

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження стріччастої лапи культиватора з ефектом самозагострювання

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-1-20
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Альошин Сергій Миколайович

Керівник: _____ Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2021

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище,
ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Альошину Сергію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження стрілкової лапи культиватора з ефектом самозагострювання

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«17» листопада 2021 року № 3539

2. **Строк подання студентом роботи** 01.12.2021 р.

3. **Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан питання та задачі дослідження. 2. Геометрична модель поверхні лапи. 3. Програма і методика лабораторних та польових досліджень. 4. Результати лабораторних досліджень та польових випробувань.

5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 6. Техніко-економічна ефективність впровадження результатів досліджень. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Кравець В.В., доцент		
6	Вінніченко І.І., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 28.09.2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 28.05.2021 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 09.07.2021 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 24.09.2021 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 15.10.2021 р.	Виконав
5	Економічний	до 05.11.2021 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 06.12.2021 р.	Виконав

Студент

_____ .
(підпис)

_____ .
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ .
(підпис)

_____ .
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Альошин С.М. Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження стрілчастої лапи культиватора з ефектом самозагострювання / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

У першому розділі представлено огляд літературних джерел за темою досліджень.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження геометричної моделі поверхні культиваторної лапи.

У третьому розділі представлено програму і методику лабораторних і польових досліджень.

У четвертому розділі приведено результати лабораторних досліджень та польових випробувань.

У п'ятому розділі приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

У шостому розділі приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

Ключові слова: культиваторна лапа, поверхневий обробіток ґрунту, бур'яни, абразивне спрацювання, самозагострювання.

Альошин С.М. Математична модель взаємодії лапи з середовищем / С.М. Альошин // Матеріали за XVII міжнародна научна практична конференція, Achievement of high school – 2021, 17-25 November, 2021: Софія. «Бял ГРАД-БГ» - С. 57-61.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1 Фактори впливу на спрацювання робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь.....	11
1.2 Огляд існуючих конструкцій культиваторних лап.....	17
Висновки.....	29
2 ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ПОВЕРХНІ ЛАПИ.....	30
2.1 Математична модель взаємодії лапи з середовищем.....	30
2.2 Загальні положення методики проектування робочого органу типу «лапа» з ефектом самозагострювання.....	34
2.3 Геометрична модель культиваторної лапи.....	37
2.4 Обґрунтування радіуса кола направляючої кривої носка лапи.....	46
2.5 Формування направляючої кривої поверхні лапи.....	50
2.6 Побудова профілю лапи.....	54
2.7 Проектування розгортки поверхні лапи.....	59
Висновки.....	61
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	62
3.1 Лабораторні дослідження.....	62

3.2	Польові дослідження.....	66
	Висновки.....	68
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОЛЬОВИХ		
ВИПРОБУВАНЬ.....		
4.1	Лабораторні дослідження енергоємності процесу різання.....	69
4.2	Польові дослідження стрілочастих лап.....	71
	Висновки.....	88
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....		
5.1	Організаційно-правові заходи охорони праці в господарстві.....	89
5.2	Вимоги до створення сільськогосподарської техніки.....	90
5.3	Рекомендації з техніки безпеки при роботі на машині.....	91
5.4	Технологія розробки карти контролю по показниках безпеки.....	93
	Висновки.....	93
6 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ		
РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....		
6.1	Основна і додаткова заробітна плата.....	96
6.2	Амортизаційні відрахування.....	97
6.3	Витрати на ПММ.....	98
6.4	Витрати на ТО, ПР, зберігання.....	98
	Висновки.....	101
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....		
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		
ДОДАТКИ.....		
		111

ВСТУП

Основою розвитку механізації сільського господарства є пошук шляхів збільшення виробництва сільськогосподарської продукції господарствами незалежно від форм власності, що дозволить вирішити стратегічну задачу – забезпечення населення України продуктами власного виробництва. В зв'язку з цим важливою задачею є забезпечення сільськогосподарських машин робочими органами, що найбільш підлаштовані до конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

Процеси взаємодії робочих органів з ґрунтом досліджувались багатьма вченими. Серед них можна виділити роботи П.М. Василенка, А.М. Панченка, Я.С. Гукова, А.С. Кушнар'ова, І.А. Шевченка, Г.М. Синеокова, В.І. Пастухова та багатьох інших вчених.

Питанню взаємодії клина з ґрунтом присвячені дослідження В.П. Горячкіна, Г.М. Синеокова, Ю.О. Ветрова, В.А. Дубровіна та інших.

Суттєвий вклад у вирішення проблеми зміни геометричної форми робочих органів у результаті зношування і втрати знаряддям працездатності

внесли О.В. Козаченко, А.Ш. Рабинович, М.М. Севернев, О.Д. Сاینсус, В.П. Бобрицький, М.І. Черновол та інші.

Найважливішою умовою забезпечення населення України сільськогосподарською продукцією є прискорення науково-технічного прогресу, високоефективне використання виробничого потенціалу і зміцнення матеріально-технічної бази агропромислової галузі. На жаль, агропромислове виробництво супроводжується великими енергозатратами. Так, на сьогодні ресурсомісткість продукції України перевищує світовий рівень у 2...3 рази, а енергомісткість - у 6...9 разів. Техногенний вплив на довкілля перевищує рівень європейських держав у 6...7 разів.

Тому поглиблення інтенсифікації виробництва сільськогосподарської продукції одночасно зумовлює необхідність пошуку шляхів скорочення витрат енергії та інших ресурсів. Одним із параметрів вирішення цієї проблеми є підвищення ефективності використання машинно-тракторних агрегатів (МТА).

З кожним роком значення механізації у виробництві продукції рослинництва постійно зростає, незалежно від зміни організаційних структур чи форми власності.

Ринкова економіка, нові форми власності з економічною відповідальністю та новітні технології сільськогосподарського виробництва внесли докорінні зміни до виробничих відносин у сфері агропромислового комплексу.

На сьогодні Україна без власного виробництва сучасної високопродуктивної, економічно обґрунтованої сільськогосподарської техніки, харчової та переробної промисловості не може успішно конкурувати на світовому ринку сільськогосподарської продукції й продуктів харчування.

Усе це дає нам підставу стверджувати, що обрана тема роботи сьогодні є актуальною.

Мета і задачі дослідження. Основною метою магістерської роботи є обґрунтування параметрів, розробка конструкції та дослідження стрілкової лапи культиватора, для роботи на підвищених швидкостях.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- встановити параметри потоку ґрунту, що обтікає поверхню культиваторної лапи;
- розробити механічну модель зниження впливу потоку ґрунту на поверхню культиваторної лапи;
- обґрунтувати параметри форми і розташування складових елементів;
- провести порівняльні випробування якості роботи запропонованої культиваторної лапи, і стандартної з метою напрацювання рекомендацій для проектування, виготовлення та впровадження у виробництво.

Об'єкт дослідження - закономірності протікання процесів, пов'язаних із взаємодією стрілкової лапи з абразивним середовищем.

Предмет - культиваторна лапа.

Методики дослідження. Використовувались методика системних досліджень, теорія планування експерименту, методи фізичного і математичного моделювання, математичного аналізу, теорія подібності.

Наукова новизна одержаних результатів.

- встановлено параметри потоку ґрунту, що обтікає поверхню культиваторної лапи;
- розроблено механічну модель зниження впливу потоку ґрунту на поверхню культиваторної лапи;
- обґрунтовано параметри форми і розташування складових елементів;
- проведено порівняльні випробування якості роботи запропонованої культиваторної лапи, і стандартної з метою напрацювання рекомендацій для проектування, виготовлення та впровадження у виробництво.

Практичне значення одержаних результатів. Практичну цінність має конструктивна схема робочого органу для поверхневого обробітку ґрунту.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Фактори впливу на спрацювання робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь

Характерною особливістю ґрунтообробних робочих органів є короткий цикл роботи в загальному технологічному процесі при їх інтенсивному спрацюванні, коли втрата металу становить приблизно 140 г/га. Інтенсивна втрата металу призводить до порушення геометричної форми робочого органу, що викликає погіршення показників якості роботи. Дослідження зносу і пошук шляхів його зниження постійно привертає увагу дослідників.

Багаточисельними дослідженнями встановлено основні фактори, що впливають на спрацювання робочих органів, які працюють у ґрунті:

- фракційний склад, тип ґрунту, його вологість;
- сила нормального тиску ґрунту на окремі елементи і поверхні робочого органу;
- швидкість руху ґрунту по поверхні робочого органу.

В агротехніці ґрунти класифікують по переважаючим виробничо-генетичним ознакам. В основу класифікації взяті процеси ґрунтоутворення і класифікаційними ознаками являються генетичні типи ґрунтів. Однак така класифікація не може бути застосована для оцінки зношуючих властивостей ґрунту.

Єрмолов Л.С. встановив, що критерієм оцінки зношуючих властивостей ґрунту є процентний вміст в ньому «фізичного піску» (часток, діаметр яких більший 0,01 мм) як найбільш твердого матеріалу. За даними М.М. Севернева, Г.П. Каплуна та інших [53] кварц має мікротвердість 1050 – 1130 кГ/мм², що значно більше твердості інших матеріалів, що входять до складу ґрунту. Наприклад, мікротвердість граніту знаходиться в межах 820 кГ/мм².

У відповідності до Л.С. Єрмолова ґрунти поділяються на три групи:

- глинисті і суглинисті, що мають малу зношуючу здатність (2...30 г/га);
- супіщані та піщані з невеликим вмістом кам'янистих включень, що мають середню зношуючу здатність (30...100 г/га);
- піщані з великим вмістом кам'янистих включень, що мають велику зношуючу здатність (100...450 г/га).

В.В. Охотин запропонував класифікацію ґрунту по процентному вмісту глини, (часток, діаметр яких менше 0,005 мм) і запропонував показник однорідності механічного складу, який визначається за формулою

$$j = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (1.1)$$

де d_{60} - розмір часток, що відповідають 60 – відсотковому вмісту по масі;

d_{10} - розмір часток, що відповідають 10 – відсотковому вмісту по масі.

Однак ця класифікація не враховує відсотковий вміст піску.

Процес взаємодії ґрунту з металом Л.С. Єрмолов розглядає як процес контакту металу з твердим тілом, в ролі якого виступає ґрунт, з шорсткою поверхнею і рухомим активним шаром. Активний шар утворюється за рахунок того, що абразивні частки мають неправильну форму і в процесі контакту займають стійке положення.

Розрізняють наступні площі дотику:

- а) номінальну (геометричну) S_n , окреслену зовнішніми розмірами тіл, що дотикаються;
- б) контурну S_k , утворену об'ємним змінанням тіла, на якій розташовані елементарні площини дотику;
- в) фактичну S_f , що являє собою суму елементарних площин контакту.

Площа фактичного контакту по І.В. Крачевському визначається у випадку хаотичного розташування виступів

$$S_\delta = \sqrt{\frac{2Nj}{R}}, \quad (1.2)$$

де N - загальна величина тиску;

j - тангенс кута нахилу прямої опорної поверхні;

R - коефіцієнт жорсткості.

Коефіцієнт жорсткості визначається за формулою

$$R = \frac{E}{2r(1 - \mu^2)}, \quad (1.3)$$

де E - модуль пружності;

μ - коефіцієнт Пуассона;

r - радіус п'ятна контакту.

Якщо підставити в (1.2) формулу (1.3) то отримаємо

$$S_{\phi} = 2\sqrt{\frac{Njr(1 - \mu^2)}{E}}. \quad (1.4)$$

Звідси: площа фактичного контакту пропорційна квадратному кореню з N і r .

Враховуючи процес контакту часток ґрунту і металу С.П. Васильєв запропонував класифікацію ґрунту по його зношуючій здатності. В основу покладене спрацювання за масою стандартних лемешів і відсотковий вміст «фізичного піску», що визначає абразивні властивості ґрунту. За цією класифікацією ґрунти поділяються на три групи.

До першої віднесені глинисті і суглинисті з питомим спрацюванням лемеша 2...30 г/га, до другої – супіщані і піщані з питомим спрацюванням лемеша 100 г/га, до третьої – піщані ґрунти із значною кількістю кам'янистих включень і питомим спрацюванням 260...450 г/га.

Отримати результати спостережень за спрацюванням лемешів на різних ґрунтах, при відсутності однакових умов навантаження, швидкості відносного ковзання часток і вологості не можливо.

Для визначення зношуючої здатності введений коефіцієнт, що визначається залежністю

$$m = \frac{\Delta l}{\Delta l_{em}}, \quad (1.5)$$

де Δl - інтенсивність спрацювання зразка на будь-якому ґрунті;

Δl_{em} - інтенсивність спрацювання зразка на ґрунті, що прийнятий за еталон.

В якості еталонного ґрунту прийнято чистий кварцовий пісок з розміром часток 0,25 – 0,3 мм і вологістю $W = 0 \dots 2\%$.

Величина коефіцієнта зношуючої здатності за цією класифікацією змінюється в значних межах і залежить від розміру абразивних часток (рис.1.1).

Для піщаних ґрунтів значення коефіцієнта зношуючої здатності знаходиться в межах $m = 2,12 \dots 2,92$, для суглинистих ґрунтів $m = 1,00 \dots 1,82$, важко суглинистих – $m = 0,57$.

Є.П. Огризков, досліджуючи вплив абсолютної вологості на спрацювання лемешів плугів, встановив, що із зменшенням вологості спрацювання зростає. Так, при абсолютній вологості 12% лінійне спрацювання лемеша по ширині складає 0,9 мм/га, в той же час при абсолютній вологості 22% лінійне спрацювання складає 0,32 мм/га.

Л.С. Єрмолов у своїх дослідження встановив, що при оптимальній вологості ґрунт чинить мінімальний опір і найменше спрацювання. При цих умовах тверда дисперсна фаза знаходиться в агрегатному стані, максимально можливому для даної системи і піщані частки величиною 0,25 мм і менше, зношувати метал робочого органа шляхом подряпин не будуть. Зв'язок окремих часток ґрунту визначає ступінь фіксації твердих і міцних матеріалів, котрі дряпають або зминають поверхневі шари металу.

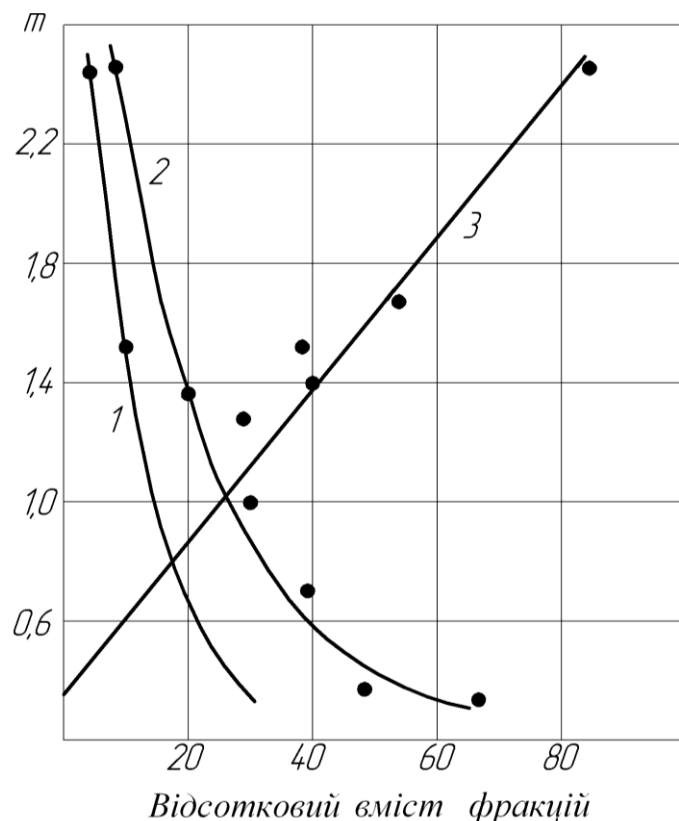


Рисунок 1.1 - Вплив фракційного складу ґрунту на коефіцієнт зношуючої здатності [53]: 1 – $d = 0,05 - 0,01$ мм;
2 – $d = 0,01 - 0,001$ мм; 3 – $d = 1 - 0,05$ мм.

Невід’ємною частиною будь-якого ґрунту є вода, котра присутня в різних станах, тому її вплив на процес спрацювання суттєвий.

При малій фіксації в ґрунті піщаних часток, останні будуть занурюватись у метал до тих пір, доки не порушиться їх відносна фіксація, після чого вони обертаються і занурюються в товщу ґрунту, що прилягає до лемеша.

При значній фіксації у ґрунті піщаних часток, останні будуть занурюватись і руйнувати метал під час всього шляху контактування. При цьому зношуюча здатність ґрунту буде найбільшою. «Зв’язкою» для закріплення піщаних часток у ґрунті буде суміш органічних часток і часток колоїдного подрібнення з вологою. Глинисті та суглинисті ґрунти можливо представити як суміш піщаних часток із «зв’язкою» на основі глинистих часток.

Враховуючи ці результати, була запропонована номограма для визначення коефіцієнту зношуючої здатності на основі класифікації ґрунту за його зношуючою здатністю, враховуючи вміст глинистих часток, яка наведена на рис. 1.2.

Величина нормального тиску на поверхню ґрунтообробного знаряддя відіграє значну роль у процесі спрацювання.

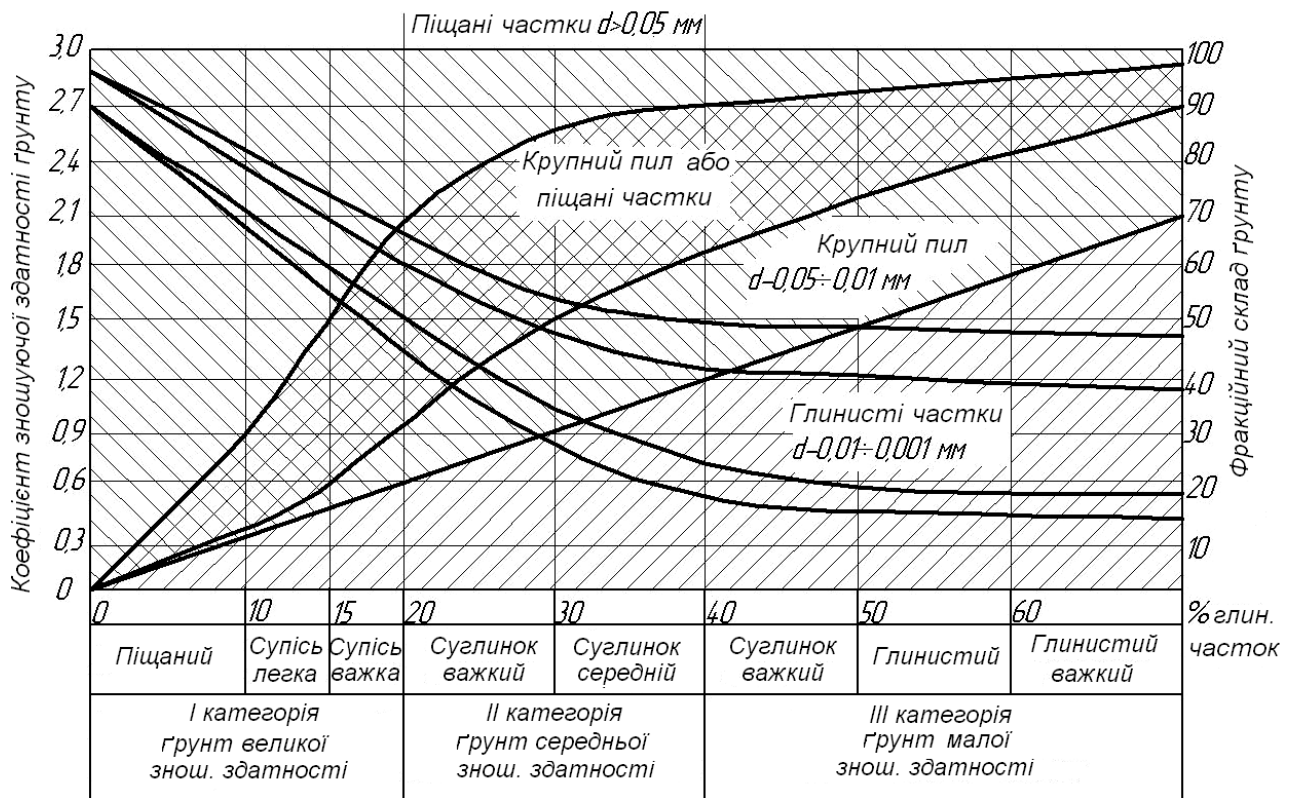


Рисунок 1.2 - Номограма для визначення коефіцієнту зношуючої здатності

При підвищенні тиску на поверхню тертя інтенсивність спрацювання зростає прямо пропорційно, при збільшенні вологості – зменшується. Як показують дослідження, спрацювання відбувається за рахунок кварцового піску з розміром часток $d = 0,5...0,3$ мм в результаті мікрорізання чи дряпаючої дії часток, контактуючих з поверхнею робочого органу. Дослідження показали, що в межах питомого нормального тиску $0,2...10,3$ кГ/см² інтенсивність зношування пропорційна тиску, причому ріст інтенсивності зношування відбувається повільніше, ніж тиску.

Наступним фактором, що впливає на спрацювання, є відносна швидкість руху ґрунту по поверхні робочого органу. Так, В.А. Короткевич встановив залежність спрацювання (г/га) від швидкості, яка має наступний вигляд

$$G = AV^\sigma, \quad (1.6)$$

де V - швидкість руху, м/с;

A і σ - емпіричні коефіцієнти, значення яких приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Ґрунт	A	σ
Піщаний	51,4	0,57
Важка супісь	31,4	0,608
Легкий суглинок	26,2	0,635

Враховуючи перераховані фактори, які викликають спрацювання, можна зробити наступні висновки:

- обробіток ґрунту бажано проводити тоді, коли він знаходиться у «зрілому стані», його вологість оптимальна і, відповідно зношуюча здатність низька;
- впливати на спрацювання можливо лише за рахунок зменшення питомого нормального тиску і відносної швидкості руху скиби ґрунту по поверхні робочих органів;
- забезпечити вплив нормального питомого тиску і відносної швидкості переміщення ґрунту можливо зміною геометрії робочих органів.

1.2. Огляд існуючих конструкцій культиваторних лап

Відтягування лап в процесі експлуатації є найбільш давнім способом збільшення терміну служби [1]. Дослідженнями [2] встановлено, що на чорноземі термін служби лап до вибраковки складає 300...350 га. За цей час лапи три – чотири рази відтягували, а між відтягуваннями два – три рази загострювали. Інтенсивність спрацювання лапи по ширині після відтягування значно збільшувалась. Наприклад, після обробки 25...30 га новими лапами їх крила зношувались по ширині в середньому на 2...2,5 мм, то після першого відтягування спрацювання на цих же ґрунтах склало 4...5 мм, тобто їх спрацювання збільшилося в два рази. Таким чином, відтягування лап не може слугувати методом подовження терміну служби.

Наступним експлуатаційним способом подовження терміну служби лап є

їх загострювання. Згідно з [3] існує три способи загострювання: верхнє, нижнє і комбіноване. При верхньому загострюванні кут різання дорівнює сумі кутів

$$\beta_o = i + \xi, \quad (1.1)$$

де i - кут загострювання;

ξ - затилковий кут.

Кут загострювання i приймається в межах $12...15^\circ$, а затилковий $\xi \approx 10^\circ$.

Тому кут різання рівний

$$\beta_o = (12...15)^\circ + 10^\circ = 22...25^\circ. \quad (1.2)$$

Спосіб загострювання леза, а особливо його товщина, суттєвим чином впливають на ступінь підрізання бур'янів. Так за даними С.І. Бондарева [4] лапи з товщиною леза $0,2...0,3$ мм підрізають $98...100$ % бур'янів, в той же час як затуплені лапи, що мають товщину леза $0,6...0,8$ мм, підрізають тільки $76...83$ % рослин.

А.Х. Морозов [5] рекомендує кут загострювання культиваторних лап не більше $10...12^\circ$, який повинен бути витриманий по всій довжині леза.

Лезо культиваторної лапи зношується значно швидше, ніж основна поверхня. Тому, були запропоновані лапи, що складаються з двох частин: корпусу і леза.

Лезо лапи кріпилося до корпусу заклепками і мало наступні параметри: верхнє загострювання з кутом $15...17^\circ$. Дослідження показали, що лезо виконане із сталі Ст 40 в процесі роботи на чорноземних ґрунтах мало середнє напрацювання $500 - 600$ га на комплект, при цьому витрачався один корпус і $3 - 4$ змінних леза.

У ВНДІ кукурудзи були розроблені [2] і випробувані такі лапи (рис. 1.3).

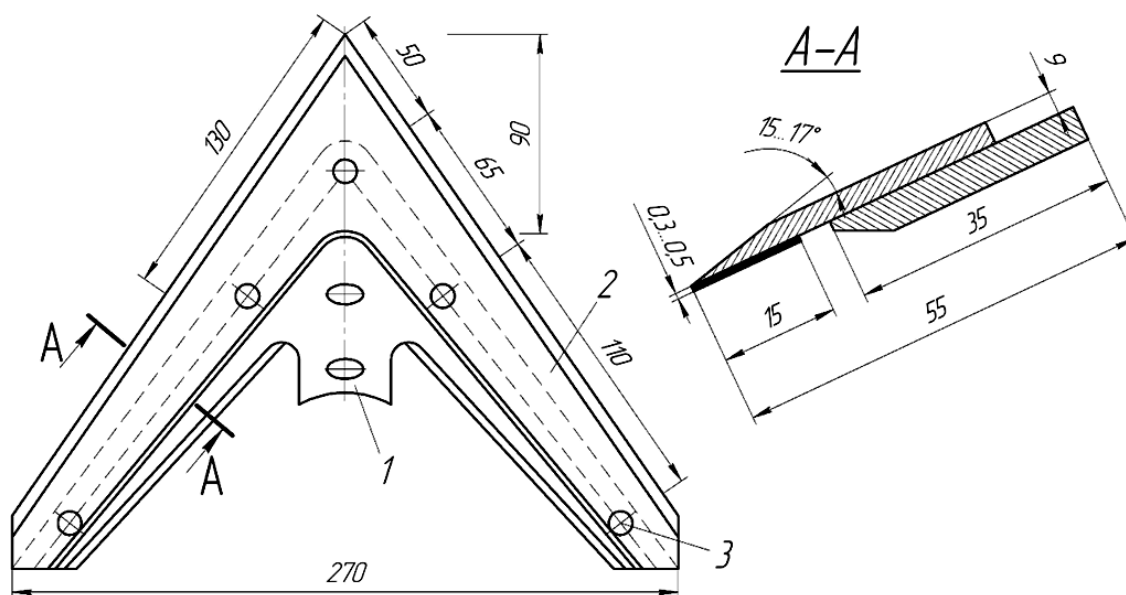


Рисунок 1.3 - Конструкція складової культиваторної лапи по І.Д. Канівцю [2]: 1 - корпус; 2 - змінне лезо; 3 - заклепки.

Швидкоз'ємні лемеші пропонує використовувати для подовження строку служби полицевих плугів Н. Кубрак [6]. Слід також відмітити, що таке виконання ґрунтообробних знарядь, незалежно від призначення, значно ускладнює конструкцію і збільшує вартість виготовлення, тому виготовлення складових культиваторних лап доцільно при великих об'ємах виробництва.

Спрацювання культиваторних лап залежить від руху потоку ґрунту по робочій поверхні. Тому, зміною руху ґрунту по робочій поверхні можливо частково впливати на спрацювання лапи.

