискання та перетирання структурних агрегатів за допомогою системи ножів, розміщених під кутом до осі барабана і закріплених на барабані по гвинтовій лінії з правою навивкою до основи лінії машини, і навпаки, інший бік ножів розміщений дзеркально від осьової лінії машини.

3. Теоретичні дослідження базуються на розкритті сукупності явищ комбінованої дії на ґрунт за допомогою системи ножів ротаційного розпушувача і дають змогу встановити взаємозв'язки між параметрами розпушувача та технологічними і енергетичними показниками робочого процесу, що є основою для обґрунтування раціональних конструкційних параметрів розпушувача (3, 4, 6, 9).

4. На основі обґрунтованої програми і методики експериментальних досліджень встановлено залежності осьового тиску і межі міцності структурних агрегатів від їх розмірів, вмісту частинок певного розміру, вологості ґрунту, а також залежності ступеня подрібнення ґрунту від показника кінематичного режиму розпушувача, кількості ножів, кроку витка ножів, швидкості руху знаряддя та межі міцності структурних агрегатів (10-14).

5. Для досягнення оптимального ступеня подрібнення і коефіцієнта різнозернистості ґрунтових агрегатів теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено раціональні параметри ротаційного розпушувача для глибини обробітку 0,15 м: швидкість руху знаряддя  $V_m=3,0$  м/с; показник кінематичного режиму  $\lambda=1,72$ ; кількість ножів по колу  $Z=4,0$ ; осьовий тиск структурних агрегатів  $P_0=0,022$  кН; ширина ножа  $l_H=0,1$  м; кут встановлення ножа в плані  $\varepsilon=30^0$ ; крок витків ножів  $T=0,44$  м.

6. Порівняльна оцінка витрат потужності на обробіток ґрунту показує, що для ротаційного розпушувача при ширині захвату  $B_0=3,0$  м, швидкості руху знаряддя  $V_m=3,0$  м/с та ступені подрібнення  $i=20$  потужність запропонованого ротаційного розпушувача в 3,1-3,72 рази менша, ніж для фрези КВФ-2,8.

7. Роботоздатність створеного ротаційного розпушувача ґрунту доведена успішними випробуваннями його експериментального зразка, при яких отримано показники розпушення ґрунту відповідно до агротехнічних вимог: середнє значення ступеня подрібнення  $\bar{i} = 20,45$ ; середній розмір структурних агрегатів  $\bar{D}_{50K}=0,0097$  м з коефіцієнтом різнозернистості  $\bar{\eta}=18,9$  замість  $\bar{\eta}=49,5$  у фрезерного культиватора КВФ – 2,8; коефіцієнт забур'яненості поверхні ґрунту в середньому склав  $K_{\infty} = 0,00145$ ; висота гребенів поверхні поля була в межах від 0,012 до 0,024 м.

9. Для практичного здійснення поставленої мети, на основі проведених досліджень, розроблена інженерна методика проектування ротаційних розпушувачів, яка дає змогу визначати раціональні параметри розпушувачів для різних умов роботи.

