

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр»
на тему:

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів
просапного культиватора у складі машинно-тракторного агрегату

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМЗ-1-19

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

	<hr/> (підпис)	<u>Каракай А.О.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<hr/> (підпис)	<u>Субочев О.І.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<hr/> (підпис)	<u>Шарабідзе Т.Е.</u> (прізвище та ініціали)

Дніпро
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
 КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ

Освітній ступінь «Магістр»
 Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 «Експлуатація машинно –
 тракторного парку», доцент

_____ О.Д. Деркач _____
 (підпис) (прізвище, ініціали)
 « ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Каракай Анастасії Олексіївни
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Обґрунтування конструктивно- технологічних параметрів
 просапного культиватора у складі машинно-тракторного агрегату

Керівник проекту Субочев О.І., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ДДАЕУ від « 25 » листопада 2020 р. № 2958

2. Термін подання студентом проекту « 01 » лютого 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: Значення і місце поверхневого обробітку при
 вирощуванні сільськогосподарських культур. Агрогрунтове районування
 України Аналіз машин для поверхневого обробітку ґрунту. Вплив робочих
 органів землеобробних агрегатів на ґрунт. Агрегати, що використовуються
 при виконанні технологічних операцій. Аналіз відмов та надійності машин
 для поверхневого обробітку ґрунту

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 розробити) Аналіз методів і засобів поверхневого обробітку при вирощуванні
 сільськогосподарських культур. Теоретичні дослідження складу і
 довговічності з'єднань просапного культиватора. Експериментальні
 дослідження, проведення польових та лабораторних досліджень. Охорона
 праці та захист в надзвичайних ситуаціях. Економічне обґрунтування
 роботи

5. Перелік демонстраційного матеріалу Мета дипломної роботи, задачі, Карта-схема агрогрунтового районування України. Вплив робочих органів землеобробних агрегатів на ґрунт. Схема дії сил на секцію просапного культиватора при обмеженні глибини, швидкості руху. Розрахунок сил і навантаження у рухомих з'єднаннях. Методика розрахунку основних напружень секції просапного культиватора. Методика розрахунку зміщення передніх лап секції просапного культиватора. Результати розрахунків Основні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4	Субочев О.І.		
5	Кравець В.В.		
6	Вініченко І.І.		
1 - 6	Субочев О.І.		

7. Дата видачі завдання « 26 » листопада 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз методів поверхневого обробітку при вирощуванні сільськогосподарських культур	26.11 – 8.11.20	
2	Теоретичні дослідження складу і довговічності з'єднань просапного культиватора	9.12 – 20.12.20	
3	Експериментальні дослідження проведення польових та лабораторних досліджень	21.12 – 31.12.20	
4	Оцінка результатів досліджень елементів Просапного культиватора	04.01 – 15.01.21	
5	Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях	16.01 – 23.01.21	
6	Економічне обґрунтування роботи	23.01-31.01.21	

Студент

(підпис)

Каракай А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Субочев О.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Каракай А. О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів просапного культиватора у складі машинно-тракторного агрегату / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Рослинництво»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2021. – 95 с.

Об'єктом дослідження – конструктивно-технологічні параметри агрегатів для обробки просапних культур.

Предметом дослідження - ефективність впровадження в конструкцію просапного культиватора захищених підшипників кочення, визначення оптимальної комбінації універсальних стрілчастих лап при обробці ґрунтів з різними фізико-хімічними властивостями, оцінка міцнісних характеристик секції просапного культиватора при робочому навантаженні.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності виробництва сільгоспідприємств на основі розробки агрегатів оптимальної конструкції.

Виконано аналіз методів і способів обробітку ґрунту, виявлено найбільш навантажені вузли, запропоновано конструктивні методи вдосконалення секції просапного культиватора, проведена оцінка міцнісних характеристик робочого органу агрегату.

Вдосконалено конструкцію секції просапного культиватора, розроблено математичну модель процесу міжрядної культивації, що дає можливість врахувати специфіку силових навантажень при обробці просапних культур, спрогнозувати термін служби та економічні показники роботи агрегату.

В ході виконання магістерської роботи було використано наступні програмні продукти: MS Word пакету Microsoft Office, програмний продукт Mathcad Professional (розрахунок показників, імітаційне моделювання), редактор формул Microsoft Equation, редактор таблиць MS Excel, програмний продукт АBBYY FineReader (робота зі сканером), 3D-САПР Autodesk Inventor.

АНАЛІЗ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, АГРОНОМІЯ, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА, ЗЕМЛЕРОБСТВО, ПРОСАПНИЙ КУЛЬТИВАТОР, МОДЕЛЬ МАТЕМАТИЧНА, ДОВГОВІЧНІСТЬ ПІДШИПНИКІВ, ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ, ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, НАПРУЖЕННЯ ЗА МІЗЕСОМ, МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ.

Публікація: Субочев О.І. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів просапного культиватора у складі машинно-тракторного агрегату / О.І. Субочев, О.Д. Деркач, А.О. Каракай // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного: електронне наукове фахове видання. - Мелітополь: ТДАТУ, 2020. - Вип. 10, том 2. С. 88-99.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР	7
1.1. Значення і місце поверхневого обробітку при вирощуванні сільськогосподарських культур	7
1.2. Класифікація і аналіз машин для поверхневого обробітку ґрунту	11
1.3. Марки і моделі машин для поверхневого обробітку ґрунту	14
1.4. Аналіз відмов та надійності машин для поверхневого обробітку ґрунту	16
1.5. Висновки за першим розділом	19
1.6. Обґрунтування теми дипломної роботи	20
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ І ДОВГОВІЧНОСТІ З'ЄДНАНЬ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА	23
2.1. Розробка моделі динамічної взаємодії секції просапного культиватора з опорною поверхнею	23
2.2. Вибір і обґрунтування для описання динаміки переміщення МТА	27
2.3. Розрахунок сил і навантаження у рухомих з'єднаннях	31
2.4. Вибір розмірів і геометрії стрілочастих універсальних лап просапних культиваторів	35
2.5. Обґрунтування і розрахунок довговічності підшипників робочих коліс просапних культиваторів	38
2.6. Висновок за другим розділом	39
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОВЕДЕННЯ ПОЛЬОВИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1. Вибір та характеристика об'єкта експериментальних досліджень	40
3.2. Мета і завдання експериментальних досліджень	42
3.3. Проведення польових досліджень	43
3.3.1. Методика проведення польових експериментальних досліджень радіального зазору котка	43
3.3.2. Методика проведення польових випробувань лап просапних культиваторів	44
3.4. Методика проведення лабораторних експериментальних досліджень підшипників просапних культиваторів	48
3.5. Методика обробки експериментальних даних	52
3.5.1. Визначення параметрів закону експериментального розподілу	52

3.5.2. Апроксимація експериментальної функції теоретичним законом розподілу	53
3.6. Результати експериментальних досліджень	54
3.7. Висновки за третім розділом	58
4. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА	59
4.1. Оцінка реакції ґрунту на опорний коток та навантажень на лапи просапного культиватора в заданих режимах обробки	59
4.2. Міцнісні характеристики секції просапного культиватора в заданих режимах роботи	62
4.2.1. Оцінка конструкції секції на міцність методом кінцевих елементів	62
4.2.2. Оцінка напружень в конструкції секції за Мізесом	64
4.2.3. Оцінка головних напружень секції просапного культиватора	66
4.2.4. Оцінка запасу міцності конструкції секції просапного культиватора	69
4.3. Оцінка зміщення елементів секції конструкції просапного культиватора	70
4.4. Висновки за четвертим розділом	72
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	74
5.1. Охорона праці при експлуатації машин та знарядь для міжрядної обробки ґрунту	74
5.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	76
5.3. Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників	78
5.4. Правила безпечного виконання робіт при міжрядній культивації	79
5.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації	81
5.6. Висновок за п'ятим розділом	84
6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	86
6.1. Економічна ефективність застосування агрегату МТЗ-82.1+КРН-5,6	86
6.2. Економічна ефективність застосування модернізованого агрегату МТЗ-82.1+КРН-5,6М	88
6.3. Розрахунок річного економічного ефекту	89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	91
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	93

ДОДАТКИ

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського машинобудування в основу підвищення ефективності виробництва покладені економне та раціональне використання, матеріальних, трудових, інтелектуальних ресурсів.

Принципом раціонального виробництва є прогресивність планових та економічних норм, які базуються на передових інформаційних та виробничих технологіях.

Для підвищення ефективності роботи сільськогосподарської техніки ставиться задача надання своєчасної, якісної, повної інформації відносно агрегату та його технічної експлуатації.

Аналіз технічних особливостей машини не тільки в сенсі техніко-економічних показників обробки ґрунту, а й у питаннях раціонального проектування з моменту розробки технічної пропозиції на новий агрегат, добору конструктивних компонентів, досягненні оптимальної собівартості, аналізі безпеки та узгодженні його експлуатаційних періодів з тактом сільськогосподарських робіт.

Собівартість - важливий елемент ринку, що відіграє вирішальну роль в зростанні конкурентоспроможності продукції, в освоєнні в виробництві останніх досягнень науки й техніки, тому раціоналізація конструкції нових машин є дуже важливим питанням для надійного зростання підприємства.

В умовах кількісного зростання продукції сільськогосподарського машинобудування в Україні, зростає і попит на отримання якісного наукового та інформаційного супроводження.

Враховуючи усе вище сказане, питання раціонального проектування з моменту розробки технічної пропозиції на новий агрегат та узгодженні його експлуатаційних періодів з тактом сільськогосподарських робіт є **актуальним**.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

1.1. Значення і місце поверхневого обробітку при вирощуванні сільськогосподарських культур

Регулювання фізико-механічних властивостей ґрунту для досягнення оптимальних характеристик відбувається шляхом хімічного, біологічного, механічного впливу, впровадженням заходів, що розроблені на базі нових наукових досліджень, довідникової інформації, стандартів, актуальних світових винаходів та досвіду.

Відповідно заходи регулювання фізико-механічних властивостей ґрунтів і відновлення структури ґрунту об'єднують в механічні, хімічні і біологічні.

Механічні заходи передбачають механічний обробіток поля на різних етапах формування врожаю для досягнення оптимальних якісно-кількісних показників. Такі операції істотно покращують фізико-механічні властивості, та потребують систематичного повторення відповідно впровадженій на підприємстві технології обробітку ґрунту.

Хімічні заходи впроваджують використовуючи хімічні речовини для отримання необхідної структури і фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Підвищенню вмісту в ґрунті гумусу та органічних речовин сприяє впровадження біологічних заходів.

Дія на ґрунт робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь на відповідну глибину, дозволяє регулювати водний і повітряний режими оброблюваного шару на заданій глибині [1, 2, 3].

Від механічного складу ґрунту залежить в певній мірі багатство його поживними речовинами, його водні та повітряні властивості. Механічний склад ґрунту впливає на утворення структури ґрунту, тепловий режим, мікробіологічні процеси, що відбуваються в ньому.

Між різноманітними властивостями ґрунтів присутні такі, які можна назвати основними властивостями ґрунту; їх необхідно знати, по-перше для

того, щоб мати загальне уявлення про ґрунт, про його походження та приналежність до того чи іншого ґрунтового типу, підтипу і так далі; а по-друге для того, щоб можна було вивчати подальші властивості ґрунту, так як всі інші його властивості є похідними від основних властивостей ґрунту (рис. 1.1, таблиця 1.1) [2].

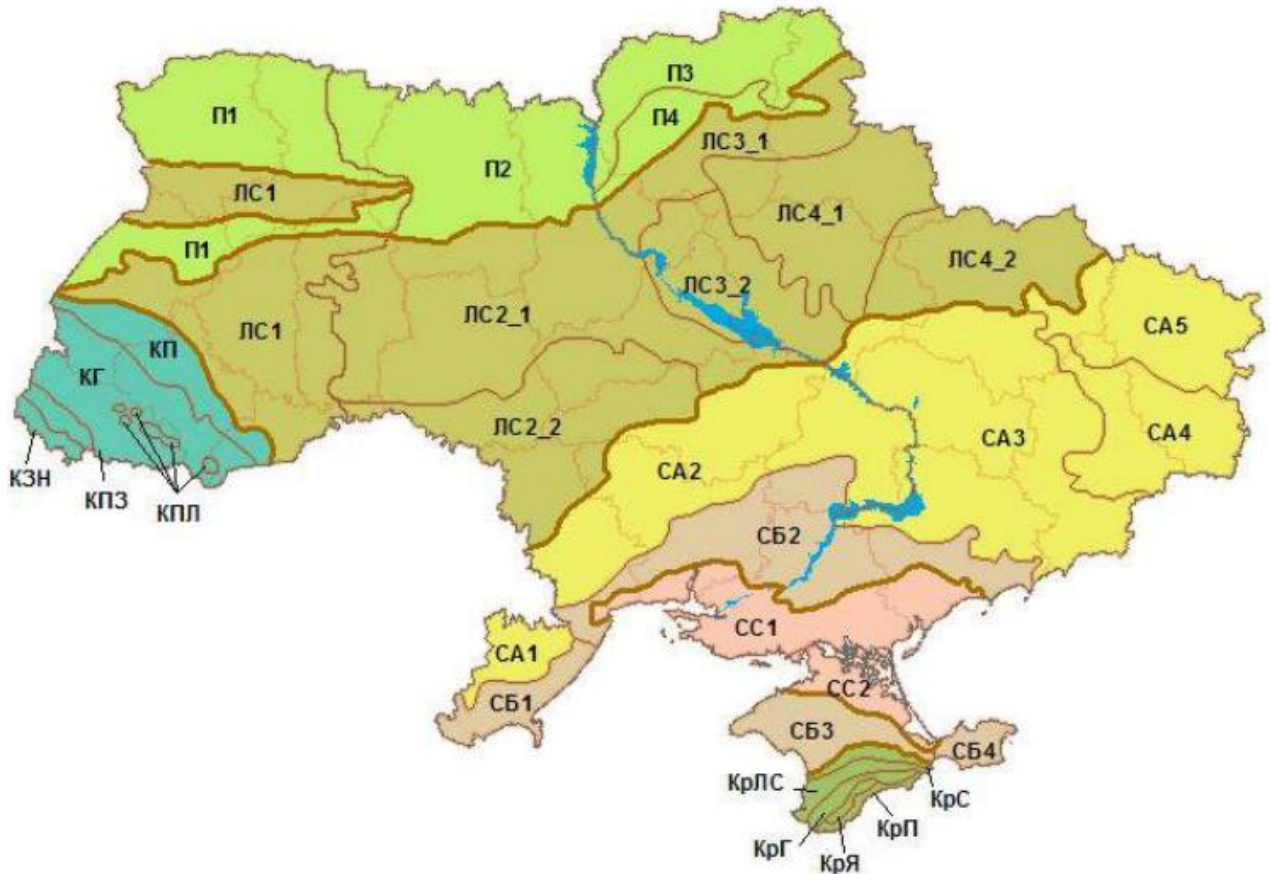


Рис. 1.1. Карта-схема агроґрунтового районування України [2]

Найбільш важливою при механічній обробці є фізична стиглість ґрунту. Фізично стиглий ґрунт легко обробляється, не мажеться не розділюється на глиби, кришиться на коми різної величини, відповідно геометричним параметрам робочих органів, що впливають. Фізична стиглість визначається вологістю ґрунту, її зв'язаність та пластичністю.

Систематизація інформації про якості ґрунтового покриву та агровиробничу характеристику представлена в наукових та дослідних розробках ґрунтознавства і сформована в велику тему - агроґрунтове районування території України.

Таблиця 1.1

Пояснення до карти-схеми агрогрунтового районування України [2]

Назва зони	Назва провінції	Назва підзони
П – зона мішаних лісів дерново-підзолистих типових і оглеєних ґрунтів Українського Полісся	П1 – західна провінція	
	П2 – центральна правобережна провінція	
	П3 – лівобережна висока провінція	
	П4 – лівобережна низинна провінція	
ЛС – лісостепова зона чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів	ЛС1 – західна провінція	
	ЛС2 – правобережна центральна висока провінція	ЛС2_1 – північна підпровінція
		ЛС2_2 – південна підпровінція
	ЛС3 – лівобережна низинна провінція	ЛС3_1 – північна підпровінція
		ЛС3_2 – південна підпровінція
	ЛС4 – лівобережна висока провінція	ЛС4_1 – північно-західна підпровінція
		ЛС4_2 – західна підпровінція
	С – степова зона чорноземів звичайних та південних	СА – підзона чорноземів звичайних північного Степу
СА2 – Дністровсько-Дніпровська провінція		
СА3 – Дніпровсько-Донецька провінція		
СА4 – Донецька провінція		
СА5 – Задонецька провінція		
СБ – підзона південно-степових чорноземів південних		СБ1 – Придунайська провінція
		СБ2 – Азово-Причорноморська провінція
		СБ3 – Кримська провінція
		СБ4 – Керченська провінція
СС – Сухостепова зона темно-каштанових та каштанових ґрунтів	СС1 – Причорноморська провінція	
	СС2 – Північно-Кримська провінція	
К – зона буроземних ґрунтів Українських Карпат	КЗН – провінція лучинно-буроземних оглеєних ґрунтів Закарпатської низовини	
КП – зона бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтів передгір'їв Карпат до 300-500 м а. в.		
КПЗ – зона буроземів опідзолених оглеєних Закарпатського передгір'я до 125–400 м а. в.		
КПЛ – зона гірсько-лучних буроземів полонин Карпат з 1200-1500 м а. в.		
КГ – зона гірсько-лісових буроземів Карпат до 500-1500 м а. в.		
Кр – ґрунтові зони Гірського Криму		
КрС – зона чорноземів передгірного Степу		
КрЛС – зона ґрунтів передгірного Лісостепу		
КрЯ – зона гірсько-лучних ґрунтів яйл		
КрП – зона коричневих ґрунтів південного схилу головного гірського хребта		

Доцільна система обробітку ґрунту встановлюється в залежності від наміченої до посіву культури, її попередника, ступеня засміченості поля, ґрунтово-кліматичних умов, стану поля, внесених добрив, а також організаційно-господарських можливостей господарства.

Засоби, що застосовуються при весняній обробці ґрунту залежать від зони агроґрунтового районування, якості зяблевої обробки, весняного стану зябу, погодних умов, рельєфу, місцевості, культури під яку обробляють ґрунт та внесених добрив.

Для забезпечення оптимальних ґрунтових умов і одержання стійких і високих урожаїв обробіток ґрунту повинен вирішувати такі задачі [1, 3]:

- надання ґрунту на тій чи іншій глибині дрібно-грудкуватого стану з сприятливою будовою, щоб забезпечити добрі водно-повітряний, тепловий і поживний режими;

- покращання кругообігу поживних речовин шляхом залучення їх із більш глибоких горизонтів ґрунту в зону орного шару, а також активізації корисних мікробіологічних процесів у ґрунті;

- знищення бур'янів, збудників хвороб і шкідників;

- загортання на необхідну глибину добрив і рослинних решток або залишення стерні на поверхні ґрунту;

- запобігання ерозійним процесам і пов'язаним з цим втратам поживних речовин та води;

- позбавлення життєздатності багаторічної рослинності при обробітку перелогових і залежних земель, а також полив, зайнятих сіяними багаторічними травами;

- надання необхідних властивостей і стану верхньому шару ґрунту для загортання на задану глибину насіння, яке висівається;

- створення умов для пониження сольових горизонтів і запобігання підвищення рівня ґрунтових вод;

- створення сприятливих умов для проведення подальших робіт технологічного циклу.

Науково обґрунтоване поєднання заходів обробітку під культури у сівозміні називають системою обробітку ґрунту.

1.2. Класифікація і аналіз машин для поверхневого обробітку ґрунту

В результаті механічного впливу робочих органів ґрунтообробних машин і знарядь виконується багато технологічних операцій. Основними серед яких є різання, кришіння, розпушування, ущільнення, перемішування, вирівнювання, обертання ґрунту та підрізування бур'янів кожна операція виконується робочими елементами визначеної конструкції та призначення (рис. 1.2). Під час виконання кожної з операцій робочі органи певним чином впливають на поверхневий шар ґрунту (таблиця 1.1).

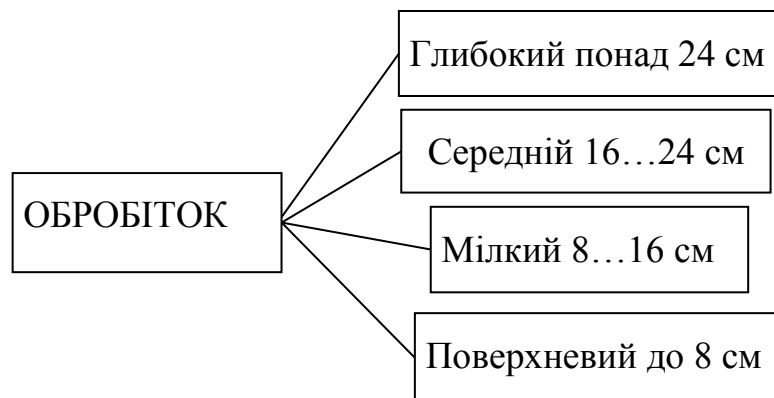


Рис. 1.2. Глибина обробітку ґрунту

Глибина обробітку залежить від операції, способу обробітку ґрунту, та досягається налаштуванням робочих органів агрегату.

Метою будь якого обробітку ґрунту є покращення його фізико-механічних властивостей, що позитивно вплине на родючість.

Оранка ґрунту: звичайна забезпечує обертання скиби не менше ніж на 135° ; плантажну здійснюють на глибину понад 40 см; двоярусна, троярусна забезпечує взаємне переміщення двох, трьох шарів (горизонтів) — верхнього до низу, нижнього до верху; ступінчасту оранку застосовують для боротьби з водяною ерозією ґрунту; гребениста добре затримує сніг, сприяє боротьбі з водяною ерозією.

Боронування виконують боронами на глибину 4...11 см.

Культивація може бути суцільна і міжрядна для обробітку просапних культур, глибина 6...16 см, лише в окремих випадках глибина може бути більшою.

Дискування виконують дисковими знаряддями.

Лушення - застосовують лушильники.

Лушення стерні лемішно-полицевими і дисковими лушильниками на проводять на глибину до 15 см.

Фрезерування - глибина фрезерування коливається в значних межах залежно від потреби.

Чизелювання — це глибокий безполицевий обробіток ґрунту чизельними знаряддями.

Коткування - застосовують котки.

Шлейфування - застосовують шлейф-борони.

Щілювання здійснюють за допомогою щілювачів. Глибина обробітку визначається умовами використання.

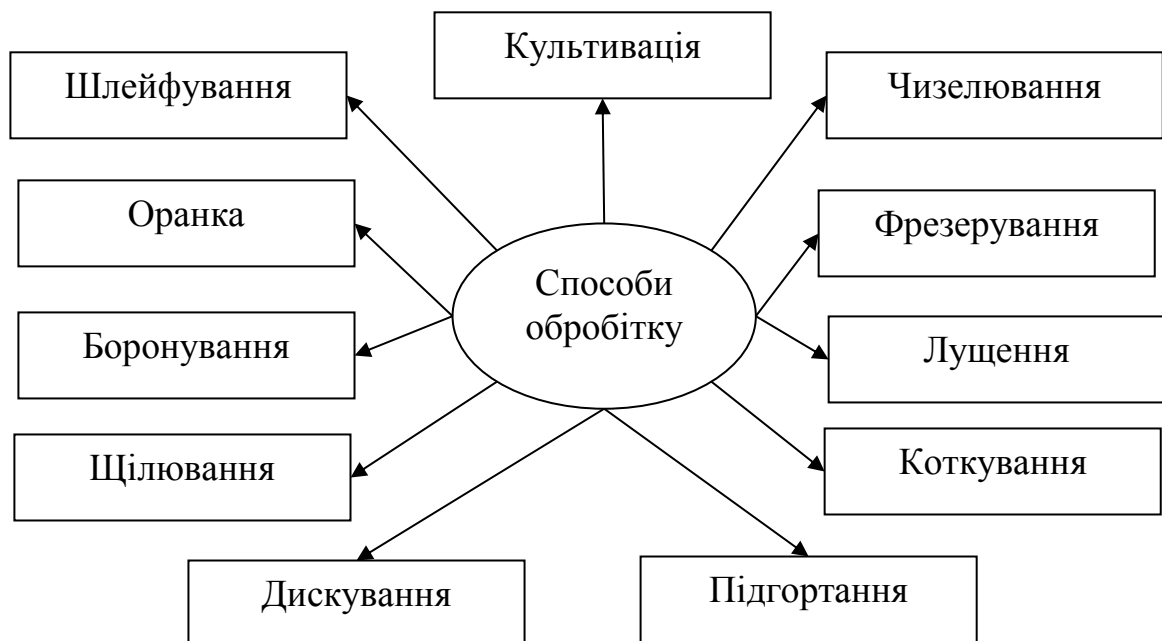


Рис. 1.3. Способи обробітку ґрунту

Таблиця 1.2

Вплив робочих органів землеобробних агрегатів на ґрунт

№	Операція	Вплив на ґрунт
1	Різання	Відрізуванні певних розмірів скиб із загального масиву
2	Кришіння	Забезпечує зменшення розмірів ґрунтових структурних часточок
3	Розпушування	Зміна взаємного розміщення ґрунтових часточок зі збільшенням пористості
4	Ущільнення	Змінюється взаємне розміщення ґрунтових часточок і супроводжується зменшенням пористості
5	Перемішування	Забезпечує зміну взаємного розміщення ґрунтових часточок з метою створення більш однорідного оброблюваного шару ґрунту
6	Вирівнювання	Зменшенню розмірів нерівностей поверхні поля
7	Підрізування бур'янів	Прорізання поверхневого шару ґрунту

Таблиця 1.3

Агрегати, що використовуються при виконанні технологічних операцій

Вид сільгоспмашини	Технологічні операції								%
	Різання	Кришіння	Розпушування	Ущільнення	Перемішування	Вирівнювання	Обертання ґрунту	Підрізування бур'янів	
Плуг	+	+	+		+		+		63
Культиватор	+	+	+		+	+		+	75
Дисковий луцильник	+	+	+		+	+			63
Борона		+	+		+	+			50
Фрези		+	+		+				38
Котки				+					13
Вирівнювачі						+			13
Шлейф-борони		+	+			+			38

Формування захисного шару ґрунту біля основи стебел рослин забезпечує підгортання. Цей спосіб міжрядного обробітку просапних культур, забезпечує регулювання водного і повітряного режиму в ряду. Для виконання цієї операції застосовують культиватори-підгортачі та універсальні культиватори, обладнані спеціальними робочими органами, такими як лапи-полочки та підгортачі.