Традиційно робоча поверхня культиваторної лапи являє площини, нахилені під двома кутами до напрямку руху. К.Е. Підкатилов [7] запропонував виконувати робочу поверхню культиваторної лапи, складовою з двох площин, причому кут розхилу першої пари площин більше, ніж кут розхилу другої пари площин (рис.1.4).

Лапи із складовою поверхнею мали наступні параметри: кут розхилу першої пари площин $2\gamma_1 = 104^\circ$ для лап з кутом кришення $\beta = 30^\circ$; $2\gamma_1 = 100^\circ$ -

для лап з кутом кришення $\beta = 22^\circ$; $2\gamma_1 = 80^\circ$ - для лап з кутом кришення $\beta = 28^\circ$. Дослідження лап показали, що при такій конструкції носок лапи зношується повільніше, ніж у стандартної.

Недоліком конструкції приведеної лапи є значна величина кута розхилу, яка значно більше значень, що рекомендуються [8, 9], що призводить до значного нависання на носок лапи бур'янів.

Лапу, що має криволінійну поверхню підвищеної обтічності (рис. 1.5), запропонував О.С. Гаврильченко [10]. Ця лапа має конічну поверхню, направляючою якої є логарифмічна спіраль, рівняння якої в декартовій системі координат має вигляд

$$x = x_c - r_o e^{w\phi} \cos(\phi - \mu); \quad (1.3)$$

$$y = y_c - r_o e^{w\phi} \sin(\phi - \mu), \quad (1.4)$$

де x_c, y_c - координати полярного центра;

r_o - початковий радіус-вектор;

ϕ - полярний кут;

w - параметри спіралі (тангенс кута між дотичною і радіус вектором);

μ - кут між початковим радіус – вектором і віссю Ох.

Дослідження лапи показали, що у криволінійних лап, у порівнянні з стандартними, крила зношуються менше. До недоліків криволінійних лап слід віднести підвищені вимоги до поверхні, що потребує спеціального оснащення при виготовленні і підвищує вартість виготовлення.

Найбільш поширеним способом підвищення зносостійкості ґрунтообробних знарядь, зокрема культиваторних лап, є наплавлення лез твердим сплавом. Цей спосіб підвищення зносостійкості отримав достатнє поширення в зв'язку з незначною зміною конструкції культиваторних лап, при значному підвищенні терміну служби. В якості твердого сплаву, як правило, використовують сормайт.

Розрізняють два основних способи нанесення твердого сплаву на лезо: верхнє і нижнє, в той же час відоме комбіноване нанесення, коли сплав на лезо наноситься одночасно зверху і знизу.

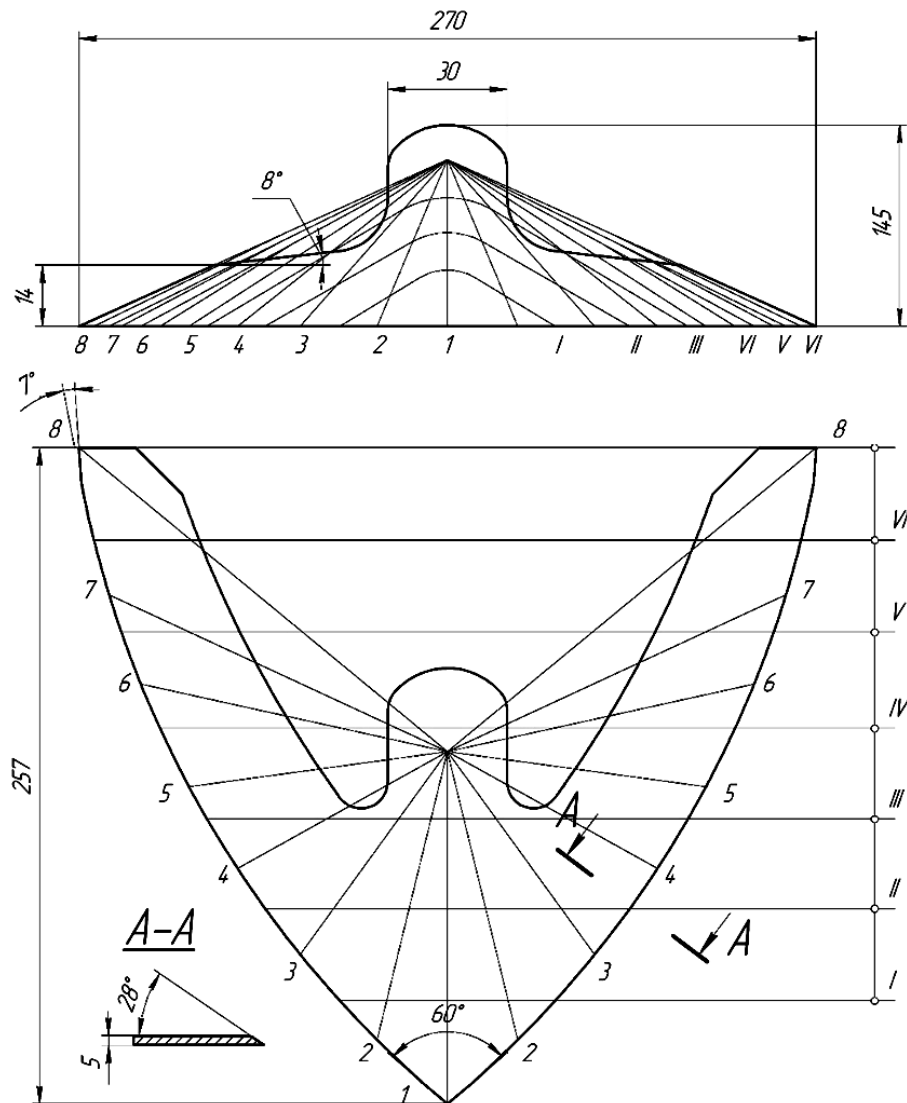


Рисунок 1.5 - Культиваторна лапа з криволінійною поверхнею по
О.С. Гаврильченко [10]

У цьому випадку можливі тільки два способи заточки: нижня при верхньому наплавленні і верхня при нижньому.

А.Х. Морозов [11, 12] вивчаючи спрацювання культиваторних лап, встановив, що незалежно від способу нанесення твердого сплаву на лезо, його товщина не повинна перевищувати 0,3 – 0,5 мм.

Базуючись на лінійному законі абразивного спрацювання [13] коли швидкість спрацювання дорівнює

$$V = \frac{Cp}{\sin \gamma}, \quad (1.5)$$

де γ - кут між дотичною до профілю і тильної сторони леза, град;

p - тиск, що діє по нормалі до леза, Н;

C - коефіцієнт спрацювання, зворотно пропорційний зносостійкості матеріалу.

Явище самозагострення ґрунтообробних робочих органів встановив Д.Б. Бернштейн [14, 15]. Як і в [13] висловлюється пропозиція про лінійний закон абразивного спрацювання, згідно з яким тиск на лезо, при якому може виникнути спрацювання, описується рівнянням

$$p_{кр} \geq \frac{0,2H}{(R/r)^2}, \quad (1.6)$$

де R - максимальний радіус абразивної частки, м;

r - мінімальний радіус тієї ж абразивної частки, м;

H - твердість матеріалу, Па.

Експериментальні дослідження на лабораторній установці дали наступні результати. Із зростанням тиску спостерігається нелінійне зменшення коефіцієнту відносної зносостійкості для різних сталей. В залежності від складу і твердості сталей відношення значень їх інтенсивності зносу із збільшенням тиску змінюється в 1,6...3 рази. При цьому ступінь зміни коефіцієнта відносної зносостійкості тим більший, чим вище його початкове значення, тобто, чим більша різниця в зносостійкості матеріалів, що порівнюються.

Процес спрацювання культиваторних стрілочастих лап з нижнім зміцненням вивчав К.Е. Підкатилов [7]. Польові випробування показали, що спрацювання стандартних культиваторних лап з кутом кришення 28° на важкосуглинистому ґрунті в 2 рази, а носків в 3 - 4 рази більше, ніж на

легкосуглинистому. Самозагострення леза стрілчастої лапи протікає стійко лише на крилах, забезпечуючи якісне підрізання бур'янів. На носку лапи половина наплавленого шару практично не використовується. Зниження кута кришення до 15° і нижче порушує процес самозагострення по всій довжині леза.

Як встановив К.Е. Підкатилов [7], спрацювання культиваторних лап з верхнім зміцненням не суттєво збільшується у порівнянні з лапами, що мають нижнє зміцнення.

Узагальнюючи дослідження різних авторів і провівши масштабні експериментальні дослідження в різних ґрунтово-кліматичних зонах, ГОСНИТИ була запропонована універсальна стрілчаста лапа, що самозагострюється [2], креслення якої приведено на рис. 1.6.

В.Н. Виноградовим і Н.І. Морозовим [16] запропонований зубчастий лемеш, що має хвилясто – ступінчасте лезо по аналогії з ріжучим периметром ковша екскаватора.

Плоскоріз із зубчастими робочими органами запропоновано А.С. Кушнар'євим [17, 18, 19].

Така конструкція леза зменшують питомий тиск на область леза, що значно зменшує лінійну дію. Це сприяє підвищенню довговічності і зносостійкості.

Кут заточування істотно впливає на процес формування леза. Зі збільшенням кута загострення стабілізація леза відбувається повільніше, але незалежно від початкового кута загострення форма леза зберігається до завершення експлуатації.

На основі цих досліджень можна припустити, що точкова обробка поверхні леза, що надає хвилясту форму, має переваги перед лінійною і заслуговує подальшого вивчення.

Вважаючи, що лапи культиватора піддаються динамічному навантаженню, яке близьке до ударного [20], було запропоновано наплавляти леза ґрунтообробних робочих органів порошковими твердими сплавами на

залізній основі, такими як ПГ-С27, ПР-ФБЮ-1-4, ПГ-ФБХ-6-2, ПС-14-60 [21]. Ці сплави наносилися на поверхню культиваторних лап різними технологіями: плазмовою та індукційною. Покриття, отримане плазменною технологією, має в середньому на 10...23% більш високу міцність у порівнянні з індукційною. Це пояснюється тим, що глибина проплавлення більша і, як наслідок, перемішування сплаву, що наплавляється, з металом основи відбувається краще. Встановлено, що зменшення товщини покриття і збільшення кута кришення підвищує ударну міцність лап.

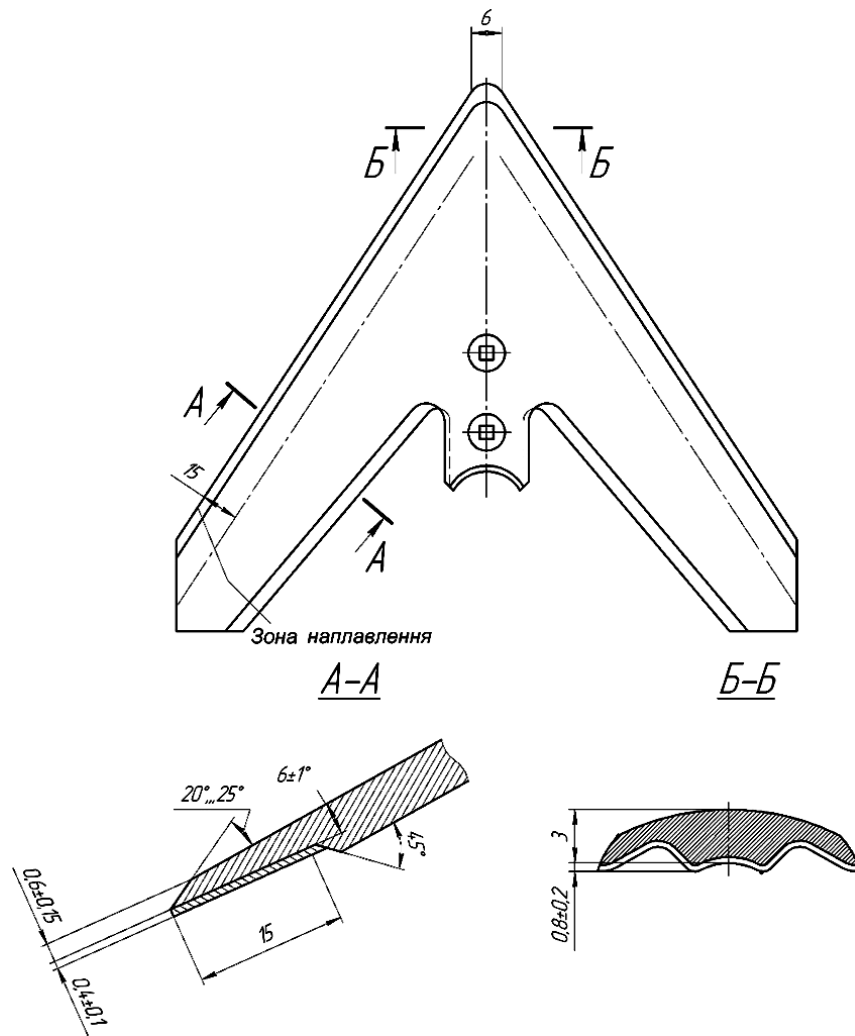


Рисунок 1.6 - Лапа, що самозагострюється конструкції ГОСНИТИ, з нижньою наплавкою [2]

У роботі [22] приводяться дані про зміцнення культиваторних лап диференційованим індукційним наплавленням.

У роботах М.М. Хрущова, М.А. Бабичева, И.П. Рабіновича, В.П. Ткачова, М.М. Тененбаума, М.М. Севернева розкриваються причини нерівномірного спрацювання лез, пропонуються конструктивні і технологічні методи підвищення зносостійкості [23]. Однак кінцевого вирішення ця проблема не має і в теперішній час, так як теоретично не описані закономірності спрацювання деталей в абразивному середовищі.

Крім того, різна інтенсивність роботи на кожній локальній ділянці робочої поверхні деталей ґрунтообробних машин вимагає перегляду використовуваних нині технологій зміцнення [24, 25]. Найперспективнішими в цьому напрямі є технології, засновані на використанні концентрованих потоків енергії та такі, що використовують композиційні матеріали для формування армуючих покриттів [26].

Результати випробувань на інтенсивність зносу ґрунтообробних знарядь наведено в [33]. Встановлено, що лазерна термічна обробка дозволяє підвищити продуктивність носових ділянок деталей в 1,3 ... 1,4 рази в порівнянні з об'ємною термообробкою, а використання наплавлення сплаву ПС-14-60 з додаванням 6% В4С на 1,7 ... в 1,8 рази порівняно з базовою технологією індукційної обробки. Встановлено, що використання технологій лазерного зміцнення гальмує збільшення міцності на розтяг у процесі обробки ґрунту.

А.М. Пугач [53] запропонував конструкцію лапи культиватора, оснащеної елементами локального армування робочої поверхні. На рис.1.7. наведено профілі зубчастої поверхні лапи культиватора після обробки 20 га.

Відома також конструкція лапи культиватора [35] з нижнім підрізом з НОРСН, в якій зуби формуються під час роботи. Відстань між смужками набагато менше ширини смужок, тому ріжучим елементом є лише область загартовування. Оскільки його зносостійкість однакова по ширині, продуктивність буде рівномірною. У процесі абразивного зношування лезо

набуває гладку хвилясту форму без гострих опуклостей, а як відомо, найбільш ефективно ріже тільки лезо з гострими опуклості.

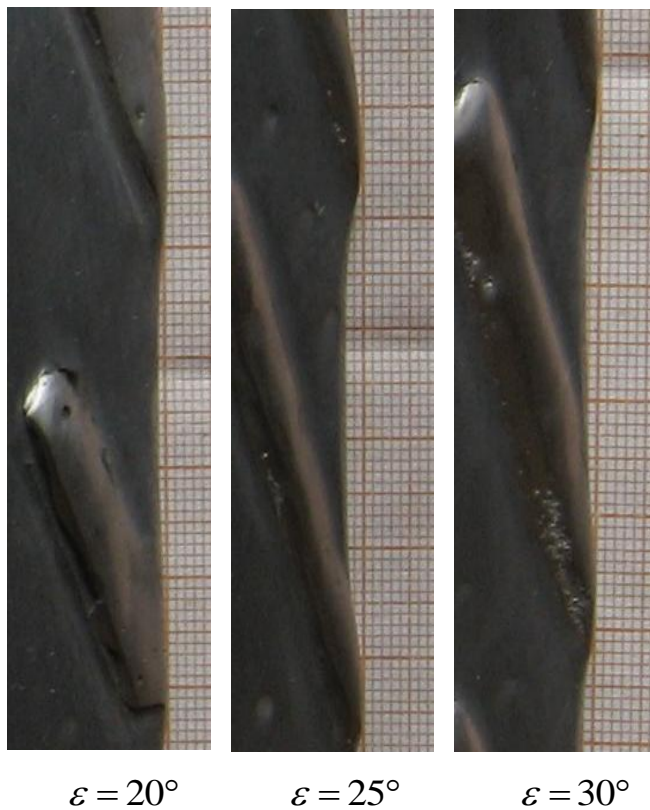


Рисунок 1.7 - Формування зубів при напрацюванні 20 га з різними кутами нахилу елементів зміцнення до леза лапи



Рисунок 1.8 - Стрілчаста лапа фірми HORCH

На рис. 1.9. приведена конструкція культиваторної лапи з точковим зміцненням поверхні фірми CASE.

Зносостійкий матеріал нанесено на крила лапи краплинним методом з метою підвищення зносостійкості поверхні. На режим різання подібне зміцнення не впливає



Рисунок 1.9 - Стрілчаста лапа фірми CASE

О.Д. Саінсусом [32] встановлена можливість підвищення рівномірності зносу по довжині ріжучого леза і, відповідно довговічності стрілчастих лап культиваторів при індукційному наплавленні кераміко-металевого покриття змінного складу і властивостей (рис.1.10).

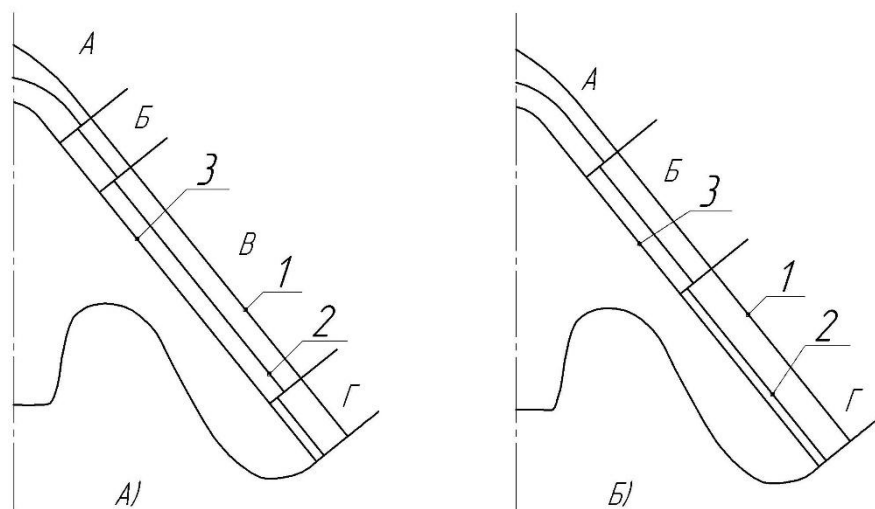


Рисунок 1.10 - Прогнози зміни форм зміцнених лез культиваторних лап при їх зношуванні (1- контур наплавленої лапи; 2 - прогнозована лінія зносу;

З - контур наплавленого шару). Варіанти нанесення порошкової суміші:

А) чотири зони наплавлення сумішами А+Б+В+Г;

Б) три зони наплавлення сумішами А+Б+Г

Висновки

Як видно з наведеного огляду зусилля дослідників направлені на: підвищення сталості ходу ґрунтообробних робочих органів; підвищення зносостійкості; підвищення підрізаючої спроможності.

Питання розробки конструкцій лап, призначених для роботи на підвищених швидкостях, досліджені недостатньо, а саме:

- відсутні дослідження параметрів руху потоку ґрунту, зокрема кута вступу, по поверхні культиваторної лапи;
- відсутня механічна модель руху потоку ґрунту по поверхні культиваторної лапи, що дозволить визначити шляхи зниження спрацювання;
- відсутня конструкція складових поверхонь, які визначають параметри форми і розташування на робочій поверхні лапи;
- відсутня методика розробки конструкції культиваторної лапи, призначеної для роботи на підвищених швидкостях.

2 ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ПОВЕРХНІ ЛАПИ

2.1 Математична модель взаємодії лапи з середовищем

Розглянемо лапу культиватора як найпоширеніший пристрій для обробки ґрунту (рисунок 2.1).

Розглянемо культиваторну лапу, як найбільш поширений ґрунтообробний робочий орган (рис 2.1).

При русі ґрунту по поверхні лапи на неї будуть діяти сили: T - сила тертя, Н; G - сила ваги скиби, Н; D - динамічний тиск, Н; Інтенсивність спрацювання лапи в абразивному середовищі від тиску і шляху тертя можливо представити співвідношенням [36]

$$\frac{\Delta Q}{\Delta S} = K_u \cdot D_N, \quad (2.1)$$

де ΔQ - спрацювання, кг;

ΔS - шлях пройдений часткою ґрунту, м;

K_u - емпіричний коефіцієнт, що залежить від фізико – механічних властивостей ґрунту;

D_N - нормальна складова динамічного тиску, Н.

Враховуючи, що відносна швидкість руху ґрунту по поверхні робочого органу рівна відношенню пройденого часткою шляху до часу, маємо

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = V_{\text{відн.}} \quad (2.$$

2)

Вираз для визначення спрацювання (2.1) можливо записати через відносну швидкість

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = K_u \cdot D_N \cdot V_{відн.} \cdot \quad (2.3)$$

Нормальні складові сили тяжіння частки G_N і динамічного тиску D_N викликають нормальний тиск

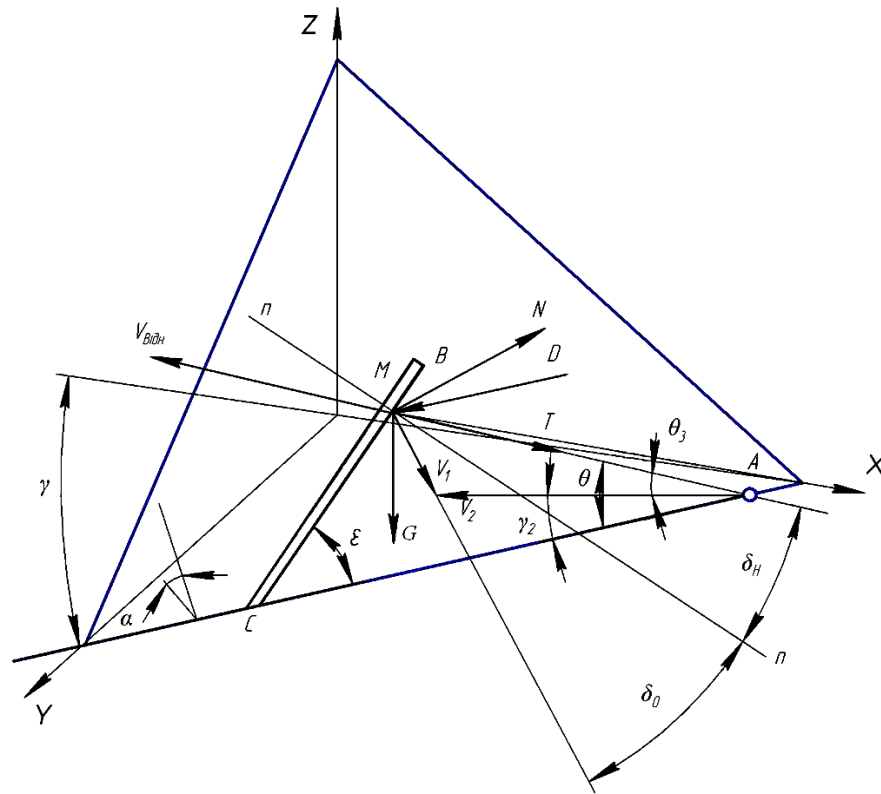


Рисунок 2.1 - Схема до визначення кінематичних параметрів потоку ґрунту

$$F_D = G_N + D_N \cdot \quad (2.4)$$

У відповідності до теореми про зміну кількості руху можна записати

$$F_D \Delta t = \Delta m_c \cdot V_{абс} \cdot \quad (2.5)$$

де F_D - динамічний тиск ґрунту на клин, Н;

$V_{абс}$ - абсолютна швидкість руху ґрунту, під дією лапи, м/с.

Δm_c - маса ґрунту, що потрапляє на робочий орган в одиницю часу, кг;

Маса ґрунту, що потрапляє на робочий орган в одиницю часу дорівнює

$$\frac{\Delta m_c}{\Delta t} = \rho \cdot a \cdot b \cdot V_{відн.} \cdot \quad (2.6)$$

де ρ - щільність ґрунту, кг/м³;

a, b - товщина і ширина елемента скиби, м.

При здійсненні руху робочого органу в ґрунті абразивні частинки здійснюють складний рух: поперечний (разом з робочим органом) і відносний (по поверхні робочого органу).

Модуль абсолютної швидкості дорівнює

$$V_{abc} = \sqrt{V^2 + V_{відн.}^2 - 2 \cdot V \cdot V_{відн.} \cdot \cos \theta}, \quad (2.7)$$

де V - швидкість руху робочого органу, м/с;

θ - кут вступу ґрунту на поверхню робочого органу, град.

В першому наближенні виходячи з нерозривності потоку ґрунту, можна вважати, що відносна швидкість руху рівна переносній $V = V_{відн.}$, тоді

$$V_{abc} = V \sqrt{2 \cdot (1 - \cos \theta)}. \quad (2.8)$$

Підставивши вираз для абсолютної швидкості (2.8) в (2.5) з врахуванням (2.6) можна записати силу динамічного напору наступним чином:

$$F_D = \rho \cdot a \cdot b \cdot V_{abc}^2 \cdot 2(1 - \cos \theta) \quad (2.9)$$

З отриманого рівняння видно, що сила динамічного напору на поверхні лапи зростає із збільшенням перетину скиби $a \cdot b$, швидкості руху V і знижується із зменшенням кута вступу ґрунту на поверхню робочого органу.

Проекція сили нормального тиску на нормаль до площини лапи дорівнює

$$F_D = \rho \cdot a \cdot b \cdot 2V_{abc}^2 \cdot (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha. \quad (2.9)$$

Сила тяжіння елемента скиби ґрунту дорівнює

$$G = mg = \rho \cdot a \cdot b \cdot \Delta x \cdot g, \quad (2.10)$$

де g - прискорення сили тяжіння, м/с²;

Δx - довжина елемента скиби, м

Повна сила нормального тиску елемента скиби ґрунту на поверхню лапи буде дорівнювати

$$D_N = \rho \cdot a \cdot b \cdot \Delta x \cdot g \cos \alpha + \rho \cdot a \cdot b \cdot 2V_{a\bar{b}c}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha =$$

$$\rho \cdot a \cdot b \left[\Delta x \cdot g \cdot \cos \alpha + 2V_{a\bar{b}c}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right].$$

(2.11)

В свою чергу сила тертя дорівнює

$$T = f_1 \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \left[\Delta x \cdot g \cdot \cos \alpha + 2V_{a\bar{b}c}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right]. \quad (2.12)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя ґрунту по сталі.