10. Впровадження ротаційного розпушувача для суцільного передпосівного обробітку ґрунту порівняно із фрезою КВФ-2,8 дає змогу заощадити 17179,4 грн. в рік і зменшити енергетичні витрати на 41,9 відсотка.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анисимов В.Ф. и др. Лесные машины. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 512с.
2. Анісімов В.Ф., Музичук В.І., Нахайчук О.В., Козак Ю.М. Приводні вали транспортних засобів. Дослідження, проектування, експлуатація. Монографія. Вінниця: ВНАУ, 2013. - 337 с.
3. Бендера І.М., Замойська К.В. Результати експериментальних досліджень роботи ротаційного розпушувача. Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія “Агроінженерні дослідження”. Вип. 10 Львів: ЛДАУ, 2006. С. 315-322.
4. Бурдега В.Ю. Обґрунтування параметрів борони з гнutoштабовими зубами: Автореф. дис. канд. техн. Наук. Львівський державний аграрний університет. Львів, 2004. 20с.
5. Бурченко П.Н. Обработка почвы от В.П.Горячкина до наших дней Техника в сельском хозяйстве. 1999. №6. С.34 - 36.
6. Веселовська Н.Р. Гідравліка: Навчальний посібник. Веселовська Н.Р., Іванов М.І., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. Вінниця: 2019. 222 с.
7. Ветохин В.И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01. НПО ВИСХОМ. М., 1992. 24с.
8. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. К.: Нора-прінт, 1999. 280с.
9. Гунько І.В. Сучасні методи розрахунку робочих процесів ДВЗ Яцковський В.І., Гунько І.В., Гуцаленко О.В. Монографія. Вінниця, РВВ ВНАУ, 2016. 131 с.
10. Гунько І.В. Технічний сервіс в АПК. Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. Супрун Д.Г., Гунько І.В., Паладійчук Ю.Б., Швець Л.В. Вінниця, ВНАУ, 2012 197с.
11. Деклараційний патент на корисну модель 7435, Україна, МПК А01В33/00. Ротаційний розпушувач ґрунту /Замойська К.В., Бендера І.М.,

Бончик В.С. (Україна). Подільський державний аграрно-технічний університет (Україна) № 20041210389; Заявл.17.12.2004; Опубл.15.06.2005; Бюл. № 6.

12. Деревенько І.А., Сивак Р.І. Опір матеріалів: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 308 с.

13. Дубровін В.О., Гуков Я.С., Єсепчук М.І. Напрями розвитку механізації рослинництва. Вісник аграрної науки. 2001. №1. С. 58-62.

14. Дьяконов В.П. Справочник по MathCAD PLUS 6.0 PRO. М.: СКпресс, 1997. 336с.

15. Дьяков В.П. Влияние параметров скоростных рабочих органов на качество обработки почвы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1987. №3. С.19 – 21.

16. Дьяков В.П. Усилие вертикального резания почвы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1987. №4. С. 34 -37.

17. Жук А.Ф. Комбинированные почвообрабатывающие агрегаты: обоснование, типы, конструкции. Техника в сельском хозяйстве. 1999. №6 С.71-74.

18. Замойська К.В. Вплив фізико-механічних властивостей ґрунту на якість роботи ротаційного розпушувача. Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Вип. 13. Кам'янець-Подільський: Абетка, 2005. С.475-478.

19. Замойська К.В., Бендера І.М. Результати польових досліджень роторного культиватора. Вісник Хмельницького національного університету. Серія “Технічні науки”. №5. Хмельницький, 2007. С. 91-93.

20. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч.ІІІ: Підручник. Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. К.: Хай Тек-Прес, 2013. 528 с.

21. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч I, II : Підручник/ Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко,

В.М. Пришляк, А.П. Пилипенко, М.М. Бондар : За ред.. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. К.: Хай-Тек-Прес ,2011. 616 с.

22. Калетнік Г.М., Теоретичні основи моделювання та фінансово-економічні розрахунки в менеджменті та бізнесі. Навчальні посібники. Г.М. Калетнік, С.В. Козловський, О.Г. Підвальна. Вінницький національний аграрний університет., 2009.

23. Каталог запасних частин до вантажних автомобілів, тракторів та сільськогосподарської техніки. Хмельницький: Агропромтехніка, 2007. 96с.

24. Кондратюк Дмитро Гнатович. Удосконалення робочого процесу та обґрунтування параметрів ротаційних граблів-сіноворушилок з відцентровими робочими органами: Автореф. дис...канд. техн. наук (05.20.01) / Дніпропетровський аграрний ун-т. Дніпропетровськ, 1995. 24 с.

25. Кравчук В. Пріоритетні напрямки наукових досліджень в прогнозуванні, випробуванні та сертифікації техніки і технологій для АПК. Техніка АПК. 2008. №11 С. 6-7.