1.3. Марки і моделі машин для поверхневого обробітку ґрунту

Машини для поверхневого обробітку ґрунту поділяють відповідно до технологічної операції, що виконується агрегатом (табл. 1.2, 1.3). Особливості конструкції машин також обумовлені технологічним процесом обробки поля. Від конструктивних особливостей агрегату залежить відповідність обробки поля агротехнічним вимогам, термін служби машини та якість отриманого врожаю.



Рис. 1.4. Секція просапного культиватора з нерегульованими пружинними стійками [8]

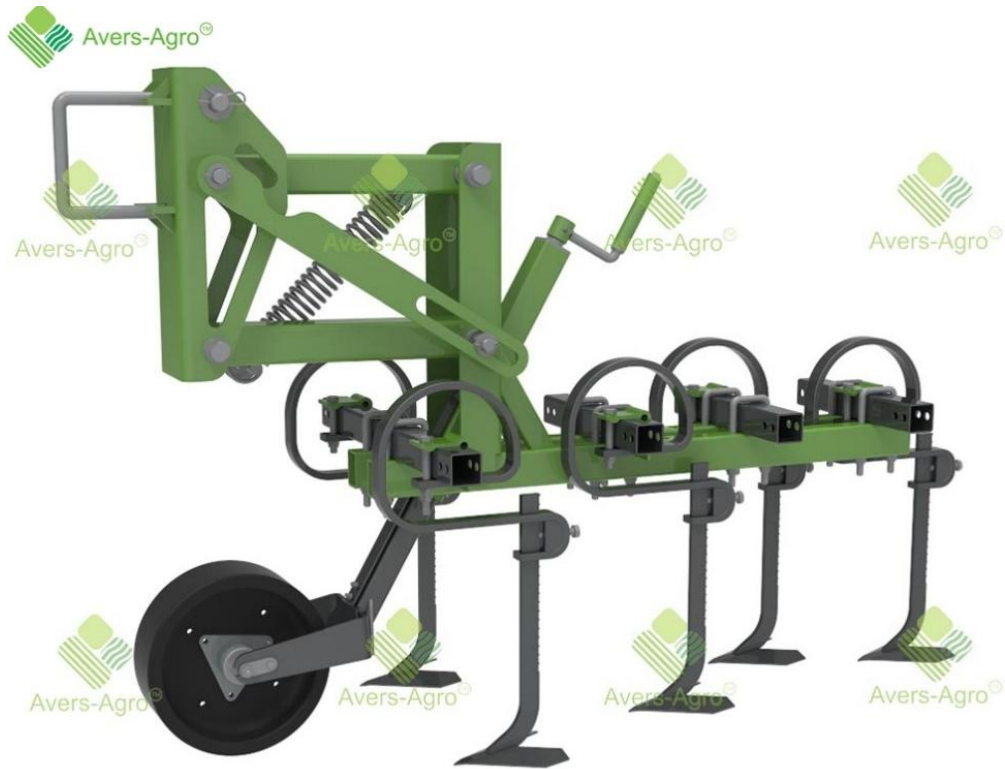


Рис. 1.5. Секція просапного культиватора з регульованими пружинними стійками [8]

При обробці культиваторами виконується 75% технологічних операцій (додаток А). В умовах, коли хімічні заходи регулювання фізико-механічних властивостей ґрунту обмежені або виключені (органічна технологія), раціонально проводити передпосівну обробку та обробку по догляду за сільгоспкультурою механічним та біологічним способом, застосовуючи відповідні сільгоспмашини, сівозміни, вирощування сидератів та інше. Застосування комбінованих агрегатів скорочує витрати палива на 20%, час на виконання технологічних операцій на 50%, дозволяє раціонально складати технологічний план обробки.

Суттєве значення на розподіл сил під час обробки має налагодження агрегату яке дозволить секції прийняти положення найбільш близьке до рівноваги для запобігання заглиблення або виглиблення робочих органів: лап, дисків, борінок та ін. Негативним фактором регулювання є ступінчастість, так як найбільш оптимальний розподіл сил, а відповідно і якість обробки, проводиться лише при чітко встановленому куті розташування ланок паралелограмного механізму до оброблюємої поверхні поля. Безступінчастості

досягають такими конструктивними рішеннями як гвинтовий механізм на опорних колесах (додаток А, рис. 1), опорних котках (рис. 1.4, рис. 1.5), застосуванням регульованих стійок лап (рис. 1.5).

Від типу матеріалу з якого складається агрегат залежить його надійність, періодичність відмов, вид зношування. Значна частина технологічних параметрів та конструктивних елементів обирається опираючись на довідникові матеріали та стандарти.



Рис. 1.6. Просапний культиватор GR 5.6 агрегування з трактором JD 8400 [8]

1.4. Аналіз відмов та надійності машин для поверхневого обробітку ґрунту

Події, що полягають у повній або частковій втраті просапним культиватором здатності виконувати задану за експлуатаційними вимогами функцію, приводять до відмов.

Відмови складових частин технічного засобу (пальців, вісей, лап стійок) приводять до несправності та втрати працездатності агрегатом.

Для забезпечення збільшення періодичності між відмовами та мінімізування їх появи МТА повинні мати високу надійність. Для цього при конструюванні закладають коефіцієнт запасу міцності, збільшуючи товщину матеріалу або застосовуючи матеріали з більш високими міцнісними

характеристиками враховуючи, що об'єкт має зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, зберігання та транспортування [4]. Негативним фактором може стати підвищення маси конструкції. Актуальним рішенням при конструюванні є застосування полімерних матеріалів.

Надійність сільськогосподарського агрегату закладається при проектуванні, забезпечується у виробництві і підтримується в експлуатації. Важливе місце у підтриманні та реалізації необхідного рівня надійності, має експлуатація разом з технічним обслуговуванням та ремонтом. З метою підвищення надійності в конструкції застосовують необслуговуванні об'єкти такі як полімерні підшипники ковзання, закриті шарикопідшипники та інше.

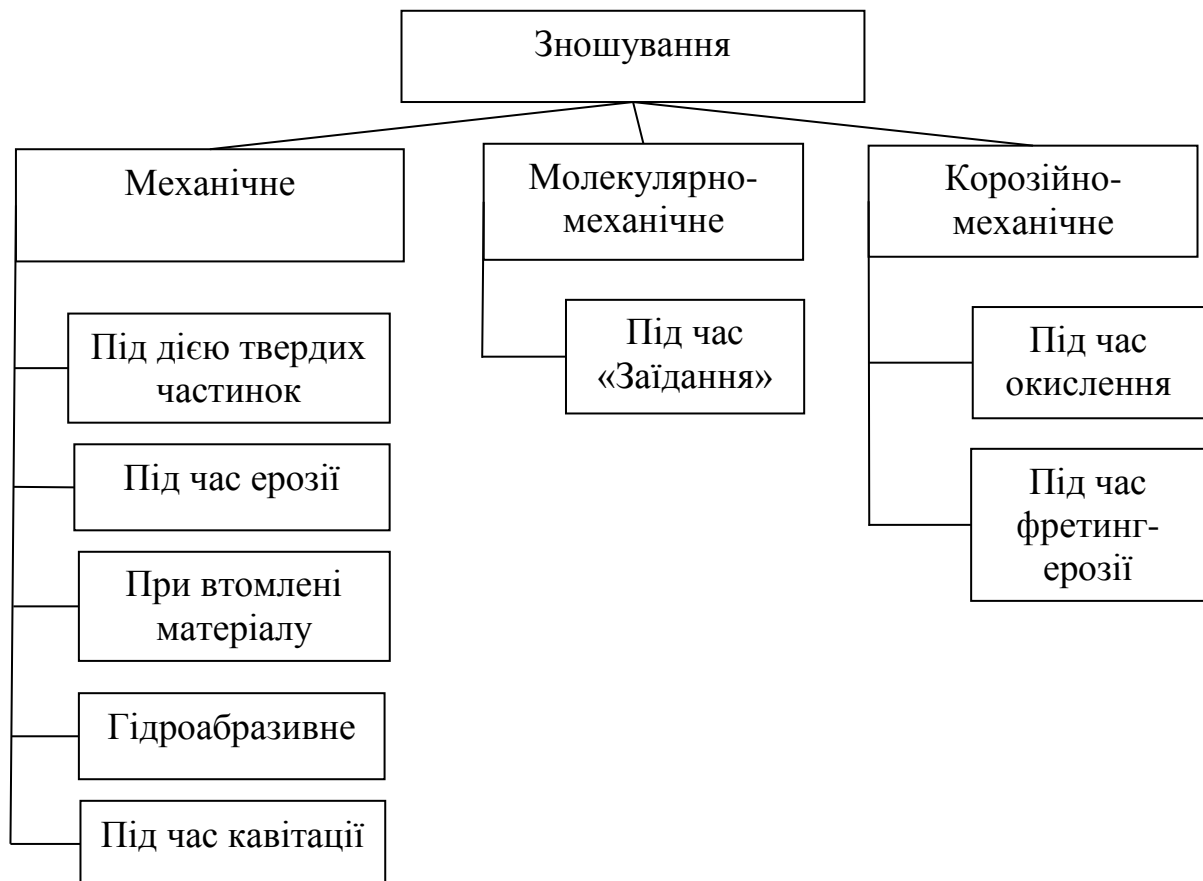


Рис. 1.7. Види зношування

Найчастішою причиною відмов є зношення. Зношення – це процес порушення та втрати матеріалу з поверхні твердого тіла чи накопичення

остаточної деформації при терті, який з'являється в поступовій зміні розмірів чи формі тіла [4].

Тривалі простої техніки приводять до зміни технологічних параметрів елементів агрегатів. В результаті розвитку корозійних процесів відбувається порушення конструкційних параметрів деталей таких як розміри та якість поверхні, допуски, посадки. Змінення фізико-хімічних властивостей змащувальних матеріалів, гідравлічних рідин, запилення та інше.

Класифікацію зношувань представлена на рис. 1.7.

Найбільш навантаженими вузлами під час роботи є підшипникові вузли опорного колеса, шарніри паралелограма, стійки та лапи секції культиватора. На підшипниковому вузлі опорного колеса та втулках паралелограма концентрується максимальне навантаження тому вони підлягають підвищеному зношенню.

Зношення приводить до поломок, тобто відмов, та негативно впливає на терміни виконання сільськогосподарських робіт, затримуючи їх і тим самим приводячи до втрати врожаю. Через це при конструюванні секції культиватора необхідно виключити ймовірність раптових відмов, поступові та релаксацію привести в терміни виконання технічного обслуговування культиватора, яке проводиться в міжсезонний період. Для цього необхідно розрахувати навантаження, що діє на вузли, та дібрати матеріали, конструктивні компоненти, які задовольняють необхідним умовам, використання дорогих матеріалів негативно вплине на собівартість машини, а також подовживши термін дії вузла, поломка (поступова відмова та релаксація) може відбутися в період активної експлуатації машини (сезон культивації) другого року роботи. Тому головна задача конструктора доцільно дібрати матеріали та конструктивні елементи, щоб дотриматися в експлуатації кратності терміну технічного обслуговування термінам та періодам сільгоспробіт.

Проблеми, що найчастіше виникають при експлуатації:

- деформації в результаті витирання контактних поверхонь робочих органів, що призводить до затуплення та втрати працездатності агрегатом;
- перекіс або інші деформації окремих частин рами;

- знос осей і втулок;
- поломки підйомних механізмів, сполучного шарніра, що управляє колесами блоку.

При проектуванні робочих органів сільськогосподарських машин передбачують таку геометрію та розташування поверхонь, при яких виникає ефект самозаточування (виключення - лапи для розпушування). Тобто, тверді сплави вже є присутніми на тильній частині. Отже, відновлення сильно зношених органів неможливе. Єдиний елемент, з яким можлива робота по відновленню — лапи.

Відновлюються стрілчастих лап проводять шляхом облаштування накладки на поверхнях, що піддаються тертю або монтажу лез (змінних) на спеціальних заклепках. Лапи для розпушування заточують до досягнення товщини різальних кромки.

1.5. Висновки за першим розділом

Аналізуючи конструкцію машин для обробітку ґрунту необхідно відзначити, що основними конструктивними елементами, які схильні до інтенсивного зношення є підшипникові вузли та безпосередньо робочі органи такі як лапи, диски, зуби та інше.

Всі заходи регулювання фізико-механічних властивостей ґрунтів і відновлення структури можна об'єднати в три великі групи: механічні, хімічні і біологічні.

Механічний обробіток ґрунту являє собою дію на нього робочими органами ґрунтообробних машин і знарядь на відповідну глибину, це один із засобів регулювання водного і повітряного режимів оброблюваного шару.

Систематизація інформації відносно властивостей та характеристик ґрунтів держави розкрито в такій темі ґрунтознавства, як агроґрунтове районування території України.

Обробіток ґрунту доцільно проводити з урахуванням властивостей ґрунтів, кліматичних і погодних умов, біологічних особливостей рослин та їх вимог до ґрунтового середовища.

Технологічні операції по обробці ґрунту поділяють на різання, кришіння, розпушування, ущільнення, перемішування, вирівнювання, обертання ґрунту та підрізування бур'янів, кожна операція виконується робочими елементами визначеної конструкції та призначення.

Основними способами обробітку ґрунту є оранка, боронування, культивування, дискування, лушення, лушення стерні, фрезерування, чизелювання, коткування, шлейфування, щільювання і підгортання.

При обробці культиваторами виконується 75% технологічних операцій.

Від особливостей матеріалу з якого складається агрегат залежить його надійність, періодичність відмов, вид зношування.

Щоб забезпечити збільшення періодичності між відмовами та мінімізувати їх появи МТА повинні мати високу надійність.

Для підвищення надійності можна використовувати не обслуговуванні об'єкти.

Зношення приводить до поломок, тобто відмов, та негативно впливає на терміни виконання сільськогосподарських робіт, затримуючи їх і тим самим приводячи до втрати врожаю.

Тому головна задача конструктора доцільно дібрати матеріали та конструктивні елементи, щоб максимально подовжити термін експлуатації сільгоспмашини та узгодити термін її технічного обслуговування з періодами сільгоспробіт.

1.6. Обґрунтування теми дипломної роботи

Аналіз технічних особливостей сільгоспмашин не тільки в сенсі техніко-економічних показників обробки ґрунту, а й у питаннях раціонального проектування з моменту розробки технічної пропозиції на новий агрегат, добору конструктивних компонентів, досягненні оптимальної собівартості,

аналізі безпеки та узгодженні його експлуатаційних періодів з тактом сільськогосподарських робіт.

Мета дипломної роботи є підвищення ефективності виробництва сільгосп підприємств на основі розробки агрегатів оптимальної конструкції.

Задачі дослідження.

1. Проведення аналізу конструктивно-технологічних параметрів просапного культиватора в залежності від агроґрунтового районування території.

2. Розробка математичної моделі процесу обробки ґрунту просапним культиватором встановлення основних параметрів, сил та фізичних величин, від яких залежить якість обробки.

3. Визначення активних сил та реакцій, які діють на секцію просапного культиватора під час обробки, що обумовлює його конструктивні та технологічні параметри.

4. Проведення польових випробувань та лабораторних експериментальних досліджень підшипників, лап просапних культиваторів.

5. Застосування методу кінцевих елементів для оцінки конструкції секції просапного культиватора на міцність.

6. Оцінка напружень в конструкції секції за Мізесом, як при простому розтягненні, так і при складному напруженому стані при застосуванні критерію руйнування Мізеса-Хіла.

7. Оцінка головних напружень, що виникають в секції просапного культиватора.

8. Розрахунок запасу міцності конструкції секції просапного культиватора.

9. Визначити перспективи розвитку в розробці конструктивно-технологічних параметрів просапних культиваторів.

Об'єкт дослідження - технологічні процеси обробки просапних культур.

Предмет дослідження - ефективність впровадження в конструкцію просапного культиватора закритих підшипників кочення, визначення

оптимальної комбінації універсальних стрілчастих лап при обробці ґрунтів з різними фізико-хімічними властивостями.

Методи дослідження: при проведенні фундаментальних досліджень застосовані методи та методики: системний аналіз, методи оптимізації, математичної статистики, методика проведення польових випробувань лап просапних культиваторів, методика проведення лабораторних експериментальних досліджень підшипників просапних культиваторів, методика обробки експериментальних даних, методика оцінки міцнісних характеристик секції просапного культиватора в заданих режимах роботи, методика оцінки напружень в конструкції секції за Мізесом.

Наукова новизна дипломної роботи складається в розробці математичної моделі динамічної взаємодії секції просапного культиватора з опорною поверхнею, обґрунтування довговічності підшипників робочих коліс просапних культиваторів, оцінка конструкції секції на міцність методом кінцевих елементів, оцінка запасу міцності конструкції секції просапного культиватора за Мізесом.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ І ДОВГОВІЧНОСТІ З'ЄДНАНЬ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА

2.1. Розробка моделі динамічної взаємодії секції просапного культиватора з опорною поверхнею

Динамічний аналіз має мету [5]:

- вивчення впливу зовнішніх сил, сил ваги ланок, сил тертя та масових сил (сил інерції) на ланки механізму, на елементи ланок, на кінематичні пари та нерухомі опори та встановлення способів зменшення динамічних навантажень, що виникають при русі механізму;
- вивчення режиму руху механізму під дією заданих сил та встановлення способів, що забезпечують задані режими руху механізму.

Перша задача носить назву силового аналізу механізмів, а друга задача – назву динаміки механізмів.

Рух матеріальної точки A – точки на опорному колесі, масою m , на яку діє сумарна сила F , що враховує всі сили, що діють на опорне колесо при роботі культиватора. В випадку, що розглядаємо, матеріальна точка A є невільною її рух обмежено зв'язком. За аксіомою про звільнення від зав'язків - зв'язок замінено його реакцією R [5].

В основі динаміки абсолютного руху матеріальної точки знаходяться перший та другий закони Ньютона [5].

Точка A здійснює обертальний рух, тобто рух цієї точки відносно деякого центру нерухомої системи координат O є абсолютним (рис. 2.2), а відносно рухомої системи координат O_{xyz} – відносним.

Рівняння руху невільної матеріальної точки:

$$m\vec{W}_a = \vec{F} + \vec{R}_o, \quad (2.1)$$

де m – маса матеріальної точки A опорного колеса, кг;

\vec{W}_a - прискорення матеріальної точки A на опорному колесі, м/с^2 ;

\vec{F} - сумарна сила, що враховує всі сили, які діють на опорне колесо при роботі культиватора, Н ;

\vec{R}_o - реакція, яка замінює зв'язки невільної матеріальної точки A , Н .

Рівняння відносного руху має вигляд:

$$m\vec{W}_r = \vec{F} + -m\vec{W}_e + -m\vec{W}_c + \vec{R}_o, \quad (2.2)$$

де \vec{W}_z - прискорення матеріальної точки A відносно вісі z ;

\vec{W}_x - прискорення матеріальної точки A відносно вісі x ;

\vec{W}_y - прискорення матеріальної точки A відносно вісі y .

З рівнянь (2.1, 2.2) випливає, що для складання рівняння руху матеріальної точки необхідно визначити активні сили та реакції.

Припустимо, що ланки механізмів є абсолютно жорсткими.

Аналізуючи приведену схему просапного культиватора необхідно відзначити задовільнення наступних вимог [6, 7, 8]:

1. копіювання робочими органами мікрорельєфу поля;
2. наявність пристроїв: для регулювання глибини ходу кожного робочого органу; для зміни кута установки до горизонтальної площини кожної секції, а також кута установки до горизонтальної площини кожного робочого органу;
3. наявність механізмів, які забезпечували б плавне або ступінчасте регулювання глибини ходу робочих органів (ступінчастість повинна бути не більше ніж через 20 мм);
4. розташування ходових коліс попереду робочих органів, щоб сліди їх були оброблені.

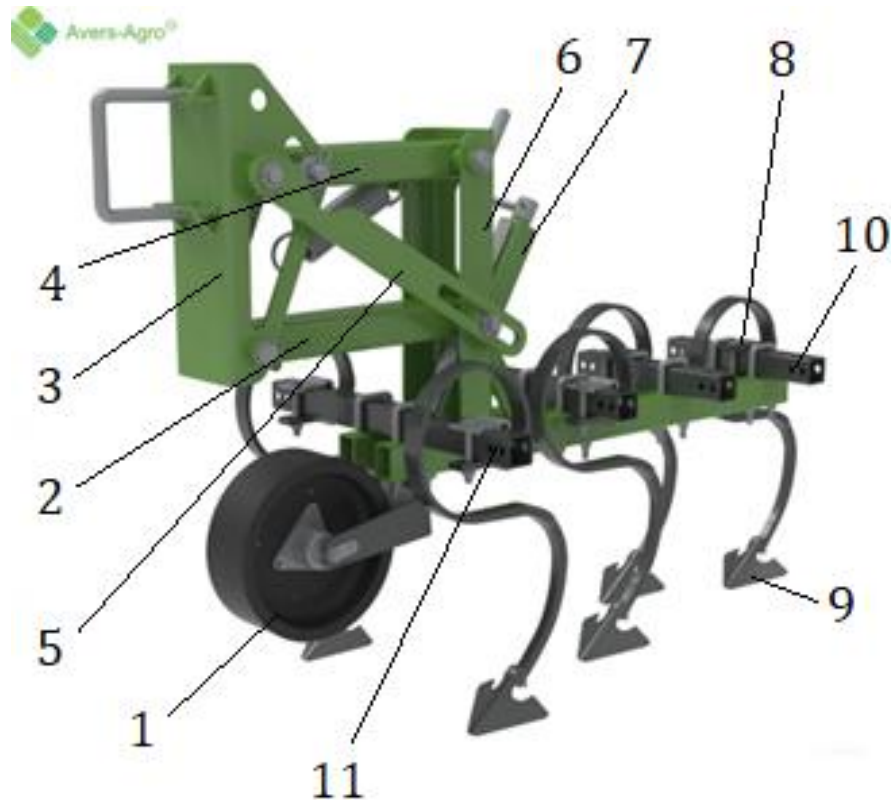


Рис. 2.1. Конструкція секції просапного культиватора:

1 – опорний коток, 2 – поводок, 3 – кронштейн, 4 – верхній поводок, 5 – транспортний обмежувач, 6 – кронштейн-гряділь, 7 – різьбовий механізм, 8 – тримач стійки, 9 – стрілчаста лапа, 10 – вал короткий, 11 – вал довгий [8]

Конструкція культиватора з використанням окремих секцій, які навішуються на раму культиватора за допомогою чотириланкового механізму, в яких ланки $LK // NM$ і $LN // KM$ (рис. 2.1) широко використовується в роботі сільгоспагрегатів і добре себе зарекомендувала.