Підставивши значення сили D_N з (2.11) у відношення (2.1), отримаємо спрацювання, виражене через параметри скиби ґрунту і руху потоку ґрунту у функції шляху переміщення часток

$$\frac{\Delta Q}{\Delta S} = K_u \cdot f_1 \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot \left[\Delta x \cdot g + 2V_{a\bar{b}c}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right]. \quad (2.13)$$

або у функції часу

$$\frac{\Delta Q}{\Delta S} = K_u \cdot f_1 \cdot \rho \cdot a \cdot b \cdot V_{a\bar{b}c} \left[\Delta x \cdot g + 2V_{a\bar{b}c}^2 (1 - \cos \theta) \sin \gamma \sin \alpha \right].$$

(2.14)

Аналізом досліджень окреслено коло задач, які на даному етапі є актуальними для покращення технологічних характеристик культиватора.

Найважливіші з них:

- підвищення зносостійкості;
- поліпшення стійкості лапи;
- покращення розпушуючої та підрізаючої спроможності лап.

Завдання вирішуються в основному:

- оптимізація форми лапи та її леза;
- підвищення зносостійкості;

На нашу думку, найбільш перспективне поєднання вищезгаданих напрямків удосконалення – в одному технічному рішенні. Рішення цієї проблеми можливе за умови створення найбільш повної математичної моделі взаємодії стрілки з оброблюваним середовищем.

2.2 Загальні положення методики проектування робочого органу типу «лапа» з ефектом самозагострювання

Кожна поверхня може бути утворена кінематичним способом, коли поверхня утворена рухом у просторі деякої лінії.

Для конструкції робочих органів ґрунтообробних машин найкраще підходять лінійні поверхні, у яких генерація - пряма. Ці поверхні можна розділити на дві групи: ті, що розгортаються, і ті, що не розгортаються [39-44].

Найпоширенішою ознакою поверхні є їх загальна гауссова кривизна, яка визначається в будь-якій точці. Гаусова кривизна визначається двома напрямками [45] і визначається за формулою

$$K = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2}, \quad (2.15)$$

де R_1 і R_2 - радіуси кривизни поверхні вздовж двох основних взаємно перпендикулярних площин.

Поверхні відрізняються тим, що їх гауссова кривизна дорівнює нулю в будь-якій точці. Це пов'язано з тим, що один основний напрямок збігається з прямою. Оскільки радіус кривизни прямої дорівнює нескінченності, то гауссова кривизна в нульовій точці,

$$K = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{1}{\infty} = 0. \quad (2.16)$$

Ця умова призводить до того, що поверхні мають такі диференціальні геометричні властивості:

- Гаусова кривизна завжди постійна і дорівнює нулю;
- дотична площина торкається поверхні по всій твірній і не змінює свого положення в просторі при переміщенні точок контакту.

Завдяки цим властивостям поверхню можна поєднувати з площиною без розтяжок і зморшок.

При термічній обробці такі поверхні практично не піддаються згинанню, що дає можливість зберегти фасонну форму поверхні [46].

Остання властивість дає можливість отримати широкий спектр спряжених поверхонь. Оскільки дотична площина не змінює свого положення, то при переміщенні точки контакту вздовж існує можливість спряження окремих поверхонь.

Якщо утворюючі поверхні сходяться в одній точці, то поверхня вироджується в конічну, якщо паралельні – в циліндричну.

На рисунку 2.2.а приведена поверхня, що розгортається з циліндра c і конуса k . Стиковка відбувається по твірній g_k , направляюча конічної поверхні L_k переходить в направляючу циліндричної поверхні L_c в точці 1, при цьому спряження кривих L_k і L_c може бути виконано по будь-якому порядку шорсткості.

Дотична площина ω є дотичною одночасно і до конічної і до циліндричної поверхні. Всі нормалі, проведені з будь-якої точки твірної 1, 2, 3 і 4 колінеарні між собою $n_1 // n_2 // n_3 // n_4$, а вершина конуса S_k належить площині ω і співпадає, в даному випадку з точкою: $4 \equiv S_k$.

Виберемо на поверхні, що розгортається, будь-яку криву L (рис 2.2. б) з рівнянням

$$\rho = \rho(u). \quad (2.17)$$

В будь-якій точці цієї кривої задамо єдиний вектор l , який буде виступати функцією параметра u вздовж кривої L

$$l = l(u). \quad (2.18)$$

Через точку i ($i = 1, 2, 3, 4$) (рис. 2.2а) направляючої лінії до радіус-вектора $\rho(u)$ проведемо пряму паралельну вектору $l(u)$. В результаті отримаємо в просторі сімейство прямих ліній одного параметра u . Назвемо їх твірні.

Позначимо $MN = v$. В цьому випадку радіус-вектор довільної точки E на довільній утворюючій, що визначається значенням u , можливо записати

$$r = \overrightarrow{OM} = \overrightarrow{ON} + \overrightarrow{NM}, \quad (2.19)$$

де $\overrightarrow{OM} = \rho(u)$, $\overrightarrow{NM} = v l(u)$

В кінцевому випадку будемо мати

$$\vec{r} = \vec{\rho}(u) + v\vec{l}'(u). \quad (2.20)$$

В результаті радіус-вектор довільної точки E на довільній твірній виражається як функція двох незалежних невідомих u і v .

Підрахуємо часткові похідні по параметрах

$$r_u = \vec{\rho}'(u) + v\vec{l}''(u), \quad r_v = \vec{l}'(u). \quad (2.21)$$

$$[r_u, r_v] = [\vec{\rho}', \vec{l}'] + v[\vec{l}'', \vec{l}']. \quad (2.22)$$

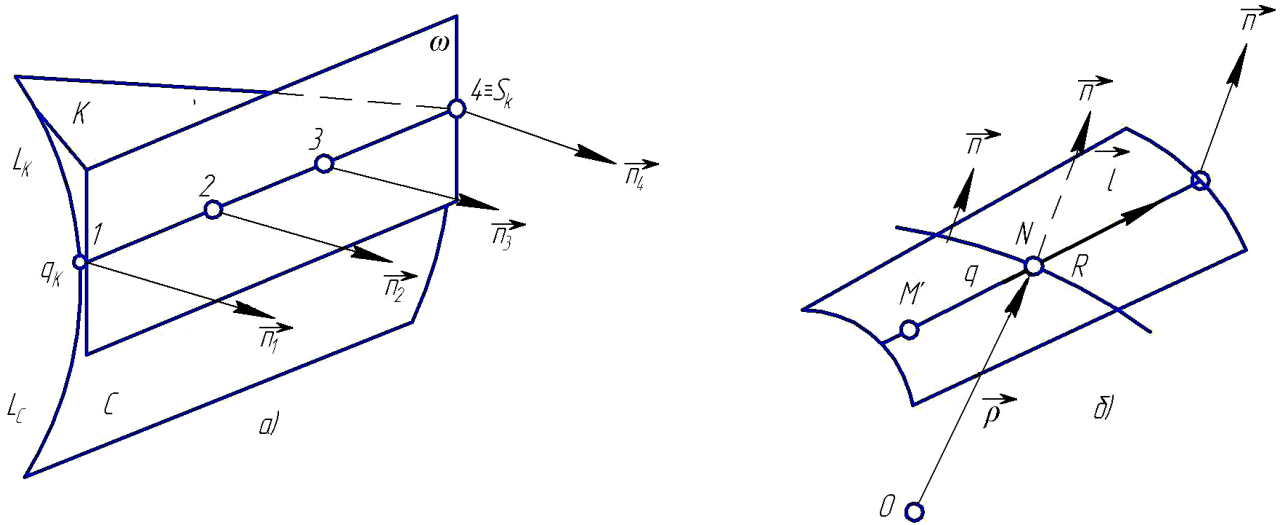


Рисунок 2.2 - Утворення поверхні, що розгортається:

а – складова поверхня; б – нескінченно малий елемент поверхні

Якщо поверхня буде розгортуватись, то повинна виконуватись умова колінеарності

$$[\vec{\rho}', \vec{l}] // [\vec{l}'', \vec{l}], \quad (2.23)$$

яка показує, що вздовж твірної g напрямком нормалі \vec{h} не змінюється (рис. 2.7.б), тому нескінченно малий елемент поверхні є площиною, яка описується рівнянням

$$Ax + By + Cz + D = 0, \quad (2.24)$$

де A, B, C, D - коефіцієнти, що являються функціями параметра u .

2.3 Геометрична модель культиваторної лапи

Розташуємо в просторі систему координат $Oxyz$ так, щоб вісь Oz була перпендикулярна дну борозни, а вісь Oy розташовувалась протилежно напрямку руху. Тоді Ox буде розташовуватись в горизонтальній площині (рис. 2.3).

При такому розташуванні системи координат носок лапи розміщується в її початку, а направляюча крива (L) розташовується в горизонтальній площині і співпадає з лезом лапи.

В системі $Oxyz$ визначимо пряму лінію g , яка буде твірною поверхні культиваторної лапи.

У відповідності до рис. 2.2. запишемо положення проєкцій g у виді

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y} &= k\tilde{x} + l, \\ \tilde{z} &= m\tilde{y} + n, \end{aligned} \right\} \quad (2.25)$$

де k, l, m, n - параметри положення твірної, які в свою чергу є функціями деякого параметра u .

Поверхня буде такою, що розгортається, коли буде виконуватись диференційне рівняння [47]

$$\frac{l'}{k'} = \frac{n'}{m'}, \quad (2.26)$$

де штрихами позначені перші похідні по параметру u .

Запишемо рівняння утворюючої у функції координати \tilde{x}

$$\left. \begin{aligned} \tilde{y} &= k\tilde{x} + l, \\ \tilde{z} &= mk\tilde{x} + ml + n, \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

де k і mk - кутові коефіцієнти проєкцій утворюючих;

l і $ml + n$ - вільні члени рівнянь проєкцій утворюючих.

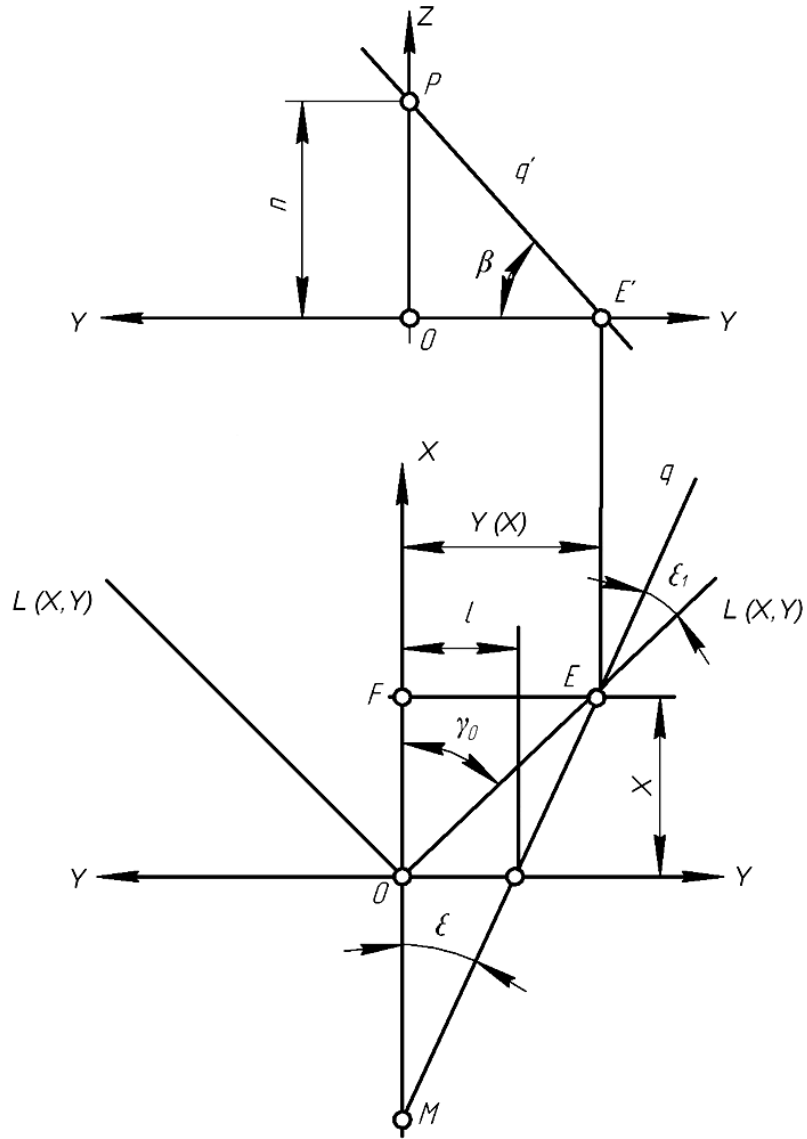


Рисунок 2.3 - Загальна схема утворення поверхні, що розгортається

Для забезпечення поверхні, що розгортається культиваторної лапи на величини k , mk , l і $ml + n$ накладаємо диференціальне рівняння [48, 49]

$$\frac{l'}{k'} = \frac{(ml + n)'}{(mk)'}, \quad (2.28)$$

де штрихи позначають першу похідну по параметру u .

Диференціюючи маємо

$$\frac{l'}{k'} = \frac{m'l + ml' + n'}{m'k + mk'}. \quad (2.29)$$

Проводячи перетворення, приходимо до наступного диференційного рівняння положення твірної g

$$l'm'k - k'm'l - k'n' = 0. \quad (2.30)$$

Це рівняння можливо розв'язати відносно одного з кутових коефіцієнтів. Так, якщо заданий кутовий коефіцієнт k , то відсутній кутовий коефіцієнт визначиться наступним диференційним рівнянням відносно m

$$m' - \frac{k'n'}{l'k - k'l} = 0. \quad (2.31)$$

А якщо заданий кутовий коефіцієнт m , то рівняння відносно невідомого k прийме вид

$$k' - k \frac{l'm'}{m'l + n'} = 0. \quad (2.32)$$

У кожному положенні твірна g має спільну точку E з направляючою кривою L .

Для культиваторної лапи направляюча крива L являє собою плоску лінію, що є контуром леза. Її рівняння буде мати вигляд

$$x = x(u), \quad y = y(u), \quad z = 0,$$

Прийmemo в якості параметра u координату x , що дає наступні рівняння направляючої L :

$$y = y(x).$$

Виразимо величини, що входять в диференційні рівняння через координати точки E .

З геометричних міркувань кутові коефіцієнти дорівнюють

$$m = \operatorname{tg} \beta; k = \operatorname{tg} \varepsilon.$$

В свою чергу, вільні члени рівнянь визначимо з трикутників FME і OPE' дорівнюють

$$l = y - \operatorname{tg} \varepsilon \cdot x,$$

$$n = y \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

Диференціюючи параметри положення твірної, маємо

$$\begin{aligned}
k' &= tg'\varepsilon; \\
m' &= tg'\beta; \\
l' &= y' - tg'\varepsilon \cdot x - tg\varepsilon; \\
n' &= y'tg\beta + ytg'\beta.
\end{aligned}$$

Підставляючи отримані значення параметрів відповідно підходимо до диференційних рівнянь положення твірних відносно кута нахилу проекції твірної на площині Oyz :

$$tg'\beta - tg\beta \frac{tg'\varepsilon y'}{tg\varepsilon \cdot y' - 2tg'\varepsilon \cdot y - tg^2\varepsilon} = 0, \quad (2.33a)$$

і відносно кута нахилу проекції твірної на площині Oxy

$$tg'\varepsilon - tg\varepsilon \frac{tg'\beta \cdot y'}{tg\beta \cdot y + y'} + tg^2\varepsilon \frac{tg'\beta}{tg\beta \cdot y + y'} = 0. \quad (2.34b)$$

Так як направляюча крива для культиваторної лапи лежить в горизонтальній площині, то найбільш доречним буде диференційне рівняння положення твірних (2.33a). Загальне вирішення рівняння має вид

$$tg\beta = C \cdot e^{-\int Adx},$$

де $A = \frac{tg'\varepsilon \cdot y'}{tg\varepsilon \cdot y' - 2tg'\varepsilon \cdot y - tg^2\varepsilon}$.

C - постійна інтегрування, що визначається з початкових умов.

Для культиваторної лапи направляючою кривою, яка виступає лезом найбільше підходить пряма лінія. Тоді її рівняння буде мати вид

$$y = tg\gamma_0 \cdot x,$$

де γ_0 - кут розхилу крил, град.

Позначимо функцію кута нахилу проекції твірної в плані $tg\varepsilon = f(\varepsilon)$, тоді диференційне рівняння положення твірних буде мати вигляд

$$tg'\beta - tg\beta \frac{f'(\varepsilon) \cdot y'}{f(\varepsilon) \cdot y' - 2f'(\varepsilon) \cdot y - [f(\varepsilon)]^2} = 0. \quad (2.35)$$

Прийнявши, що функція кута нахилу твірної в горизонтальній площині має вид

$$f(\varepsilon) = k_\varepsilon \cdot x,$$

і підставляючи цей вираз, приходимо до наступного диференційного рівняння

$$\operatorname{tg}'\beta - \operatorname{tg}\beta \frac{k_\varepsilon \cdot \operatorname{tg}\gamma}{x(1 - 2\operatorname{tg}\gamma_0) - k_\varepsilon x^2} = 0.$$

(2.35a)

Враховуючи характерне спрацювання культиваторної лапи в зоні носка, який відбувається по кривій лінії, на базі загальної моделі поверхні, що розгортається можна запропонувати складову поверхню, параметри якої наведено на рис. 2.4.

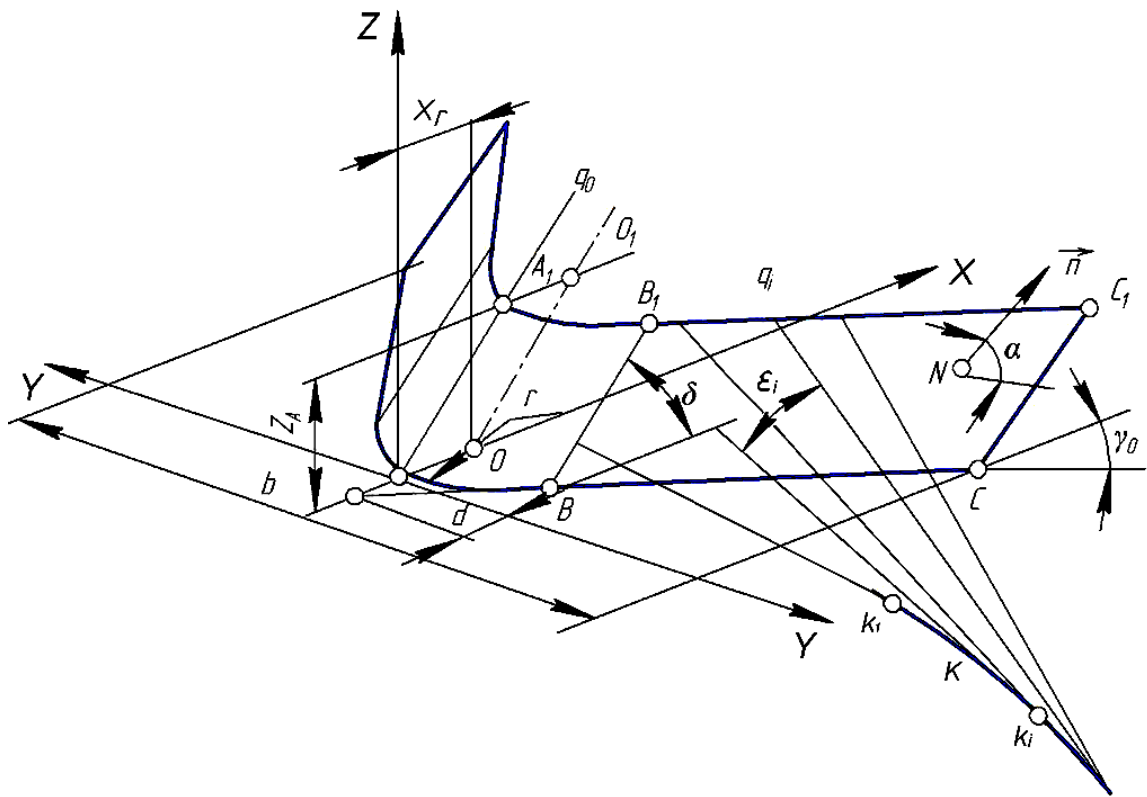


Рисунок 2.4 - Схема параметрів складової поверхні культиваторної лапи

Поверхня лапи складається з поверхні циліндра з осью лінійною OO_1 і площини BB_1C_1C , які спряжені по твірній циліндра BB_1 . Циліндр має радіус r , а нормаль \vec{n} площини BB_1C_1C , проведена з точки N_o , має нахил до горизонтальної площини проєкції під кутом α_1 , який визначається за залежністю

$$\alpha_1 = 90^\circ - \alpha,$$

де α - кут кришення, град.

Таким чином, направляюча поверхні, що розгортається буде складатись з двох ліній: дуги кола OBB'

$$(x - x_r)^2 + y^2 = r^2, \quad (2.36)$$

де x_r - відстань центру кола O_1 від початку координат; та прямої BC , рівняння якої має вигляд

$$y = \operatorname{tg}\gamma_0 x + d_1, \quad (2.37)$$

де $d_1 = x_B - y_B \cdot \operatorname{tg}\gamma_0$;

x_B і y_B - координати точки B переходу кола в пряму.

Координати точки переходу B визначимо, продиференціювавши x .

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\gamma_0 \text{ і } x - r + y \frac{dy}{dx} = 0.$$

Підставивши у друге рівняння вираз першої похідної з першого, і враховуючи, що $x_r = r$ отримаємо перше рівняння для визначення координат точки B

$$x - r + y \cdot \operatorname{tg}\gamma_0 = 0. \quad (2.38)$$

Приєднавши до отриманого рівняння, рівняння кола, отримаємо систему для визначення координат точки B

$$\left. \begin{aligned} x - r + y \cdot \operatorname{tg} \cdot \gamma_0 &= 0, \\ (x - r)^2 + y^2 &= r^2 \end{aligned} \right\}. \quad (2.39)$$

Таким чином, направляючою кривою циліндричної поверхні носка лапи буде дуга кола BOB'

$$y = \sqrt{r^2 - (x - r)^2}. \quad (2.40)$$

Твірною для циліндричної поверхні буде лінія BB_1 , яка визначається системою

$$\left. \begin{aligned} z &= \operatorname{tg}\delta x + x_\delta, \\ y &= \sqrt{r^2 - (x - r)^2} \end{aligned} \right\}. \quad (2.41)$$

Рівняння крила лапи запишемо як рівняння площини, що проходить через три точки. Дві з них – точка переходу направляючої носка лапи $B(x_B, y_B, z_B)$ і точка $C(x_C, y_C, z_C)$ – крайня точка леза лапи BC .

Ці точки лежать в горизонтальній площині Oxy . Третю точку N визначимо поки довільно.

Площина BB_1C_1C , обертаючись навколо прямої BC , може займати будь-яке положення, яке в кінцевому рахунку, буде визначатись координатами точки N . Таким чином, зафіксувавши дві точки B і C , і визначивши кут α , нахилу нормалі до горизонтальної площини проєкцій, зафіксуємо координати x_N, y_N і z_N .

Рівняння площини, що проходить через три точки B, C, N , виглядає у виді визначника:

$$\begin{vmatrix} x - x_B & y - y_B & z - z_B \\ x_C - x_B & y_C - y_B & z_C - z_B \\ x_N - x_B & y_N - y_B & z_N - z_B \end{vmatrix} = 0.$$

Розкладемо його на мінори і алгебраїчні доповнення:

$$\begin{aligned} (x - x_B) \begin{vmatrix} y_C - y_B & z_C - z_B \\ y_N - y_B & z_N - z_B \end{vmatrix} - (y - y_B) \begin{vmatrix} x_C - x_B & z_C - z_B \\ x_N - x_B & z_N - z_B \end{vmatrix} + \\ + (z - z_B) \begin{vmatrix} x_C - x_B & y_C - y_B \\ x_N - x_B & y_N - y_B \end{vmatrix} = 0. \end{aligned}$$

Застосувавши скорочене позначення для мінорів, отримуємо рівняння площини з загальним видом:

$$A_x + B_y + C_z + D = 0, \quad (2.42)$$

$$\text{де } A = \begin{vmatrix} y_C - y_B & z_C - z_B \\ y_N - y_B & z_N - z_B \end{vmatrix}; B = \begin{vmatrix} x_C - x_B & z_C - z_B \\ x_N - x_B & z_N - z_B \end{vmatrix}; C = \begin{vmatrix} x_C - x_B & y_C - y_B \\ x_N - x_B & y_N - y_B \end{vmatrix}.$$

$$D = B_{y_B} - A_{x_B} - C_{z_B}.$$

Кут нахилу нормалі \vec{h} до площини дна борозни дорівнює

$$\alpha_1 = 90^\circ - \alpha,$$

де α - кут нахилу площини BB_1C_1C , який є кутом кришення.

Кут між двома площинами α , у відповідності до аналітичної геометрії, визначається залежністю

$$\cos \alpha_1 = \frac{AA_2 + BB_2 + CC_2}{\sqrt{(A^2 + B_1^2 + C^2) \cdot (A_2^2 + B_2^2 + C_2^2)}}, \quad (2.43)$$

де A, B, C - коефіцієнти рівняння площини лапи;

A_2, B_2, C_2 - коефіцієнти іншої площини.

Представимо одну з площин як горизонтальну площину дна борозни. Тоді її рівняння прийме вид

$$C_2 z = 0. \quad (2.44)$$

Так як площина (2.44) горизонтальна, то рівняння (2.43) прийме вид

$$\cos \alpha_1 = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}. \quad (2.45)$$

Для того, щоб позбавитись від радикала в знаменнику піднесемо отриманий вираз до квадрату

$$\cos^2 \alpha_1 = \frac{C^2}{A^2 + B^2 + C^2}.$$

Враховуючи отриманий вираз можна записати у вигляді

$$\cos^2 \alpha_1 = \frac{C^2}{\begin{vmatrix} y_c - y_a & z_c - z_a \\ y_N - y_a & z_N - z_a \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} x_c - x_a & z_c - z_a \\ x_N - x_a & z_N - z_a \end{vmatrix}^2 + C_1^2}.$$

Так як y_N і x_N можуть бути будь якими позитивними числами, то позначивши

$$y_c - y_a = R, \quad z_c - z_a = T, \quad y_N - y_a = K, \quad x_c - x_a = E, \quad x_N - x_a = F,$$

можливо отриманий вираз розв'язати відносно z_N . Для цього приводимо отриманий вираз до вигляду

$$\begin{vmatrix} R & T \\ K & z \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} E & T \\ F & z \end{vmatrix}^2 + C^2 = \frac{C^2}{\cos^2 \alpha},$$

де $z = z_N - z_\varepsilon$.

Проводячи перетворення, приходимо до квадратного рівняння

$$az^2 - 2bz + C^2\left(1 - \frac{1}{\cos^2 \alpha}\right) = 0, \quad (2.46)$$

де $a = R^2 + E^2$;

$$b = T(R \cdot K + E \cdot F)$$

В результаті відповідних перетворень координата z_N буде дорівнювати

$$z_N = z_\varepsilon \pm z_{1,2}, \quad (2.47)$$

де z_1 і z_2 - корені квадратного рівняння.