26. Кушнарєв А., Погорєлий В. Методологические предпосылки выбора способа обработки почвы Техніка АПК. 2008. №11 С. 17-21.

27. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонон Б.О. и др. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Колос, 1996. 688 с.

28. Любін М.В., Токарчук О.А. Підйомно-транспортні машини. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни, ВНАУ, 2018. 36 с.

29. Мельник Ю. Основні напрямки і завдання державної технічної політики в АПК. Техніка АПК. 2007. №6 С.6-7.

30. Мер И.И. и др. Мелиоративные машины . М.: Колос, 1980. 351 с.

31. Омелянов О. М. Безпека праці та життєдіяльності: навч. посіб. О. М. Омелянов, А. В. Спирін, І. В. Твердохліб; Вінн. нац. аграр. ун-т. – Вінниця: ВНАУ, 2020. 334 с.

32. Панченко А.М. Теория и расчет сельскохозяйственных машин. – Днепропетровск: ДГУ, 2002. 400с.

33. Панченко А.М., Замойська К.В. Визначення кінематичного режиму ротаційного розпушувачаю. Збірник наукових праць Подільської державної аграрно-технічної академії. Вип. 10. Кам'янець-Подільський: ПДАТА, 2002. С. 217-220.
34. Пат. 2000033 RU С. Ротационный рабочий орган // Матешин Н.Ю., Кабаков Н.С., Матешин Ю.И. ВНИИ СХМ, 1993 г.
35. Пат. 201132 RU 4. Фрезерный барабан почвообрабатывающей фрезы Агабейли Т.А., Асанов С.А. и др. Азерб. НИИ МЭСХ, 1994г.
36. Пришляк В.М., Погорілець О.М.. Сільськогосподарські машини: розрахунок, проектування. Методичні вказівки до виконання курсової роботи. ВНАУ, 2016. С. с.84.
37. Сайко В. Актуальні проблеми землеробства: простих шляхів мінімізації обробітку ґрунту не буває Техніка АПК. 2008. №11 С.8-11.
38. Севернев М.М., Колос В.А., Дашков В.Н. и др. Временная методика энергетического анализа в сельском хозяйстве ЦНИИМЭСХ, Минск: 1991.
39. Серода Л.П Розробка і дослідження ґрунтообробної машини для технології strip-till з активними фрезерними робочими органами/ Серода Л.П, Труханська О.О., Швець Л.В. Всеукраїнський науково-технічний журнал "Вібрації в техніці та технологіях" Вінниця, 2019. 4 (95)
40. Сивк Р. І. Методичні вказівки і завдання для самостійної роботи з дисципліни «Теоретична механіка» для студентів денної і заочної форми навчання за напрямком підготовки «Агроінженерія», «Галузеве машинобудування» Вінниця: ВНАУ, 2019. 38 с.
41. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов. Киев, УААН, 1994. 332 с.
42. Хайліс Г.А., Горбовий А.Ю., Гошко З.О., Ковальов М.М. і ін. Механіко технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Луцьк, ЛДТУ. 1998. 268 с.
43. Швець Л.В. Технічне обслуговування машин в рослинництві. Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних робіт для студентів ОС Магістр спеціальності 208 – Агроінженерія Л.В. Швець, Ю.Б.

Паладійчук, О.О. Труханська Вінниця: РВВ ВНАУ, 38095 Протокол № 7 від 18 березня 2019. 84 с.

44. Швець Л.В. Технічний сервіс в АПК. Том І. Навчальний посібник. Швець Л.В., Паладійчук Ю.Б., Труханська О.О./ Вінницький національний аграрний університет, 2019. 647с.

45. Яропуд В. М. Визначення фракційного складу насіння за фотозображенням. Алієв Е. Б., Яропуд В. М. Вібрації в техніці та технологіях : зб. наук. пр. ВНАУ. 2019. № 3 (94). С. 102-109.