Секція культиватора просапного складається з таких основних вузлів (рис. 2.1): паралелограм, рама, опорне колесо, стійка, лапа.

Опорні котки 1 секцій копіюють мікрорельєф поля. Рух ковзанок по нерівностях призводить до відносного вертикального переміщення ланок $LK // NM$, які входять в паралелограмний механізми. При цьому, кут установки робочих органів до поверхні поля не змінює свого значення. Закріплення секції до рами культиватора за допомогою паралелограмної системи забезпечує краще копіювання мікрорельєфу поля при збереженні робочими органами заданої глибини ходу.

Заглиблення робочих органів забезпечується силою ваги Q секції і реакцією $R_{\Sigma zx}$. Положення ланок LK і NM механізму впливає як на заглиблення робочих органів, так і на силу реакції R_0 , яка діє на опорний коток. Умова рівноваги секції зводиться до визначення реакції ґрунту на опорний коток секції R_0 і рівнодіючої всіх сил опору $R_{\Sigma zx}$ (формула 2.3).

$$R_{\Sigma zx} = R_{zx1} + R_{zx2} + \frac{R_{zx3}}{2} + \frac{R_{zx4}}{2} + \frac{R_{zx5}}{2}, \quad (2.3)$$

де $R_{\Sigma zx1}$, $R_{\Sigma zx2}$ – сила опору обробці на першій та другій лапах, Н;

$R_{\Sigma zx3}$, $R_{\Sigma zx4}$, $R_{\Sigma zx5}$ – сила опору обробці на третій, четвертій, п'ятій лапі, Н.

Слід відзначити, що розрахункову силу опору обробці R_{zx} на третій та наступних лапах вдвічі менша, через те що при обробці відсутня кірка.

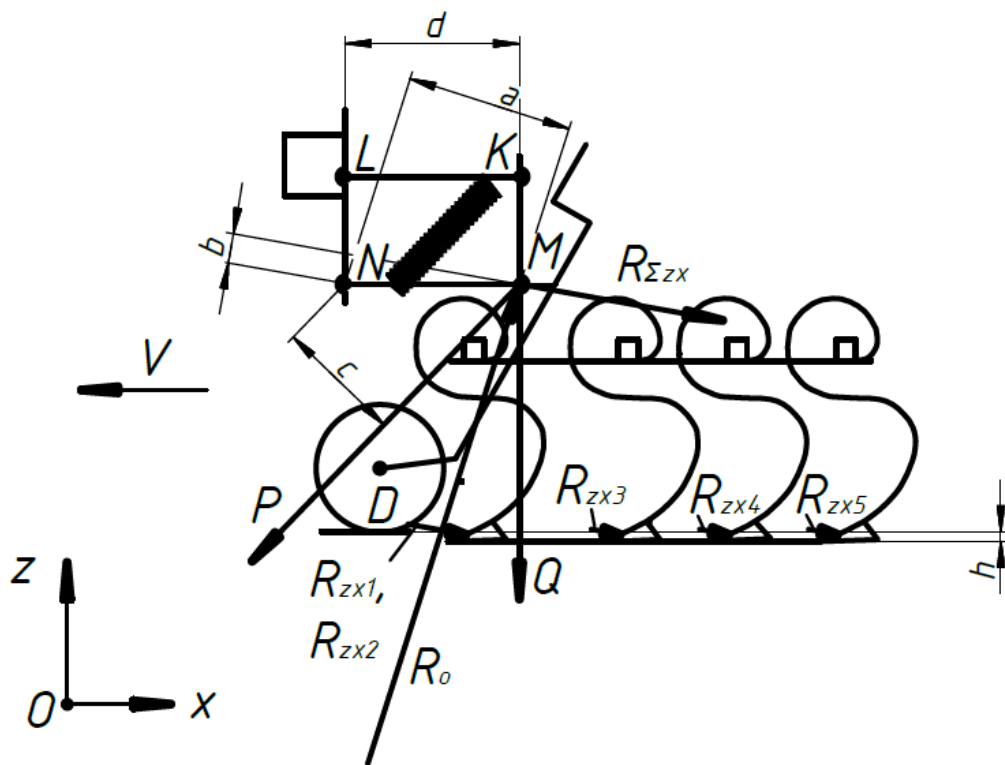


Рис. 2.2. Схема дії сил на секцію проспаного культиватора при обмеженні глибини h , швидкості руху V

Розв'язання задачі розрахунку терміну служби підшипнику потребує дослідження та визначення параметрів руху секції відносно центра в нерухомій системі координат. Проаналізуємо роботу секції культиватора керуючись

основними законами динаміки, спираючись на закони динаміки абсолютного руху.

Розглянемо сили, що діють на матеріальну точку D – точку контакту опорного котка секції просапного культиватора з ґрунтом, масою Q , на яку діє сила стискання пружини P , при обробці ґрунту на глибину h (см) на кожну з лап секції діє сила опору обробці R_{zx} . Рух матеріальної точки D обмежено опорою, тобто вона є невільною. За аксіомою про звільнення від зв'язків замінимо опору її реакцією R_o .

Точка D здійснює поступовий рух, рух цієї точки відносно центру опорного котка є абсолютним (рис. 2.2), а відносно нерухомої системи координат O – відносним.

Рівняння рівноваги секції просапного культиватора:

$$R_o \cdot a - R_{\Sigma zx} \cdot b - P \cdot c - Q \cdot d = 0, \quad (2.4)$$

де R_o – реакція на опорний коток, Н;

$R_{\Sigma zx}$ – сила опору обробці $R_{\Sigma zx}$, Н;

P – сила стискання пружини, Н;

Q – вага секції просапного культиватора, Н;

a, b, c, d – плечі сил $R_o, R_{\Sigma zx}, P, Q$, відповідно, відносно центра обертання системи, м.

2.2. Вибір і обґрунтування для описання динаміки переміщення МТА

Під час роботи МТА робочі органи машин і знарядь при взаємодії із середовищем або матеріалом витримують силу опору, яку називають тяговим опором.

МТА може виконувати роботу лише у випадку, якщо тягове зусилля трактора P_T перевищує опір машин або знарядь R_M (рис. 2.3, 2.4), тобто

$$P_T > R_M \quad (2.5)$$

Величина робочого тягового опору машин і знарядь залежить від їх маси і конструкції ходового апарата, типу робочого органу і наявності передач привода, ширини захвату, технічного стану і правильного регулювання робочих органів, фізико-механічних властивостей оброблюваного середовища або матеріалу, стану ґрунту і кута похилу місцевості, на якій рухається агрегат, глибини обробітку ґрунту та швидкісного режиму роботи.

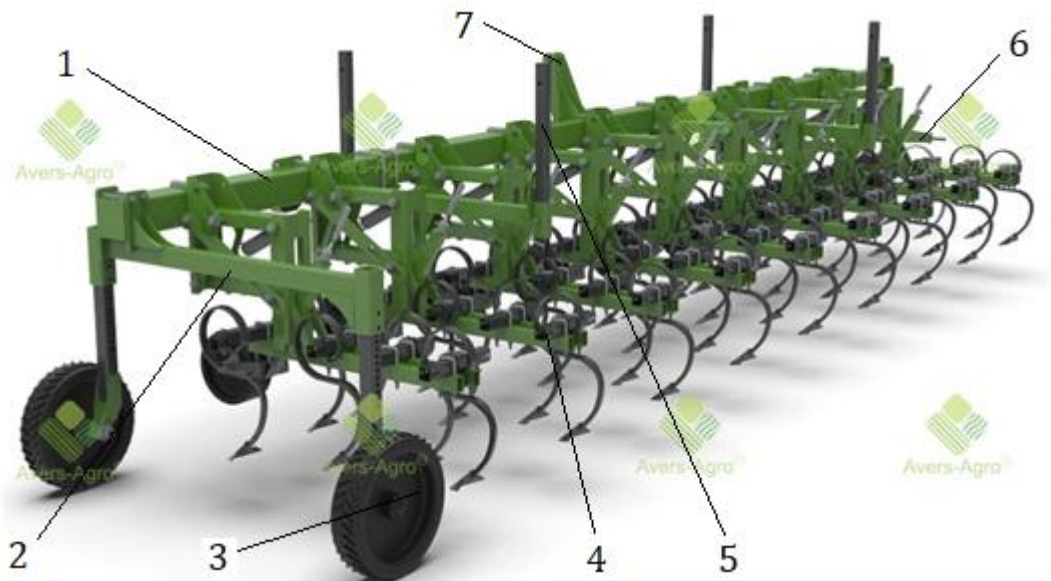


Рис. 2.3. Конструкція просапного культиватора GREEN RAZOR 5,6: 1 – рама, 2 – кронштейн транспортний, 3 – колеса опорні, 4 – секція, 5 – домкрат, 6 – нависний пристрій, 7 – напівпричіпний пристрій (транспортний) [8]

Показники роботи тракторів визначають під час руху на кожному агрофоні окремо [9].

Номінальну дотичну силу тяги P_d (Н) на ободі ведучого колеса розраховують для всіх заданих передач трактора:

$$R_D = \frac{9554 \cdot N_{ен} \cdot i_{тр} \cdot \eta_m}{n_n \cdot r_k} = \frac{10^4 \cdot N_{ен} \cdot i_{тр} \cdot \eta_m}{n_n \cdot r_k}, \quad (2.6)$$

де $N_{ен}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

$i_{тр}$ – передаточне число трансмісії;

η_m – механічний коефіцієнт корисної дії трансмісії;

n_n – номінальна частота обертання колінчастого вала двигуна, хв^{-1} ;

r_k – радіус кочення ведучого колеса (зірочки) трактора, м.

Для колісних тракторів на пневматичних шинах:

$$r_k = r_o + h \cdot \lambda, \quad (2.7)$$

де r_o – радіус обіду колеса, м;

h – висота пневматичної шини, яка дорівнює її ширині, м;

λ – коефіцієнт усадки для пневматичних шин низького тиску дорівнює 0,75...0,80.

Номінальну силу зчеплення P_3 (кН) ведучого механізму трактора з ґрунтом визначають за формулою

$$P_3 = \mu \cdot G_3, \quad (2.8)$$

де μ – коефіцієнт зчеплення ведучого механізму з ґрунтом;

G_3 – сила тяжіння трактора, яка припадає на ведучі колеса, кН.

За номінальне (розрахункове) приймають таке значення μ , яке забезпечує створення рушійної сили при допустимому буксуванні для колісних тракторів до 12%, для гусеничних – 5%.

Для колісного трактора з однією ведучою віссю

$$G_3 \approx \frac{2}{3} \cdot G, \quad (2.9)$$

де G – сила тяжіння трактора, кН.

Рушійну силу $P_{руш}$ знаходять порівнянням числових значень P_δ і P_3 (на передачах з урахуванням умов ґрунту), вона дорівнює меншій з них.

При $P_\delta \leq P_3$ зчеплення достатнє і $P_{руш} = P_\delta$, а при $P_\delta > P_3$ – недостатнє і $P_{руш} = P_3$. В першому випадку P_δ може бути повністю використана для тягової роботи, а в другому – тільки частка її, яка дорівнює P_3 .

Опір коченню трактора розраховують для конкретних умов, кН:

$$P_f \approx f \cdot G, \quad (2.10)$$

де P_f – опір коченню трактора, кН;

f – коефіцієнт опору кочення трактора.

Опір руху трактора P_α на місцевості з кутом похилу α визначають, кН:

$$P_\alpha = \pm G \cdot \sin \alpha \approx \pm G \cdot \frac{i}{100}, \quad (2.11)$$

де i – нахил місцевості в сотих частках, %.

Знак «+» у формулі береться при русі трактора під гору, «-» при русі з гори.

На кожній з обраних передач визначають тягове зусилля трактора P_m , кН:

$$P_T = P_{руш} - P_f - P_\alpha \quad (2.12)$$

Робочу швидкість V_p для всіх передач розраховують, км/год:

$$V_p = 0,377 \cdot \frac{n \cdot r_k}{i_{mp}} \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) \quad (2.13)$$

де n – фактична частота обертання колінчастого вала двигуна, хв⁻¹;

δ – буксування ведучого механізму, %.

В умовах достатнього зчеплення $n = n_n$, а при недостатньому

$$n = n_n + (n_x - n_n) \cdot \frac{P_D - P_3}{P_D} \quad (2.14)$$

де n_x – частота обертання колінчастого вала двигуна на холостому ході за регуляторною характеристикою.

Для визначення буксування δ необхідно побудувати графік

$$\delta = f \cdot (P_T) \quad (2.15)$$

для обох агрофонів і з його допомогою δ , яке відповідає значенню P_T на передачах.

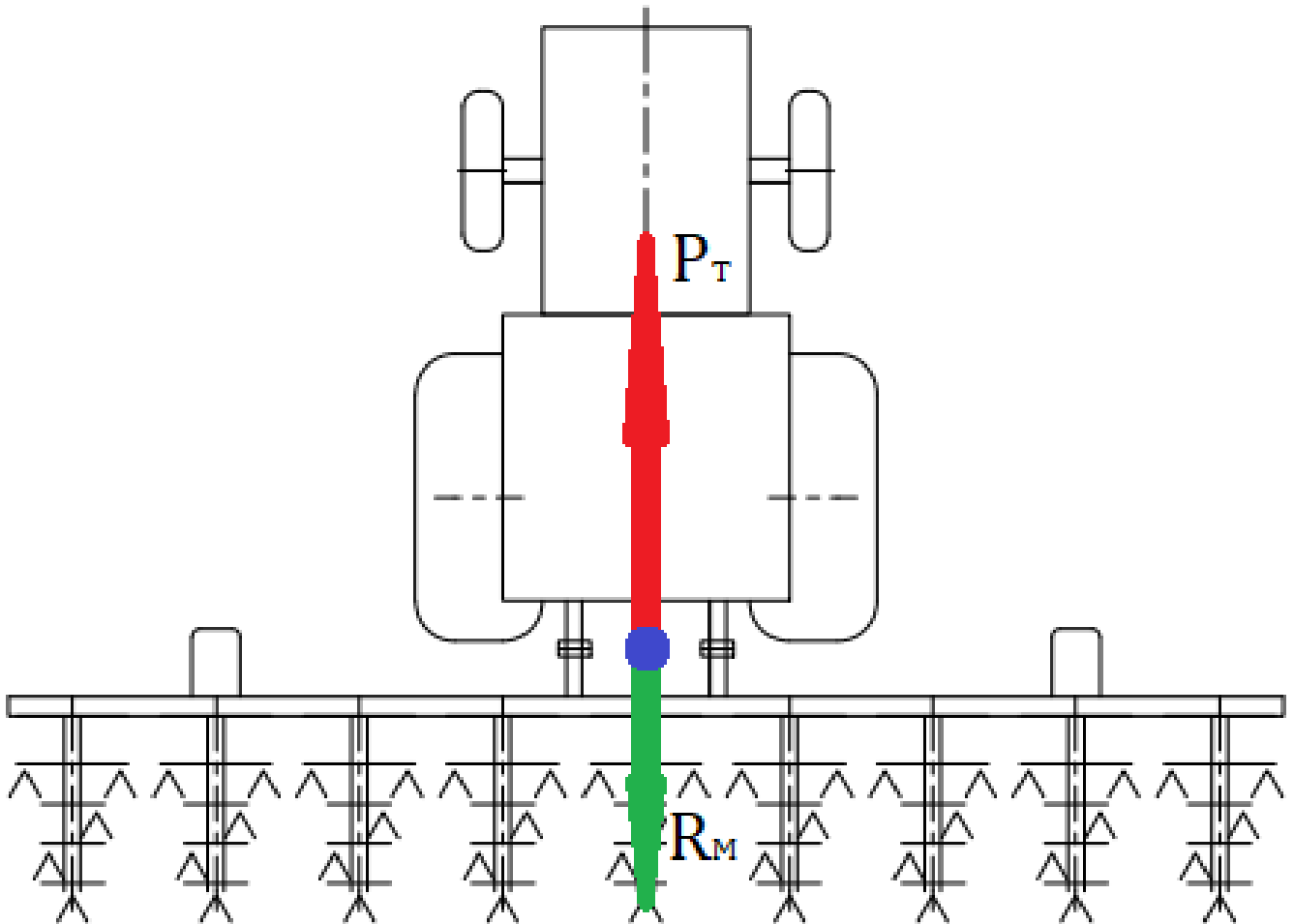


Рис. 2.4. Схема дії сил на культиватор у складі МТА

2.3. Розрахунок сил і навантаження у рухомих з'єднаннях

Багатокутник сил, що діють на точку M паралелограмного механізму секції просапного культиватора буде мати вигляд (рис. 2.5)

Система сил, що прикладені до опорного котка в підшипникових вузлах має вигляд (рис. 2.6).

За рахунок наявності в конструкції опорного котка збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя R_{ox} . Сила R_{oz} навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації.

Визначаємо силу опору ґрунту R_{zx} (рис. 2.5, 2.7) [10, 11].

$$R_{zx} = \frac{R_x}{\cos \psi} \quad (2.16)$$

де R_x - горизонтальна складова сили R_{zx} , Н;

ψ - кут нахилу реакції ґрунту.

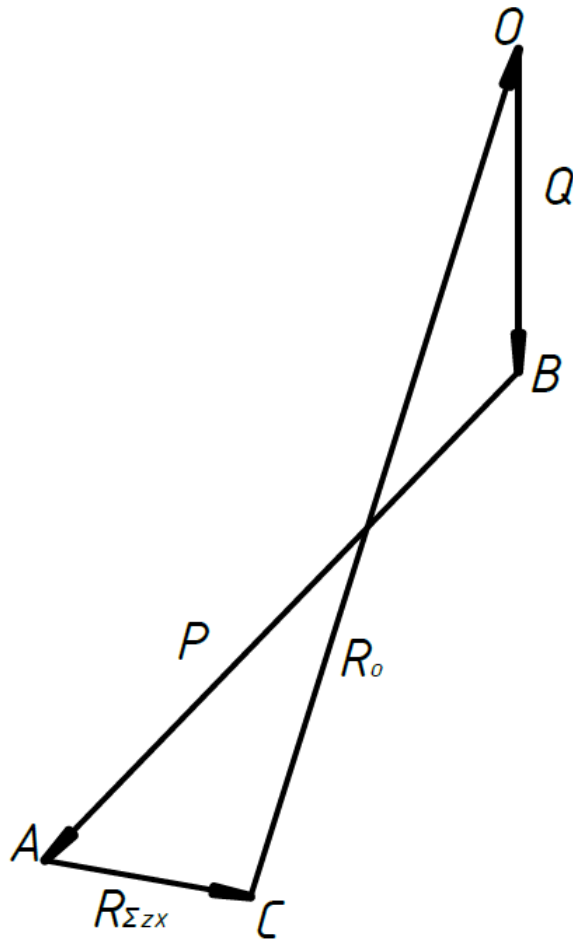


Рис. 2.5. Графічне визначення рівнодіючої сили R_0 .

При розрахунках стрілочастих лап з кутом кришіння $\beta = 15-30^\circ$, що працюють на парових та просапних культиваторах, кут ψ можна приймати рівним $18-24^\circ$. Нижнє значення кута ψ відповідає глибині $h \leq 8$ см, та меншому

значенню кута β , верхня границя - глибині $h = 10-12$ см, та більшому значенню кута β .

Питомий опір ґрунту знаходимо за формулою [7, 10]

$$q = \frac{R_x}{b} \quad (2.17)$$

де b - ширина захвату лапи, см

q - питомий опір ґрунту, кг/см.

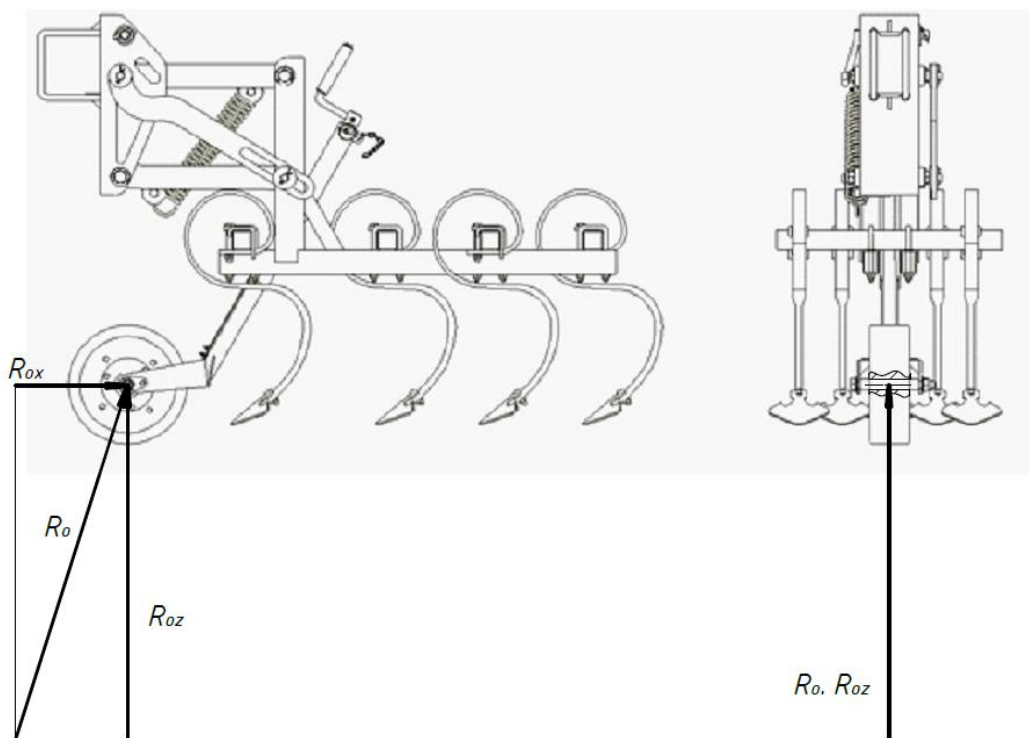


Рис. 2.6. Графічний розрахунок вертикальної складової сили R_o

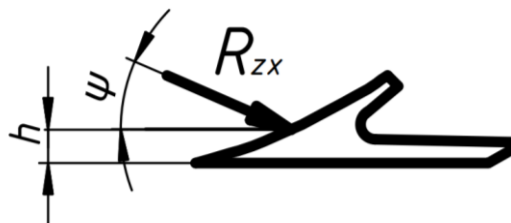


Рис. 2.7. Дія сили R_{zx} на універсальну стрілочасту лапу

Звідки знаходимо горизонтальну складову сили R_{ox} (додаток В), кг

$$R_{ox} = b \cdot q \quad (2.18)$$

Стійкого ходу секції досягнуто при максимальному наближенні розташування ланки $LK // NM$ паралельно оброблюємі поверхні. З рівняння 2.4 випливає: чим більше кут нахилу паралелограма, тим менше R_0 (рис. 2.6). Зі збільшенням кута нахилу паралелограма зменшується можливість робочих органів до заглиблення. Необхідно запобігати під час роботи глибокого занурення опорних котків секції в ґрунт, так як це призводить до порушення розрахункової глибини ходу робочих органів і збільшення опору перекочування. В процесі налагодження необхідний кут досягають зазвичай переміщенням опорного котка та регулюванням розташування бруса рами 1 шляхом регулювання опорних коліс 3 (рис. 2.3) по висоті.