Утворюючі g , по яким будуть розташовуватись локальні елементи зміцнення визначаються системою і одночасно лежать в площині BB_1C_1C . Це положення накладає на параметри k , l , mk , $ml + n$ відповідний зв'язок. Для виявлення характеру цього зв'язку підставимо в рівняння площини координати y , z , вираз з рівняння прямої.

$$A_x + B(kx + l) + C(mkx + ml + n) + D = 0.$$

При відомих значеннях коефіцієнтів площини A , B , C , які визначаються координатами точок B , C , N і отримуємо рівняння відносно одного з параметрів прямої як функцію координати x , наприклад, відносно кутового коефіцієнту k

$$k = -\frac{Ax - B \cdot l - C \cdot m \cdot l - l \cdot n - D}{(B + C \cdot m)}.$$

Кожна твірна g є дотичною до кривої R рис. 2.1. котра є ребром повернення поверхні, що розгортається [50, 51] і має кут нахилу до горизонтальної площини ε (див. рис. 2.3).

Рівняння ребра повернення визначається системою рівнянь

$$R: \left. \begin{aligned} x_R &= -\frac{m'l + m'l + n'}{m'k + mk'}, \\ y_R &= kx + l, \\ z_R &= mkx + ml + n. \end{aligned} \right\}.$$

Після виведення залежності параметру k від x $k = k(x)$ необхідно перевірити чи потрапляють координати ребра повернення в область, що обмежена площиною крила BB_1C_1C . Якщо ця умова не виконується необхідно змінити одну з функцій m , l або n і повторити розрахунок.

2.4 Обґрунтування радіуса кола направляючої кривої носка лапи

Лезо традиційної культиваторної лапи являє собою симетричний клин, направлений лезом вперед. В процесі роботи носок лапи спрацьовується в першу чергу і стає заокругленим, після чого інтенсивність спрацювання дещо знижується. Це говорить про те, що на гострому носку лапи нормальний тиск ґрунту значно вищий, ніж на заокругленому, тому є доцільним виконати лезо лапи складовим з дуги кола і прямих ліній, спряжених в точках дотику.

Для обґрунтування радіуса кола розглянемо контактну теорію пружності відповідно до [52-55].

При стиску ґрунту деформатором, в якості якого виступає лезо лапи, по ділянці контакту, функція напруження $\sigma(y)$, буде виражена рівнянням [52]:

$$\sigma(y) = \frac{P + Aa^2 - 2Ay^2}{\pi\sqrt{a^2 - y^2}}, \quad (2.48)$$

де P - рівнодійна зовнішніх сил, Н;

a - півширина контакту, м;

A - деяка постійна, що залежить від геометричної форми тіл і їх пружних постійних w_1 і w_2 .

Стала A визначається залежністю

$$A = \frac{f_1''(0) + f_2''(0)}{2(w_1 + w_2)}, \quad (2.49)$$

де

$$w_1 = \frac{2(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1} \quad \text{і} \quad w_2 = \frac{2(1 - \mu_2^2)}{\pi E_2}.$$

(2.50)

В рівняннях прийняті наступні позначення:

$f_1''(0)$ і $f_2''(0)$ - другі похідні від рівнянь профілів поперечного перетину взаємодіючих тіл в точці симетрії ділянки контакту ($y = 0$);

μ_1 і μ_2 - коефіцієнти Пуассона сталі і ґрунту, відн. од.;

E_1 і E_2 - модулі пружності сталі і ґрунту, кг/с²м.

Рівняння профілю ґрунту і площини контакту при $b/2$ можна представити у вигляді напівпростору з постійною ординатою $z = f_2(y) = const$, тому $f_2''(0) = 0$. В свою чергу при взаємодії культиваторної лапи і ґрунту, можна вважати, що лапа, в порівнянні з ґрунтом абсолютно жорстка, так як виготовлена із сталі, відповідно, $E_1 = \infty$. Тоді $w_1 = 0$, а рівняння буде мати вигляд

$$A = \frac{f_1''(0)}{2w_2}.$$

Так як коефіцієнт Пуассона для ґрунту малий, то величина w_2 буде рівна

$$w_2 = \frac{2}{3,14 \cdot E_2}, \quad (2.51)$$

де модуль пружності E_2 знаходиться в межах $E_2 = (4,26 - 5,44) \cdot 10^6$, кг/с²м [55, 56], відповідно, $w_2 = (0,15 - 0,12) \cdot 10^{-6}$ с²·м/кг.

Лезо лапи складається з двох ділянок – дуги кола і клина, тому розглянемо деформацію ґрунту кожною ділянкою окремо.

Кругла ділянка носка леза описується рівнянням кола, центр якого лежить на осі симетрії Ox

$$f_1 = (x - r)^2 + y^2 = 0, \quad (2.52)$$

де r - радіус кола носка лапи, м.

Диференціюючи рівняння (2.103) як функцію, що задана неявно, маємо

$$x'_y(x-r) + y = 0,$$

звідки перша похідна рівна

$$x'_y = -\frac{y}{x-r}.$$

Диференціюючи другий раз, отримаємо

$$x''_y = -\frac{x+r+y \cdot x'_y}{(x-r)^2}.$$

Підставляючи в отриманий вираз значення першої похідної, і враховуючи, що

$$x = \sqrt{r^2 - y^2} + r,$$

в кінцевому випадку будемо мати вираз для визначення другої похідної

$$f''_1 = -\frac{r^2}{\sqrt{(r^2 - y^2)^3}},$$

яке при $y = 0$ дорівнює

$$f''_1(0) = -\frac{1}{r}. \quad (2.53)$$

Представимо рівнодійну P як добуток питомого опору ґрунту при обробітку k_y на ширину захвату лапи

$$P = k_y \cdot b. \quad (2.54)$$

Питомий тиск ґрунту при обробітку k_y знаходиться в межах $k_y = 4 \dots 6$ Н/см² [57] або $k_y = (4 \dots 6) \cdot 10^4$ Н/м², а ширина культиваторних лап рівна 270 і 330 мм, тому будемо мати наступні межі зміни рівнодійної: $P = (1,08 \dots 1,92) \cdot 10^4$ Н. В подальшому будемо орієнтуватись на більше значення рівнодійної.

Розв'язуючи сумісно отримаємо рівняння розподілення напружень в ґрунті в наступному виді

$$\sigma_1(y) = \frac{2P}{\pi a} \sqrt{a^2 - y^2}, \quad (2.55)$$

де $a = \sqrt{2Prw_2}$.

Підставивши числове значення в (2.55) отримаємо функцію розподілення напружень, що викликає носок лапи, для заданих умов

$$\sigma_1(y) = \frac{2 \cdot 1,92 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 0,076 \cdot r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2} = \frac{1,6 \cdot 10^4}{r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2}. \quad (2.56)$$

Як видно з отриманого рівняння, напруження в ґрунті при $y = b/2$ рівні нулю $\sigma_1(b/2) = 0$, а при $y = 0$ будуть рівні своєму максимальному значенню $\sigma_1(0) = \sigma_{1\max} = 0,451 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

Лінійна частина леза описується рівнянням

$$x = \text{ctg}\gamma_0 |y|.$$

В цьому випадку розподілення напружень в ґрунті буде описуватись залежністю

$$\sigma_2(y) = \frac{2P}{\pi a} \ln \frac{a - \sqrt{a^2 - y^2}}{|y|}, \quad (2.57)$$

де $a = \frac{\pi \cdot P \cdot w_2}{2 \text{ctg}\gamma_0}$.

Підставляючи числові значення отримаємо вираз, що описує функцію напружень для лінійної ділянки леза лапи

$$\sigma_2(y) = 2,72 \cdot 10^6 \cdot \text{ctg}\gamma_0 \cdot \ln \frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg}\gamma_0} - \sqrt{\left(\frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg}\gamma_0}\right)^2 - y^2} \cdot |y|. \quad (2.58)$$

При $y = 0$ напруження в ґрунті перед носком лапи рівні нескінченності, тобто $\sigma_2(0) = \sigma_{2\max} = \infty$, в той же час як на кінцях лапи, коли $y = b/2$ вони дорівнюють нулю, або $\sigma_2(b/2) = 0$

Застосувавши принцип суперпозиції можливо скласти епюру сумарних напружень, що визначається сумою напружень від дуги кола і лінійної ділянки леза

$$\sigma(y) = \sigma_1(y) + \sigma_2(y). \quad (2.59)$$

Як видно з приведених виразів напруження в ґрунті, що викликає лезо лапи, залежать від радіуса носка лапи і кута нахилу лінійної частини і описується залежністю.

$$\Delta\sigma(y) = \sigma_1(y) - \sigma_2(y) = \frac{1,6 \cdot 10^4}{r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2} - \frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg}\gamma_0} - \sqrt{\left(\frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg}\gamma_0}\right)^2 - y^2} - 2,72 \cdot 10^6 \cdot \text{ctg}\gamma_0 \cdot \ln \frac{1}{|y|}. \quad (2.60)$$

Прирівнявши різницю напружень нулю, $\Delta\sigma(y) = \sigma_1(y) - \sigma_2(y) = 0$

Графіки залежності напружень в ґрунті для різних ділянок леза лапи наведені на рис. 2.5.

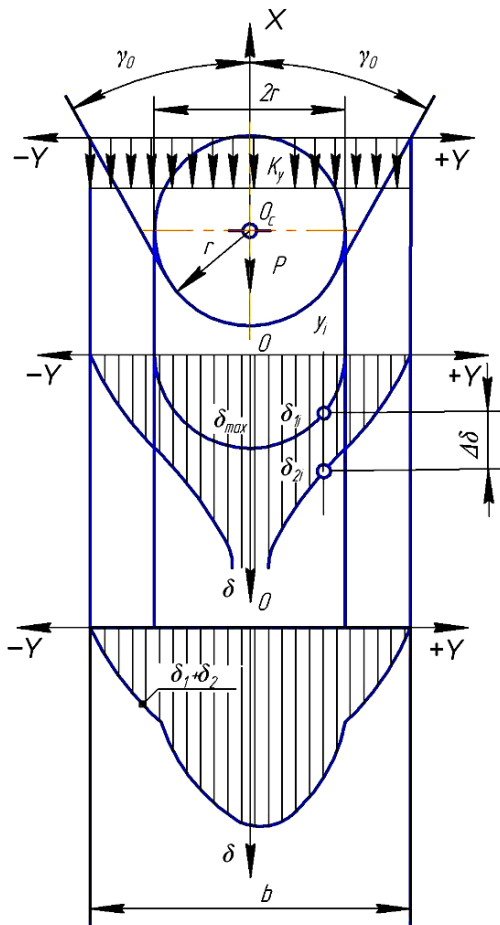


Рисунок 2.5 - Епюри напружень в ґрунті, що викликають різні ділянки леза лапи

Запишемо різницю напружень для приведених ділянок леза та отримаємо рівність напружень у ґрунті на межі, що викликають різні ділянки леза, звідки

$$\frac{1,6 \cdot 10^4}{r} \sqrt{0,076 \cdot r^2 - y^2} = 2,72 \cdot 10^6 \cdot \text{ctg}\gamma_0 \cdot \ln \frac{1}{|y|} - \frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg}\gamma_0} - \sqrt{\left(\frac{0,45 \cdot 10^{-2}}{\text{ctg}\gamma_0}\right)^2 - y^2}.$$

Отриманий вираз встановлює залежність між радіусом носка лапи r і кутом нахилу γ_0 лінійної ділянки леза.

2.5 Формування направляючої кривої поверхні лапи

Основними вихідними даними при проектуванні лапи культиватора з локальними елементами підсилення є:

- кут нахилу дотичної до профілю зуба, град;
- тип ґрунту, його кути зовнішнього та внутрішнього тертя, град;
- кут тертя бур'янів по сталі, град;
- глибина обробітку, м
- ширина захвату лапи, м;

Кут нахилу дотичної до профілю зуба заснований на сході бур'янів і ґрунту на лезі лапи.

Прийнята ширина охоплює 230, 270, 330 мм. Цей параметр повинен збігатися з шириною стандартних робочих органів, оскільки розміщення робочих органів на культиваторах більшості марок базується на цих розмірах.

Головна крива поверхні лапи культиватора - це комбінація дугових кіл і прямих ліній, тому розглянемо проектування кожного елемента окремо.

Визначення радіусу дуги буде проводитися на підставі деформацій, що відбуваються в середовищі, що підлягає обробці. Для цього за номограмою, побудованою за наведеними вище розрахунками і показаної на фіг. 2.6

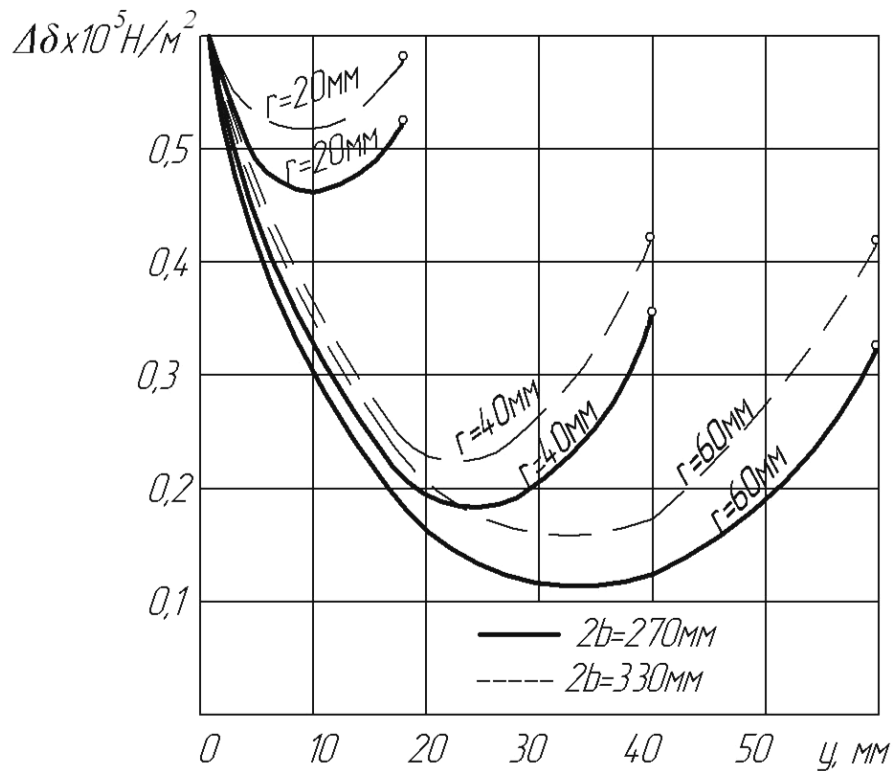


Рисунок 2.6 - Номограма для визначення радіуса носка лапи

Як видно з графіків на ділянці $y = 0..30$ мм найбільше напруження виникає в межі зміни радіуса носка лапи $r = 20..40$ мм. Так, при $r = 20$ мм, різниця напружень, що викликається різними профілями, рівна $\Delta\sigma = 0,47 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, а при $r = 40$ мм, відповідно $\Delta\sigma = 0,25 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

При виборі радіуса носка лапи слід враховувати, що при високих напруженнях в ґрунті відбувається його кришення за рахунок енергії стиску, в той же час як низькі напруження забезпечують тільки сколювання шару ґрунту, який призводить до утворення грудок великого розміру.

Кут нахилу направляючої знайдемо з номограми, що приведена на рис. 2.7. Як видно з характеру залежностей кутів тертя ґрунту по сталі, кут нахилу направляючої L знаходиться в межах $\gamma_0 = 27..31^\circ$ не зважаючи на те, що залежність кута тертя ґрунту по сталі φ_1 має хвилеподібний характер.

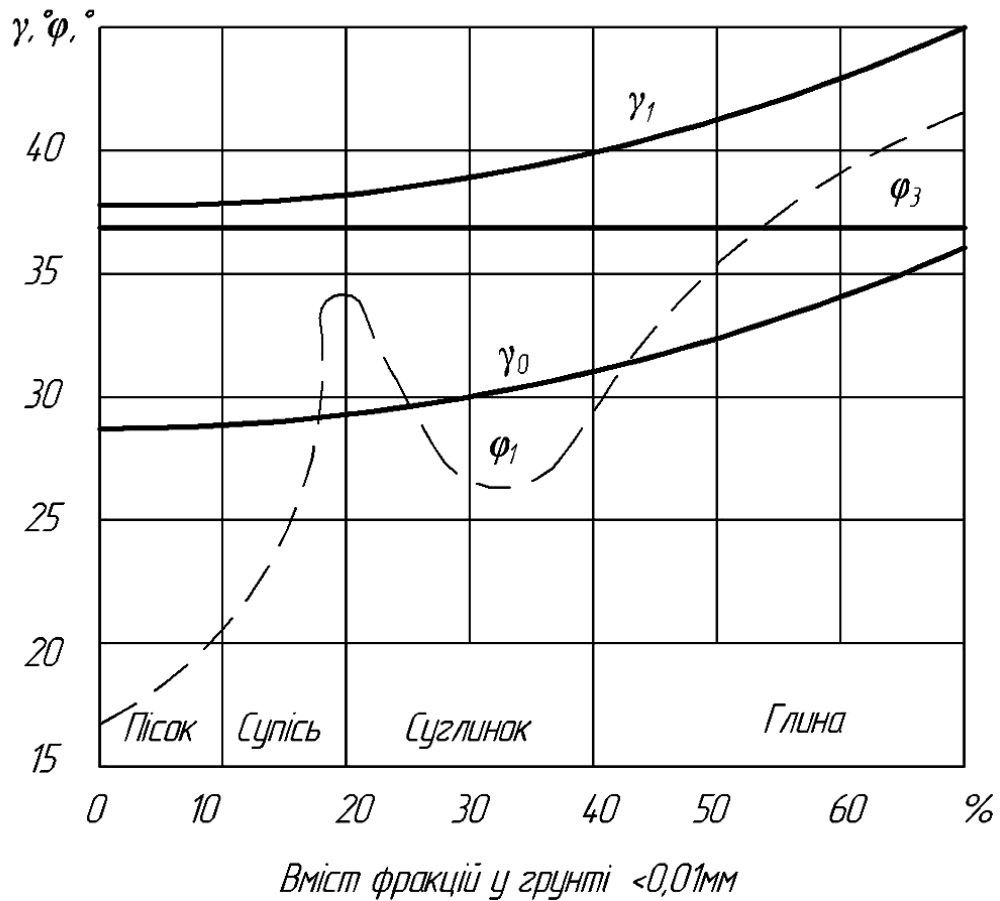


Рисунок 2.7 - Номограма для визначення нахилу направляючої

Визначивши радіус носка лапи r і кут нахилу утворюючої γ_0 , формуємо направляючу криву.

Для цього визначимо параметри прямолінійної ділянки леза через координати точки B :

$$x_B = r - r \sin \gamma_0, \quad y_B = r \cos \gamma_0, \quad (2.62 \text{ a})$$

Звідки вільний член направляючої дорівнює

$$d_1 = r[\cos \gamma_0 - \operatorname{tg} \gamma_0 (1 - \sin \gamma_0)].$$

Отримане рівняння дозволяє вираз для вільного члена d записати простіше

$$d = 0,586r,$$

при максимальному куті $\gamma_0 = 31^\circ$.

Координати кінцевих точок направляючої C знайдемо, підставивши в рівняння направляючої ширину захвату $y_C = b$

$$x_c = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma_0} \{b - r[\cos \gamma_0 - \operatorname{tg} \gamma_0(1 - \sin \gamma_0)]\}.$$

Таким чином, рівняння направляючої буде мати вид:

$$y^2 + (r - x)^2 = r^2, \quad \text{при } 0 \leq x \leq x_B; \quad (2.62 \text{ б})$$

$$y = \operatorname{tg} \gamma_0 x + r[\cos \gamma_0 - \operatorname{tg} \gamma_0(1 - \sin \gamma_0)], \quad \text{при } x_B \leq x \leq x_C.$$

При спрощеному варіанті проектування, коли кут нахилу утворюючої прийнятий $\gamma_0 = 31^\circ$, рівняння направляючої буде мати вид

$$y^2 + (r - x)^2 = r^2, \quad \text{при } 0 \leq x \leq x_B;$$

$$y = \operatorname{tg} \gamma_0 x + 0,586r, \quad \text{при } x_B \leq x \leq x_C.$$

Отриманні дані служать вихідними для проектування лапи.

При графічній побудові креслять систему координат Oxy . На вісі відкладають від початку координат радіус дуги кола носка лапи, отримуючи центр O . Точку переходу дуги в коло B отримуємо проводячи до дуги дотичну під кутом γ_0 до осі Ox . Кінцеву точку крила лапи отримуємо, відклавши ширину півзахвату $b/2$.

2.6 Побудова профілю лапи

Побудову поверхні починаємо з вибору кута α постановки площини лапи до горизонту.

Враховуючи значення напруження у ґрунті σ_1 і максимальне переміщення частинки по поверхні лапи η_{\max} , в межі допустимих значень визначаємо кут α . Узагальнюючи залежності можна рекомендувати наступні значення кута α : до 17° – різання, $17..26^\circ$ – сколювання, вище 26° – рихлення.

Визначаємо кут нахилу утворюючої в поздовжньо-вертикальній площині

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sin \gamma_0}. \quad (2.63)$$

Записуємо рівняння циліндричної поверхні

$$z = \operatorname{tg} \alpha_1 (x - z - \sqrt{r^2 - y^2}). \quad (2.64)$$

Переріз поверхні отримуємо, підставляючи фіксовані значення координат:

- на площині Oxy :

$$\alpha_z = \operatorname{tg} \alpha_1 (x - r - \sqrt{r^2 - y^2});$$

- на площині Oxz :

$$z = \operatorname{tg} \alpha_1 (x - r - \sqrt{r^2 - a_y^2});$$

- на площині Oyz :

$$z = \operatorname{tg} \alpha_1 (a_x - r - \sqrt{r^2 - a_y^2}).$$

Положення площини крила лапи задаємо точками B , C і N . Координати точок B і C визначені раніше. Для визначення координат точки N визначимо проміжну точку D , яка лежить на лезі лапи BC . Координата y_D цієї точки

$$y_D = y_B + \frac{y_C - y_B}{2}. \quad (2.65)$$

У свою чергу координата x_D

$$x_D = x_B + \frac{y_C - y_B}{2 \operatorname{tg} \gamma_o}. \quad (2.66)$$

Координату z_N знайдемо, задавшись шириною крила лапи в середній частині. Практика встановлює цей розмір в межах $l_1 = 40 \dots 50$ мм.

У цьому випадку

$$z_N = l_1 \sin \alpha. \quad (2.67)$$

Тоді координати точки N на площині Oxy визначимо як

$$x_N = x_D + l_1 \cos \alpha \cdot \sin \gamma_o, \quad (2.68)$$

$$y_N = y_D - l_1 \cos \alpha \cdot \cos \gamma_o. \quad (2.69)$$

Рівняння площини верхнього обрізу буде мати вид

$$z = -\operatorname{tg} \gamma_o y + b_o. \quad (2.70)$$

Підставивши значення координат точки N , через яку проходить площина верхнього обрізу, отримаємо значення параметра b_o

$$b_o = z_N + y_N \cdot \operatorname{tg} \nu, \quad (2.71)$$

або

$$b_o = l_1(\sin \alpha - \cos \alpha \cos \gamma_o) + \frac{y_C + y_B}{2} \cdot \operatorname{tg} \nu. \quad (2.71 \text{ a})$$

Розв'язуючи сумісно рівняння циліндричної частини поверхні і площини обрізу, отримаємо лінію обрізу циліндричної частини на горизонтальній площині Oxy

$$x = r - \sqrt{r^2 - y^2} - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1} (\operatorname{tg} \nu \cdot y \cdot b_o), \quad (2.72)$$

і на лобовій Oyz

$$x = z \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \nu}\right) + \sqrt{r^2 - \left(\frac{b_o - z}{\operatorname{tg} \nu}\right)^2}. \quad (2.73)$$

Лінію обрізу крила лапи отримуємо, розв'язуючи сумісно рівняння площини крила і площини обрізу на горизонтальній площині проекції Oxy

$$y = -\frac{A}{B \cdot C \cdot \operatorname{tg} \nu} x + \frac{C \cdot b_o - D}{B - C \cdot \operatorname{tg} \nu}, \quad (2.74)$$

і на профільній площині проекції Oxz :

$$z = \frac{A}{\operatorname{ctg} \nu \cdot B - C} x + \frac{B \cdot b_o + D \cdot \operatorname{tg} \nu}{B - C \cdot \operatorname{tg} \nu}. \quad (2.75)$$

Координати точки переходу E_n циліндричної частини поверхні в площині крила знайдемо наступним чином.

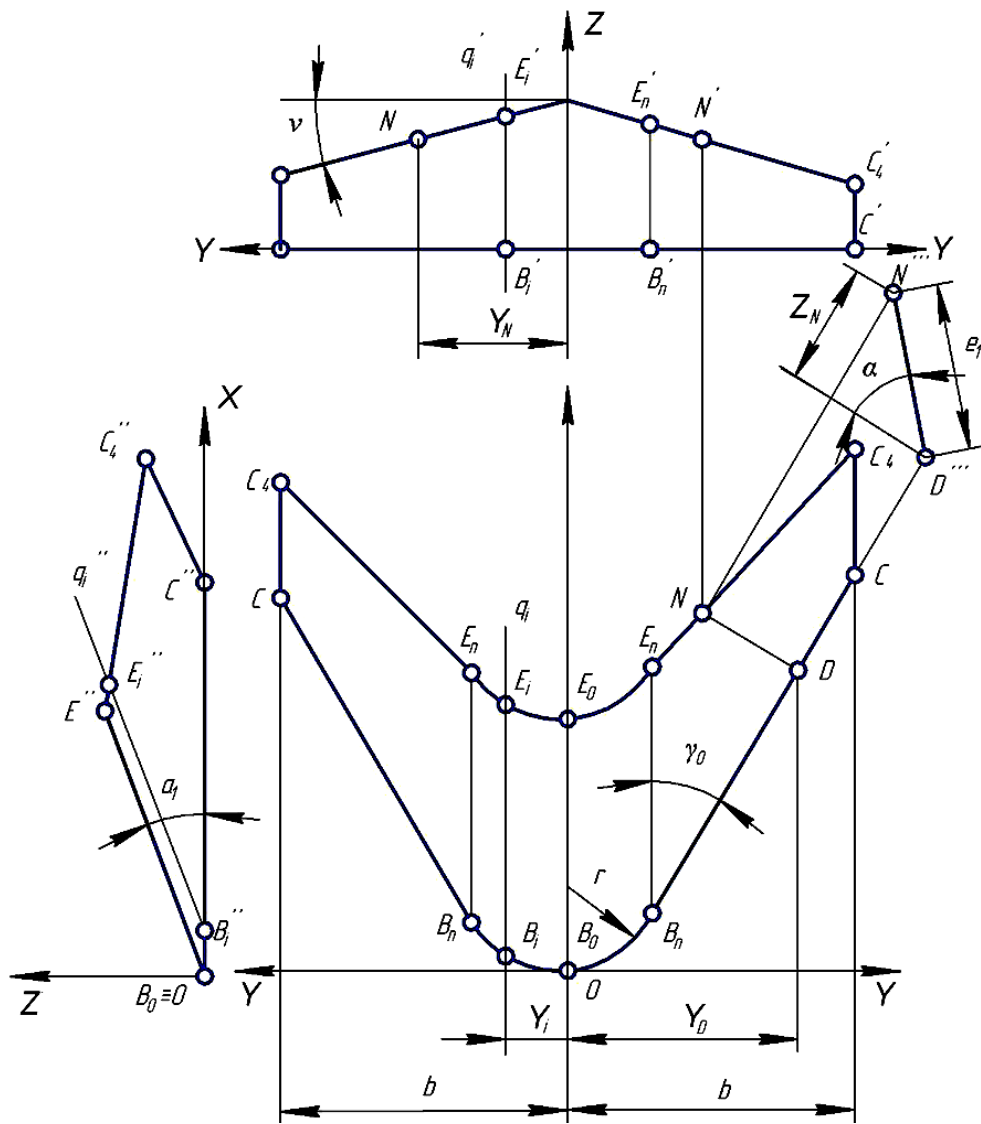


Рисунок 2.8 - Схема побудови поверхні лапи

Так як утворююча E_n , по якій відбувається з'єднання поверхонь, паралельна поздовжній площині то, підставляючи координату y_B в рівняння площини обрізу, отримаємо координату z_{E_n}

$$z_{E_n} = -tg\nu \cdot y_B + b_0 \quad (2.76)$$

Координату x_{E_n} знайдемо, підставивши координати y_B і z_{E_n} в рівняння площини, тобто

$$x_{E_n} = -\frac{1}{A}(By_B + Cz_{E_n} + D) \quad (2.77)$$

Боковий обріз крила лапи визначається точками C і C_4 . Координати

точки C визначені раніше, а координати верхньої точки C_4 визначимо, задавшись шириною півзахвату лапи $b/2$. Тоді координата x_{C_4} , на основі горизонтальної лінії верхнього обрізу буде визначена як

$$x_{C_4} = \frac{B \cdot C \cdot \operatorname{tg} \nu}{A} \left(\frac{C \cdot b_0 - D}{B - C \cdot \operatorname{tg} \nu} - b \right). \quad (2.78)$$

Координату z_{C_4} визначимо, підставивши значення ширини півзахвату $b/2$ у рівняння площини обрізу

$$z_{C_4} = -\operatorname{tg} \nu \cdot b + b_0 \quad (2.79)$$

Зведений алгоритм проектування поверхні, буде виглядати наступним чином.