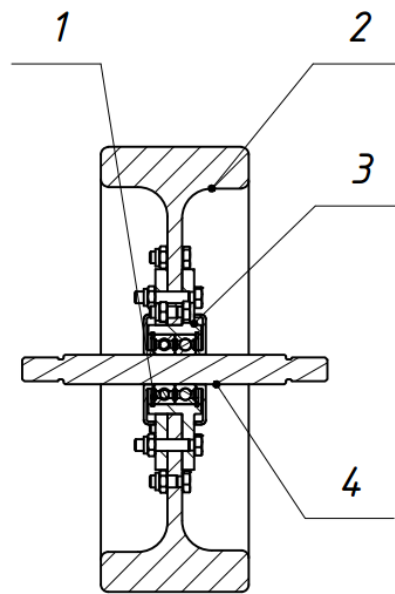


Рис. 2.8. Конструкція опорного колеса просапного культиватора, основні елементи: 1 – підшипники, 2 – напівдиски, бандаж, 3 – ступиця, 4 – вісь

Умова рівноваги секції в кінцевому рахунку зводиться до того, щоб сума сили Q , горизонтальних та вертикальних складових сил P , $R_{\Sigma x}$ і R_0 , які діють на секцію, була спрямована паралельно поверхні, що обробляється, ланки NL перпендикулярна LK і KM перпендикулярна NM . Значення суми цих сил дорівнювало нулю (рис. 2.5, 2.6, 2.7), тобто

$$\bar{P}_x + \bar{P}_z + \bar{R}_{\Sigma x} + \bar{R}_{\Sigma z} + \bar{Q} + \bar{R}_{ox} + \bar{R}_{oz} = 0. \quad (2.19)$$

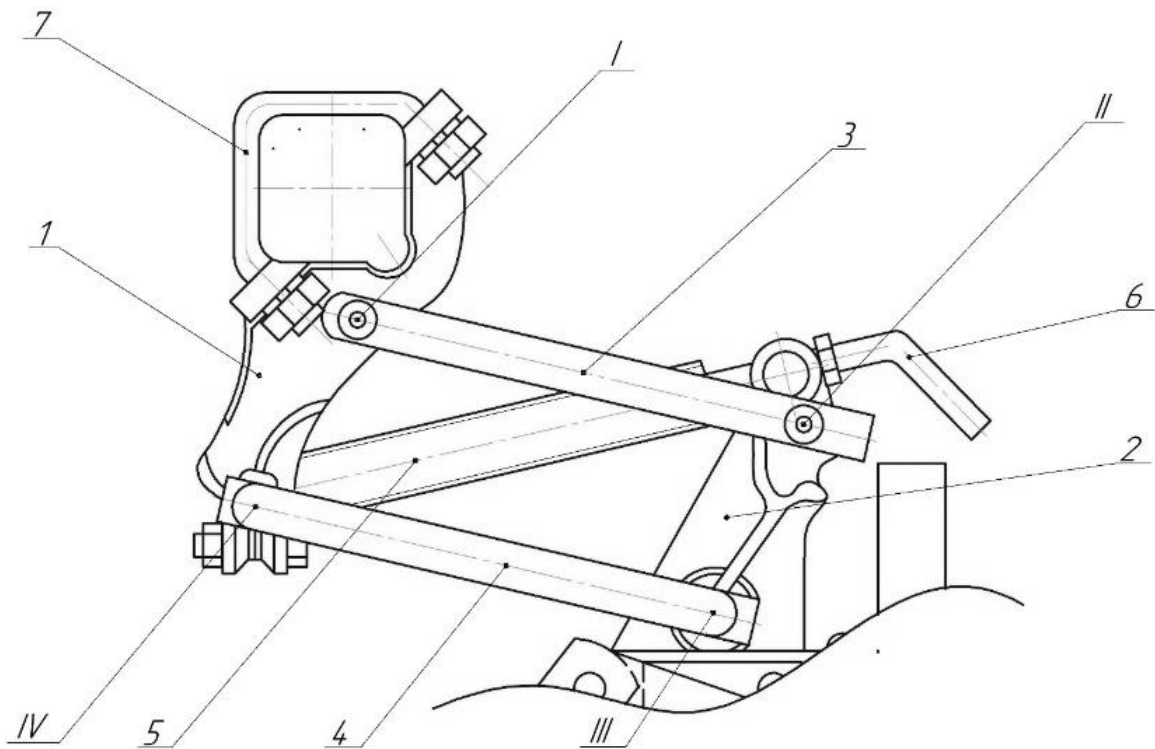


Рис. 2.9. Паралелограмний механізм:

1 – передній кронштейн, 2 – задній кронштейн, 3 – верхня ланка механізму, 4 – нижня ланка механізму, 5 – пружина, 6 – регулювальний гвинт, 7 – скоба-хомут, I, II, III, IV, – місця інтенсивного зносу

Позиціями I, II, III, IV наведені осі, які найбільше зношуються в процесі руху ланок паралелограмного механізму (рис. 2.9).

2.4. Вибір розмірів і геометрії стрілочастих універсальних лап просапних культиваторів

При міжрядній обробці просапним культиватором стійке виконання технологічного процесу забезпечено самоочищенням лез лап від нависаючих бур'янів. Дослідним шляхом доведено, що більш за все піддаються впливу забивання другого ряду, цей фактор залежить від складу ґрунту (додаток Б), засміченості, технологічних параметрів обробки, використання захисних щитків. Вибір величини кута розвалу 2γ залежить від умови ковзання по лезу

лапи бур'янів, відповідно до якої коріння і стебла рослин проходять по лезу лапи, цей кут встановлений дослідженнями та експериментами, витримується в усіх лапах, що виготовлені згідно стандарту (рис. 2.10).

Якщо величина кута γ більше допустимої, то виникає між стеблом і лезом сила тертя F стає більше сили опору T , що і призводить до забивання лапи, так як стебло бур'яну не сходить з леза [7, 10, 11].

При русі лапи в ґрунті на стебло бур'яну діє сила R , яка дорівнює силі, що зім'яла ґрунт бур'яном. Цю силу розкладають на тангенціальну T , яка діє вздовж леза, і нормальну N силу, тобто $T = R \cos \gamma$, $N = R \sin \gamma$.

Під дією T бур'ян буде переміщатися по лезу в тому випадку, якщо сила

$$T > F, \quad (2.20)$$

де F - сила тертя бур'яну по лезу ($F = f N$, тут $f = \operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт тертя бур'яну по лезу).

Підставивши в нерівність (2.21) значення T і N , отримують:

$$R \cdot \cos \gamma > R \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.21)$$

Або

$$\operatorname{tg}(90^\circ - \gamma) > \operatorname{tg} \varphi \quad (2.22)$$

Тоді

$$\gamma < 90^\circ - \varphi \quad (2.23)$$

Кут тертя бур'яну по лезу можна приймати $\varphi = 45^\circ$, тобто $\gamma < 45^\circ$ [7, 10, 11].

Величина сили R залежить в основному від типу ґрунту і її фізичного стану. Внаслідок цього для обробки різних типів ґрунтів пропонують використовували лапи з різним кутом γ . Так, наприклад, для обробки чорноземних ґрунтів використовували лапи з кутом розвалу $2\gamma = 50...58^\circ$; для

грунтів середньої зв'язності - $2\gamma = 60...78^\circ$ і для піщаних ґрунтів - $2\gamma = 70...80^\circ$ [7, 10, 11] (додаток Б).

Кут різання дорівнює сумі кутів: $\beta_0 = i + \varepsilon$, де i - кут загострення; ε - потиличний кут.

Загострення леза на розглянутих лапах знизу. Кут загострення приймають рівним 15° , а потиличний - $\varepsilon = 10^\circ$. Тому кут різання буде $\beta_0 = 25^\circ$.

Величину кута кришення β і кута підйому грудей лапи α (рис. 2.11) вибрано з умови забезпечення необхідного розпушування ґрунту без виносу нижніх шарів на зовнішню поверхню він становить $\beta = 24^\circ$.

Спосіб загострення леза залежить від величини кута кришення. Якщо кут кришення $\beta < 15^\circ$, то загострення виконують зверху, якщо $15^\circ < \beta < 25^\circ$ - то з двох сторін, при $\beta > 25^\circ$ - знизу. Для плоскоріжучих лап $\beta = 15...18^\circ$, для універсальних - $\beta = 20...30^\circ$ [7, 10, 11, 14, 15].

Кут підйому грудей лапи α є похідним від значень кутів γ і β , який визначають з їх тригонометричних співвідношень.

$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{tg}\beta \cdot \sin\gamma \quad (2.24)$$

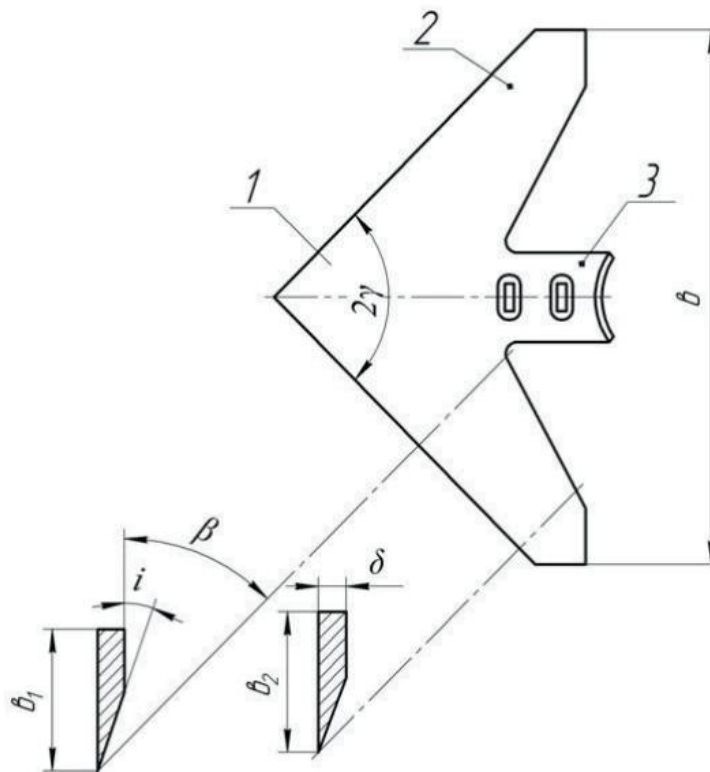


Рис. 2.10. Конструкція стрілкової лапи просапного культиватора, основні елементи: 1 – носова частина, 2 – крила, 3 – хвостовик [11, 15]

Товщини матеріалу лапи S залежить від її ширини захоплення B , ширина крила b , глибини обробки h_0 , типу ґрунтів і механічних властивостей сталі, з якої вона виготовлена. Орієнтовно товщину матеріалу лапи знаходять за емпіричною формулою $S < 0,02B$ (для просапних лап). На практиці використовують сталі 65Г і 70Г товщиною $S = 3 \dots 10$ мм [11].

Ширина захвату стрілкових універсальних лап обирають з умов стійкості ходу їх по глибині, умови самоочищення, а також виходячи з умов експлуатації. Для виконання умови самоочищення пропонують ширину захвату універсальних стрілкових лап приймати не більше 80 мм, а стрілкових - не більше 150 мм.

Процес роботи культиваторів для розпушування ґрунту подібний до роботи зубових борін, але характеризується більш широким діапазоном глибини обробки. Лапи працюють з пружинними стійками, які зменшують можливість забивання лап бур'яном за рахунок їх коливань, що сприяє самоочищенню.

2.5. Обґрунтування і розрахунок довговічності підшипників робочих коліс просапних культиваторів

Визначення коефіцієнту втомної довговічності f_h однорядного радіального шарикопідшипника 6204 (255 кгс), що працює під дією радіального навантаження $F_l = 2500$ Н, зі швидкістю обертання $n = 250$ обер/хв.

Номінальна вантажопідйомність C_r для підшипників 6204 складає 12800 Н [12]. Оскільки прикладене тільки радіальне навантаження, еквівалентне динамічне навантаження P може бути визначене наступним способом:

$$P = F_r = 2500 \text{ Н}, (255 \text{ кгс}) \quad (2.25)$$

Так як частота обертання складає 250 оберт/хв, тоді коефіцієнт швидкості f_n дорівнює

$$f_n = 0,51$$

Коефіцієнт втомної довговічності f_h , при цих умовах може бути розрахований наступним чином:

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0,51 \times \frac{12800}{2500} = 2,6 \quad (2.26)$$

Ця величина задовольняє промисловим вимогам та може використовуватися в виробництві сільгосптехніки, та, як ми бачимо з нормативних таблиць, відповідає 29000 робочих годин, або $29000/7=414$ змін. При умові однозмінної обробки поля просапним культиватором 20 днів в сезон розрахунковий термін служби підшипників $414/20=20,7$ років. Гарантійний термін служби культиватора 1 рік, тобто втрата втомної довговічності в гарантійний період виключена.

2.6. Висновок за другим розділом

1. Складання рівняння руху матеріальної точки полягає в визначенні активних сил та реакцій, що виконується на основі динаміки абсолютного руху матеріальної точки, першого та другого законів Ньютона.

2. Конструкція просапного культиватора відповідати вимогам стандартів.

3. За рахунок наявності в конструкції опорного котка збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя R_{ox} . Сила R_{oz} навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації.

4. Основою для вибору величини кута розвалу 2γ є умова, відповідно до якої коріння і стебла рослин повинні ковзати по лезу лапи. Цим досягається процес різання з ковзанням, яке полегшує перерізання бур'янів або їх сходження з леза лапи, якщо перерізання не відбудуться.

5. При умові однозмінної обробки поля просапним культиватором 20 днів в сезон розрахунковий термін служби підшипників $414/20=20,7$ років. Гарантійний термін служби культиватора 1 рік, тобто втрата втомної довговічності в гарантійний період виключена.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОВЕДЕННЯ ПОЛЬОВИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Вибір та характеристика об'єкта експериментальних досліджень

Наукова постановка дослідів та спостережень процесу зношення лап та підшипників в умовах обробки ґрунтів різної щільності та складу дозволяє аналізувати та прогнозувати періодичність технічного обслуговування просапних культиваторів, раптові, поступові відмови, відмови релаксації.

Відтворити експеримент для точності дослідження необхідно в польових умовах з використанням вимірювальних пристосувань та випробувальних стендів, заміри проводити частково в лабораторних умовах (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Випробування стійкості ходу лап просапного культиватора [8]

Польові дослідження проводяться з просапними культиваторами, фіксуються період та умови їх експлуатації.

Досліджувані параметри (в умовах різних типів ґрунтів):

- сталість роботи просапного культиватора,
- виконання агротехнічних вимог,
- оптимальний розмір лап,
- період зношення лап просапних культиваторів,

- період зношення закритих радіальних шарикопідшипників,
- період зношення відкритих радіальних шарикопідшипників.

Результати експериментів мають відповідати трьом статистичним вимогам:

- вимога ефективності оцінок,
- вимога спроможності оцінок,
- вимога незміщеності оцінок.

Найбільш розповсюдженим у сучасних дослідженнях є активний експеримент, оскільки він забезпечує одержання швидких, точних і ефективних результатів відповідно до специфіки досліджуваних явищ і процесів. Пояснюється це тим, що параметри перемінних, використовуваних величин, використаних у зазначеній моделі, ми не задаємо в необхідний момент часу, а визначаємо на підставі фіксування досліджуваного об'єкта. Це, у свою чергу, свідчить про необхідність проведення експерименту, що носить пасивний характер, що дозволило спостерігати процеси, аналізувати їх по вихідних параметрах досліджуваної системи.

Кожне дослідження залежить від типу самого експерименту і розв'язуваної в ході його проведення задачі. Однак першим етапом будь-якого експерименту є об'єкт дослідження. Від правильного вибору такого об'єкта залежить як вірогідність, так і узагальнюючий характер одержуваної інформації. Для формування масиву необхідної інформації обраний об'єкт повинен мати широкий діапазон зміни стану системи і при цьому задовольняти ряду вимог.

Об'єктом експериментальних досліджень є функціонування машинно-тракторних агрегатів в агрофірмах ТОВ «Жива нива», ТОВ «Наталка», СФГ «Перлина».

Вибір об'єкта дослідження обумовлений наступними причинами:

- необхідністю дослідження процесів функціонування машинно-тракторних агрегатів в агрофірмах;
- приналежністю сільськогосподарської техніки до різних форм власності;

- адаптацією виробничо-технічної бази (ВТБ) існуючих агрофірм до сучасних моделей с-г техніки як вітчизняної, так і закордонної.

3.2. Мета і завдання експериментальних досліджень

Основною метою і завданням експериментальних досліджень є встановлення режимів роботи просапного культиватора оптимальних для виконання в результаті міжрядного обробітку таких завдань [16]:

- зменшення непродуктивні втрати вологи з ґрунту,
- збільшення в ґрунті вмісту повітря,
- прискорення проходження в ґрунті біологічних процесів,
- знищення бур'яну і частково шкідники та збудники хвороб рослин.

У процесі натурного експерименту досліджується робота просапного культиватора в полі, технічні параметри просапного культиватора.

Модельний експеримент здійснюється на 3-D моделях виконаних за допомогою програми «Autodesk Inventor» і дає змогу найповніше вивчити об'єкт і пов'язані з ним процеси.

У результаті експериментального дослідження була отримана велика інформація про зміну радіального зазору підшипників коліс та профілю просапних лап та інших параметрів культиваторів.

Необхідно відзначити, що для великих проміжків часу (рік, квартал, місяць) потоки відмов і відновлень усередині періоду можна прийняти стаціонарним. Їхні наслідки нейтралізуються за допомогою організаційних мір. Однак усередині невеликих періодів часу (тиждень, день) можливості регулювання цих потоків більш обмежені і складні в реалізації. Тому облік впливу нестаціонарності потоків вимог є важливим.

Зміна конструктивних параметрів просапного культиватора залежить від умов роботи просапного культиватора, його призначення, культури, яка

обробляється, та інших факторів конструктивних та технологічних, що впливають на якість обробки та виконання агротехнічних вимог.

3.3. Проведення польових досліджень

3.3.1. Методика проведення польових експериментальних досліджень радіального зазору котка

Контроль справності опорного котка включає огляд, перевірку бандажу і легкості обертання, вимір радіального зазору. При наявності зрушення обойм на валу або корпусі, підшипник замінюють.

Пристосування (рис. 3.2) для контролю радіального зазору опорного котка складається з кронштейну фіксуючих бовтів, затискного кулачка, індикатора годинникового типу.

Кронштейн нерухомо фіксують на стійці опорного котка за допомогою бовта та кулачка, в пазах встановлюють індикатор в положенні «0», фіксують індикатор. Вимірювання виконується шляхом підйому опорного котка в радіальному напрямку, необхідне зусилля не менше 4 кг, визначення радіального зазору виконують по циферблату індикатора.

Фіксується середнє значення декількох вимірів.



Рис. 3.2. Пристосування для вимірювання радіального зазору котка

3.3.2. Методика проведення польових випробувань лап просапних культиваторів

Розміщення лап на культиватор (рис. 3.3) було обрано таким, щоб виключалася можливість заклинювання між сусідніми лапами бур'яну і ґрунту, відповідно агротехнічним вимогам обробка поля повинна виконуватися без пропусків [6, 7, 10, 11].

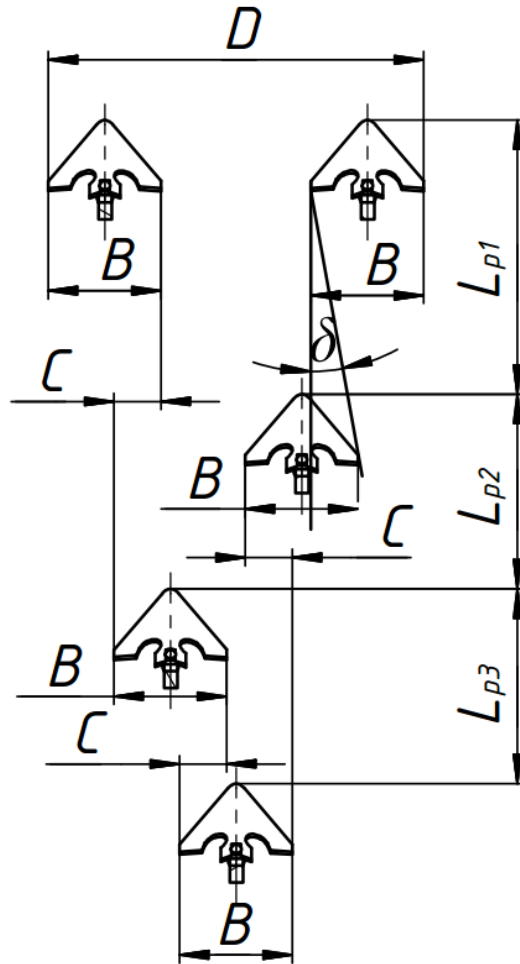


Рис. 3.3. Схема розміщення стрілочастих лап культиватора

Відстань між рядами лап визначається за формулою [7, 9, 10, 11, 15]:

$$L_p \geq l_3 + L, \quad (3.1)$$

де L - виліт лапи;

$$l_3 = h_0 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi); \quad (3.2)$$

φ - кут тертя ґрунту по металу.

Тоді

$$L_p \geq h_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha + \varphi + L \quad (3.3)$$

З урахуванням напрямків сколювання ґрунту можливі граничні значення поширення зони деформації ґрунту в поздовжньому напрямку становлять [7, 9, 10]:

$$L_{P\max} = h_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha + \varphi + \frac{\omega}{2} + L; \quad (3.4)$$

$$L_{P_{\max}} = h_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha + \varphi - \frac{\omega}{2} + L \quad (3.5)$$

Розміщення лап на секції культиватора було виконано трирядним, перекриття між сусідніми лапами $S=60$ мм. Величину відстані між сусідніми лапами і їх рядами обрано з умов поширення зон деформування ґрунту при дії на нього лап культиватора $L_{p1} = 500$ мм, $L_{p2} = L_{p3} = 250$ мм. Відповідно до теорії найбільших дотичних напружень напрямки, за якими може руйнуватися шар ґрунту внаслідок сколювання, розташовуються симетрично щодо сили R під кутом ω один до іншого, де $\omega = 40^\circ \dots 50^\circ$ для ґрунтів [7, 10]. В середньому напрямком сколювання ґрунту істотно не відхиляється від напрямку сили R .

Навантаження, які сприймають лапи культиватора першого ряду, приблизно в 2 рази більше навантажень, які сприймають лапи другого ряду, так як лапи першого ряду працюють в ґрунті, який ще не деформований [7, 10, 11, 15]. Ширину захвату лап прийнято $B = 150$ мм.

В результаті експерименту встановлено, що на важких ґрунтах стійкого ходу секції культиватора досягають також шляхом використання лап шириною $B = 110$ мм (додаток Д).

Розміщення робочих органів (рис. 3.4) відповідає міжряддю 700 мм. Крайні лапи розташовані з урахуванням захисної зони $e = 10$ см від рослин, щоб не допустити їх пошкодження при роботі культиватора. Пошкодження може виникнути, як від безпосереднього дії лап на рослини, так і від порушення кореневої системи рослин при дії на них зони деформування ґрунту, яке створюють лапи під час роботи.

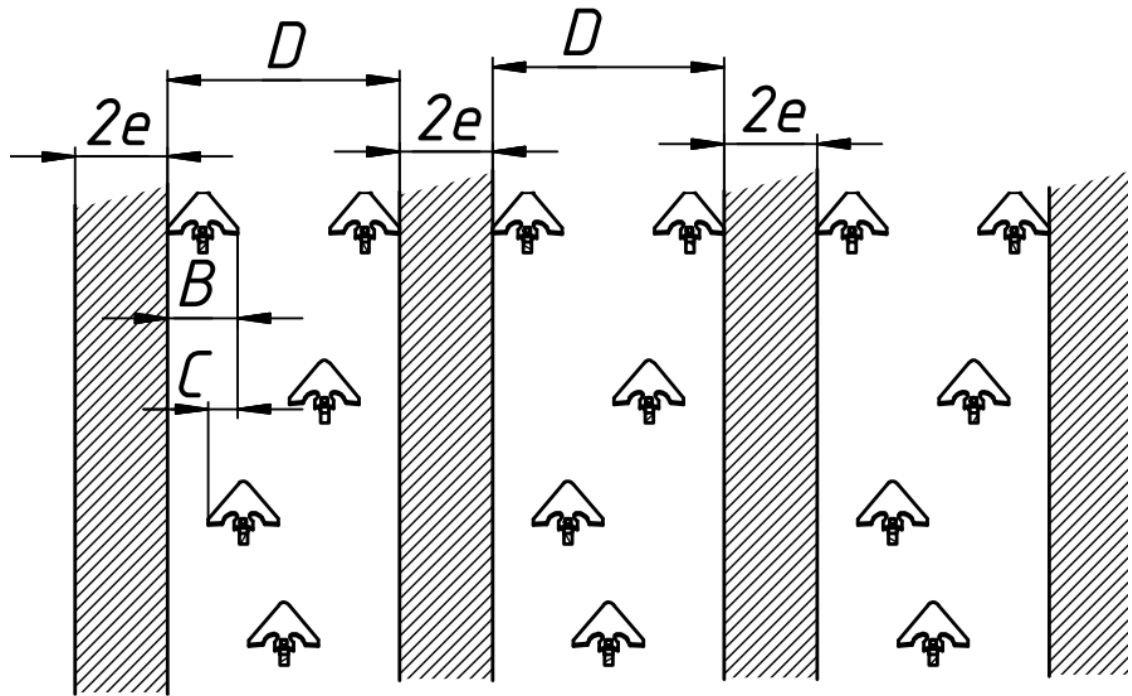


Рис. 3.4. Схема розміщення захисних зон при обробці

Таблиця 3.1

Розміри захисних зон та питомого опору в залежності від глибини обробки

Глибина обробки, см	Захисна зона e , см	Питомий опір обробки, кН/м
4	8-10	0,8-1,1
6	8-10	1,0-1,3
8	10-12	1,0-1,3
10	12-14	1,1-1,7
12	14-16	1,1-1,7

Опорні колеса на культиватор розташовані по ходу таким чином, щоб в робочому положенні вони переміщалися за межами зони деформування ґрунту і щоб був забезпечений вільний прохід розпушеному ґрунту.

Таким чином виконується умова

$$S \geq 2h_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha + \varphi_{\max} + (60 \dots 100) \text{ мм}, \quad (3.6)$$

де (60 ... 100) мм – величина, якою враховується вдавнення колеса в ґрунт.

На рис. 3.5 наведено форми лап просапних культиваторів.

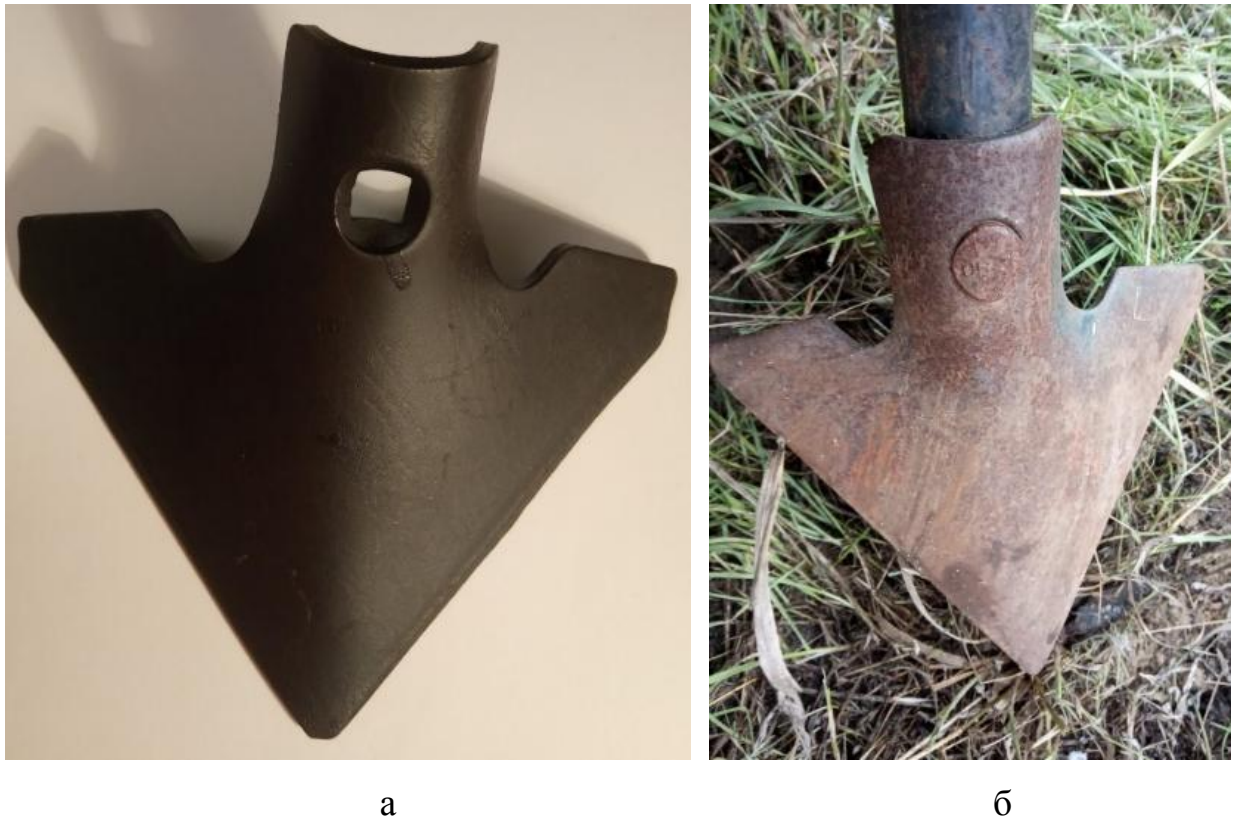


Рис. 3.5. Форми лап просапного культиватора:

а – нова, б – зношена

Результати зміни периметру зношення лап просапних культиваторів наведено в таблицях 3.2, 3.3.

Таблиця 3.2

Периметр зношення лап просапних культиваторів шириною $B=110$ мм після обробки 100 га при глибині обробки 6 см, %

№ дослід	%	№ дослід	%	№ дослід	%	№ дослід	%	№ дослід	%
1	4,1	7	4,9	13	7,1	19	4,4	25	6,8
2	7,5	8	3,9	14	5,1	20	5,3	26	5,3
3	6,0	9	6,8	15	5,7	21	4,3	27	4,8
4	6,1	10	5,8	16	7,3	22	4,0	28	6,3
5	3,7	11	7,6	17	8,1	23	4,5	29	6,1
6	6,6	12	3,8	18	7,4	24	6,0	30	6,7

Таблиця 3.3

Периметр зношення лап просапних культиваторів шириною $B=150$ мм після обробки 100 га при глибині обробки 6 см, %

№ досліду	%	№ досліду	%	№ досліду	%	№ досліду	%	№ досліду	%
1	4,5	7	5,8	13	8,4	19	7,7	25	6,1
2	6	8	3,8	14	5,9	20	5,8	26	8,6
3	5,1	9	3,5	15	4	21	5,6	27	8,3
4	3,6	10	4,9	16	8,1	22	6,0	28	6,8
5	4,1	11	4	17	5,5	23	8,2	29	7,3
6	6,3	12	7,4	18	4,5	24	8,0	30	6,8

3.4. Методика проведення лабораторних експериментальних досліджень підшипників просапних культиваторів

Радіальний, "тепловий", зазор в радіальному шарикопідшипнику, компенсує температурне розширення деталей підшипника при нагріванні в процесі роботи і не дає можливість підшипнику "заклинити" при критично високих температурах (рис. 3.6) [17, 18]. Зазор є одним з важливих чинників, що впливають на довговічність роботи підшипника.

В конструкції просапного культиватора, що розглядається обрано підшипник з нормальним зазором, який працює в таких умовах [17, 18]:

- відносно невеликі частоти обертання та навантаження;
- зовнішні кільця монтується в корпус з зазором;
- внутрішні кільця монтується в отвір з натягом.

Нормальна група забезпечує задовільну роботу підшипникового вузла при звичайних, для більшості випадків посадках та температурних умовах.

Вибір підшипника з оптимальним для цих умов експлуатації радіальним або осьовим зазором дозволяє забезпечити раціональний розподіл навантаження між тілами кочення, максимальне зменшення вібрації підшипника при роботі, зменшення шуму, що виникає при роботі підшипника.

Підшипник, що використано в розглядаємих конструкціях культиваторів виготовляється по нормальній групі радіального зазору, яка забезпечує при

звичайних для більшості випадків посадках і температурних умовах задовільну роботу підшипникового вузла.

Контроль радіальних підшипників кочення включає огляд, перевірку на шум і легкість обертання, вимір осьового і радіального зазорів, вимір розмірів кілець. Діаметри кілець вимірюються тільки у разі зрушення обойм на валу або корпусі, а також за наявності слідів корозії, опіків і появи чорноти [18].

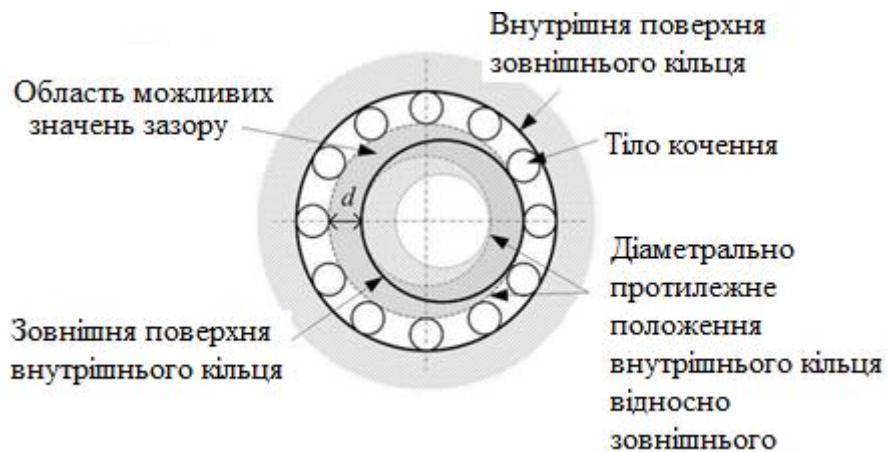


Рис. 3.6. Геометричні параметри радіального зазору підшипника кочення

Дефектація радіальних шарикопідшипників виконується по радіальному зазору [17, 18].

Порядок контролю підшипників кочення має бути наступним:

- огляд,
- перевірка на шум і легкість обертання,
- вимір радіального зазору і кілець.

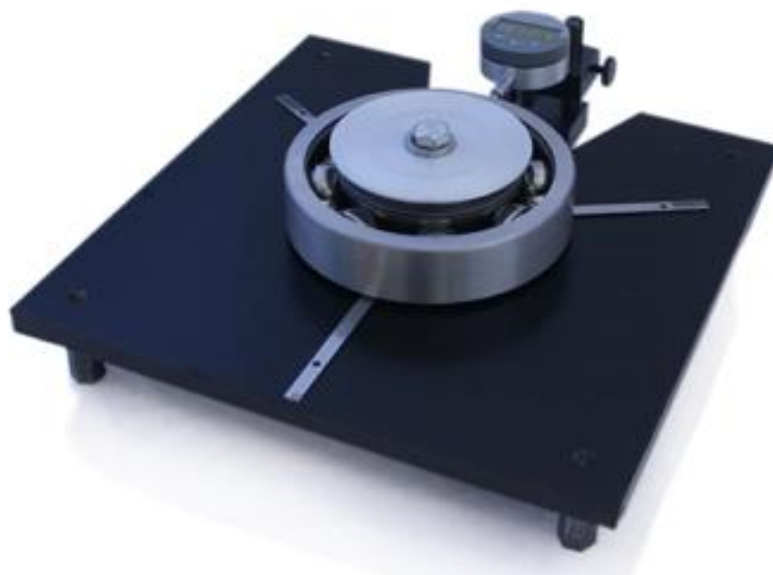


Рис. 3.7. Пристосування для вимірювання радіального зазору підшипника

Пристосування (рис. 3.7) для визначення радіального зазору в підшипнику кочення містить основу з перпендикулярно встановленим на ній центратором, фіксація виконується за допомогою притискної шайби та бовта. На кронштейн встановлений індикатор цифрового або годинникового типу.

Встановлюють підшипник кочення на центратор і фіксують його гайкою на вказаному диску за допомогою притискної шайби і бовта, закріплюючи, тим самим, внутрішнє кільце підшипника кочення. Зрушують до упору зовнішнє кільце підшипника в сторону центратора і фіксують значення на індикаторі, наприклад, годинного типу ИЧ- 5 або цифрового ИЦ 0-5 будь-яких виробників.

Навантаження відповідно до ГОСТ 520-2011 повинно відповідати значенню в 25 Н, таким чином, сила притискання має бути не менше 2,5 кг. З метою компенсації можливого відхилення від круглості зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника кочення повторюють вимір кілька разів в різних кутових положеннях зовнішнього кільця підшипника кочення. Причому різні кутові положення зовнішнього кільця підшипника кочення досягаються шляхом ручного кругового переміщення кільця.

Середнє значення декількох вимірів є шуканий радіальний проміжок підшипника кочення.



а

б

Рис. 3.8. Радіальні шарикопідшипники:

а – відкритого, б – закритого типу



Рис. 3.9. Радіальний шарикопідшипник відкритого типу, зношений,
робочі поверхні

Таким чином проведені польові випробування показали, що зношення радіальних шарикопідшипників після обробки площі 1000 га становить:

- закритих $d=24\dots35$ мкм;
- відкритих $d=41\dots89$ мкм.

Зношення периметру лап після обробки 100 га становить:

- при $V=110$ мм – 3,7...8,1%;
- при $V=150$ мм – 3,5...8,6%.

Результати зміни радіального зазору підшипників просапних культиваторів наведено в таблицях 3.4 - 3.6.

Таблиця 3.4

Розмір радіального зазору радіальних шарикопідшипників в стані
постачання, мкм

№ досліду	d, мкм	№ досліду	d, мкм	№ досліду	d, мкм	№ досліду	d, мкм	№ досліду	d, мкм
1	16	7	11	13	19	19	18	25	11
2	19	8	18	14	18	20	14	26	16
3	12	9	13	15	19	21	13	27	13
4	8	10	16	16	14	22	16	28	16
5	14	11	15	17	13	23	16	29	14
6	18	12	16	18	13	24	15	30	17

Таблиця 3.5

Розмір радіального зазору закритих радіальних шарикопідшипників після обробки 1000 га, мкм

№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм
1	26	7	34	13	27	19	28	25	26
2	25	8	25	14	29	20	28	26	31
3	28	9	28	15	26	21	27	27	34
4	33	10	27	16	24	22	34	28	28
5	35	11	31	17	28	23	32	29	33
6	27	12	26	18	27	24	28	30	31

Таблиця 3.6

Розмір радіального зазору відкритих радіальних шарикопідшипників після обробки 1000 га, мкм

№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм	№ досліджу	d, мкм
1	53	7	73	13	69	19	41	25	51
2	61	8	89	14	47	20	46	26	69
3	63	9	56	15	82	21	48	27	58
4	83	10	80	16	81	22	62	28	80
5	47	11	87	17	42	23	85	29	55
6	67	12	59	18	57	24	72	30	65

3.5. Методика обробки експериментальних даних

3.5.1. Визначення параметрів закону експериментального розподілу

Експериментальна ймовірність [18] попадання випадкової величини в інтервали:

$$S_i = \frac{m_i}{n}, \quad (3.7)$$

де m_i - експериментальні частоти попадання випадкової величини в інтервали;

i - номер інтервалу, $i=1;2;\dots;N$;

n - загальна кількість експериментальних спостережень.

Експериментальна щільність ймовірності визначається для кожного інтервалу:

$$q_i = \frac{S_i}{h_N}, \quad (3.8)$$

де h_N - довжина інтервалів.

Математичне сподівання випадкової величини:

$$M_t = \sum_{i=1}^N t_i \cdot S_i, \quad (3.9)$$

де t_i - поточне значення випадкової величини (середини інтервалів);

Дисперсія випадкової величини:

$$D_t = \sum_{i=1}^N (M_t - t_i)^2 \cdot S_i. \quad (3.10)$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma_t = \sqrt{D_t}. \quad (3.11)$$

Коефіцієнт варіації:

$$v = \frac{\sigma_t}{M_t}. \quad (3.12)$$

3.5.2. Апроксимація експериментальної функції теоретичним законом розподілу

Під апроксимацією експериментальної функції [19, 20] розуміють вибір теоретичного закону розподілу.

У практиці математичної статистики відома достатньо велика кількість таких законів. Для спрощення практичних робіт візьмемо декілька найбільш

поширених та не дуже складних теоретичних законів, які описують безперервні випадкові величини.

Теоретична щільність імовірності, яка називається диференціальною функцією розподілу, для нормального розподілу визначається за формулою:

$$f(t_i) = \frac{1}{\sigma_t \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t_i - M_t)^2}{2 \cdot \sigma_t^2}} \quad (3.13)$$

де t_i - поточне значення випадкової величини (середина інтервалу).

3.6. Результати експериментальних досліджень

За методикою, наведеної в підрозділі 3.5, оброблені експериментальні дані та одержані графіки розподіли зносу профілю універсальних стрілочастих лап № 150 агрофірм ТОВ «Жива нива», ТОВ «Наталка», СФГ «Перлина» (рис. 3.10 – 3.14).

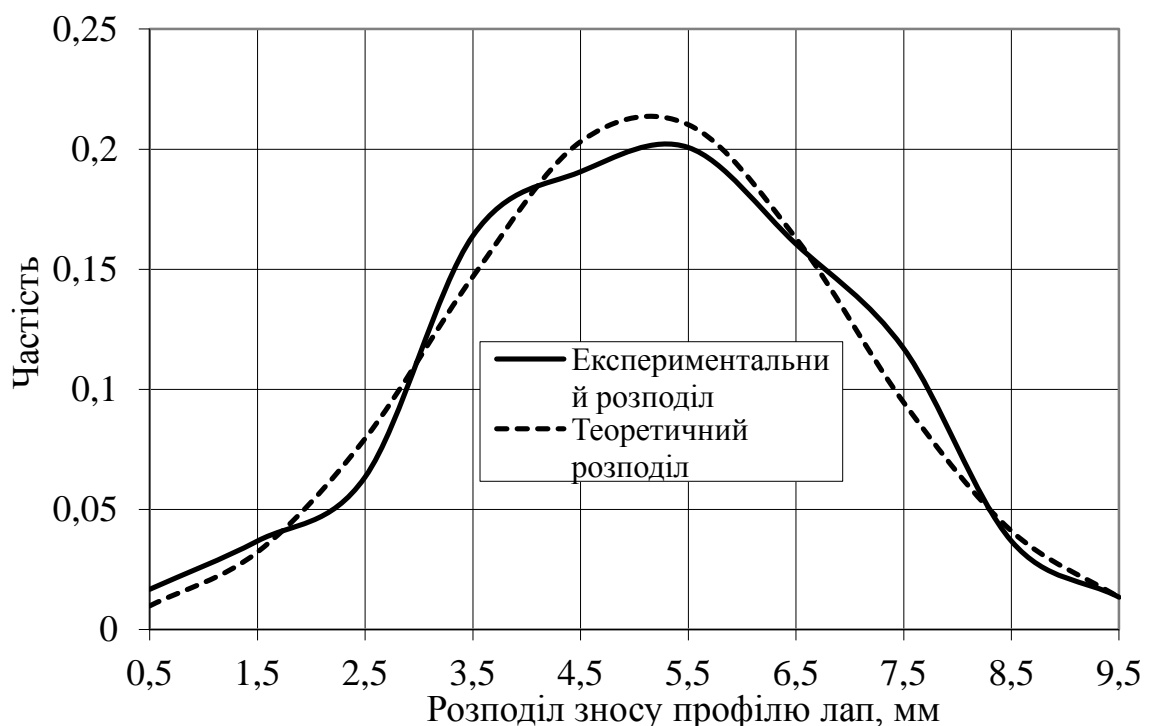


Рис. 3.10. Розподіл зносу периметру універсальних стрілочастих лап № 150 агрофірми ТОВ «Жива нива» після культивування 100 га площі

$$S_{cp} = 5,19 \text{ мм}, \sigma_s = 1,66 \text{ мм}, v = 0,320$$

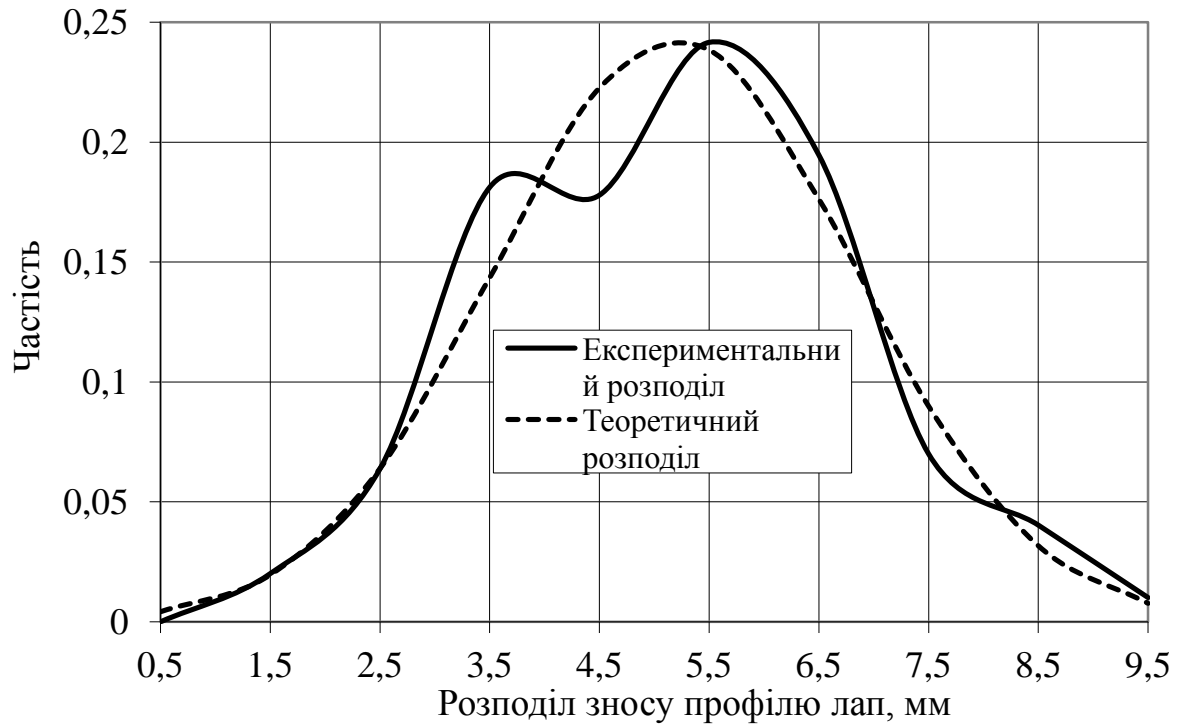


Рис. 3.11. Розподіл зносу периметру універсальних стрілочастих лап № 110 агрофірми ТОВ «Наталка» після культивування 100 га площі
 $S_{cp}=5,18$ мм, $\sigma_S=1,64$ мм, $v=0,317$

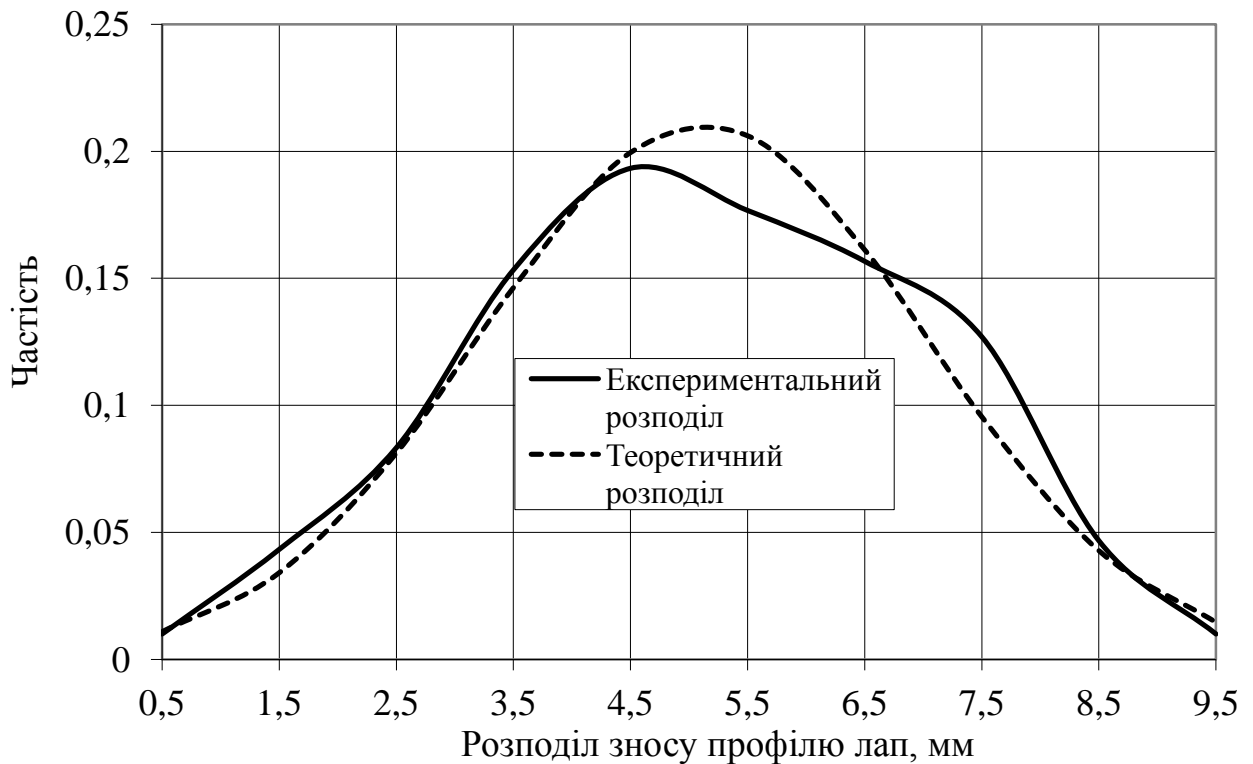


Рис. 3.12. Розподіл зносу периметру універсальних стрілочастих лап № 150 агрофірми СФГ «Перлина» після культивування 100 га площі
 $S_{cp}=5,12$ мм, $\sigma_S=1,90$ мм, $v=0,371$