1. Задаємося вихідними даними.
2. Визначимо радіус циліндричної частини r лапи і кут нахилу направляючої площини крила γ_0 .
3. Визначаємо координати x_B, y_B точки переходу дуги в пряму.
4. Координати кінцевої точки x_C, y_C крила.
5. Визначаємо кут кришення α .
6. Визначаємо кут нахилу твірної α_1 .
7. Для побудови каркасу поверхні визначаємо крок твірних

$$y = \frac{b}{n},$$

де n - число утворюючих.

8. Положення i -ї твірної визначимо координатами

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y;$$

$$x_{i+1} = \sqrt{r^2 - y_{i+1}^2} + r.$$

9. Визначаємо координати x_N, y_N, z_N проміжної точки N .
10. Визначаємо параметри ν і b_0 положення площини обрізу.
11. Визначаємо координати точок $x_{E_i}, y_{E_i}, z_{E_i}$ верхнього обрізу лапи.

12. Підставляючи координату y_B визначаємо координати точки E_n переходу циліндра в площину.

13. Визначаємо координати x_{C_4}, z_{C_4} крайньої точки C_4 крила лапи.

14. Переріз поверхні в лобовій проекції будуємо, задаючись координатою x фіксованим числом $x_j = \alpha_{x_j}$, де j - номер перерізу $j = 1, 2, 3, \dots, m$ для циліндричної частини

$$z_{ji} = tg \alpha_1 (\alpha_{x_j} - r - \sqrt{r^2 - y_{ji}^2}),$$

і для площини

$$A \alpha_{x_j} + B_y + C_z + D = 0.$$

15. Горизонтальний перетин будуємо, задаючись фіксованою координатою $z_k = \alpha_{z_k}$, де $k = 1, 2, 3, \dots, k$ k - номер горизонтального перерізу.

Для циліндричної поверхні координати точок перерізу будуть визначатись наступним чином

$$\alpha_{z_k} = tg \alpha_1 (x_{ki} - r - \sqrt{r^2 - y_{ki}^2}),$$

а для площини крила

$$A_x + B_y + C \alpha_{z_k} + D = 0.$$

Приведений алгоритм проектування складової поверхні культиваторної лапи можна реалізувати в будь-якій системі програмування чи графічно.

При графічній побудові в системі $Oxyz$ будують коло радіусом r , до якого проводять дотичні під кутом γ_o , отримуючи, таким чином, направляючу криву. Дотик прямих ліній до кола відбувається в точках B_n .

Ширину крила $D''N''$ в середній частині лапи будуємо методом заміни площин проекцій, відклавши від горизонталі кут α .

На лобовій поверхні по координатам y_N и z_N будуємо лобову проекцію точки N' , через яку під кутом ν проводимо лобову проекцію верхнього обрізу лапи, перетин верхнього обрізу лапи на лобовій проекції дає найвищу точку E'_o .

Задавшись рядом утворюючих g'_i на лобовій проекції отримаємо ряд точок E'_i . Провівши на профільній площині проекцій проекції утворюючої g''_i і відклавши на них координати, z_{E_i} отримаємо горизонтальну і профільну проекцію верхнього обрізу циліндричної частини лапи.

Точки C і C_4 отримаємо, відклавши півширину лапи $b/2$ по вісі Oy .

Графічний спосіб побудови більш простий, ніж аналітичний і дозволяє вносити корективи в процесі побудови.

2.7 Проектування розгортки поверхні лапи

Сканування поверхні лапи найпростіше побудувати методом триангуляції.

Суть методу полягає в тому, що поверхню лапи розбивають на трикутники з подальшим пошуком їх дійсних значень.

Триангуляція виконується наступним чином.

Задайте кількість точок на напрямній кривій (рисунок 2.9, а), одночасно з цими точками встановлюємо точки, які знаходяться на горизонтальній проекції верхнього краю лапи. Це створює циліндричну поверхню лапи.

Таким чином, поверхня лапи розбивається на чотирикутники, $B_o B_1 E_{o1} E_{o1}, B_1 B_i E_{o1} E_{oi}, \dots$ у яких бокові сторони паралельні між собою: $B_o E_{oo} // B_1 E_{o1} // B_i E_{oi} \dots$. З'єднавши точки E_{oo} і B_1 , E_{o1} і B_i , E_{oi} і B_{i+1} отримуємо дві сітки трикутників. Верхню: $\Delta E_{oo} E_{o1} B_1, \Delta E_{o1} E_{o2} B_2, \dots, \Delta E_{oi} E_{o(i+1)} B_{i+1}$ і нижню: $\Delta B_o B_1 E_{oo}, \Delta B_1 B_2 E_{o1}, \dots, \Delta B_i B_{i+1} E_{oi}$. При триангуляції дуги між точками B_o і B_1 , B_1 і B_2, \dots, B_i і B_{i+1} , E_o і E_1 , E_1 і E_2, \dots, E_i і E_{i+1} замінюються хордами, довжина яких визначається співвідношенням

$$B_i B_{i+1} = \sqrt{(x_{B_{i+1}} - x_{B_i})^2 + (y_{B_{i+1}} - y_{B_i})^2}, \quad (2.80)$$

$$E_i E_{i+1} = \sqrt{(x_{E_{i+1}} - x_{E_i})^2 + (y_{E_{i+1}} - y_{E_i})^2}. \quad (2.81)$$

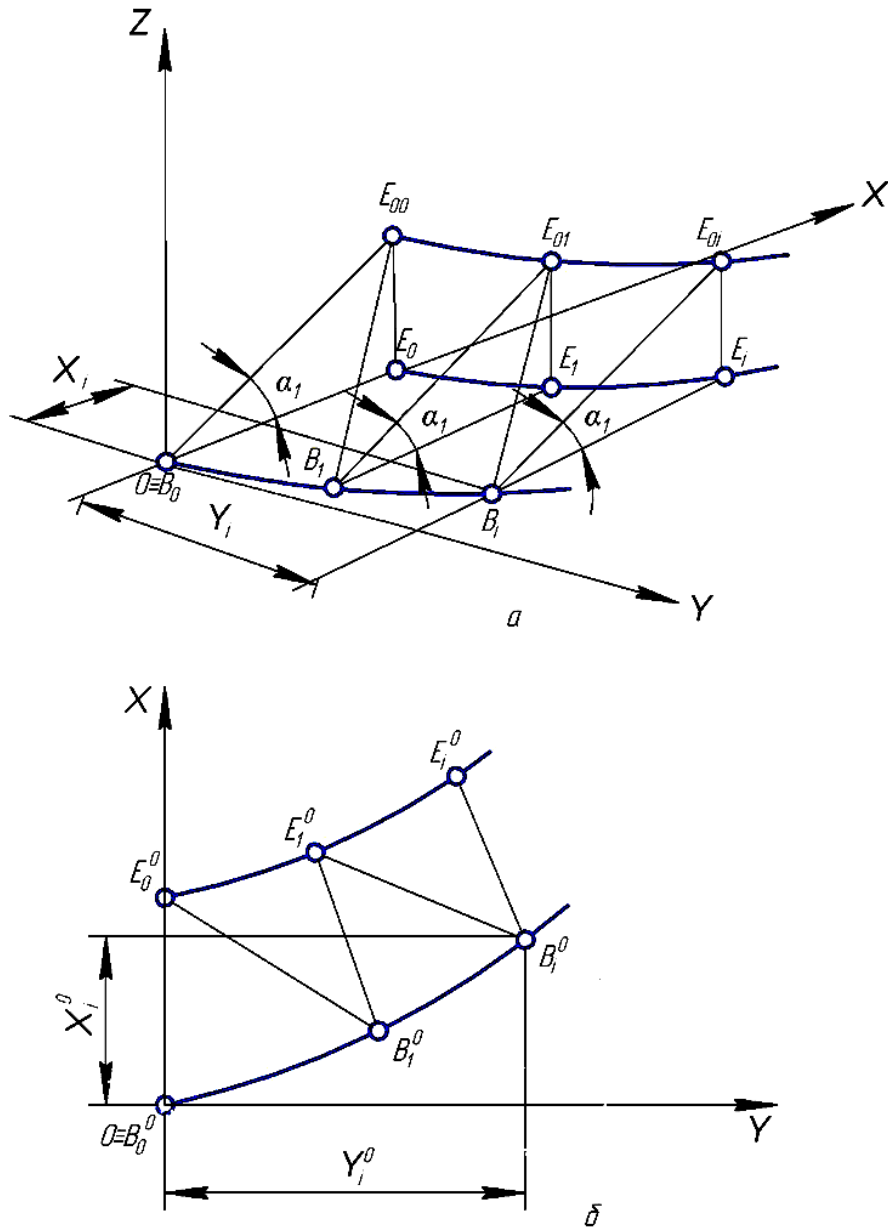


Рисунок 2.9 - Схема побудови розгортки лапи

Натуральні величини відрізків твірних, які розташовані між точками B_i і E_{oi} визначимо за формулою

$$B_i^o E_i^o = \frac{y_{E_i} - y_{B_i}}{\cos \alpha_1}. \quad (2.82)$$

Натуральні величини відрізків, що з'єднують точки E_{oi} і B_{i+1} визначимо по координатам цих точок:

$$B_{i+1} E_{oi} = \sqrt{(y_{E_i} - y_{B_{i+1}})^2 + (x_{B_{i+1}} - x_{E_i})^2 + \left(\frac{B_i E_i}{\cos \alpha_1}\right)^2}. \quad (2.83)$$

Розгортку поверхні будемо будувати, розв'язуючи систему рівнянь, що складається із рівнянь кола, центри яких знаходяться у раніше визначених вершинах трикутників.

В загальному випадку система рівнянь буде мати вигляд

$$\left. \begin{aligned} (x_{B_{i+1}} - x_{E_i})^2 + (y_{B_{i+1}} - y_{E_i})^2 &= (E_i^o B_{i+1}^o)^2 \\ (x_{B_{i+1}} - x_{B_i})^2 + (y_{B_{i+1}} - y_{B_i})^2 &= (B_i^o B_{i+1}^o)^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.84)$$

де x_{i+1}, y_{i+1} - координати точки (вершини трикутника) які визначаються, мм;

x_i, y_i - координати центрів кіл, які знаходяться в точках B і E , мм;

$E_i^o B_{i+1}^o, B_i^o B_{i+1}^o$ - сторони трикутників, що виконують роль радіусів.

Щоб виключити «зайві» значення, які отримуємо при видаленні кореня систему можливо розв'язувати числовими методами.

Висновки

1. Розроблена геометрична модель поверхні культиваторної лапи, що розгортається.

2. Розроблено методику проектування поверхні культиваторної лапи, що включає формування направляючої кривої, побудова каркасу поверхні, визначення горизонтальних, фронтальних, профільних перерізів і побудову розгортки.

3. Встановлено наступні параметри культиваторної лапи: ширина захвату $b = 230, 270, 330$ мм; радіус носка лапи $r = 20 \dots 40$ мм; кут розхилу крил $2\gamma = 70 \dots 73^\circ$; кут рихлення $\alpha = 27 \dots 30^\circ$.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основна задача досліджень полягала в перевірці висунутих гіпотез щодо закономірностей протікання процесів абразивного зносу, достовірності

отриманих математичних моделей та практичному відпрацюванні конструктивних параметрів запропонованої стрілчастої лапи [33-38].

Загальна схема досліджень:

- **перший етап** – лабораторні дослідження у ґрунтовому каналі для підтвердження основних висунутих гіпотез; дослідження процесу опору ґрунту різанню;
- **другий етап** – польові дослідження;
- **третій етап** – порівняльні випробування.

Програмою експериментальних досліджень передбачалось наступне.

На першому етапі:

- порівняти значення енергоємності процесу.

На другому етапі:

- визначення адекватності результатів теоретичних і польових досліджень.

На третьому етапі:

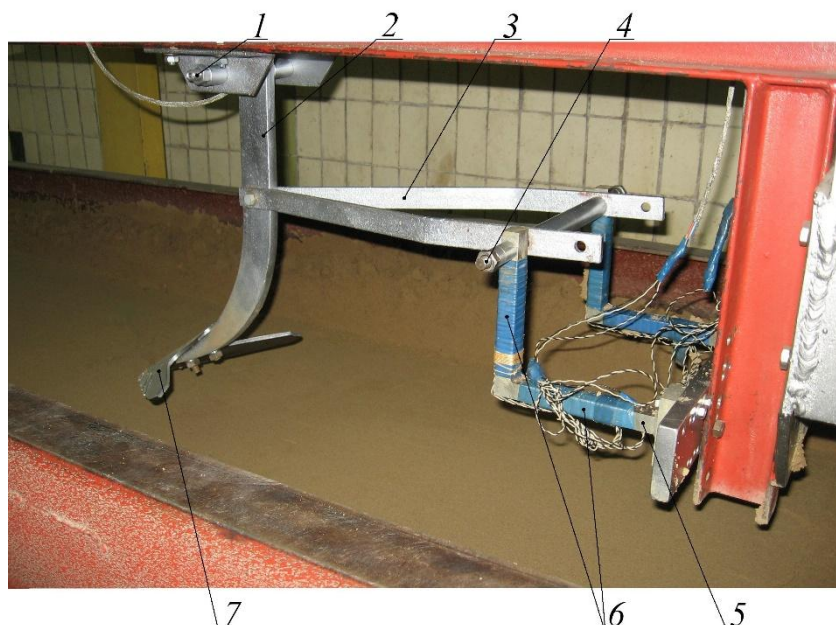
- дослідження впливу внесених конструктивних змін на якісні показники роботи у порівнянні із стрілчастою лапою стандартної конструкції.

3.1 Лабораторні дослідження

3.1.1 Конструкція лабораторної установки

Лабораторна установка складається з ґрунтового каналу, тензометричного візка з навішеним робочим органом, механізму привода, блоку зняття і обробки статистичної інформації. На рис. 3.1. приведена схема

навіски
органу на
3.2.
вигляд



робочого
візку, на рис.
загальний
установки.

Рисунок 3.1 - Схема навіски робочого органу:

1 – вісь; 2 – стійка; 3 – тяга; 4 – вісь; 5 – Г-подібні кронштейни;
6 – тензометричні датчики; 7 – лапа.

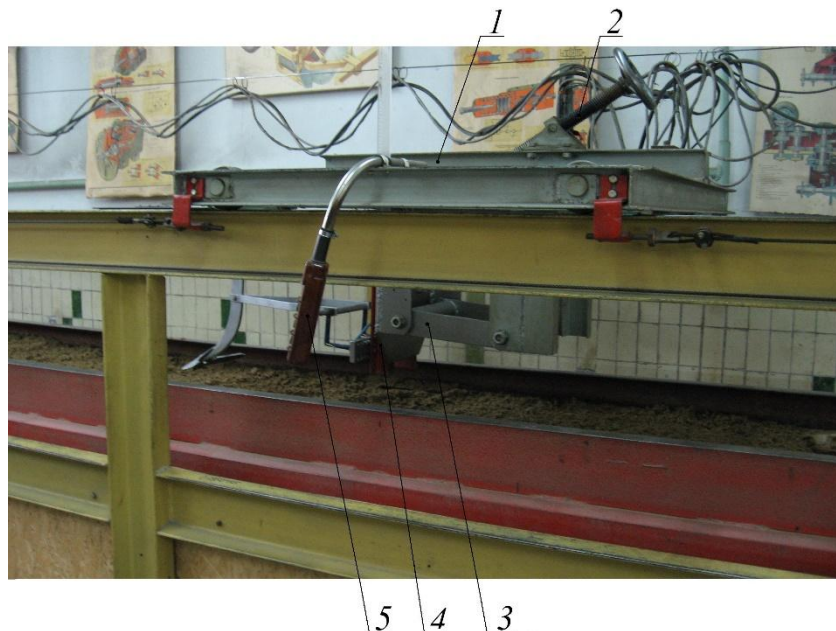


Рисунок 3.2 - Загальний вигляд лабораторної установки:

1 – візок; 2 – гвинт регулювання глибини ходу; 3 – паралелограмна навіска; 4 – вертикальний кронштейн; 5 – пульт керування

Металевий лоток заповнюється ґрунтом – моделлю і проводиться контроль на її відповідність розрахунковим параметрам. На кронштейни навішується робочий орган, що досліджується, гвинтом встановлюється потрібна глибина ходу і проводиться тарування вимірювальної системи по

відомій методиці шляхом навішування вантажів різної маси через систему тяг на носок знаряддя. Вмикається механізм приводу і візок протягується над лотком. Швидкість візка визначається по часу проходження ним контрольних відміток, тягове зусилля – аналізом показників самописа тензометричної установки.

Вимірювальна система стенду складається з низькочастотного підсилювача 8АНЧ 7М та самописа Н3020-5. Конструкція тензометрів та з'єднання датчиків дозволяють незалежне вимірювання діючих на робочий орган зусиль в горизонтальному і вертикальному напрямках.

3.1.2 Методика проведення експерименту при дослідженні енергоємності процесу

Процес підготовки дослідного обладнання складався з двох етапів:

- підготовки експериментального ґрунтового поля;
- забезпечення вихідних характеристик режиму різання робочими органами, що досліджуються.

Підготовка експериментального поля (рис. 3.3.) полягала в послідовному виконанні наступних операцій:

- зволоження ґрунту в ґрунтовому контейнері стенду;
- ретельне розпушення ґрунту;
- приєднання до тензометричного візка котка та планувального відвалу;
- ущільнення ґрунту котком при поступальному русі тензометричного візка вздовж ґрунтового контейнеру. Рівність поверхні поля досягається планувальним відвалом. Щільність ґрунту контролюється приладом ДорНДІ;
- при досягненні необхідної щільності ґрунту тензометричний візок звільняється від котка і планувального відвалу і встановлюється у вихідне положення на початку експериментального поля;

- за допомогою ґрунтообробної лопатки виконується виступ на початку експериментального поля.

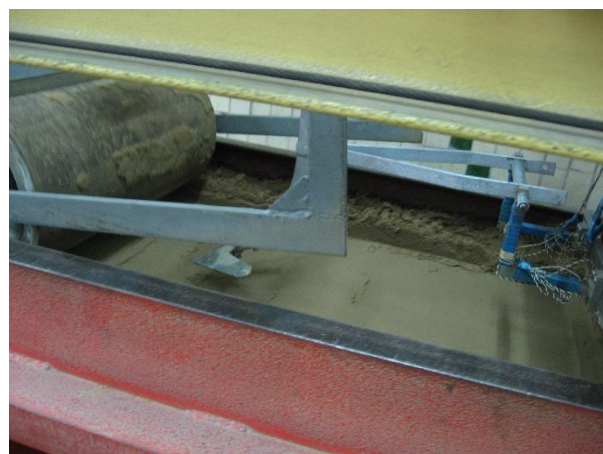


Рисунок 3.3 - Підготовка експериментального поля

Вихідними характеристиками режиму різання ґрунту є товщина шару ґрунту h , що вирізається і швидкість різання V_p .

Для встановлення потрібної товщини шару ґрунту h необхідно:

- рухом тензометричного візка встановити дослідний робочий орган над поверхнею експериментального поля;
- обертанням маховика гвинтового механізму опустити робочий орган так, щоб носок торкнувся поверхні поля;
- відмітивши відповідне положення на мірній лінійці механізму підйому, зворотнім рухом тензометричного візка відвести робочий орган у вихідне положення за 100...150 мм до виступу експериментального поля і гвинтовим механізмом опустити його на задану глибину різання h ;
- швидкість різання ґрунту V_p забезпечується встановленням необхідної швидкості тензометричного візка з центрального пульта стенду.

3.2 Польові дослідження

3.2.1 Дослідження параметрів потоку ґрунту, що вступає на поверхню культиваторної лапи

Дослідження виконувались з метою підтвердження прийнятої гіпотези про визначальну роль напрямку вступу потоку ґрунту на характер спрацювання леза. Раніше було показано, що характер спрацювання, а саме його зменшення, залежить від параметрів потоку ґрунту, до яких в першу чергу відносяться відносна швидкість руху ґрунту і кут вступу потоку на поверхню культиваторної лапи.

Швидкість руху ґрунту по поверхні лапи постійна, що впливає з нерозривності потоку.

Кут вступу ґрунту на поверхню культиваторної лапи дозволяє визначити початкові параметри потоку ґрунту і отримати повну картину руху ґрунту.

Для дослідження процесу спрацювання були проведені дослідження кута вступу ґрунту на поверхню культиваторної лапи.

Для визначення кута вступу ґрунту була розроблена методика, яка полягає в наступному.

1. На лезо культиваторної лапи встановлювались чотири гнучкі елементи, які було розташовано на відстані $\eta = 50, 100, 150, 200$ мм від носка лапи (рис.3.4).

2. Культиваторна лапа, оснащена гнучкими елементами встановлювалась на культиватор КПС-4. Під час роботи під дією рухомого ґрунту гнучкі елементи встановлювались під кутом вступу ґрунту. Після зупинки лапа не піднімалась, розкопувалась, і транспортером замірювався кут між гнучким елементом і лезом лапи (рис. 3.5).



Рисунок 3.4 - Гнучкі елементи, встановлені на культиваторній лапі



Рисунок 3.5 - Робочий момент визначення кута вступу ґрунту

3. Для робочої швидкості кількість повторності була рівна п'яти.
4. Культиваторна лапа з гнучкими елементами встановлювалась як в першому так і в другому рядах.

3.2.2 Польові дослідження культиваторної лапи

Польові дослідження проводились в Дніпропетровській області на полях господарства ФГ «Еталон» на обробітку парів.

Умови проведення дослідів: ґрунт – чорнозем звичайний середньо суглинистий, рельєф – рівний, мікрорельєф – вирівняний, фон на полі – залишки стебел кукурудзи довжиною від 4...7 см до 24 см, в кількості від 1-2 до 3-6 шт/м². Вологість і твердість ґрунту приведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Вологість і твердість ґрунту при дослідженні культиваторних лап на обробітку пару

Шар ґрунту, см	Вологість, %	Твердість, кПа
	22.08.19	22.08.19
0 – 5	18,2	581
5 – 10	19,4	543
10 – 15	22,1	524

Лапи встановлювались на культиватор КПС-4, що агрегувався з трактором ДТ-75М. Швидкість руху склала 2,3 м/с.

Висновки

В даному розділі приведена методика лабораторних та польових досліджень, що передбачала дослідження у ґрунтовому каналі, польові дослідження і порівняльні випробування.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

4.1 Лабораторні дослідження енергоємності процесу різання

На цьому етапі досліджувалась енергоємність процесу різання для різних варіантів виконання лап.

Експеримент проводився при наступних умовах:

1. Ширина робочого органу $B = 0,27$ м
2. Кут різання $\alpha = 27^\circ$

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 3. Швидкість різання | $V_p = 0,047; 0,076; 0,166$ м/с |
| 4. Товщина шару ґрунту | $h = 0,04; 0,06; 0,08; 0,1$ м |
| 5. Міцність ґрунту | $C_{num} = 4...5$ ударів |
| 6. Відносна вологість ґрунту | $w = 5...7$ % |

За даними тарування вимірювальної системи (рис. 4.1) визначасмо значення коефіцієнта тарування

$$K_T = (G_1 + G_2 + G_3) / l_3 \quad (4.1)$$

де G - вага каліброваної гирі, Н.

l - відхилення пера самописа, мм

$$K_T = (70 + 70 + 70) / 12 = 17,5$$

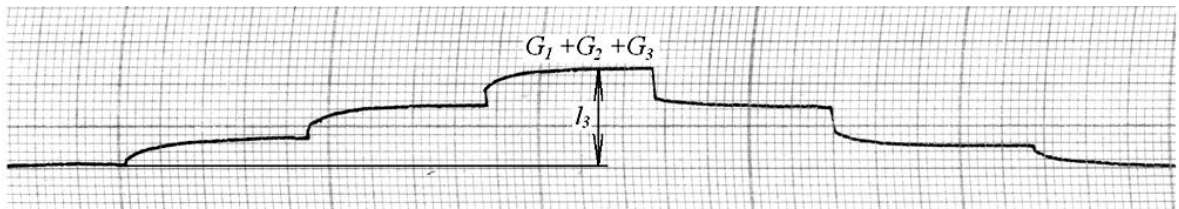


Рисунок 4.1 - Тарировочний графік вимірювальної системи

Користуючись коефіцієнтом тарування розшифровуємо отримані в ході досліджень осцилограми (рис. 4.4). і дані заносимо до табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

Результати дослідження опору ґрунту різанню культиваторними лапами

Варіант виконання лап	Глибина обробітку h , см	Швидкість руху V_p , м/с	Середнє значення опору ґрунту різанню P , Н	Енергоємність процесу E , Н/см ²
1	2	3	4	5
Стандартна	10	0,047	191,47	0,71
		0,076	195,82	0,72
		0,166	209,3	0,77
	8	0,047	132,95	0,61
		0,076	140,14	0,65
		0,166	152,8	0,71

	6	0,047	79,55	0,50	
		0,076	83,6	0,52	
		0,166	95,5	0,59	
	4	0,047	36,97	0,34	
		0,076	38,63	0,36	
		0,166	39,87	0,37	
Варіант виконання I	10	0,047	179,65	0,66	
		0,076	192,9	0,71	
		0,166	204,72	0,76	
	8	0,047	124,97	0,58	
		0,076	128,89	0,60	
		0,166	139,6	0,65	
	6	0,047	74,9	0,46	
		0,076	84,17	0,52	
		0,166	85,92	0,53	
	4	0,047	35,05	0,32	
		0,076	36,4	0,34	
		0,166	39,37	0,36	
	Варіант виконання III	10	0,047	178,45	0,66
			0,076	187,42	0,69
			0,166	205,27	0,76
8		0,047	126,15	0,58	
		0,076	127,44	0,59	
		0,166	138,4	0,64	
6		0,047	75,83	0,47	
		0,076	78,64	0,48	
		0,166	84,75	0,52	
4		0,047	33,51	0,31	
		0,076	33,95	0,32	
		0,166	36,4	0,34	

На основі отриманих даних будуюмо графіки залежностей $P = f(h)$. На рис. 4.2. приведений графік для максимальної швидкості руху.