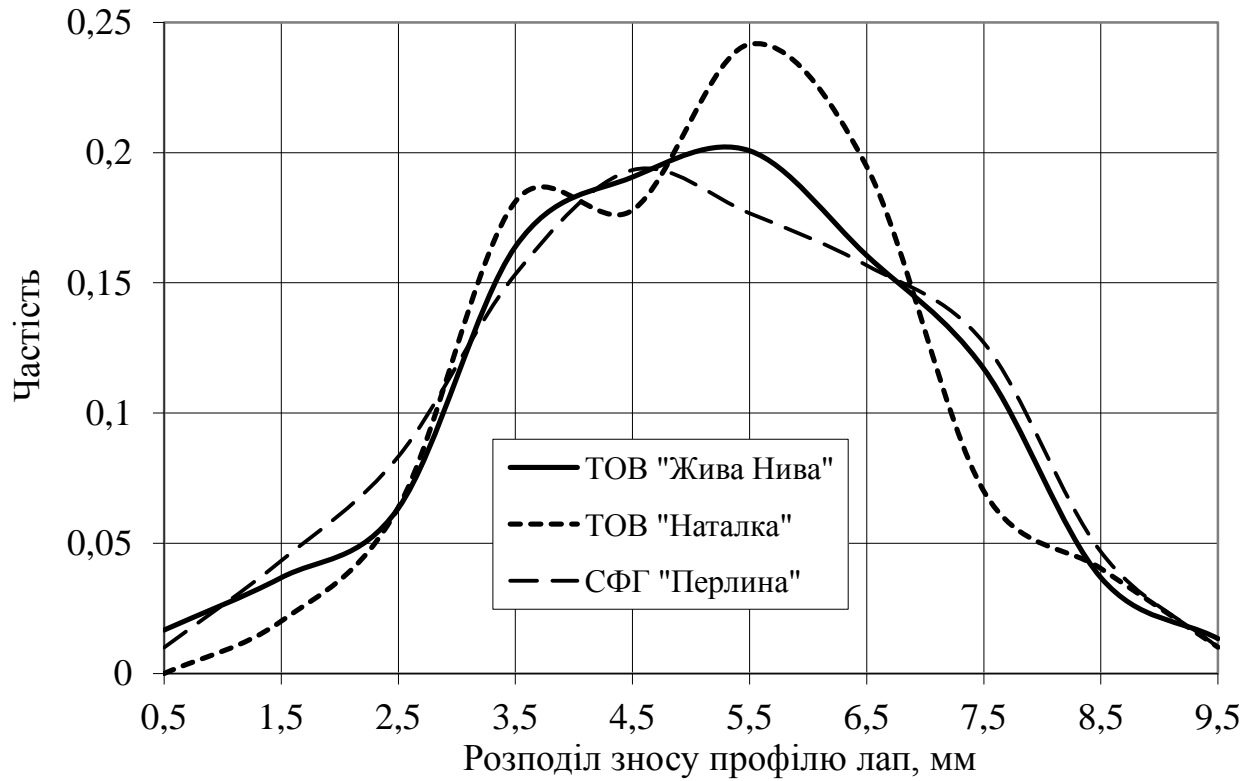


Рис. 3.13. Експериментальний розподіл зносу периметру універсальних стрілочастих лап № 150 агрофірм після культивування 100 га площі

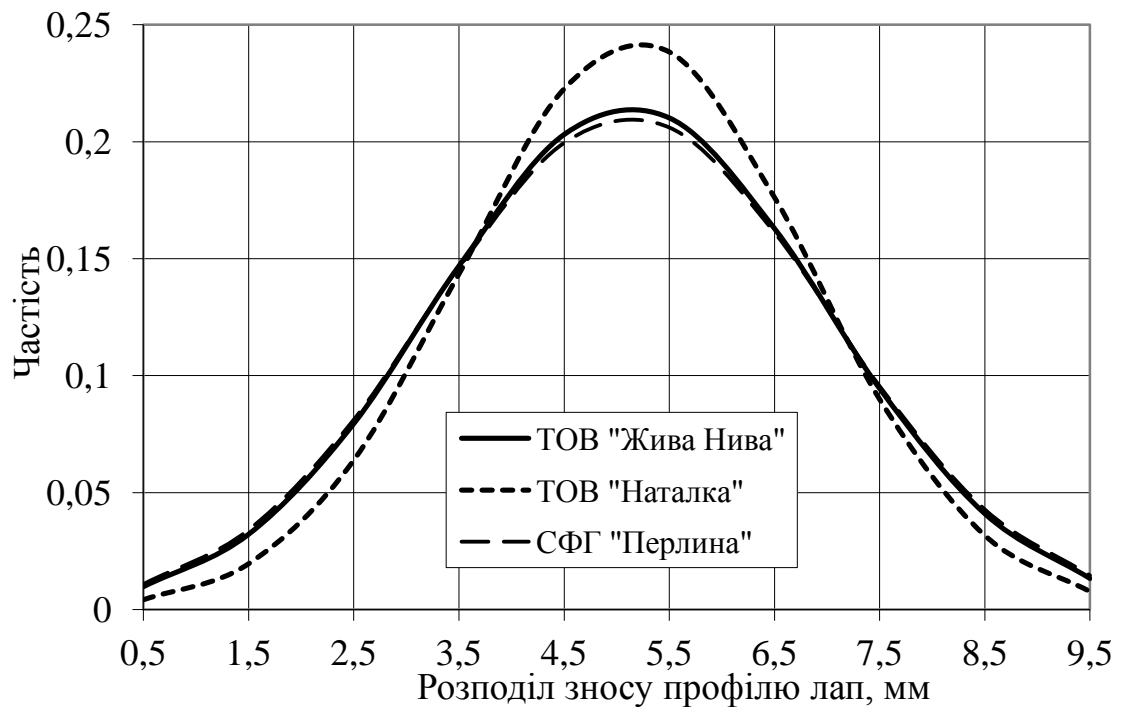


Рис. 3.14. Теоретичний розподіл зносу периметру універсальних стрілочастих лап № 150 агрофірм після культивування 100 га площі

Вимірено, проаналізовано, та одержано графіки експериментального і теоретичного розподілів зміни радіального зазору нових захищених та незахищених підшипників коліс просапних культиваторів (рис. 3.15 – 3.17).

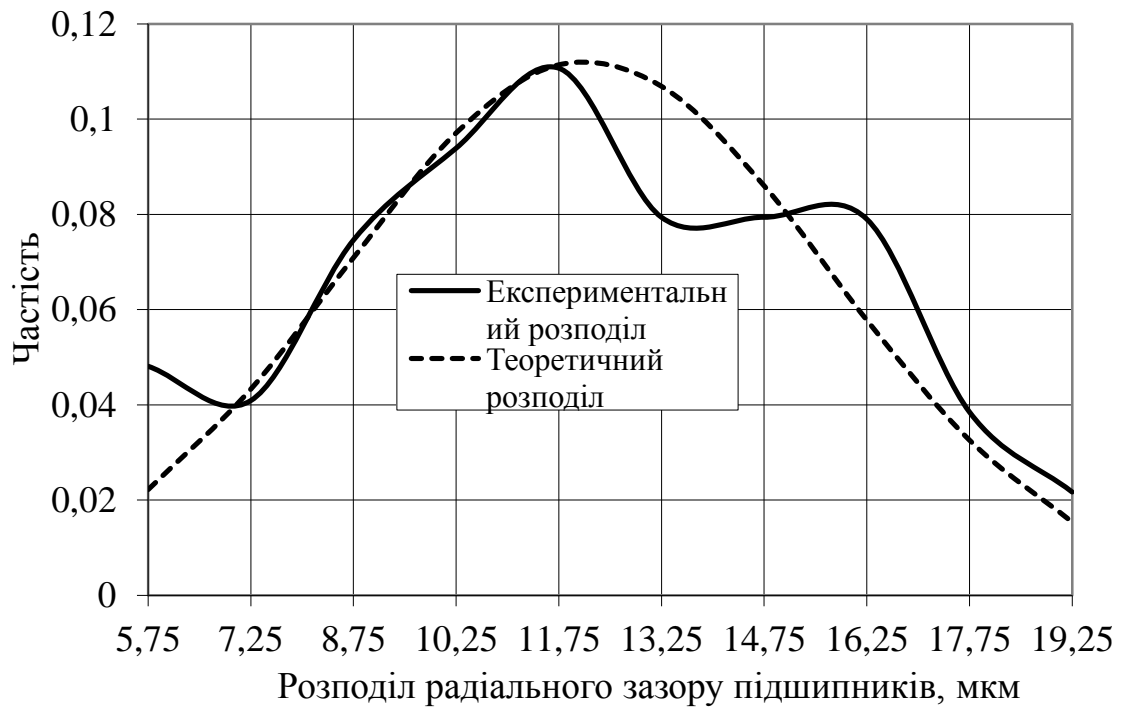


Рис. 3.15. Розподіл радіального зазору нових підшипників коліс культиваторів
 $d_{cp}=12,16$ мкм, $\sigma_d=3,56$ мкм, $v=0,293$

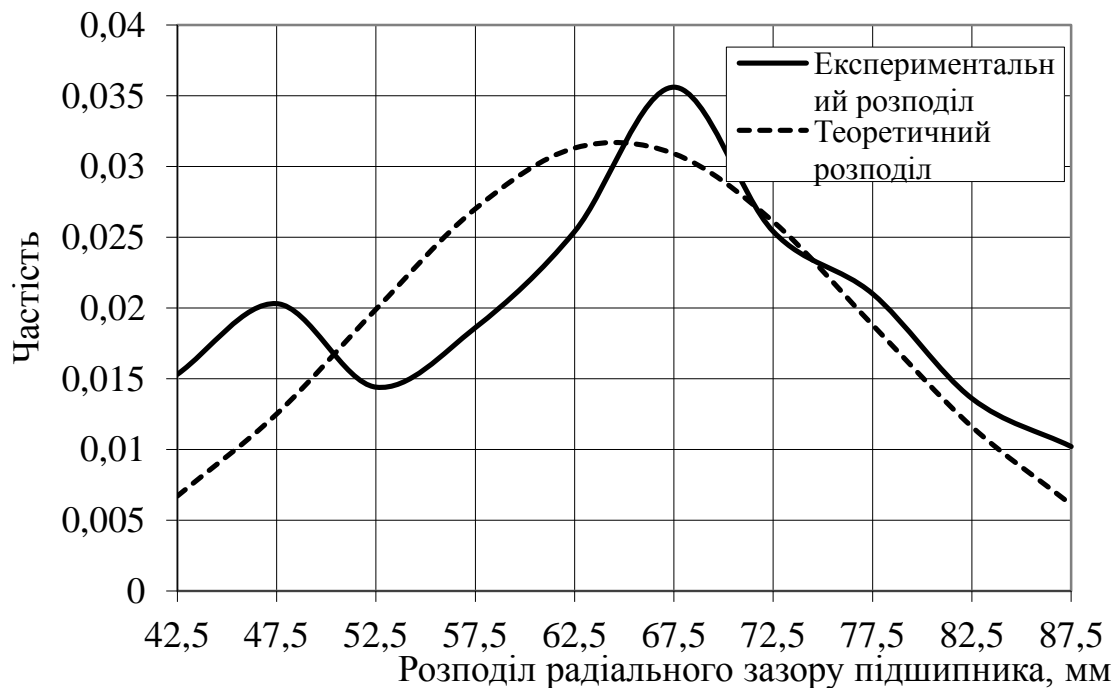


Рис. 3.16. Розподіл радіального зазору відкритих підшипників коліс культиваторів після культивації 1000 га площі
 $d_{cp}=64,64$ мм, $\sigma_d=12,58$ мм, $v=0,195$

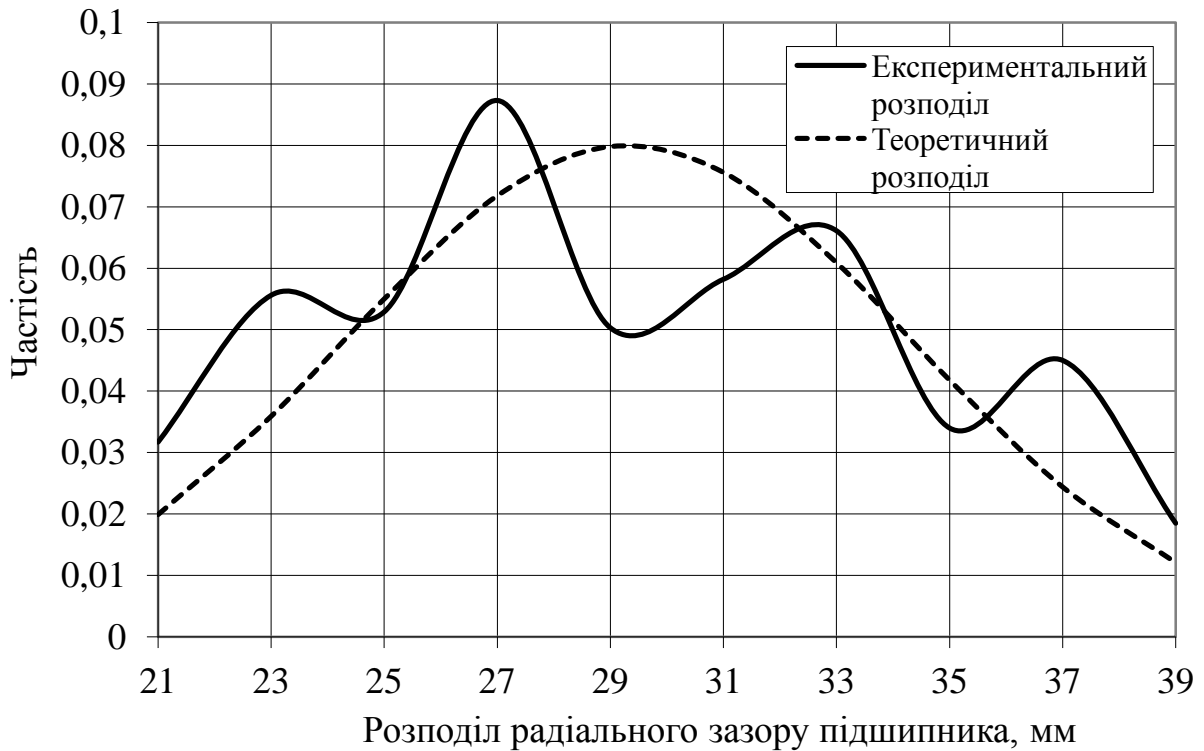


Рис. 3.17. Розподіл радіального зазору закритих підшипників коліс культиваторів після культивації 1000 га площі
 $d_{cp}=29,32$ мм, $\sigma_d=4,99$ мм, $v=0,170$

3.7. Висновки за третім розділом

1. Аналіз та прогнозування періодичності технічного обслуговування просапних культиваторів, раптові, поступові відмови, відмови релаксації необхідно проводити в результаті польових експериментів з використанням вимірювальних пристосувань та випробувальних стендів, заміри проводити частково в лабораторних умовах.

2. Об'єктом експериментальних досліджень є функціонування машинно-тракторних агрегатів в агрофірмах ТОВ «Жива нива», ТОВ «Наталка», СФГ «Перлина», які знаходяться в різних агрогрунтових районах України.

3. Проведені польові випробування показали, що зношення радіальних шарикопідшипників після обробки площі 1000 га становить: закритих $d=24\dots35$ мкм; відкритих $d=41\dots89$ мкм. Зношення периметру лап після обробки 100 га становить: при $B=110$ мм – 3,7...8,1%; при $B=150$ мм – 3,5...8,6%.

4. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА

4.1. Оцінка реакції ґрунту на опорний коток та навантажень на лапи просапного культиватора в заданих режимах обробки

Встановлено, що процес взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з абразивними частинками, що містяться в ґрунті при їх переміщенні характеризується дією абразиву ґрунту на клин з плоскою або криволінійною робочою поверхнею. Дія ґрунту на клин залежить від характеру деформування матеріалу, параметрів клину, фізико-механічних властивостей та стану ґрунту, швидкості його переміщення [14].

При переміщенні пласта ґрунту по клину (рис. 4.1) в точці М на робочу поверхню діють сили: маса пласта Q . Динамічний тиск N та сила тертя $F_{тр}$.

Величину абразивного зношення лапи по товщині I_h характеризують функції від наступних факторів:

$$I_h = f(\rho, L, H_\mu, m, S), \quad (4.1)$$

де ρ – нормальний питомий динамічний тиск ґрунту;

L – шлях тертя;

H_μ – твердість матеріалу лапи;

m – показник зносостійкої здатності абразивних часточок;

S – площа тертя.

Масу елемента ґрунту, що знаходиться на клині описують наступні параметри:

$$Q = a b l \rho g, \quad (4.2)$$

$$Q = a b l \rho g \cos \varepsilon, \quad (4.3)$$

де ε – кут між полярною віссю та радіусом кривизни ріжучої кромки;

ρ – щільність ґрунту.

Поряд з цим необхідно відзначити, що значення реакції ґрунту зростає відповідно збільшенню розміру ширини лапи (рис. 4.2, 4.3), а реакція на опорний коток (підшипник) залежить від геометричного положення сили $R_{\Sigma z}$, та визначається шляхом створення силових багатокутників (рис. 4.4) (додаток Д).

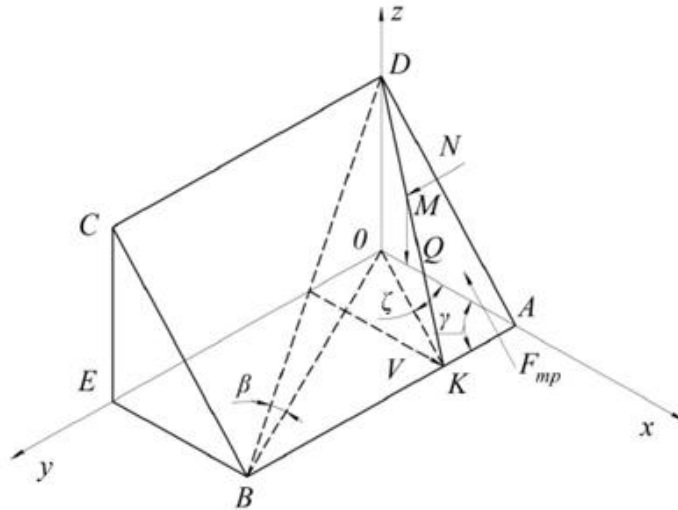


Рис. 4.1. Геометричні параметри навантаження на лапи культиватора при обробці ґрунту [14]

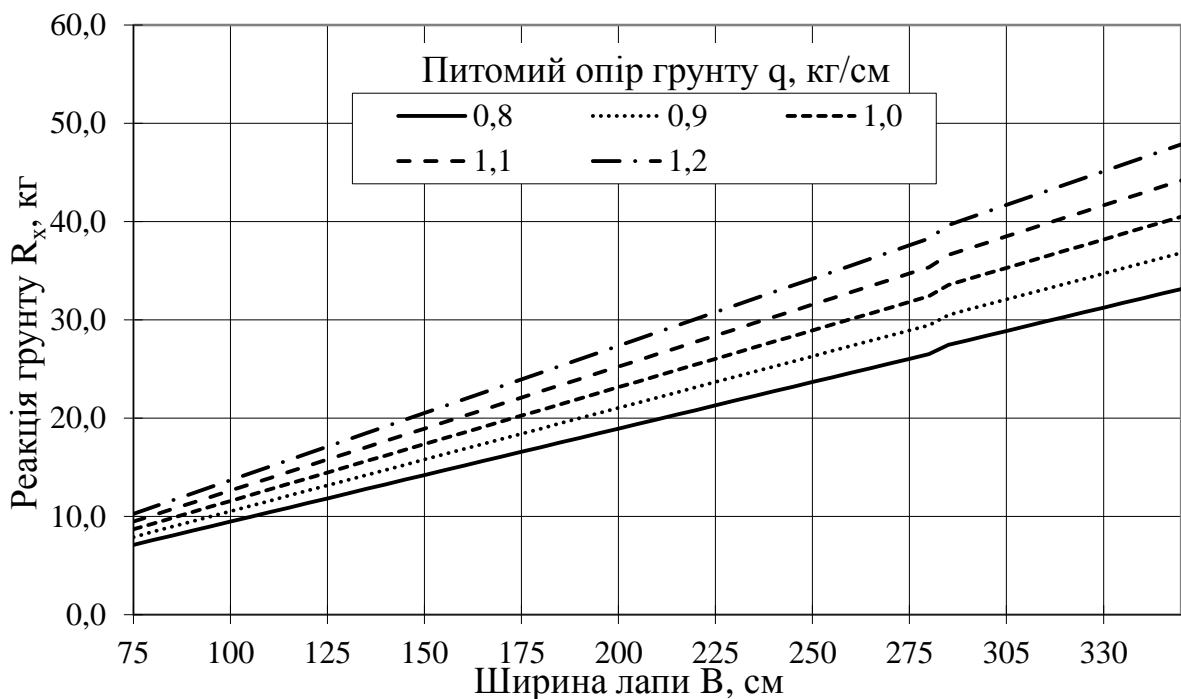


Рис. 4.2. Значення реакції ґрунту R_x при ширині лапи B в залежності від питомого опору ґрунту q , $\psi=18^\circ$

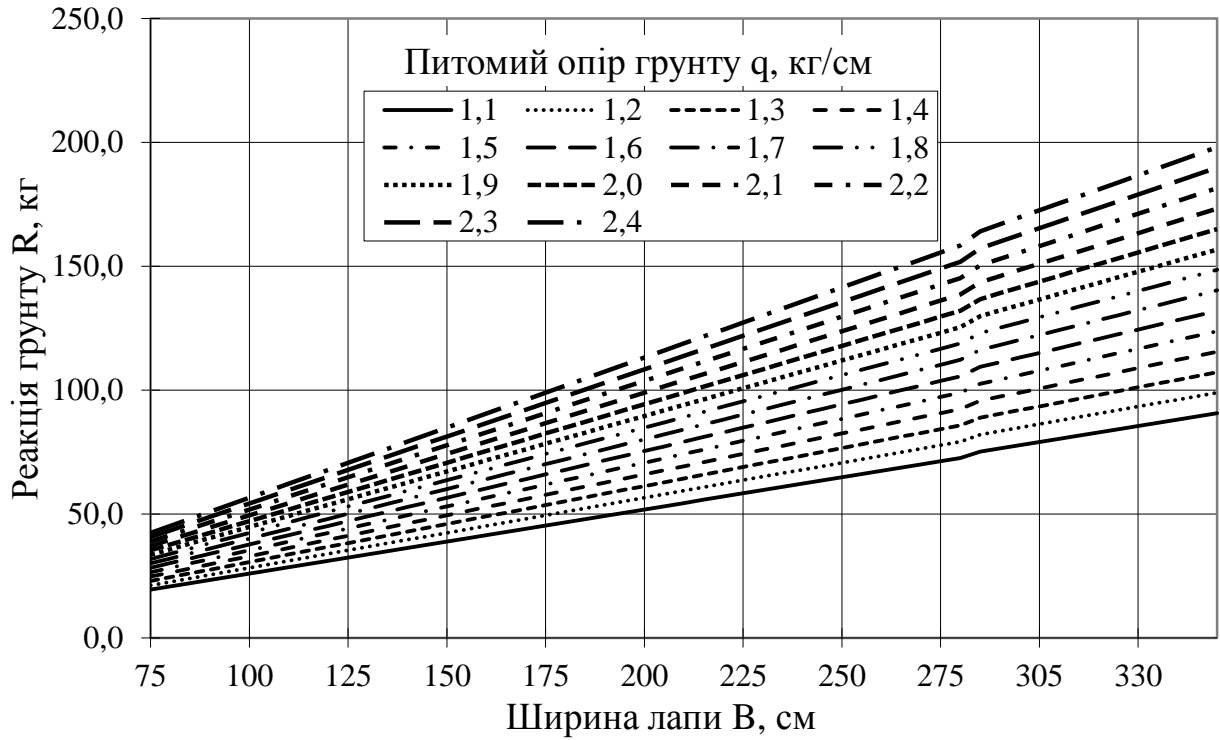


Рис. 4.3. Значення реакції ґрунту R_x при ширині лапи B в залежності від питомого опору ґрунту q , $\psi=24^\circ$

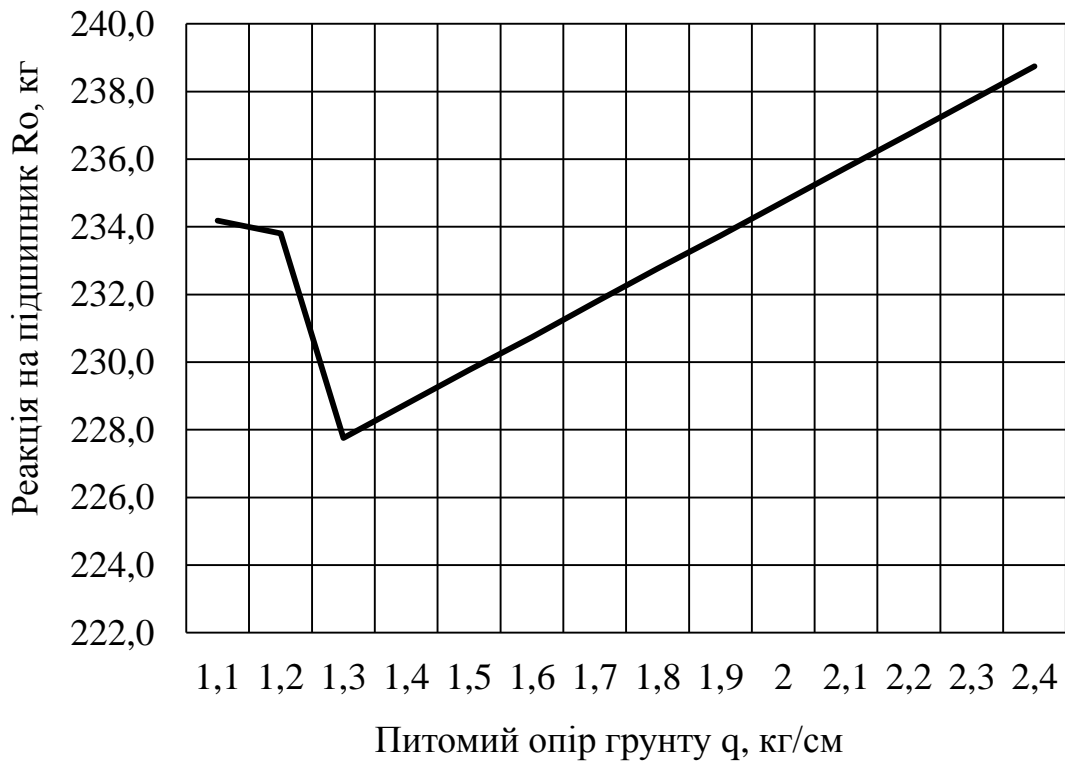


Рис. 4.4. Залежність реакції на опорний коток від питомого опору ґрунту, ширина лапи 150 мм

Таблиця 4.1

Залежність реакції на опорний коток від питомого опору ґрунту

Питомий опір ґрунту q , кг/см	Сила опору R_x , кг	Сумарна сила опору $R_{\Sigma zx}$, кг	Реакція на підшипник R_o , кг
1,1	18,1	63,2	234,2
1,2	19,7	69,0	233,8
1,3	21,4	74,7	227,8
1,4	23,0	80,5	228,8
1,5	24,6	86,2	229,8
1,6	26,3	91,9	230,7
1,7	27,9	97,7	231,8
1,8	29,6	103,5	232,8
1,9	31,2	109,2	233,7
2,0	32,8	114,9	234,7
2,1	34,5	120,7	235,7
2,2	36,1	126,4	236,7
2,3	37,8	132,2	237,7
2,4	39,4	137,9	238,7

Отримано залежності реакції ґрунту R_x , реакція на підшипник R_o та сумарної сили опору $R_{\Sigma zx}$ в залежності від питомого опору ґрунту та різних видів лап (рис. 4.2 – 4.4; табл. 4.1).