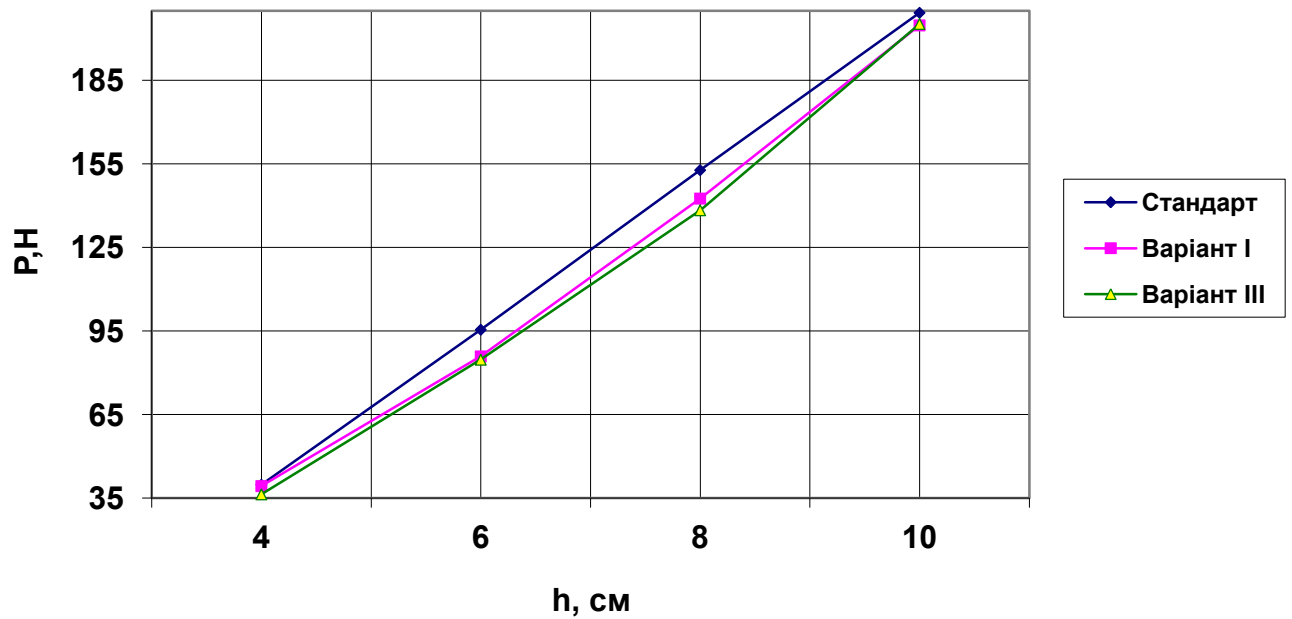


Рисунок 4.2 - Залежності тягового опору від глибини обробітку ґрунту при швидкості руху 0,166 м/с

4.2 Польові дослідження стрілчатих лап

Польовими дослідженнями передбачалось отримати дані на підтвердження основних робочих гіпотез, що були прийняті при розробці математичної моделі взаємодії стрілчастої лапи з локальними елементами зміцнення з ґрунтом та формування профілю зуба.

Для досліджень була виготовлена дослідна партія стрілчастих лап основні параметри яких наведені в табл. 4.2.

Вихідними даними проектування були прийняті:

- середній кут тертя ґрунту по сталі $\varphi_1 = 30^\circ$;
- середній кут внутрішнього тертя $\varphi_2 = 27,8^\circ$;
- середній кут тертя бур'янів по сталі $\varphi_3 = 40^\circ$;
- максимальна глибина обробітку ґрунту $a = 120$ мм.

Прийняті значення показників характерні для більшої частини території України, що дозволить максимально скоротити кількість типорозмірів лап.

Дослідження проводились на полях фермерського господарства «Еталон», проводився обробіток парів, міжрядний обробіток соняшника та кукурудзи.

На першому етапі перевірялася робоча гіпотеза, відповідно до якої підрізання бур'яну запропонованою конструкцією лапи більш ефективне.

Таблиця 4.2.

Параметри культиваторних лап з локальним зміцненням

№ п/п	Параметр	I	II	III
1	Ширина захвату b , мм	270	270	270
2	Кут розхилу крил 2γ , град.	73	71	70
3	Кут рихлення α , град.	27	27	27
4	Радіус носка лапи r , мм	0	20	40

4.2.1 Підрізання бур'янів

Для польових досліджень був прийнятий три факторний симетричний план $3 \times 3 \times 3$. Рівні варіювання факторів (табл. 4.6) прийняті з наступних міркувань.

X_1 - обрано виходячи з результатів лабораторних досліджень.

X_2 - перший рівень ($X_2^{-1} = 0$ га) відповідає абсолютно новій загостреній лапі.

Третій рівень ($X_2^{+1} = 150$ га) відповідає наробітку до першого загострення.

Другий рівень ($X_2^0 = 150/2 = 75$ га) прийнятий з точки зору необхідності створення симетричного плану.

X_3 - відповідає швидкості руху відповідно на 4, 5 та 6 передачах трактора МТЗ - 82 [60].

Експерименти проводились у відповідності до розрахункової план-матриці (табл. 4.4.), яка включає всі можливі комбінації рівнів факторів. Для

кожного рівня факторів експеримент проводився тричі і бралось середнє значення.

Таблиця 4.3.

Рівні варіювання факторів

№	Фактор	Код	Рівні факторів		
			- 1	0	+ 1
1	Радіус скруглення носка, мм	X_1	0	20	40
2	Загальний наробіток до взяття проб, га	X_2	0	75	150
3	Робоча швидкість, км/год.	X_3	7,21	8,28	9,62

$$P = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j \quad (4.2)$$

Для визначення коефіцієнтів рівняння скористаємося методикою [61].
Значення постійних для розрахунку коефіцієнтів регресії:

$$A_0 = 0,25926;$$

$$A_{01} = A_{02} = A_{03} = 0,11111;$$

$$A_1 = A_2 = A_3 = 0,05556;$$

$$A_{11} = A_{22} = A_{33} = 0,16667;$$

$$A_{12} = A_{13} = A_{23} = 0,08333.$$

Коефіцієнти рівняння регресії

$$b_0 = A_0(OY) - A_{01}(11Y) - A_{02}(22Y) - A_{03}(33Y) =$$

$$= 0,25926 \cdot 2399 - 0,11111 \cdot (1597 + 1561 + 1584) = 95,13$$

$$b_1 = A_1(1Y) = 0,05556 \cdot (-39) = - 2,17$$

$$b_2 = A_2(2Y) = 0,05556 \cdot (-179) = - 9,95$$

$$b_3 = A_3(3Y) = 0,05556 \cdot (-78) = - 4,33$$

$$b_{12} = A_{12}(12Y) = 0,08333 \cdot (-49) = - 4,08$$

$$b_{13} = A_{13}(13Y) = 0,08333 \cdot 9 = 0,75$$

$$b_{23} = A_{23}(23Y) = 0,08333 \cdot 18 = 1,50$$

$$b_{11} = A_{11}(11Y) - A_{01}(OY) = 0,16667 \cdot 1597 - 0,11111 \cdot 2399 = - 0,36$$

$$b_{22} = A_{22}(22Y) - A_{02}(OY) = 0,16667 \cdot 1561 - 0,11111 \cdot 2399 = - 6,17$$

$$b_{33} = A_{33}(33Y) - A_{03}(0Y) = 0,16667 \cdot 1584 - 0,11111 \cdot 2399 = - 2,53$$

У результаті обробки експериментальних даних отримана модель

$$P = 95,13 - 2,17X_1 - 9,95X_2 - 4,33X_3 - 4,08X_1X_2 + 0,75X_1X_3 + 1,5X_2X_3 - 0,36X_1^2 - 6,17X_2^2 - 2,53X_3^2 \quad (4.3)$$

де P - кількість підрізаних бур'янів, %

Для обробки результатів експериментів застосовувались методики [61, 62]. Аналіз рівняння (4.3.) та побудованої на основі його поверхні відгуку (рис 4.5...4.7) показує наступне.

Найбільший вплив на підрізання кореневої системи бур'яну має фактор X_2 - наробіток на момент зняття показників якості роботи. Пояснюється це перш за все тим, що від наробітку залежить стан ріжучого периметру.

Другим за значенням є фактор X_3 - робоча швидкість агрегату. Цьому є два пояснення: динамічний напір інтенсифікує формування профілю леза, і зі збільшенням швидкості покращується режим різання.

Радіус округлення носка (фактор X_1) не такий впливовий, як інші два фактори. Це пояснюється тим, що радіус скруглення був оптимізований теоретично в результаті лабораторних досліджень і на етапі польових досліджень його значення тільки уточнювалося у більш вузьких межах.

Таблиця 4.4.

Розрахункова матриця експерименту

Розрахункова матриця										Фактична кількість підрізаних бур'янів, %
X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	67
+1	+1	+1	0	+1	+1	0	+1	0	0	70
+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	73
+1	+1	0	+1	+1	0	+1	0	+1	0	81
+1	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	96
+1	+1	0	-1	+1	0	+1	0	-1	0	99
+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	97
+1	+1	-1	0	+1	+1	0	-1	0	0	98
+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	98
+1	0	+1	+1	0	+1	+1	0	0	+1	73
+1	0	+1	0	0	+1	0	0	0	0	77
+1	0	+1	-1	0	+1	+1	0	0	-1	81
+1	0	0	+1	0	0	+1	0	0	0	88
+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92
+1	0	0	-1	0	0	+1	0	0	0	98
+1	0	-1	+1	0	+1	+1	0	0	-1	97
+1	0	-1	0	0	+1	0	0	0	0	98
+1	0	-1	-1	0	+1	+1	0	0	+1	98
+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	75
+1	-1	+1	0	+1	+1	0	-1	0	0	88
+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	87
+1	-1	0	+1	+1	0	+1	0	-1	0	84
+1	-1	0	0	+1	0	0	0	0	0	100
+1	-1	0	-1	+1	0	+1	0	+1	0	100
+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	91
+1	-1	-1	0	+1	+1	0	+1	0	0	96
+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	97
0Y=+2399	1Y= -39	2Y= -179	3Y= -78	Y11=+1597	Y22=+1561	Y33=+1584	Y12= -49	Y13=+9	Y23= -18	

4.2.2 Залипання лап ґрунтом

Налипання ґрунту на культиваторні лапи і зависання бур'янів призводить до погіршення якісних показників роботи. Налипання ґрунту залежить від сил адгезії, котрі виникають між металом і частками ґрунту. Адгезія залежить від нормального тиску ґрунту і вологості ґрунту.

В табл. 4.5., 4.6. приведені значення маси ґрунту, що налипає на поверхню культиваторної лапи P_G і рослинних решток P_P в залежності від швидкості руху культиватора.

Таблиця 4.5.

Налипання ґрунту і нависання бур'янів на культиваторних лапах
при міжрядному обробітку

№ п/п	Варіант виконання лапи	Швидкість руху, м/с	Маса ґрунту, що налипає, г		Маса рослинних решток, г	
			P_G , сер.	σ	P_P , сер.	σ
1	2	3	4	5	6	7
1	Стандартна	1,57	116,5	18,73	26,16	10,08
2		2,0	85,53	10,74	25,67	8,44
3		2,3	64,43	15,53	22,76	11,77
4		2,67	48,92	6,20	21,17	16,19
1	I	1,57	117,5	6,01	23,6	8,65
2		2,0	90,03	5,59	20,53	6,88
3		2,3	64,03	7,76	19,27	12,47
4		2,67	47,14	9,18	16,32	9,43
1	III	1,57	120,86	3,56	22,8	7,42
2		2,0	89,8	5,93	20,8	13,09
3		2,3	60,8	5,78	20,23	6,11
4		2,67	46,71	7,09	17,94	15,03

Таблиця 4.6.

Налипання ґрунту і нависання бур'янів на культиваторних лапах

при суцільному обробітку

№ п/п	Варіант виконання лапи	Швидкість руху, м/с	Маса ґрунту, що налипає, г		Маса рослинних решток, г	
			P_r , сер.	σ	P_p , сер.	σ
1	Стандартна	1,57	115,13	21,07	24,25	16,54
2		2	88,56	13,10	22,23	8,41
3		2,3	62,8	6,02	21,76	6,08
4		2,67	35,53	9,09	19,03	11,35
1	I	1,57	119,07	7,39	21,79	7,38
2		2	89,38	5,47	19,5	10,03
3		2,3	67,46	2,91	16,82	5,51
4		2,67	37,1	6,09	15,6	13,21
1	III	1,57	121,51	7,91	20,84	14,79
2		2	82,16	4,66	19,97	6,59
3		2,3	60,1	6,49	18,06	7,08
4		2,67	39,63	5,8	16,43	9,76

На рис. 4.8., 4.9. приведені залежності маси ґрунту, що налипає на культиваторну лапу.

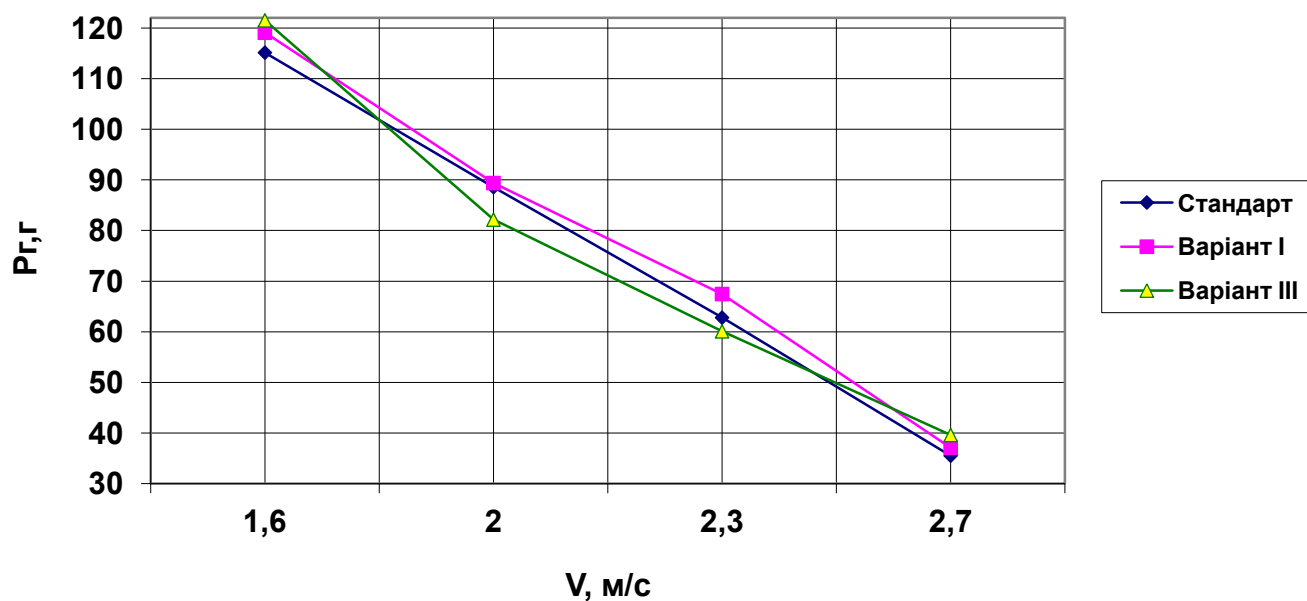


Рисунок 4.8 - Залежність маси ґрунту, що налипає на культиваторних лапах в залежності від швидкості руху при міжрядному обробітку

З графіків видно, що із збільшенням швидкості руху маса ґрунту знижується для культиваторних лап незалежно від варіанту виконання. Зниження маси ґрунту, що налипає пояснюється збільшенням динамічного напору, який видаляє частину ґрунту. Середньоквадратичне відхилення показників для запропонованої конструкції лап значно менше ніж для лап стандартної конструкції. Це можна пояснити тим, що в першому випадку на поверхні робочого органу утворюється тонкий шар налиплого ґрунту, а в другому – налиплий ґрунт заміщується новим.

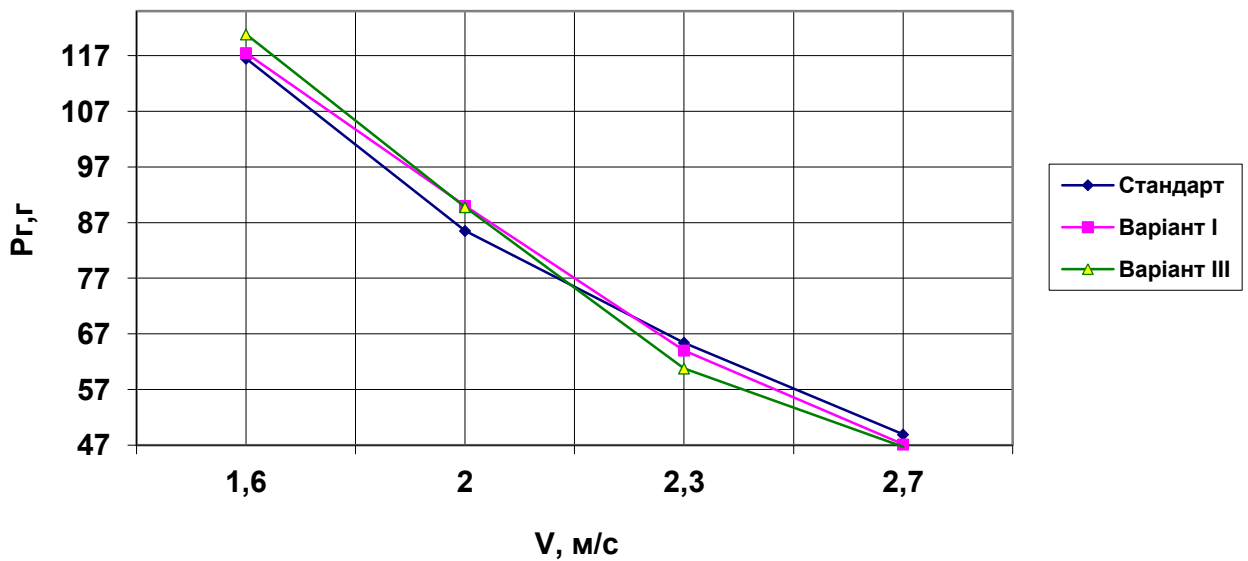


Рисунок 4.9 - Залежність маси ґрунту, що налипає на культиваторних лапах в залежності від швидкості руху при суцільному обробітку

З приведених даних видно, що із збільшенням швидкості руху маса ґрунту, що налипає на культиваторних лапах знижується. На міжрядному обробітку для швидкості 1,57 м/с маса ґрунту, що налипає на стандартній лопі складає 116,5 г, а для швидкості 2,67 м/с – 48,92 г, що приблизно в два рази менше. Середньоквадратичне відхилення при цьому дорівнює 18,73 для швидкості 1,57 м/с і 6,20 для швидкості 2,67 м/с. Для запропонованої конструкції лап, для швидкості 1,57 м/с, маса ґрунту, що налипає коливається в межах від 117,5 г до 120,86 г. Для швидкості 2,67 м/с відповідно від 46,71 г до

49,18 г. Середньоквадратичне відхилення при цьому залишається майже постійним.

На рис. 4.10., 4.11. приведено залипання ґрунтом дослідних зразків лап.



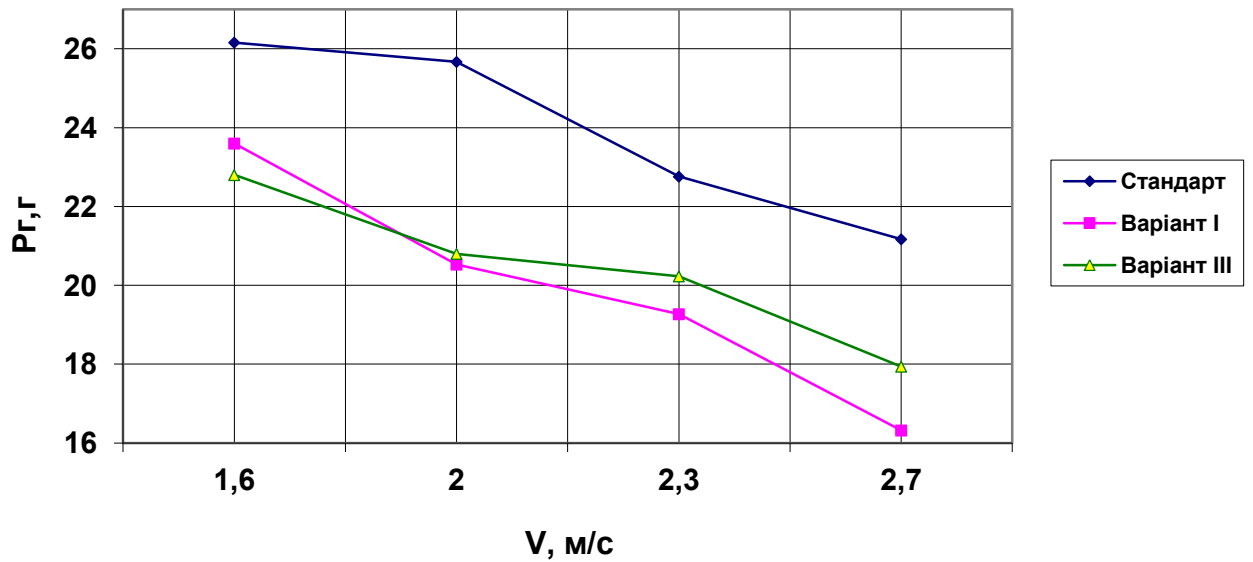
Рисунок 4.10 - Залипання ґрунтом стандартних культиваторних лап



Рисунок 4.11 - Залипання ґрунтом культиваторних лап оснащених елементами локального зміцнення

На рис. 4.12., 4.13. приведені залежності зависання рослинних решток на культиваторних лапах.

Аналіз експериментальних даних вказує на те, що на лапах стандартного виконання, нависання бур'янів відбувається більш інтенсивно.



Суттєвих відмінностей у різниці маси налиплого ґрунту не спостерігається.

Рисунок 4.12 - Залежність маси рослинних решток від швидкості руху при міжрядному обробітку

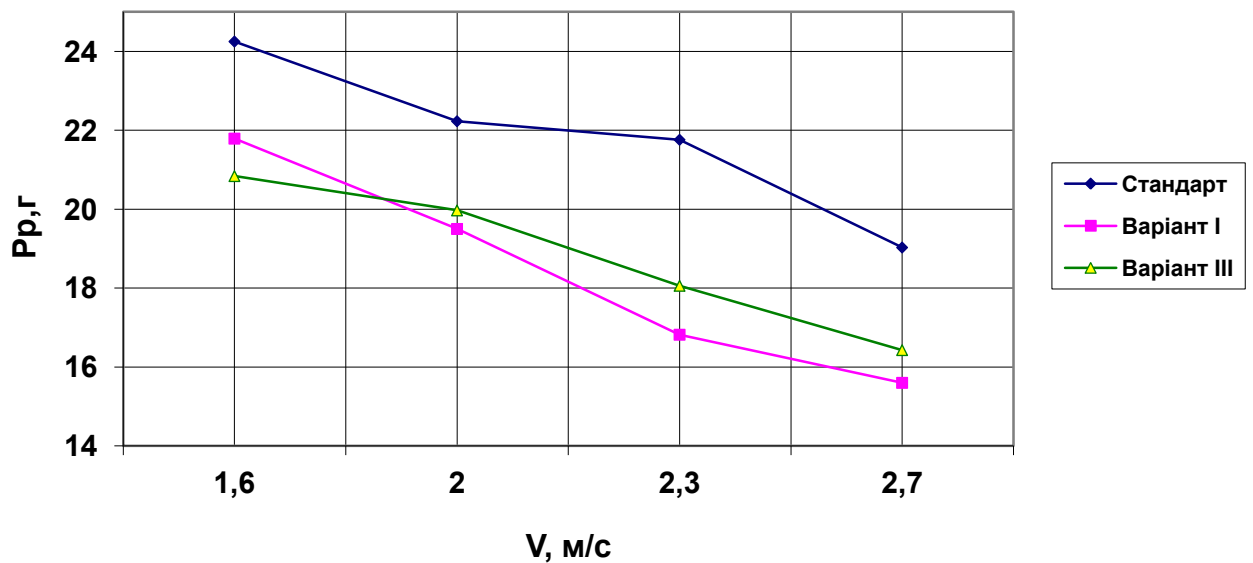


Рисунок 4.13 - Залежність маси рослинних решток від швидкості руху при суцільному обробітку

4.2.3 Кришення ґрунту культиваторними лапами

Кришення ґрунту є важливим агротехнічним показником.

Кришення ґрунту культиваторними лапами визначається за формулою

$$K_{\delta} = \frac{G_{25}}{G} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

де G_{25} - маса фракцій, діаметр яких менше 25 мм.

G - загальна маса ґрунтової проби.

В табл. 4.7. приведені дані по кришенню ґрунту стандартними лапами і лапами запропонованої конструкції.

Таблица 4.7.

Кришення ґрунту культиваторними лапами при суцільному обробітку

№ п/п	Швидкість руху, м/с	Кришення ґрунту, %		
		стандартна лапа	варіант I	варіант III
1	1,57	60	64	67
2	2	63	72	73
3	2,3	68	85	87
4	2,67	74	93	94

Графіки залежності кришення від швидкості руху культиватора приведені на рис. 4.14.

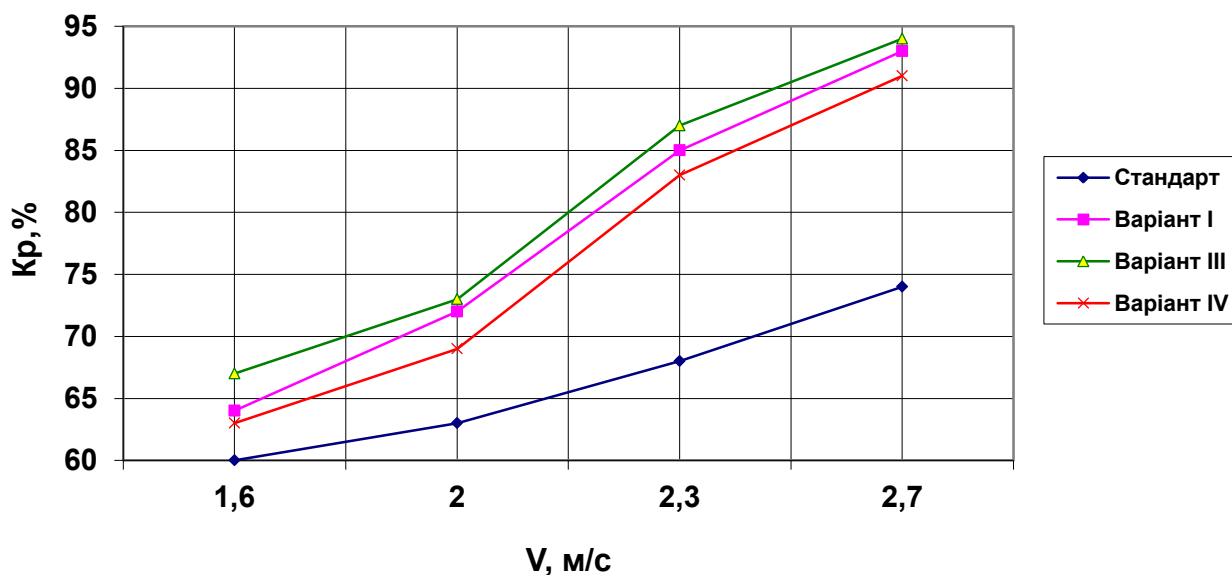


Рисунок 4.14 - Залежність кришення ґрунту від швидкості обробітку

Як видно з графіків при низьких швидкостях руху кришення ґрунту стандартною лапою і експериментальними відрізняється несуттєво. Так при швидкості руху 2 м/с різниця в кришенні ґрунту різними варіантами культиваторних лап складає 9 %. При швидкості 2,67 м/с різниця в кришенні ґрунту різними варіантами культиваторних лап складає 20 %.

Стандартні лапи більш схильні до утворення глиб. При роботі культиваторних лап запропонованої конструкції утворення глиб не спостерігається.

Різний ступінь кришення ґрунту можна пояснити тим, що на лапах оснащених елементами локального зміцнення потік ґрунту змінює напрямок руху по поверхні. Таким чином, модернізовані лапи сприяють більш якісному кришенню ґрунту.

4.2.4 Сталість ходу по глибині

Сталість ходу по глибині є важливим агротехнічним показником. Задана глибина при передпосівному обробітку ґрунту дозволяє отримати рівне дно борозни, а при міжрядному обробітку виключити підрізання коренів культурних рослин.

Заміри проводили відповідно до РД 10.4.3.-89 [63]. Глибину борозни визначали від будівельного рівня довжиною 2000 мм, заміри проводились через кожні 10 мм.

Так як поверхня поля має мікрорельєф, що підпорядковується нормальному закону розподілення. Рух знаряддя приймаємо стійким по висоті, так як нерівності поля по висоті значно менше діаметра коліс.

На рис. 4.15., 4.16. приведені залежності середньоквадратичних відхилень профілю dna борозни від швидкості, в залежності від типу обробітку. Як видно з приведених даних незалежно від варіанту виконання лапи і типу обробітку із зростанням швидкості середньоквадратичне відхилення профілю dna борозни σ_h зростає.

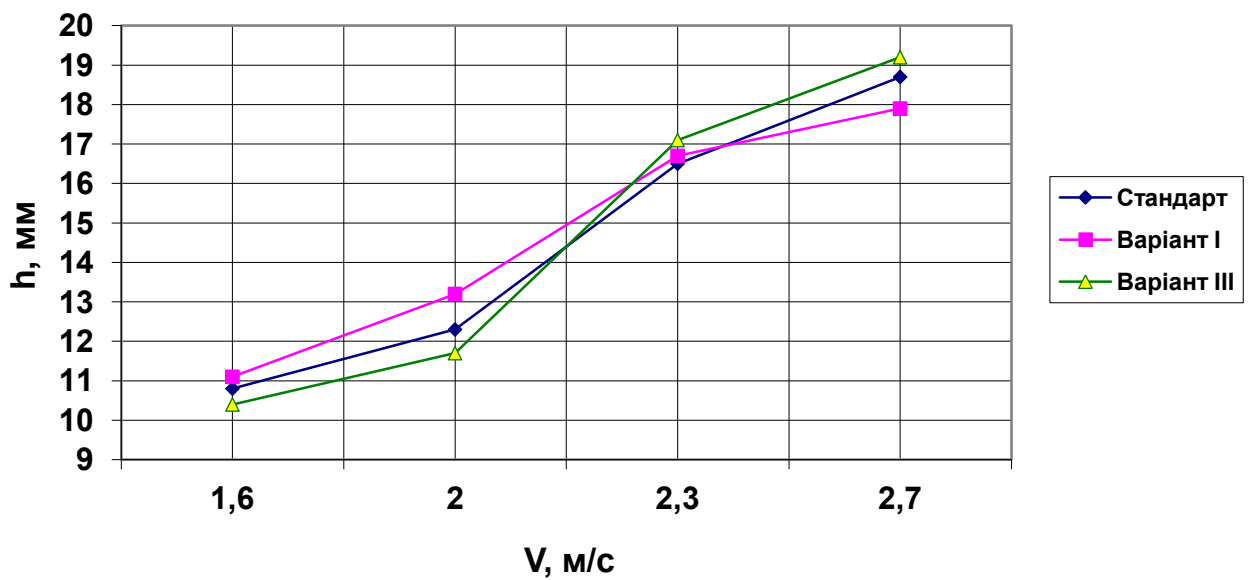


Рисунок 4.15 - Залежність середньоквадратичного відхилення профілю дна борозни від швидкості (міжрядний обробіток)

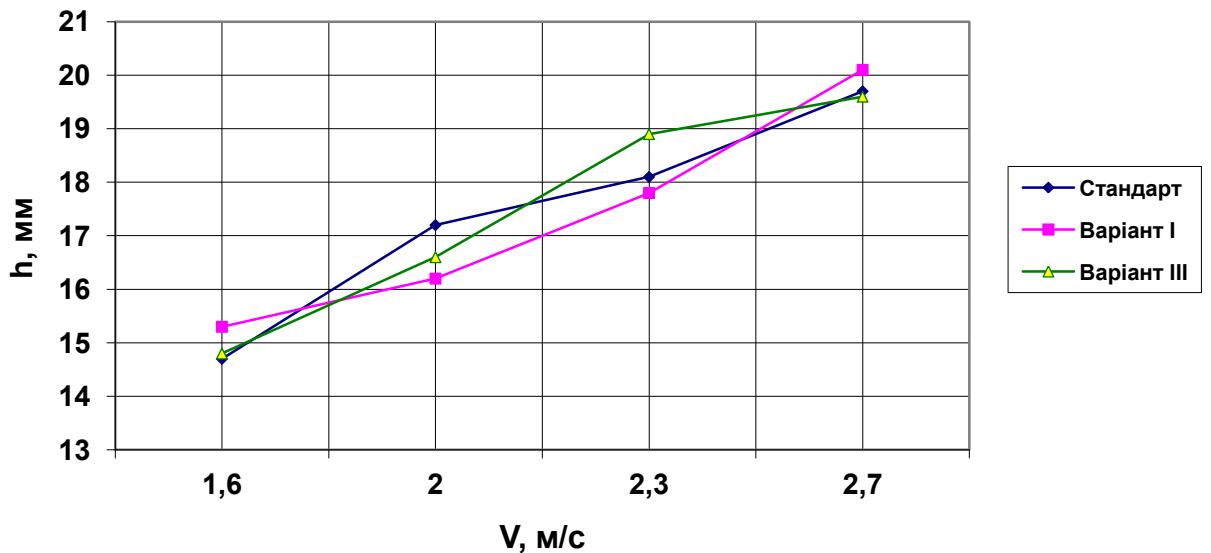


Рисунок 4.16 - Залежність середньоквадратичного відхилення профілю дна борозни від швидкості (суцільний обробіток)

Таку розбіжність в середньоквадратичних відхиленнях глибини обробітку від швидкості можна пояснити тим, що паралелограмна підвіска секцій культиватора КРН-5,6 перешкоджає виникненню вертикальних коливань.

При суцільному обробітку збільшення середньоквадратичного відхилення для культиватора КПС-4 можливо пояснити тим, що культиватори мають маятникову систему кріплення робочого органу.

Суттєвих відмінності у сталості ходу по глибині між різними варіантами виконання культиваторних лап не виявлено.

4.2.5 Дослідження параметрів потоку ґрунту

Для дослідження параметрів потоку ґрунту використовувалась лапа з гнучкими елементами (Розділ 3).

Культиваторна лапа з гнучкими елементами встановлювалась як в першому так і в другому рядах.

Результати дослідження кута вступу ґрунту приведені в табл. 4.8, а графіки залежності кута від відстані до носка приведені на рис. 4.17.

Таблиця 4.8.

Значення кута вступу ґрунту на культиваторну лапу

Відстань від носка лапи, мм	50	100	150	200
Перший ряд, град.	55,2	57,6	60,4	66,2
Другий ряд, град.	56,2	56,6	59,8	60,6

Як видно з графіків залежність кута вступу ґрунту $\Theta(\eta)$ відрізняються один від одного в залежності від того ряду, в якому встановлений.

Так, для лапи, яку встановлено в першому ряду, на відстані $\eta = 50 \dots 150$ мм, залежність $\Theta(\eta)$ для перших двох елементів має вид прямої лінії, а на відрізку $\eta = 150 \dots 200$ мм має вигляд кривої лінії, у якої кривизна утворюється від значення кута $\Theta = 60,4^\circ$, при $\eta = 150$ мм, до $\Theta = 66,2^\circ$, при $\eta = 200$ мм.

Для лап, що стоять у другому ряду залежність кута вступу $\Theta(\eta)$ практично не має кривизни і являє собою пряму, що має значний нахил: при $\eta = 50$ мм значення функції $\Theta(\eta) = 56,2^\circ$, а при $\eta = 200$ мм всього $60,6^\circ$, в той же час як для лап в першому ряду це значення рівне $66,2^\circ$, що на $5,8^\circ$ більше.

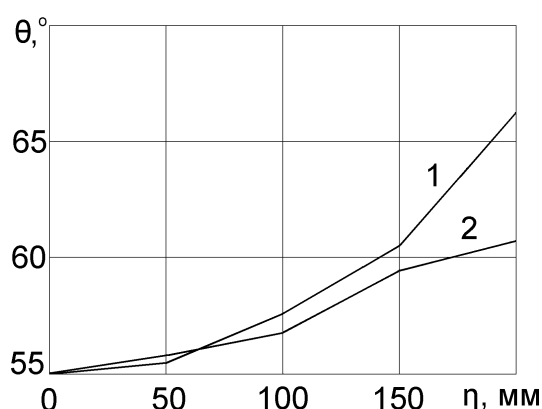


Рисунок 4.17 - Графік залежності кута вступу ґрунту від відстані до носка лапи: 1 – лапа встановлена в першому ряду; 2 – лапа встановлена в другому ряду.

Різний характер функції кута вступу ґрунту $\Theta(\eta)$ можна пояснити різними режимами роботи лап. Знаходячись в першому ряду, культиваторна лапа працює в режимі блокованого різання. При роботі в режимі блокованого різання стінки борозни не дають ґрунту вільно вступати на поверхню лапи, до того ж, цей вплив помітно тим більше, чим ближче стінка борозни. Лапи в другому ряду працюють в режимі вільного різання, коли стінок борозни не існує. В цьому випадку ґрунт, розрихлений лапами першого ряду, має протидію вступу на поверхню лапи, яка помітно менше ніж вплив стінок борозни.

Залежність кута вступу ґрунту від відстані до носка лапи, яка встановлена в першому ряду, опишемо поліномом.

$$\Theta = a_0 + a_1\eta + a_2\eta^2 + a_3\eta^3.$$

(4.5)

де a_0, a_1, a_2, a_3 - коефіцієнти полінома.

Для цього будемо враховувати, що значення кута Θ при координаті $\eta = 0$ мм, тобто на носку лапи, рівне $\Theta = 55,2^\circ$.

Тоді коефіцієнт $a_0 = 55,2$. Значення коефіцієнта a_1 будемо шукати, знайшовши першу похідну (4.5) враховуючи значення кута Θ при значеннях $\eta = 50$ і $\eta = 100$ мм.

$$\frac{d\Theta}{d\eta} = a_1 + 2a_2\eta + 3a_3\eta^2 \quad (4.6)$$

Значення першої похідної рівне

$$\frac{d\Theta}{d\eta}(50) = \frac{\Theta(100) - \Theta(50)}{50} = \frac{57,6 - 55,2}{50} = 0,048,$$

відповідно, $a_1 = 4,8 \cdot 10^{-2}$

Коефіцієнти a_2 і a_3 знайдемо, переписавши (4.5) наступним чином

$$\Theta - a_0 - a_1\eta = a_2\eta^2 + a_3\eta^3,$$

Тоді, підставивши відомі значення Θ , a_0 і a_1 в ліву частину і значення координати $\eta = 150$ і 200 мм, приходимо до системи рівнянь

$$-7,2 = a_2 \cdot 2,25 \cdot 10^4 + a_3 \cdot 3,375 \cdot 10^6$$

$$-9,6 = a_2 \cdot 4 \cdot 10^4 + a_3 \cdot 8 \cdot 10^6$$

Розв'язуючи цю систему, отримуємо значення коефіцієнтів: $a_2 = -1,03 \cdot 10^{-4}$ і $a_3 = -0,686 \cdot 10^{-6}$.

Таким чином, маємо рівняння кута сходження ґрунту на лапу в наступному вигляді

$$\Theta = 55,2 + 4,8 \cdot 10^{-2} \cdot \eta - 1,03 \cdot 10^{-4} \cdot \eta^2 - 0,686 \cdot 10^{-6} \cdot \eta^3 \quad (4.7)$$

Залежність $\Theta(\eta)$ для лап, що знаходяться в другому ряду будемо шукати по аналогії до першого.

$$\Theta = 56,6 + 8 \cdot 10^{-2} \cdot \eta - 0,171 \cdot 10^{-4} \cdot \eta^2 - 0,114 \cdot 10^{-6} \cdot \eta^3 \quad (4.8)$$

Для наступних розрахунків поєднаємо ці дві функції, знайдемо середнє значення Θ для кожного із значень η .

Враховуючи незначні значення останніх членів в отриманому виразі можна обмежитись першими двома. Остаточнo маємо наступну залежність кута сходження ґрунту

$$\Theta = 55,7 + 6,4 \cdot 10^{-2} \eta \quad (4.9)$$

Проекції кута вступу ґрунту на поверхню культиваторної лапи визначимо згідно схеми, що приведена на рис. 4.18.

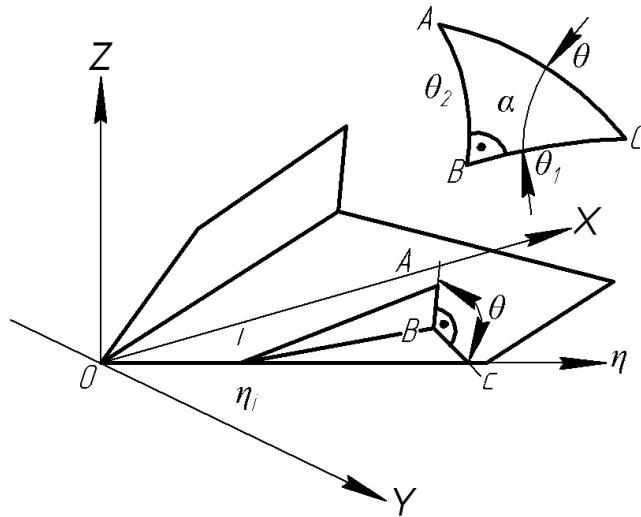


Рисунок 4.18 - Схема до визначення проекції кута сходження ґрунту на культиваторну лапу

Із сферичного трикутника ABC , на основі формул сферичної тригонометрії, для проекції кута вступу ґрунту Θ на горизонтальну площину Oxy маємо

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \Theta_1 &= \operatorname{tg} \Theta \cdot \cos \alpha, \\ \Theta_1 &= \operatorname{arctg}(\operatorname{tg} \Theta \cdot \cos \alpha), \end{aligned} \quad (4.10)$$

де α - кут встановлення площини крила лапи до горизонту, град.

Відповідно для проекції кута сходження ґрунту Θ на поздовжньо вертикальну площину Oxz отримаємо наступний вираз

$$\begin{aligned} \sin \Theta_2 &= \sin \Theta \cdot \sin \alpha \\ \Theta_2 &= \operatorname{arcsin}(\sin \Theta \cdot \sin \alpha). \end{aligned} \quad (4.11)$$

Таким чином, маючи значення проекцій кута вступу ґрунту на поверхню культиваторної лапи можна визначити початкові характеристики потоку ґрунту.

4.2.6 Порівняння підрізаючої спроможності стандартної і модернізованої лапи

На рис. 4.19. і 4.20. приведені графіки залежності підрізання бур'яну від напрацювання лапи.

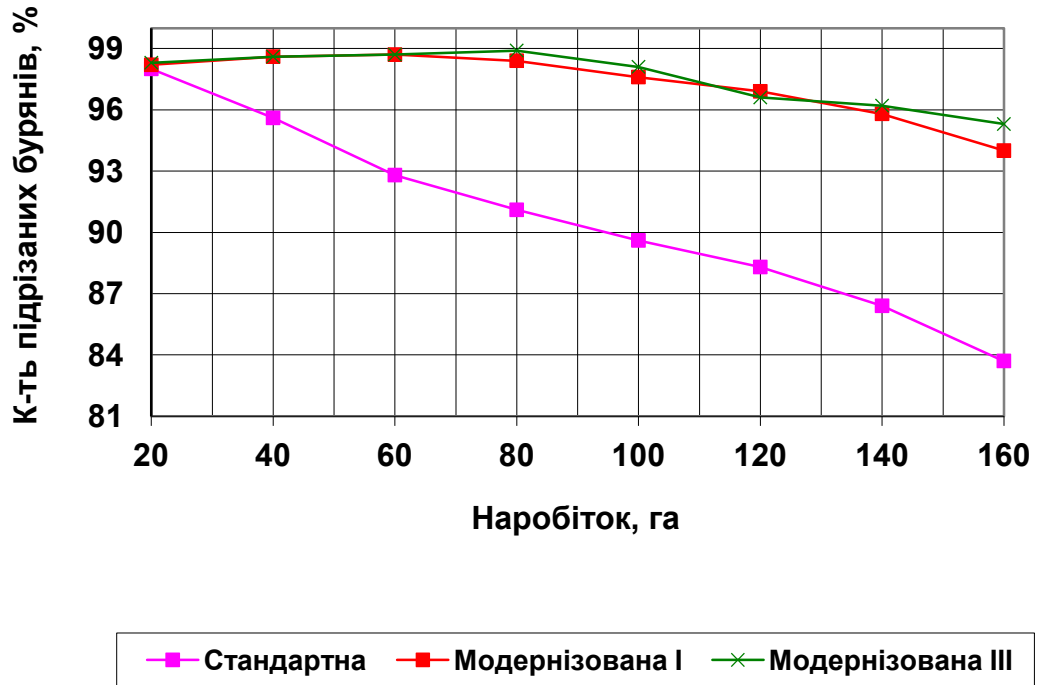


Рисунок 4.19 - Підрізання бур'яну в режимі міжрядного обробітку кукурудзи на швидкості $V_p = 5,66$ км/год.

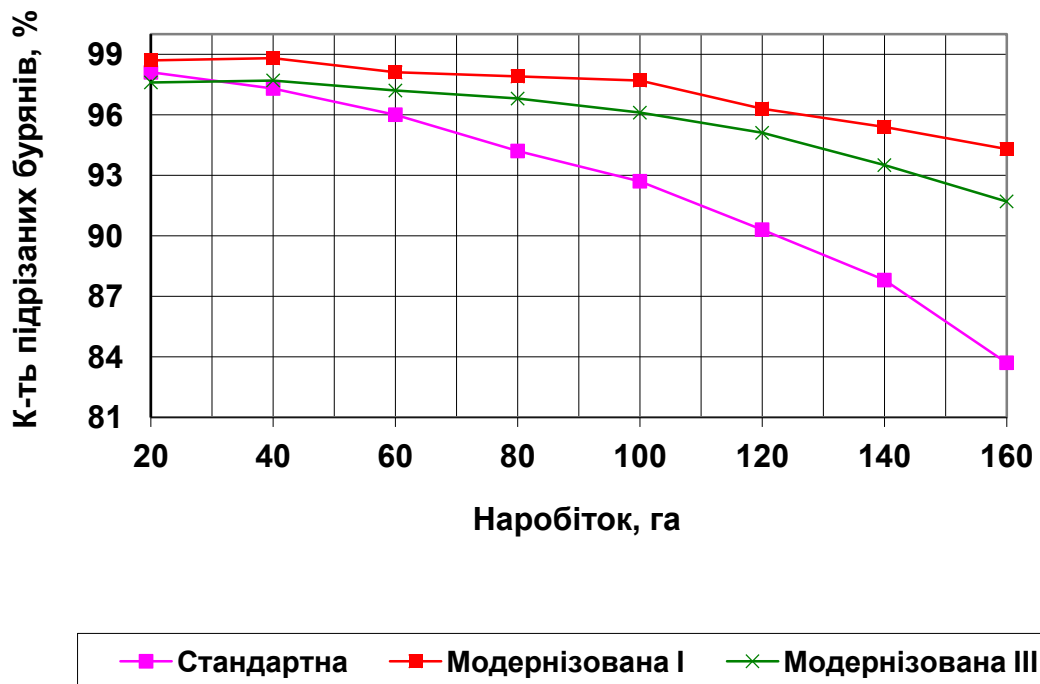


Рисунок 4.20 - Підрізання бур'яну в режимі суцільного обробітку ґрунту

на швидкості $V_p = 8,28$ км/год.

Робочі швидкості обрані виходячи з найбільш стабільної роботи культиватора.

Застосування складової поверхні культиваторної лапи дає позитивний ефект на малих швидкостях, які відповідають швидкостям міжрядного обробітку. Зі збільшенням швидкості до 9...10 км/год. різниця в роботі лап із складовою поверхнею і в стандартному виконанні менш помітна.

Висновки

1. Проведеними лабораторними і польовими дослідженнями підтверджена робоча гіпотеза про підвищення підрізаючої спроможності стріччатої лапи шляхом оптимізації її геометричних параметрів.

2. Єдина конструкція може бути використана в широкому діапазоні швидкостей, тобто на міжрядному обробітку (швидкість 4,0...6,0 км/год.) і суцільному обробітку (швидкість 7,0...10 км/год.).

3. Використання запропонованої культиваторної лапи більш ефективно проявляється на швидкостях, характерних для міжрядного обробітку (3...6 км/год). На більших швидкостях ефект покращення підрізаючої спроможності проявляється не так явно.

4. Порівняльні випробування на міжрядному обробітку просапних культур показали, що знищення бур'янів в середньому збільшилось на 6,87 %.

5. Порівняльні випробування на обробітку парів показали, що знищення бур'янів в середньому збільшилось на 5,14 %.

6. Запропонована методика дозволяє розробку лап різних типів.

7. Аналіз польових досліджень вказує на те, що оптимальним для умов чорнозему слід вважати профіль лапи – стандартний з округленим циліндричним носком з $R = 40$ мм для міжрядного обробітку і $R = 20$ мм для суцільного обробітку.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Організаційно-правові заходи охорони праці в господарстві

Робітник повинний добре знати вимоги інструкції. Тільки при високій трудовій і виробничій дисципліні, точному виконанні вимог інструкції може бути забезпечена безпека працюючих і зберігання машин і устаткування. Особи, що порушили вимоги інструкцій, залучаються до відповідальності відповідно до правил внутрішнього розпорядку господарства, за винятком випадків, коли порушення вимог викликає кримінальну відповідальність.

Для розробки і реалізації цілісної системи державного управління охороною праці при Кабінеті Міністрів України створюється Національна Рада з питань безпечної життєдіяльності населення, яку очолює віце-прем'єр-міністр України.

Відповідно до чинного законодавства забезпечення здорових і безпечних умов праці покладено на адміністрацію підприємств, установ, організацій, яка несе відповідальність за додержання законодавства про працю, забезпечує впровадження сучасних засобів техніки безпеки для запобігання виробничому травматизмові, створення санітарно-гігієнічних умов праці, які попереджують виникнення професійних захворювань. У колективних господарствах відповідно до Примірного статуту питаннями організації охорони праці займаються члени правління, голова і спеціалісти. Відповідальність за стан охорони праці покладається перш за все на керівників (власників) підприємств.

Конкретно організацію охорони праці покладено на головного інженера. У бригаді і інших підрозділах середньої ланки виробництва питання організації охорони праці входять в компетенції бригадирів і керівників інших підрозділів. На кожному підприємстві залежно від чисельності працюючих та з урахуванням специфіки сільськогосподарського виробництва з числа спеціалістів призначаються інженери з охорони праці, інженери по підготовці

кадрів і виробничому навчанню. Вони підпорядковані безпосередньо керівникам господарств чи головним інженерам.

5.2 Вимоги до створення сільськогосподарської техніки

Конструкція та розташування вузлів, механізмів і систем сільськогосподарської мобільної техніки повинні забезпечувати безпеку праці та зручність при технічному обслуговуванні. Робота їх не повинна супроводжуватися наявністю небезпечних і шкідливих факторів. Машини у процесі експлуатації не повинні забруднювати викидами шкідливих речовин навколишнє середовище.

Граничний кут поперечної статичної рівноваги повинен становити не менше 30° для плугів, чизелів та культиваторів. Навантаження на колеса управління повинно бути не менше 0,2 від експлуатаційної маси енергетичного засобу. Зміщення центру тиску відносно середини опорної поверхні гусені агрегату не повинно перевищувати 0,2 довжини опорної поверхні гусені. Для забезпечення повздовжньої рівноваги та необхідного навантаження на колеса управління допускається встановлення балансирів, маса кожного з яких не повинна перевищувати 20 кг.

Наявність та показники ефективної роботи робочого та стоянкових гальм повинні встановлюватися в технічних умовах і відповідати вимогам: шлях гальмування повинен становити

$$S < 0,1 \cdot V + V/90 \quad (5.1.)$$

де V – швидкість агрегату на момент гальмування, км/год.

Машини, що працюють з соломистими матеріалами повинні бути обладнані пристосуванням для кріплення серійних первинних засобів пожежегасіння. Розміщення та конструкція кріплення цих засобів повинні забезпечувати вільний доступ до них і їх зняття за 8 секунд.

Машини повинні бути забезпечені комплектом інструменту для технічного обслуговування та ремонту з спеціальним ящиком, або сумкою для зберігання.

Вузли машини, вихід з ладу яких може привести до аварії повинні мати підвищену міцність та надійність.

Робочі органи, що в процесі роботи можуть забиватися технологічними матеріалами повинні бути обладнані пристроями, які зменшують імовірність цього.

Конструкція огорожень повинна відповідати функціональному призначенню. Її виготовлення та кріплення повинно виключати можливість випадкового доторкання працівника. Міцність огороження повинна бути встановлена з урахуванням навантаження. Огороження, які необхідно вручну відкривати повинні відкриватися без застосування інструментів.

Трактори і самохідні машини повинні бути забезпечені звуковими та світловими сигналізаторами. На машинах та агрегатах, які обслуговуються декількома операторами сигналізація повинна бути двосторонньої дії. Рівень звуку повинен бути на 8 Дцб вище рівня шуму машини.

Пофарбування агрегатів повинно бути контрастним у порівнянні з фоном навколишнього середовища. На видних місцях елементів конструкції машин повинні бути нанесені знаки (символи) безпеки за ГОСТ 12.4.026.

Окремі вузли масою більше 20 кг та в цілому машини повинні мати пристрої для встановлення строп і місця для встановлення домкратів. Місця для встановлення строп повинні мати позначення символом “ланцюг”, а домкратів – позначкою “ДК”.

Причіпні, навісні, напівнавісні машини, а також ті, що монтуються на енергетичні засоби, у від'єданому стані повинні зберігати рівновагу при прикладанні зусилля 200 Н. Перевід машини в транспортний і робочий стан повинен здійснюватись з робочого місця тракториста. Конструкція підняття знаряддя повинна передбачати механічне його фіксування і утримання у транспортному положенні.