4.2. Міцнісні характеристики секції просапного культиватора в заданих режимах роботи

4.2.1. Оцінка конструкції секції на міцність методом кінцевих елементів

Розрахунки на міцність в програмі Autodesk Inventor виконують шляхом кінцевих елементів.

В якості першого етапу розв'язання задачі необхідно виконати дискретизацію області на підобласті. Розділюємо область на елементи

трикутної форми мінімальний розмір елемента 0,5 см, максимальний 2 см (рис. 4.4).

При дискретизації області необхідно враховувати бажану точність кінцевого результату, надмірне зменшення елементів може суттєво ускладнити розрахунки, а збільшення привести до похибок, що вплине на швидкість суміщення, відповідно і результат розрахунків, приведе до великої кількості шагів рішення [21].

Розбиваємо конструкцію на тривимірні елементи у вигляді тетраедрів (рис. 4.6)

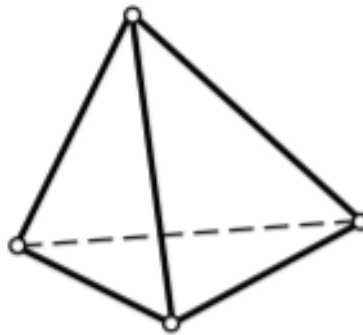


Рис. 4.5. Зразок елементарної частинки при проведенні аналізу методом кінцевих елементів

Розділення областей на підобласті виконуємо враховуючи, що межі між зонами визначаються зміненням геометрії області, зміненням навантаження, властивостей матеріалу. Обираємо необхідну кількість вузлів на кожній поверхні шляхом задання програмі розмірів вузлів та кількості шагів приближень. Якщо на кожній стороні такої зони обрано n вузлів, кількість отриманих трикутних елементів дорівнюватиме $n - 1^2$ (рис. 4.6) [21].

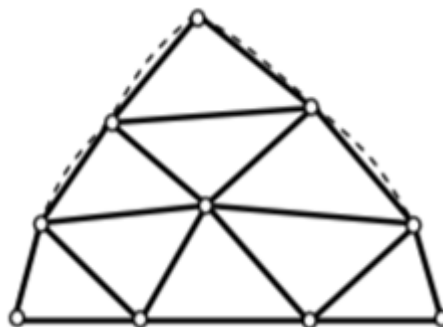


Рис. 4.6. Зразок розділення області на підобласті при проведенні аналізу методом кінцевих елементів

Програма Autodesk Inventor дозволяє автоматично поділити поверхні на зони та підзони за заданими параметрами, що суттєво скорочує час на виконання аналізу та розрахунків на міцність.

Реалізовано метод кінцевих елементів, що закінчується розв'язанням системи алгебраїчних рівнянь, які враховують навантаження в точках вузлів [21]. Порядок нумерації вузлів впливає на ефективність розрахунків метода кінцевих обчислень. Програмою розділено конструкцію на 1211296 вузлів.

4.2.2. Оцінка напружень в конструкції секції за Мізесом

Секція просапного культиватора виготовлена зі сталі 3 ГОСТ 1050-90, сталі 40Х ГОСТ 4543-71, графіто-пластиків, резини тощо. Всі перераховані матеріали є ізотопними, тому для аналізу конструкції поряд з іншими використовують критерій Мізеса.

В моделі міцності фон Мізеса, яка відображає настання текучості матеріалу, кількість енергії формозміни однакова, як при простому розтягненні, так і при складному напруженому стані (рис. 4.7, 4.8) [21].

Напруження характеризується залежністю:

$$\sigma_{\text{пр}}^{IV} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \quad (4.4)$$

При моделюванні деформування металів застосовують критерій міцності Мізеса-Хіла, що добре відображає механізм зміщення-руйнування.

Тому в якості критерію руйнування застосовують критерій Мизеса-Хіла [21], що записаний в шестивимірній ортогональній системі координат:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{\beta xx}^2} + \frac{1}{\sigma_{\beta yy}^2} - \frac{1}{\sigma_{\beta zz}^2} \right) \cdot \sigma_{xx} - \sigma_{yy}^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{\beta yy}^2} + \frac{1}{\sigma_{\beta zz}^2} - \frac{1}{\sigma_{\beta xx}^2} \right) \cdot \sigma_{yy} - \sigma_{zz}^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{\beta zz}^2} + \frac{1}{\sigma_{\beta xx}^2} - \frac{1}{\sigma_{\beta yy}^2} \right) \cdot \sigma_{zz} - \sigma_{xx}^2 +$$

$$+ \frac{1}{\tau_{\beta xy}^2} \cdot \tau_{xy}^2 + \frac{1}{\tau_{\beta yz}^2} \cdot \tau_{yz}^2 + \frac{1}{\tau_{\beta xz}^2} \cdot \tau_{xz}^2 = 1 \quad (4.5)$$

де $\sigma_{\beta xx}$, $\sigma_{\beta yy}$, $\sigma_{\beta zz}$ – межі міцності матеріалу в напрямках x , y , z

відповідно,

$\tau_{\beta xz}$ – межі міцності матеріалу при зміщенні в двох протилежних напрямках при $i \neq j$.

Діаграма (рис. 4.7) відображає, що найбільше навантаження за Мізесом, яке впливає на секцію знаходиться в межах 45000 МПа, інші параметри відображені на рисунку.

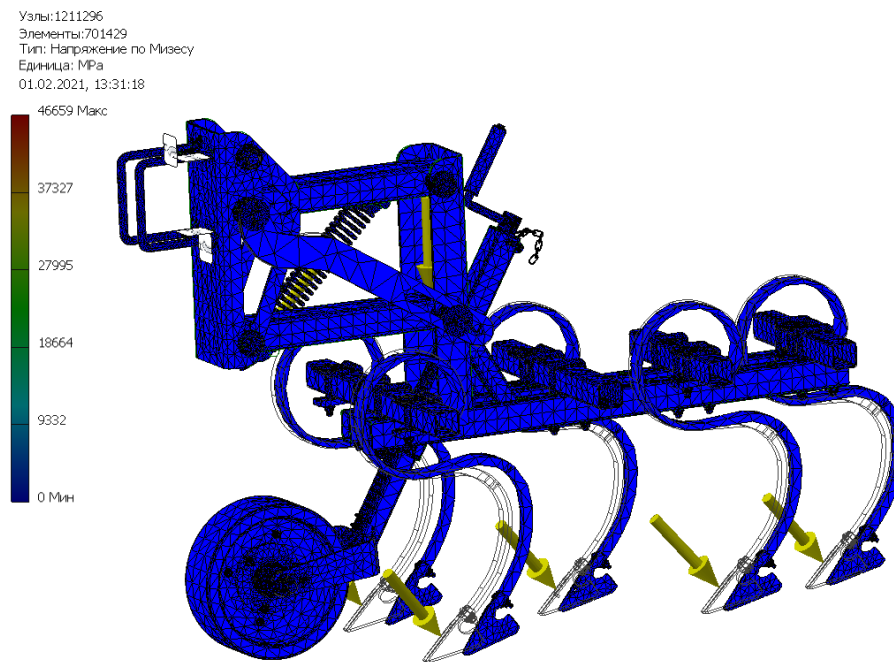


Рис. 4.7. Напруження за Мізесом

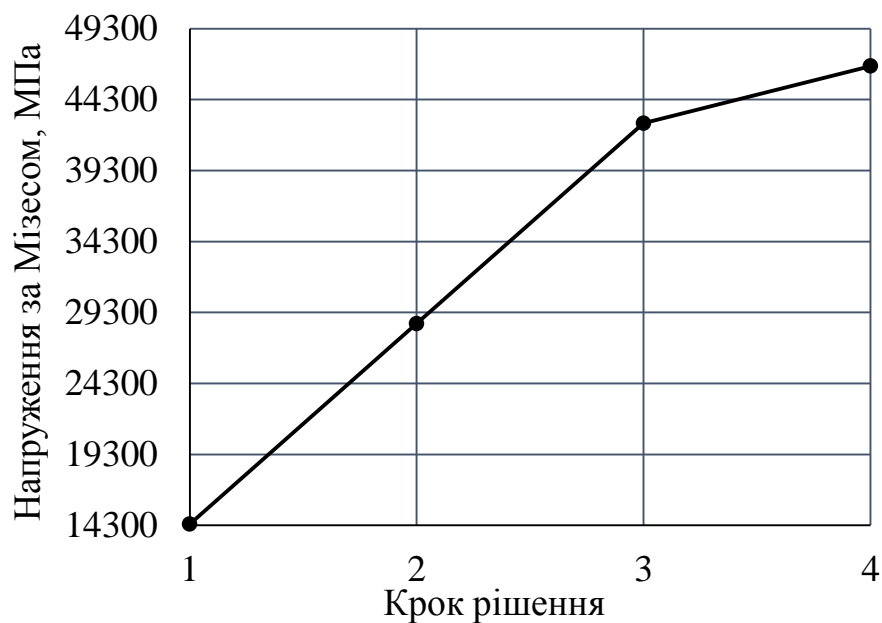


Рис. 4.8. Графік швидкості збіжності розрахунків, напруження за Мізесом

Відповідно цьому критерію руйнування межі міцності матеріалу при розтягненні та стисканні вважаються рівними.

Для металів тиск як функція питомої внутрішньої енергії E та щільності ρ визначається в залежності від конкретних умов навантаження з рівняння стану

$$P = P(\rho, E). \quad (4.6)$$

Отримано оцінку напружень в конструкції секції за Мізесом як при простому розтягненні, так і при складному напруженому стані при застосуванні критерію руйнування Мізеса-Хіла.

4.2.3. Оцінка головних напружень секції просапного культиватора

Максимальне головне напруження – напруження, що діє перпендикулярно площині, на якій дотичне напруження дорівнює нулю. Максимальне головне напруження дозволяє визначити максимальне напруження при розтягуванні, яке виникає в деталі через умови навантаження [5, 17, 18, 21].

Мінімальне головне напруження діє перпендикулярно площині, на якій дотичне напруження дорівнює нулю. Воно допомагає визначити максимальне стискаюче напруження, що визвано в деталі через умови навантаження [5, 17, 18, 21].

На головних ділянках [21] нормальні напруження (головні напруження) приймають свої екстремальні значення – максимум σ_1 , мінімум σ_3 , мінімакс σ_2 . Тензор напружень записаний через головні напруження буде мати вигляд:

$$T_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix} \quad (4.7)$$

Наприклад якщо з напруженого тіла вирізаний елементарний куб, сторони якого паралельні головним ділянкам та в цих ділянках діють

напруження на розтягнення 3997 МПа на стискання -5596 МПа. Нумерація головних напружень секції буде такою $\sigma_1 = 3997$ МПа, $\sigma_2 = 1599$ МПа, $\sigma_3 = -5500$ МПа (рис. 4.9, 4.12), інші параметри відображені на рис. 4.9; 4.11.

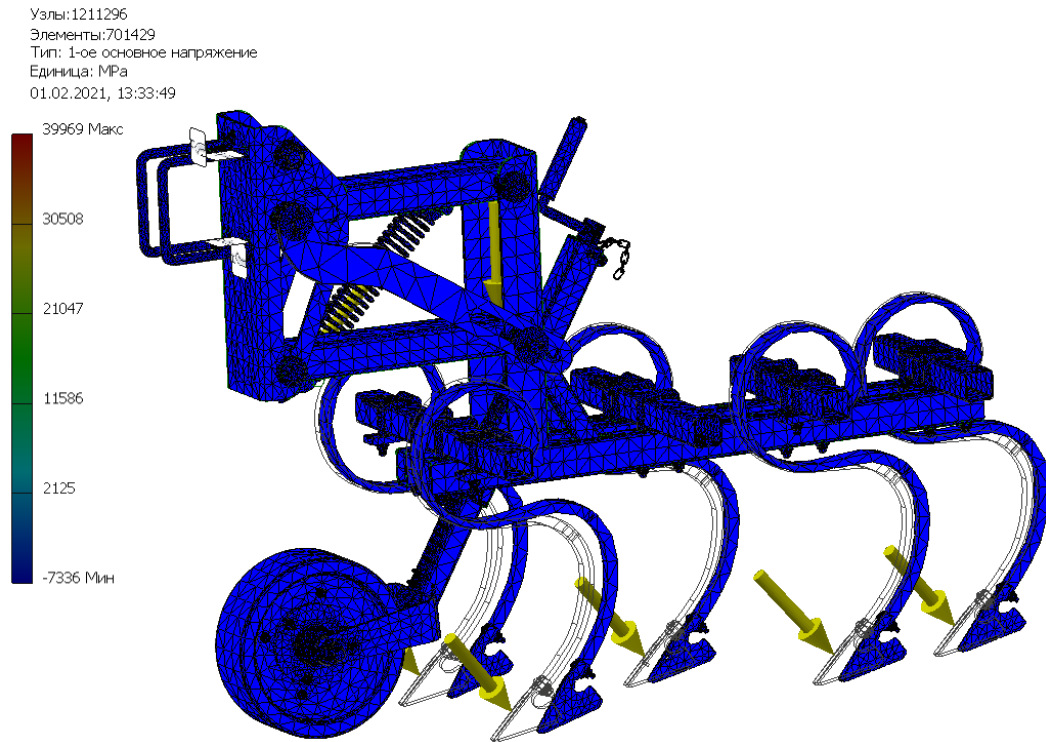


Рис. 4.9. 1-е головне напруження

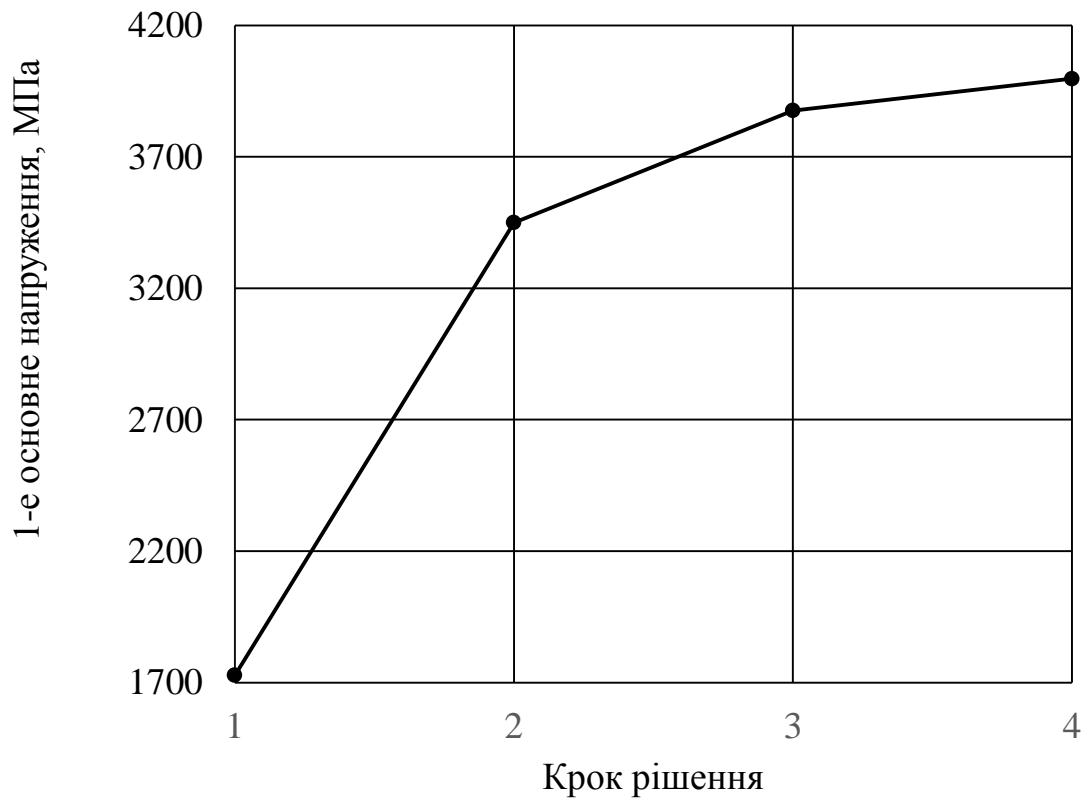


Рис. 4.10. Графік швидкості збіжності розрахунків, 1-е головне напруження

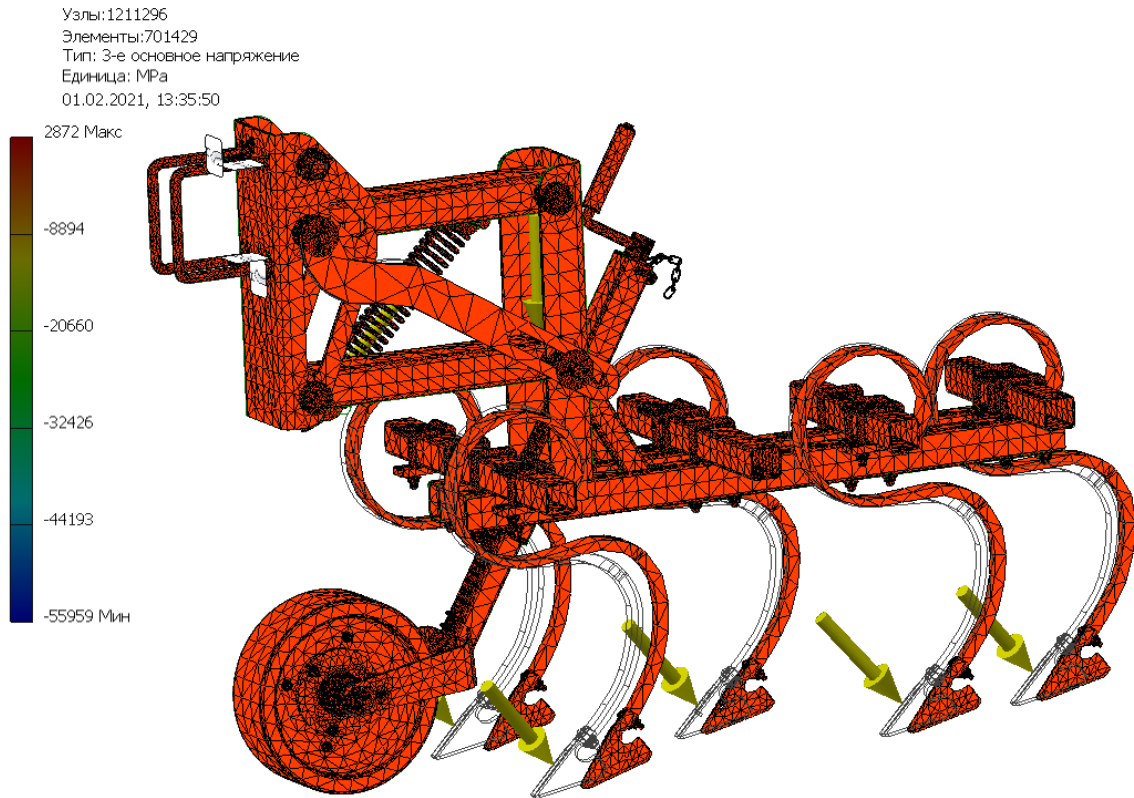


Рис. 4.11. 3-е головне напруження

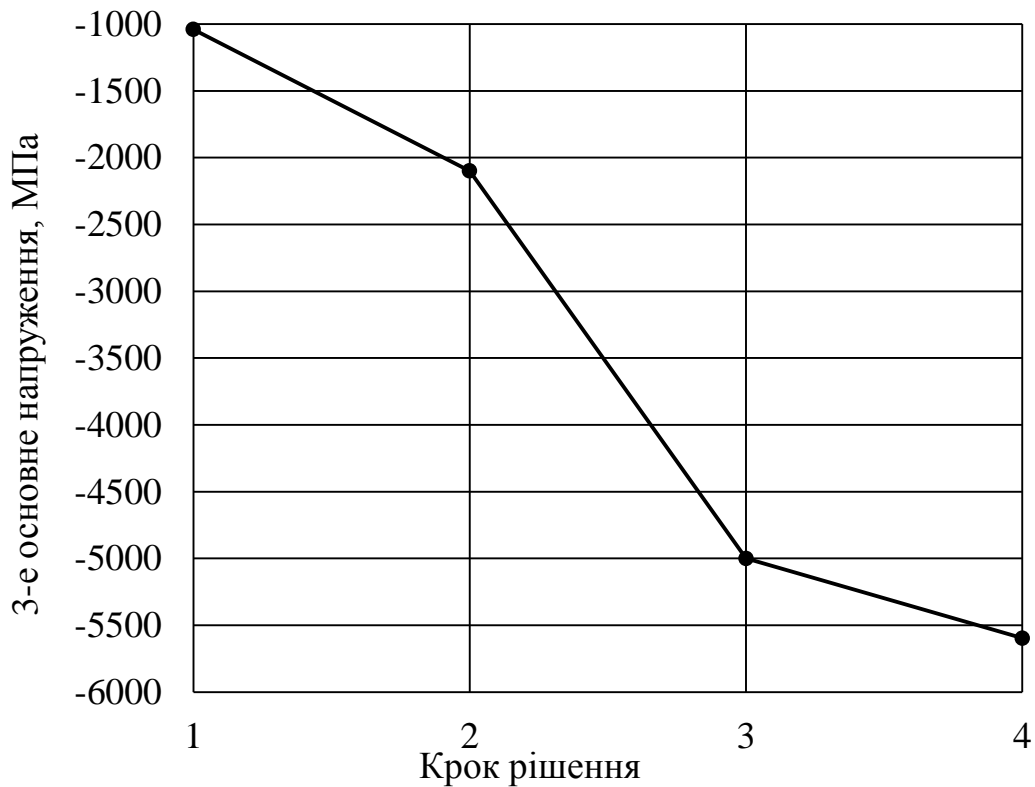


Рис. 4.12. Графік швидкості збіжності розрахунків, 3-е головне напруження

Тензор напружень записаний через головні напруження буде мати вигляд:

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} 3997 & 0 & 0 \\ 0 & 1599 & 0 \\ 0 & 0 & -5596 \end{pmatrix}$$

Таким чином в будь якій точці тіла можна виділити елементарний паралелепіпед на гранях якого будуть діяти тільки головні напруження.