5.3 Рекомендації з техніки безпеки при роботі на машині

При роботі слід дотримуватись наступних основних правил техніки

безпеки.

Допускати до управління агрегатом тільки осіб, що отримали необхідні знання та навички по роботі на машині, регулюванню та технічному догляді. Особи повинні пройти інструктаж з техніки безпеки. Заборонено знаходження біля агрегату осіб, що не мають безпосереднього відношення до роботи.

Заборонено працювати у вільній одежі.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність агрегату, перевірити надійність кріплення всіх робочих органів до рами.

Про початок роботи потрібно попереджати звуковим сигналом.

Заборонено знаходитись перед агрегатом в момент початку руху останнього.

Регулювання та обслуговування агрегату виконувати при заглушеному двигуні трактора.

При експлуатації машини треба виконувати вимоги ГОСТ 12.2.111-85 ССБТ “Машини сільськогосподарські. Загальні технічні вимоги”. Постійне виконання вимог названого стандарту та вимог інструкції заводу-виробника зробить роботу на машині безпечною.

До роботи на агрегаті допускаються механізатори не молодше 17 років, які пройшли інструктаж та знайомі з будовою машини та особливостями розробленої конструкції, регулюваннями, правилами догляду і технікою безпеки.

Особа що керує повинна мати посвідчення на право керування. Робити дозволяється на технічно справних машинах, відрегульованих та повністю укомплектованих. Перед виїздом у поле щоразу комплектність перевіряти. Поля, що назначені для обробітку повинні бути завчасно підготовлені: розбиті на загони, відбиті поворотні смуги. З поля також видалити сторонні предмети, великі ями засипати, інші перепони відмітити упереджуючими знаками. Роботи та переміщення агрегатів повинні виконуватись у відповідності з робочим планом і затвердженими маршрутами.

5.4 Технологія розробки карти контролю по показниках безпеки

Відповідно до вимог Карт техніка, що представляється на контроль, повинна бути комплектною, агрегатуватися з ґрунтообробним агрегатом і знаходитись в працездатному стані.

Робоче місце повинне бути оснащене й обладнано відповідно до обліку виявлених відхилень по показниках безпеки.

При складанні карти робоче місце умовно підрозділяють на вісім технічних систем: 1 - технологічна; 2 - механічних зв'язків; 3 - ходова; 4 - кермова; 5 - гальмова; 6 - енергетична; 7 - операторського висвітлення; 8 - захисту. Кожна з них у свою чергу може бути розбита на підсистеми. На практиці при проведенні контролю елементи цих систем поєднують по місцеві їхнього розташування в групи, що полегшує проведення контролю і дозволяє проводити його швидше. Для даного випадку в процесі контролю агрегату по параметрах безпеки досить виділення 8 таких локалізованих груп.

При контролі техніки по показниках безпеки перевіряють стан, монтаж, працездатність і ефективність усіх технічних систем.

Інвентаризація машин являє собою перевірку комплектності всіх систем відповідно до Карт чи посібником з експлуатації. У ході інвентаризації встановлюють правильність застосування вузлів і деталей усіх технічних систем (особливо гальмової системи і ходової частини), їхній стан (відсутність тріщин, згинань, ум'ятин, іржі і т.п.) і правильність монтажу. Фаза інвентаризації здійснюється на першій посаді контролю – на стоянці, лінійці готовності, у боксі, на ямі чи естакаді.

Висновки

Небезпечні умови можуть визначатися недоліками конструкцій машин, технологічного обладнання і процесів, низьким рівнем організації виробництва

(неефективність або відсутність необхідного контролю, низькі професійний рівень працюючих, підготовка їх з охорони праці), недостатньою надійністю виробничого обладнання тощо. Вони відіграють пріоритетну роль у формуванні виникненні виробничих небезпек – певного стану, за якого виникає реальна загроза аварії або травми. Це пояснюється тим, що навіть при наявності кількох небезпечних виробничих факторів на певному робочому місці, але якщо жоден з них не має умов, за яких він міг би діяти на людину, то на цьому робочому місці відсутня реальна небезпека травмування. Інша справа, коли такі умови є, але про них працюючий не знає. Процес виявлення небезпечних умов у деяких випадках може бути досить складним, тому необхідно проводити спеціальні дослідження.

6 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою техніко-економічного обґрунтування оцінки пропонованої конструктивної розробки є визначення вартості витрат на проведення розробки, визначення витрат, зв'язаних з експлуатацією даного агрегату, розрахунок витрат праці, продуктивності, строку окупності й очікуваного економічного ефекту.

Створення високоефективного агропромислового комплексу можливо тільки при широкому впровадженні науково-технічного прогресу. Але при цьому, різко підвищуються витрати паливно-енергетичних ресурсів. Таким чином, висока енергоємність сільськогосподарської продукції України і переважаючий ріст цін на енергоносії диктують необхідність прискореної розробки і впровадження із суттєвого зменшення енергоємності сільськогосподарського виробництва, енергозбереження в технологічних процесах.

Розрахунок економічної ефективності сільськогосподарської техніки проводиться на основі порівняльної оцінки різних конструкцій, які здійснюють однотипні операції, мають подібну схему агрегування з енергетичним засобом і не суттєво відрізняються за продуктивністю, енерговитратами та іншими техніко-економічними показниками. За базу при проведенні порівняння приймають показники: існуючих високопродуктивних машин; машини – аналога, яка підлягає заміні новою машиною; показники технічного засобу та технологічного процесу до модернізації.

Розрахунки по техніко-економічних показниках необхідні для порівняння еталонних і проектних результатів, щоб визначити термін окупності модернізованої машини та оцінити економічний ефект, що очікується від її впровадження.

У проєкті нами розроблено конструкцію культиваторної лапи, що дозволить одночасно з покращенням якості обробітку ґрунту зменшити енергетичні затрати.

Таблиця 6.1

Вихідні дані до техніко-економічних розрахунків.

№	Показники	Варіанти	
		серійна	модернізована
1	Річний обсяг роботи, га	300	300
2	Продуктивність, га/год	4,4	4,8
3	Витрати ПММ, кг/га	4,5	4,3
4	Балансова вартість агрегату, грн.		
	- трактора	400000	400000
	- культиватора	54000	55000
	- всього	454000	455000
5	Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	1	1
6	Комплексна ціна 1 кг пального, грн.	35	35

Розрахунки техніко-економічних показників виконано у порівнянні з культиватором, що обладнано стандартним комплектом лап.

Кількість нормо-годин у обсязі робіт:

$$\begin{array}{l}
 \text{Базовий} \\
 K_{\text{НГ}} = \frac{W_{\text{СЕЗ}}}{W_{\text{ГОД}}} = \frac{300}{4,4} = 68,18 \text{ год.}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Проект} \\
 K_{\text{НГ}} = \frac{W_{\text{СЕЗ}}}{W_{\text{ГОД}}} = \frac{300}{4,8} = 62,5 \text{ год.}
 \end{array}
 \quad (6.1)$$

Витрати праці:

$$\begin{array}{l}
 \text{Базовий} \\
 V_{\text{П}} = K_{\text{НГ}} \cdot n = 68,18 \cdot 1 = 68,18 \text{ год.}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{Проект} \\
 V_{\text{П}} = 62,5 \cdot 1 = 62,5 \text{ год.}
 \end{array}
 \quad (6.2)$$

де: n – кількість обслуговуючого персоналу

6.1 Основна і додаткова заробітна плата

Основна і додаткова заробітна плата з нарахуваннями:

$$\Pi = \frac{C_T}{W_{год}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (6.3)$$

де: C_T – тарифна ставка, грн/год;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує додаткову оплату (20%);

$K_2 = 1,375$ – коефіцієнт, що враховує нарахування на соціальні заходи:

Базовий

Проект

$$\Pi = 40/4,4 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 15 \text{ грн./га}$$

$$\Pi = 40/4,8 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,375 = 13,75 \text{ грн./га}$$

6.2 Амортизаційні відрахування

Норма амортизації для трактора – 15%, культиватора – 12%.

Нормативне завантаження на рік:

- трактора - 1000 год;

- культиватора – 500 год.

Трактор (Б)

$$A_{TP} = 400000 \cdot 15/300 \cdot 1000 \cdot 4,4 = 4,54 \text{ грн./га}$$

Трактор (П)

$$A_{TP} = 400000 \cdot 15/300 \cdot 1000 \cdot 4,8 = 4,16 \text{ грн./га}$$

Культиватор (Б)

$$A_M = 54000 \cdot 12/300 \cdot 500 \cdot 4,4 = 0,98 \text{ грн./га}$$

Культиватор (П)

$$A_M = 55000 \cdot 12/300 \cdot 500 \cdot 4,8 = 0,90 \text{ грн./га}$$

$$\text{Всього: } A_{\Sigma} = 4,54 + 0,98 = 5,52 \text{ грн/га}$$

$$A_{\Sigma} = 4,16 + 0,90 = 5,06 \text{ грн/га}$$

6.3 Витрати на ПММ

Базовий

$$V_{\text{ПММ}} = C_{\text{ПММ}} \cdot V_{\text{ПММ}} = 35 \cdot 4,5 = 157,5 \text{ грн./га}$$

Проект

$$V_{\text{ПММ}} = C_{\text{ПММ}} \cdot V_{\text{ПММ}} = 35 \cdot 4,3 = 150,5 \text{ грн./га}$$

6.4 Витрати на ТО, ПР, зберігання

Норма витрат на ТР, ТО і зберігання:

$\alpha_{\text{ТО}} = 11\%$ - норма відрахувань на ТО;

$\alpha_3 = 0,2\%$ - норма відрахувань на зберігання;

$\alpha_{\text{ТР}} = 8\%$ - норма відрахувань на ремонт.

Витрати на ТО, ПР і зберігання:

$$V = \frac{V_B \cdot (\alpha_{\text{ТО}} + \alpha_3 + \alpha_{\text{ТР}})}{100 \cdot K_{\text{НГ}} \cdot W_{\text{ГОД}}}, \quad (6.4)$$

де: V_B – балансова вартість, грн;

Базовий

Трактор: $V_{\text{ТР}} = 400000 \cdot (11+8+0,2)/300 \cdot 68,18 \cdot 4,4 = 85,32 \text{ грн./га}$

Проект

$$V_{\text{ТР}} = 400000 \cdot (11+8+0,2)/300 \cdot 62,5 \cdot 4,8 = 85,34 \text{ грн./га}$$

Базовий

Культиватор: $V_M = 54000 \cdot (8+0,2)/300 \cdot 68,18 \cdot 4,4 = 4,92 \text{ грн/га}$

Проект

$$V_M = 55000 \cdot (8+0,2)/300 \cdot 62,5 \cdot 4,8 = 5 \text{ грн/га}$$

Всього по агрегатам:

$$V = V_{\text{ТР}} + V_M = 85,32 + 4,92 = 90,24 \text{ грн/га}$$

$$V = V_{\text{ТР}} + V_M = 85,34 + 5 = 90,34 \text{ грн/га}$$

Всього експлуатаційних витрат на 1 га:

Базовий

$$E_B = 15 + 4,45 + 157,5 + 90,24 = 247,74 \text{ грн/га}$$

Проект

$$E_B = 13,75 + 4,16 + 150,5 + 90,34 = 240,84 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати на весь обсяг роботи:

Базовий

$$E_{\Sigma} = E_B \cdot W_{CE3} = 247,74 \cdot 300 = 74322 \text{ грн.}$$

Проект

$$E_{\Sigma} = 240,84 \cdot 300 = 72252 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення на 1 га:

Базовий

$$\text{Трактор: } K_B = \frac{B_B}{W_{CE3}} = 400000/300 = 1333,33 \text{ грн./га}$$

Проект

$$K_B = 1333,33 \text{ грн./га}$$

$$\text{Культиватор: } K_B = 54000/300 = 180 \text{ грн./га}$$

$$K_B = 183,33 \text{ грн./га}$$

Всього:

Базовий

$$K_B = 1333,33 + 180 = 1513,33 \text{ грн./га}$$

Проект

$$K_B = 1333,33 + 183,66 = 1516,66 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на 1га:

$$P_B = E_B + 0,15 \cdot K_B$$

Базовий

$$P_B = 247,74 + 0,15 \cdot 1513,33 = 474,74 \text{ грн./га}$$

Проект

$$P_B = 240,84 + 0,15 \cdot 1516,66 = 468,34 \text{ грн./га}$$

Приведені витрати на весь обсяг робіт:

Базовий

$$P_{B\Sigma} = P_B \cdot W_{CE3} = 474,74 \cdot 300 = 142422 \text{ грн.}$$

Проект

$$P_{B\Sigma} = P_B \cdot W_{CE3} = 468,34 \cdot 300 = 140502 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект:

$$E_E = 142422 - 140502 = 1920 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних витрат

$$N = 55000 - 54000 / 1920 = 0,52 \text{ роки}$$

Таблиця 6.3

Техніко-економічні показники впроваджуваного проекту

№	ПОКАЗНИКИ	Варіант	
		базовий	проект
1	2	3	4
1	Вид роботи	поверхневий обробіток ґрунту	
2	Обсяг роботи, га	300	300
3	Склад агрегату: трактор культиватор	МТЗ-82 КПС-4	МТЗ -82 КПС-4М
4	Продуктивність, га/год	4,4	4,8
5	Кількість нормо-годин у обсязі робіт	68,18	62,5
6	Кількість обслуговуючого персоналу -трактористів-машиністів	1	1
7	Витрати праці, люд.·год/га	68,18	62,5
8	Норма витрати пального, кг/га	4,5	4,3
9	Балансова вартість, грн: трактора машини	400000 54000	400000 55000
10	Комплексна ціна ПММ, грн/кг	35	35
11	Експлуатаційні витрати, грн/га у тому числі: а. Основна і додаткова заробітна плата б. Амортизаційні відрахування: -трактор -машина -всього в. Витрати на ПММ г. Витрати на ТО, ПР, зберігання, -трактор -машина -всього	247,74 15 4,54 0,98 5,52 157,5 85,32 4,92 90,24	240,84 13,75 4,16 0,90 5,06 150,5 85,34 5,0 90,34
12	Капітальні вкладення, грн/га	1513,33	1516,66
13	Приведені затрати, грн/га На весь обсяг роботи, грн	474,74 142422	468,34 140502
14	Річний економічний ефект, грн		1920
15	Термін окупності, років		0,52

Висновки

Розрахунок техніко – економічних показників, показав, що розроблена конструкція дозволяє знизити експлуатаційні витрати по зрівнянню з базовою, при цьому річний економічний ефект застосування складе 1920 грн., а термін окупності 0,52 роки. Дані розрахунки підтверджують доцільність проекту який впроваджується.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. На основі приведеного огляду можна зробити висновок, що питання розробки конструкцій лап, призначених для роботи на підвищених швидкостях, досліджені недостатньо, а саме:

- відсутні дослідження параметрів руху потоку ґрунту, зокрема кута вступу, по поверхні культиваторної лапи;
- відсутня механічна модель руху потоку ґрунту по поверхні культиваторної лапи, що дозволить визначити шляхи зниження спрацювання;
- відсутня конструкція складових поверхонь, які визначають параметри форми і розташування на робочій поверхні лапи;
- відсутня методика розробки конструкції культиваторної лапи, призначеної для роботи на підвищених швидкостях.

Основною метою магістерської роботи є обґрунтування параметрів, розробка конструкції та дослідження робочого органу типу «лапа» для роботи на підвищених швидкостях.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- встановити параметри потоку ґрунту, що обтікає поверхню культиваторної лапи;
- розробити механічну модель зниження впливу потоку ґрунту на поверхню культиваторної лапи;
- обґрунтувати параметри форми і розташування складових елементів;
- провести порівняльні випробування якості роботи запропонованої культиваторної лапи, і стандартної з метою напрацювання рекомендацій для проектування, виготовлення та впровадження у виробництво.

2. Розроблена геометрична модель поверхні культиваторної лапи, що розгортається. Розроблено методику проектування поверхні культиваторної

лапи, що включає формування направляючої кривої, побудова каркасу поверхні, визначення горизонтальних, фронтальних, профільних перерізів і побудову розгортки.

Встановлено наступні параметри культиваторної лапи: ширина захвату $b = 230, 270, 330$ мм; радіус носка лапи $r = 20 \dots 40$ мм; кут розхилу крил $2\gamma = 70 \dots 73^\circ$; кут рихлення $\alpha = 27 \dots 30^\circ$.

3. В даному розділі приведена методика лабораторних та польових досліджень, що передбачала дослідження у ґрунтовому каналі, польові дослідження і порівняльні випробування.

4. Проведеними лабораторними і польовими дослідженнями підтверджена робоча гіпотеза про підвищення підрізаючої спроможності стрілкової лапи шляхом оптимізації її геометричних параметрів.

Єдина конструкція може бути використана в широкому діапазоні швидкостей, тобто на міжрядному обробітку (швидкість $4,0 \dots 6,0$ км/год.) і суцільному обробітку (швидкість $7,0 \dots 10$ км/год.).

Використання запропонованої культиваторної лапи більш ефективно проявляється на швидкостях, характерних для міжрядного обробітку ($3 \dots 6$ км/год). На більших швидкостях ефект покращення підрізаючої спроможності проявляється не так явно.

Порівняльні випробування на міжрядному обробітку просапних культур показали, що знищення бур'янів в середньому збільшилось на $6,87\%$.

Порівняльні випробування на обробітку парів показали, що знищення бур'янів в середньому збільшилось на $5,14\%$.

Запропонована методика дозволяє розробку лап різних типів.

Аналіз польових досліджень вказує на те, що оптимальним для умов чорнозему слід вважати профіль лапи – стандартний з округленим циліндричним носком з $R = 40$ мм для міжрядного обробітку і $R = 20$ мм для суцільного обробітку.

5. Життя настійно вимагає формування і реалізації більш діючої політики у галузі охорони праці, посилення державного впливу в цій сфері.

Виходячи з проведеного аналізу і наведених розрахунків з метою поліпшення стану охорони праці пропонуємо такі заходи: організаційні, технічні, санітарно – гігієнічні, психофізичні, пожежної безпеки.

6. Розрахунок техніко – економічних показників, показав, що розроблена конструкція дозволяє знизити експлуатаційні витрати по зрівнянню з базовою, при цьому річний економічний ефект застосування складе 1920 грн., а термін окупності 0,52 роки. Дані розрахунки підтверджують доцільність проекту який впроваджується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горячкин В.П. Собрание сочинений / Горячкин В.П. – М. : Колос, 1968. – Т. 3. – 382 с.
2. Канівець І.Д. Підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин / Канівець І.Д. – Дніпропетровськ : Промінь, 1968. – 63 с.
3. Василенко П.М. Культиваторы / П.М. Василенко, П.Т. Бабий. – К. : Издательство УАСА, 1961. – 237 с.
4. Бондарєв С.І. Вплив ступеня спрацювання лез культиваторних лап на енергетичні та якісні показники їх роботи / С.І. Бондарєв // Науковий вісник Національного аграрного університету. – К. : НАУ. – 2002. – Вип. 50. – С. 227–230.
5. Морозов А.Х. Предельный износ лап культиваторов и лемехов плугов в условиях Волгоградской области : автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук / А.Х. Морозов. – Волгоград, 1961. – 16 с.
6. Кубрак Н. Быстросъемные сампозатачивающие лемеха / Н. Кубрак // Техника в сельском хозяйстве. – 1971. – № 12. – С. 74–76.
7. Подкатилов К.Е. Динамические исследования рабочих органов культиваторов повышенной прочности и износостойкости с нижним и верхним упрочнением твердыми сплавами : автореф. дис.... на соис. учен. степени канд. техн. наук / К.Е. Подкатилов. – Ростов-на-Дону, 1969. – 28 с.
8. Сизов О.А. Работа лезвия в почве // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства / О.А. Сизов, В.А. Милюткин. – 1978. – № 3. – С. 9–10.
9. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 327 с.

10. Гаврильченко О.С. Обґрунтування параметрів та розробка конструкції культиваторних лап з криволінійним лезом : дис.... канд. техн. наук: 05.05.11 / Гаврильченко О.С. – Глеваха, 2005. – 160 с.

11. Морозов А.Х. О влиянии износа лемехов плугов и лап культиваторов на тяговое сопротивление и качество работы / А.Х. Морозов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1960. – № 6. – С. 28–31.

12. Миронюк С.К. Исследование работы лезвия рабочего органа почвообрабатывающих машин и орудий / С.К. Миронюк // Земледельческая механика : тр. ВАСХНИЛ. – М., 1969. – Т. XII. – С. 307–321.

13. Рабинович А.Ш. Элементарная теория и методика проектирования самозатачивающихся почворезущих лезвий / А.Ш. Рабинович // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – № 10. – С. 24–27.

14. Бернштейн Д.Б. Износостойкость вальцованных лемехов с переменным профилем лезвия / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 9. – С. 42–44.

15. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания двухслойных почворезущих элементов при абразивном изнашивании / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельхозмашины. – 1985. – № 6. – С. 31–34.

16. Виноградов В.Н. Зубчатый лемех / Виноградов В.Н., Морозов Н.И. // Усовершенствование орудий для основной обработки почв. – М. : Изд-во ВИСХОМ, 1959.

17. Плоскорез с зубчатыми рабочими органами / Кушнарев А.С., Хохотва А.С., Дяченко М.Н. [и др.] // Земледелие, 1984. – № 3. – С. 62.

18. Восстановление и упрочнение режущей кромки лемеха пайкой металлокерамических пластин / В.В. Гончаренко, А.В. Фербяков, Ю.А. Кузнецов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 11. – С. 21–22.

19. Ключенко В.Н. Универсальные самозатачивающиеся плужные лемехи повышенной износостойкости / В.Н. Ключенко // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 9. – С. 38–41.
20. Ахметилин Т.Ф. Повышение износостойкости и долговечности стрельчатых лап культиваторов : дис. ... канд. техн. наук / Т.Ф. Ахметилин. – М., 1978.
21. Сидоров С.А. Повышение ресурса почвообрабатывающих органов наплавочными сплавами / С.А. Сидоров, А.И. Сидоров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 9. – С. 20–22.
22. Механізація процесу зміцнення культиваторних лап диференційним індукційним наплавленням / О.Д. Саїнсус, М.І. Черновол, В.М.Кропивний [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – Вип. 35. – С. 145–147.
23. Износ деталей сельскохозяйственных машин / Севернев М.М., Каплун Г.П., Короткевич В.А. [и др.]. – М. : Колос, 1972. – 288 с.
24. Беликов И.А. Повышение долговечности рабочих органов плуга керамическими материалами : автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – М., 2002. – 24 с.
25. Денисенко М.І. Самозаточуючі робочі органи ґрунтообробної та бурякозбиральної техніки / М.І. Денисенко, В.Д. Войтюк // II Міжнародна виставка сільськогосподарства. – Інтер-АГРО. К., 2006.
26. Солових Є.К. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями / Є.К. Солових, В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – Вип. 35. – С. 153–157.
27. Ефимова М.Г. Динамика износа ножей / М.Г. Ефимова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1973. – № 12. – С. 43–44.
28. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания / Ткачев В.Н. – М. : Машиностроение, 1995. – 336 с.

29. Аулін В.В. Вплив зміцнюючі композиційних покриттів на зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, Т.М. Ауліна // «Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин DSRAM-I» : зб. наук. праць I Міжнар. науково-техн. конф. / ТДТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2004. – С. 303–307.

30. Аулін В.В. Стан питання теорії зносу композиційних матеріалів і покриттів / В.В. Аулін // Вісник Харківського національного університету сільськогосподарства. – Харків : ХНТУ, 2005. – Вип. 40. – С. 82–86.

31. Козаченко О.В. Обґрунтування методу підвищення роботоздатності виконуючих дисків коренезбиральної машини КС-6Б / О.В. Козаченко, О.В. Блезнюк // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАА, 2006. – Вип. 40. – С. 97–105.

32. Козаченко О.В. Теоретичне обґрунтування можливості утворення зубців на лезі дискового копача, наплавленого зносостійким матеріалом перемінної товщини / О.В. Козаченко, О.В. Блезнюк // Вісник ХНТУСГ. – Харків : ХНТУСГ, 2005. – Вип. 42. – С. 138–147.

33. Аулін В.В. Зміна форми різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин в процесі зношування / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, О.Ю. Жулай // Праці Таврійської держ. агротехн. академії. – Мелітополь : ТДАТА, 2006. – Вип. 40. – С. 5–11.

34. Саїнус О.Д. Підвищення довговічності лап культиваторів композиційними покриттями перемінного складу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О.Д. Саїнус. – Кіровоград, 2008. – 21 с.

35. <http://www.dozator.lg.ua/>

36. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / Панченко А.Н. – Днепропетровск: РИО Днепропетр. гос. аграр. ун-та, 1999. – 140 с.

37. Гуков Я.С. Оборобіток ґрунту. Технологія і техніка / Гуков Я.С. – К. : Нора-прінт, 1999. – 280 с.

38. Кленин М.П. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / М.П. Кленин, В.А. Сакун. – М. : Колос, 1980. – 671 с.
39. Бурченко П.Н. Адгезионные свойства почвы при взаимодействии с различными материалами / П.Н. Бурченко, Р.Т. Хумаров // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. – № 5. – С. 34–35.
40. Енохович А.С. Справочник по физике / Енохович А.С. – М. : Просвещение, 1978. – 415 с.
41. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов: альбом-справочник. – М. : Россельхозиздат, 1979. – 240 с.
42. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / Вознесенский В.А. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
43. Езекиел М. Методы анализа корреляций и регрессий / М. Езекиел, К. Фокс. – М. : Статистика, 1966. – 485 с.
44. Рыжов Н.Н. Алгоритмизация вывода уравнений линейчатых поверхностей с учетом наперед заданных условий / Н.Н. Рыжов // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К., 1972. – Вып. 4. – С. 3–8.
45. Машины и орудия для обработки пропашных культур. Программа и методы испытаний. Руководящий документ: РД 10.4.3-89. – Действует с 01.05.89. – М. : Госагропром СССР, 1989. – 101 с.
46. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій / [Гевко Р.Б., Гладич Б.Б., Павх І.І., Соломка Т.П.]. – Тернопіль, 2003. – 164 с.
47. Огрызков Е.П. Причины образования затылков на лезвиях лемехов / Е.П. Огрызков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1977. – № 9. – С. 41–42.
48. Огрызков Е.П. Анализ работы лезвий плужных лемехов / Е.П. Огрызков // Тракторы и сельхозмашины. – 1959. – № 11. – С. 28–31.

49. Огрызков Е.П. Особенности изнашивания лемехов в условиях Западной Сибири / Е.П. Огрызков, Г.И. Летнев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1974. – № 6. – С. 41–42.

50. Резник Н.Е. Острота лезвия и методы ее измерения / Н.Е. Резник // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1972. – № 6. – С. 8–12.

51. Ермолов Л.С. Про визначення вагового спрацювання лемешів / Л.С. Ермолов // Механізація сільського господарства. – 1959. – № 12. – С. 29.

52. Харьковський І. Аналіз умов стійкості руху начальникового сошника / І. Харьковський // Техніка АПК. – 2006. – № 11. – С. 38–39.

53. Пугач А.М. Обґрунтування параметрів культиваторних лап, оснащених елементами локального зміцнення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / А.М. Пугач. – Вінниця, 2010. – 20 с.

ДОДАТКИ