В приведеній схемі навантаження всі три напруження не рівні нулю, тому напружений стан називається об'ємним [16, 18].

Отримано оцінку головних напружень секції просапного культиватора, що дозволяє визначити максимальне напруження при розтягуванні, яке виникає в деталі через умови навантаження, а також максимальне стискаюче напруження, що визвано в деталі через умови навантаження.

4.2.4. Оцінка запасу міцності конструкції секції просапного культиватора

В результаті аналізу виявлено, що небезпечні зони розміщені на безпосередньо робочих органах просапного культиватора: лапах та стійках, коефіцієнту запасу міцності дорівнює 2,2; найбільший запас міцності має паралелограм та гряділь конструкції коефіцієнт запасу міцності 13,8, інші параметри відображені на рис. 4.5. В результаті надмірних навантажень лапи та стійки будуть зруйновані. Конструктивно, для запобігання руйнації, стійки виготовляють з пружинних сталей, на лапах в навантажених зонах збільшують розмір елемента, що знаходиться в небезпечному перерізі. Геометричні параметри лапи, в свою чергу, впливають на опір обробки ґрунту, відповідно на розміщення та напрям потоків сходження часток в обробленій зоні, таким

чином досягається рівномірне розподілення навантаження, та ефект самозаточування лап (рис. 4.13, 3.5).

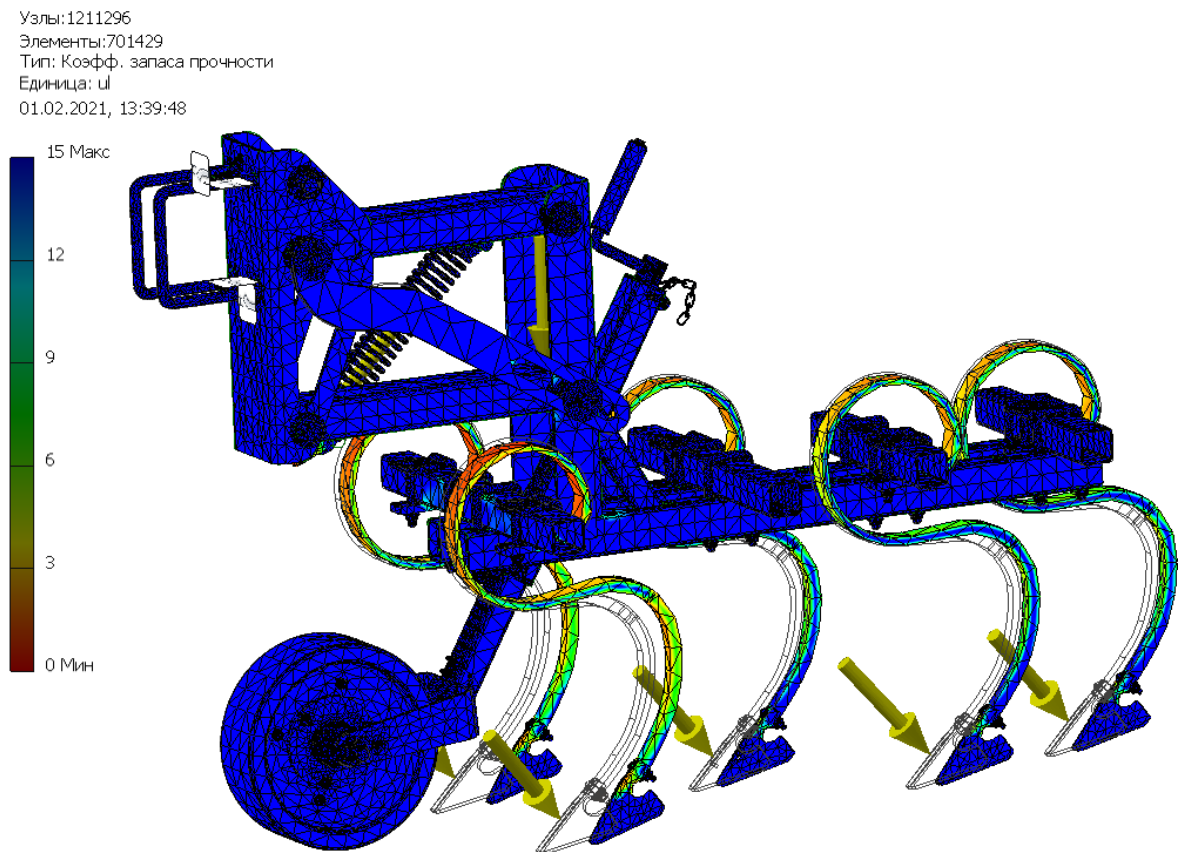


Рис. 4.13. Коефіцієнт запасу міцності конструкції секції просапного культиватора

Отримано оцінку запасу міцності конструкції секції просапного культиватора, яка запобігає руйнації, стійки виготовляють з пружинних сталей, на лапах в навантажених зонах збільшують розмір елемента, що знаходиться в небезпечному перерізі.

4.3. Оцінка зміщення елементів секції конструкції просапного культиватора

Розглянемо секцію просапного культиватора як просторову стрижньову систему.

Припустимо, що матеріал стрижнів ідеально пружний.

Система лінійно деформується.

Стрижньова система розбивається на кінцеву кількість елементів, з'єднаних з сусідніми у вузлах, з'єднання в секції просапного культиватора як жорсткі, так і шарнірні [16, 21].

В результаті аналізу кожен ланку паралелограма розглянуто як окремий кінцевий елемент з шарнірними вузлами i, j . При аналізі з цими шарнірними ланками зв'язують систему координат xu [16, 21]. Всю конструкцію програма розбиває на окремі місцеві системи координат, для кожної з них автоматично проводиться розрахунок навантажень, остаточною етапом розв'язання задачі є складання навантажень з місцевих систем координат та його розрахунок [21].

Під дією зовнішніх навантажень елементарна стрижнева система деформується, що призводить до деформації всієї конструкції. Вузли конструкції переміщуються в нові положення з координатами i', j' [16, 21].

При проведенні аналізу зони максимального зміщення мають верхні кольори по шкалі градації (рис. 4.14), в результаті аналізу встановлено, що максимально зміщуються лапи переднього ряду лап секції просапного культиватора.

Діаграма (рис. 4.15) відображає, що при встановлених навантаженнях під впливом найбільшого зміщення знаходяться лапи просапного культиватора переднього ряду, 62 мм, найменшого - елементи паралелограма та гряділя культиватора 0 мм, тобто паралелограм знаходиться паралельно обробленій поверхні, що в розглянутій конструкції є умовою стійкого ходу секції, інші параметри відображені на рисунку.

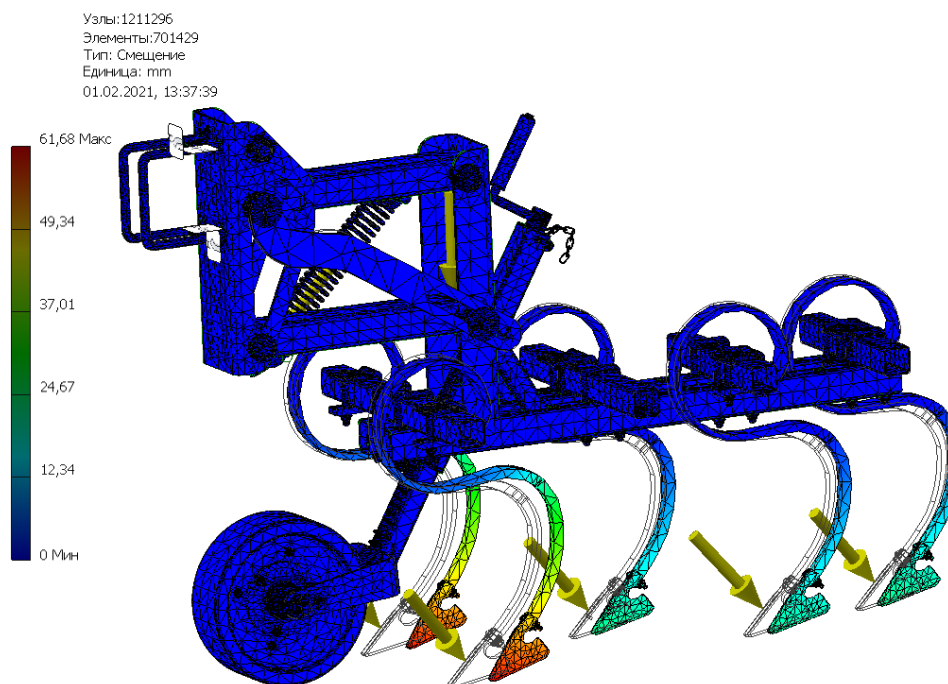


Рис. 4.14. Зміщення елементів конструкції під діючим навантаженням

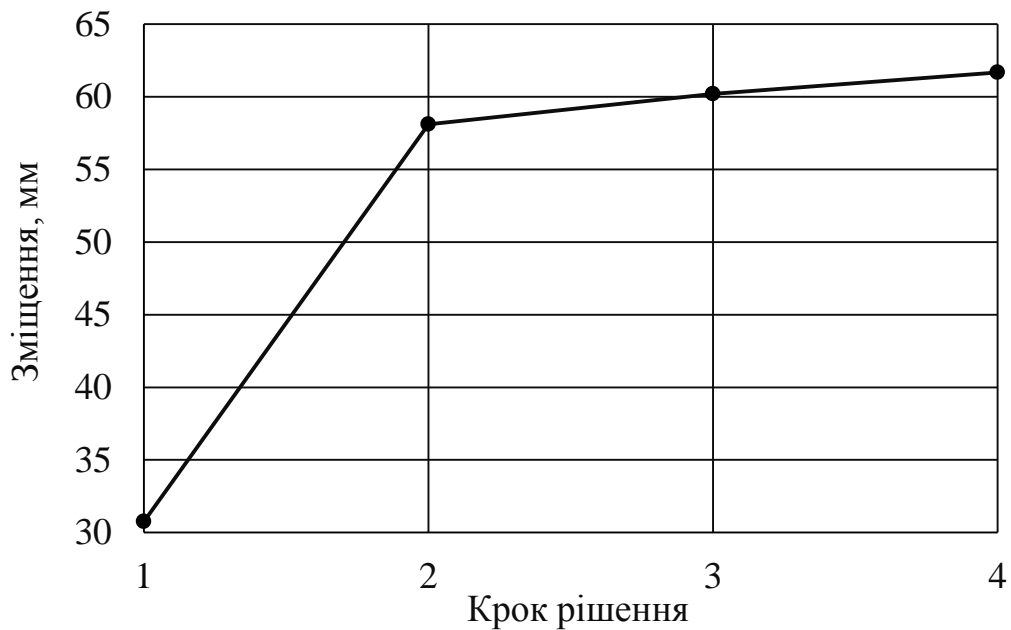


Рис. 4.15. Графік швидкості збіжності розрахунків, зміщення елементів конструкції

Отримано оцінку зміщення елементів секції конструкції просапного культиватора, враховує деформації елементарна стрижнева система та всієї конструкції під дією зовнішніх навантажень.

4.4. Висновки за четвертим розділом

1. Процес взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з абразивними частинками, що містяться в ґрунті при їх переміщенні характеризується дією абразиву ґрунту на клин з плоскою або криволінійною робочою поверхнею та впливає на параметри міцності секції просапного культиватора.

2. Геометричні параметри лапи впливають на опір обробки ґрунту, відповідно на розміщення та напрям потоків сходження часток в обробленій зоні, таким чином досягається рівномірне розподілення навантаження, та ефект самозаточування лап.

3. Отримано розрахунок реакції ґрунту R_x , реакція на підшипник R_0 та сумарної сили опору $R_{\Sigma zx}$ в залежності від питомого опору ґрунту та різних видів лап. Значення реакції ґрунту зростає відповідно збільшенню розміру ширини лапи, а реакція на опорний коток (підшипник) залежить від геометричного положення сили $R_{\Sigma zx}$.

4. Для оцінки напружень секції культиватора реалізовано метод кінцевих елементів, що закінчується розв'язанням системи алгебраїчних рівнянь, які враховують навантаження в точках вузлів.

5. Отримано оцінку напружень в конструкції секції за Мізесом як при простому розтягненні, так і при складному напруженому стані при застосуванні критерію руйнування Мізеса-Хіла.

6. Оцінка головних напружень секції просапного культиватора, що виконано з використанням системи моделювання 3D-САПР Autodesk Inventor, дозволяє визначити максимальне напруження при розтягуванні, яке виникає в деталі через умови навантаження, а також максимальне стискаюче напруження, що визвано в деталі через умови навантаження.

7. Розрахунок запасу міцності конструкції секції просапного культиватора запобігає руйнації: стійки виготовляють з пружинних сталей, на лапах в навантажених зонах збільшують розмір елемента, що знаходиться в небезпечному перерізі.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Охорона праці при експлуатації машин та знарядь для міжрядного обробітку ґрунту

Основна мета функціонування служб із охорони праці всіх рівнів в сільськогосподарському виробництві - створення здорових, безпечних умов праці, попередження та профілактика виникнення професійних захворювань, нещасних випадків та аварій, пов'язаних із виробничими процесами [22, 25]. Працівники сільського господарства можуть наражатися на такі види шкідливих та небезпечних виробничих факторів — фізичних, хімічних, біологічних та психофізичних. За статистичними даними, протягом 2019 р. в агропромисловому комплексі травмувалися 337 працівників, з них 65 отримали смертельні травми.

Міжрядну культивуацію, як і всі види сільськогосподарських робіт законодавчо регламентують оновлені Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, які затверджені наказом Мінсоцполітики від 29.08.2018 № 1240 та зареєстровані в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 року, і інструкції з охорони праці відповідно професіям (механізатори, помічники механізаторів) та видами робіт (при роботі з пестицидами та інше) [22].

Стаття 13 Закону України «Про охорону праці» - «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», зобов'язує та регламентує дії роботодавця в напрямку створення безпечних умов праці [22].

Стаття 15 Закону України «Про охорону праці» та Типове положення про службу охорони праці, затверджене наказом Держнаглядом охорони праці від 15 листопада 2004 р. № 255 обумовлює дії в напрямку створення служби охорони праці [22].

Стаття 18 Закону України «Про охорону праці» описує дії роботодавця в напрямку проведення інструктажів з охорони праці (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий), навчання з надання першої медичної

допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки під час виникнення аварій [22].

На основі законів, типового положення та вимог нормативно-правових актів [22-38] з охорони праці на підприємствах розробляють і затверджують відповідні положення, враховуючи специфіку діяльності сільськогосподарського виробництва формують графіки проходження інструктажів, навчання, перевірки знань. Працівники та посадові особи, що не пройшли навчання, інструктажі і перевірку знань з питань охорони праці до виконання робочих обов'язків та на робочі місця не допускаються.

Роботодавець створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які займаються вирішенням питань охорони праці, затверджує інструкції про їх обов'язки [32-38], права та відповідальність за виконання покладених на них функцій, а також контролює їх впровадження та виконання.

У випадку, коли в сільськогосподарському підприємстві працює більше 50 осіб, в його структурі створюється служба охорони праці. Якщо кількість працюючих від 20 до 50 осіб - функції служби з охорони праці виконують за сумісництвом робітники або посадові особи, які пройшли навчання та мають відповідну підготовку, посвідчення та інше. При кількості працюючих на підприємстві менше 20 до виконання обов'язків з забезпечення, впровадження та дотримання функцій служби охорони праці виконують запрошені особи. Ліквідація служби охорони праці допускається тільки в разі ліквідації підприємства чи припинення використання найманої праці фізичною особою [22].

Для робіт з підвищеною небезпекою, потрібне спеціальне навчання та щорічна перевірка знань з охорони праці. Перелік робіт з підвищеною небезпекою для конкретного сільськогосподарського підприємства затверджується роботодавцем на підставі наказу Держнаглядохоронпраці від 26 січня 2005 р. № 15. При міжрядній культивуванні виконуються такі види небезпечних робіт:

– роботи, пов'язані з виробництвом, зберіганням, транспортуванням та застосуванням агрохімікатів, пестицидів, гербіцидів;

– управління тракторами і самохідним технологічним устаткуванням.

Транспортування, зберігання та застосування пестицидів потрібно здійснювати з дотриманням вимог Закону України «Про пестициди і агрохімікати» та інших нормативно-правових актів [23, 32] у частині безпечного здійснення робіт із транспортування, зберігання та застосування пестицидів [23].

На роботах зі шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам сільського господарства видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту (відповідно до Типових норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам сільського та водного господарства, затверджених наказом Мінпраці та соціальної політики України від 10 червня 1998 р. № 117), а також миючі та знешкоджувальні засоби (ст. 165 КЗпП. ст. 8 Закону України «Про охорону праці») [22].

Стаття 19 Закону України «Про охорону праці» передбачає фінансування профілактичних заходів з охорони праці галузевих та регіональних програм, за рахунок державного і місцевого бюджетів, для підприємств не менше 0,5 відсотка від фонду оплати праці підприємства за попередній рік [22].

5.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

У місцях виконання та під час виконання робіт з міжрядної культивуації можуть мати місце такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори [25]:

- технічна несправність тракторів та сільськогосподарських машин;
- виконання робіт в охоронних зонах ліній електропередач;
- виконання робіт на відкритому повітрі, при підвищеній або низькій температурі повітря;
- підвищений рівень шуму та вібрацій;
- підвищена забрудненість повітря ґрунтовим пилом;

- наявність отрутохімікатів;
- схили полів, наявність перешкод у вигляді ям, ярів;
- рухомі агрегати;
- пожежна небезпека;
- нервово-психічні перевантаження;
- рухомі частини машин: причіпні (навісні) пристрої; робочі органи, пружини, механізми передачі руху, колеса тощо;
- робоча рідина гідравлічної системи сільськогосподарських машин;
- підвищена концентрація пилу від мінеральних добрив у повітрі робочої зони;
- несприятливі метеорологічні умови.

В умовах, коли безпосередній контроль за виконанням правил техніки безпеки під час сільськогосподарських робіт з боку керівника неможливий: велика відстань між полями та бригадою, одночасна робота на декількох полях та інше, - дотримання техніки безпеки - особистий обов'язок працівника.

Відповідно до наказу Міністерства аграрної політики № 173 від 06.04.2010 до експлуатації допускаються технічно справні трактори, які відповідають Вимогам до технічного стану тракторів та мають свідоцтво про реєстрацію машини, номерний знак. Нові машини та ті, що надійшли з капітального ремонту мають бути обкатані згідно з настановою підприємства-виробника або інструкції ремонтного підприємства. Техніка має бути укомплектована приладами інструментами запасними частинами, відрегульовані та підготовлені відповідно до настанови щодо експлуатування [26].

Для тракторів та інших самохідних машин перевіряється працездатність двигуна, рульового управління, гальмівної системи, пристроїв світлової та звукової сигналізації, склоочисників, рівень мастила в картері двигуна, рівень охолоджувальної рідини в радіаторі тощо.

Перевірка машин відбувається на контрольно-технічному пункті з оглядовою канавою, з застосуванням необхідного оснащення інструменту механізатором або відповідальною особою.

Виконання робіт в охоронних зонах ліній електропередач регламентується Постановою № 209 Кабінету міністрів України від 4 березня 1997 року з актуальними змінами. Приведеною постановою оговорені зони навколо електричних будов в яких сільгосп роботи заборонені або обмежуються.

Санітарно-гігієнічні параметри умов праці на робочих місцях механізатора та помічника механізатора відповідно мають відповідати стандартам та нормативній документації по безпеці праці [31].

Шкідливими факторами, що можуть проявлятися в процесі обробки ґрунту є перевищення санітарно-гігієнічних норм за:

рівнем температури, вологості та сонячної радіації повітря робочої зони;

рівнем шуму та вібрації;

недостатньою освітленістю робочої зони.

Небезпечними виробничими факторами є:

наявність в робочій зоні відкритих обертаючихся та переміщуючихся частин машин або механізмів;

робота на полях з нахилом більше 16% (8-9 градусів);

відпочинок під машинами та в інших не призначених для цього місцях (насінневих ящиках, огороженнях, площадках та інше), а також усунення технічних несправностей або зривів технологічного процесу при працюючому двигуні трактора;

проїзд посівних агрегатів по вузьким дамбам та мостам;

падіння на агрегат, що рухається.

5.3. Організаційні та технічні заходи по забезпеченню захисту працівників

Експлуатація сільськогосподарських машин має здійснюватися з урахуванням вимог експлуатаційної документації, регламентуватися інструкціями підприємства, складеними на основі типових інструкцій [32-38].

Вузли та елементи просапних культиваторів, тракторів, що рухаються, обертаються та можуть становити небезпеку, мають бути огорожені захисними кожухами, які забезпечують безпеку працівників, захисні щитки або диски просапного культиватора фарбують червоним кольором.

Об'єкт господарювання має звернути особливу увагу на роботи пов'язані з підготовкою та внесенням в ґрунт мінеральних добрив. Для проведення цих робіт необхідно використовувати спеціальні пристрої та механізми, при проведенні робіт використовувати засоби індивідуального захисту.

Роботи дозволено проводити лише в спецодязі та спецвзутті.

Завантаження в бункери просапного культиватора мінеральних добрив має бути механізованим.

Ручне завантаження дозволено лише у випадку припинення роботи, вимкнення двигуна трактора, використанні засобів індивідуального захисту.

Заміну, очищення і регулювання робочих органів просапних культиваторів і знарядь, які підняті, потрібно проводити тільки спеціальними чистками в рукавицях із зупиненим, загальмованим агрегатом та вимкнутим двигуном і вжиттям заходів, що запобігають їх самовільному опусканню.

5.4. Правила безпечного виконання робіт при міжрядній культивації

Правила безпечного виконання робіт регламентуються інструкціями підприємства, складеними на основі типових інструкцій [32, 33, 34, 35, 36, 37, 38].

Заборонено допускати до робіт несправні машини та обладнання, трактори без електростартерного запуску двигуна та з відсутньою або несправною системою блокування запуску двигуна за ввімкненої передачі.

Працівники забов'язані переконатися перед виконанням робіт, що дроти повітряних ліній електропередач техніка, яка проїжджає під ними, зачіпати не буде. Під час проїзду техніки потрібно дотримуватися безпечної дистанції.

Забороняється готувати розчини мінеральних добрив у полі не використовуючи засоби механізації.

Заборонено працівникам знаходитись у зоні можливого руху частин агрегату.

Заборонено підніматися або спускатися з машин під час їх руху.

Дозволяється виконання тільки тієї роботи, яка доручена відповідним нарядом (крім екстремальних та аварійних ситуацій), не допускаються на робоче місце сторонні особи і забороняється передоручення своєї роботи іншим особам.

Роботи дозволено проводити лише у спецодязі, упевнившись, що він не має пошкоджень, елементів, що звисають, не прилягають, а також у необхідних засобах індивідуального захисту, що відповідають виду виконуваних робіт.

Обов'язкова наявність засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

До ЗІЗ повинні входити: спецодяг, спецвзуття, рукавиці, рукавички гумові, захисні окуляри, респіратори або протигази.

При проведенні робіт з малоліткими речовинами необхідно користуватись респіраторами при обприскуванні - типу Ф-62Ш, «Астра-2», «Кама».

При роботі з леткими сполуками необхідно користуватися універсальними або протигазовими респіраторами типу РУ-60М або РПГ-67 із протигазовими патронами або протигазами, що фільтрують. Для захисту від ртутьорганічних препаратів використовуються патрони марки «РГ» від хлор - і фосфорорганічних пестицидів - марки А і В, кислих парів і газів - марки В, аміаку й сірководню - марки КД.

Роботи з розчинами мінеральних добрив для захисту рук дозволено проводити лише в гумових рукавичках з трикотажною основою, для захисту ніг гумові чоботи з підвищеною стійкістю до дії пестицидів і дезінфекційних засобів. Для захисту очей від попадання пестицидів використовуйте герметичні окуляри типу «Г» або захисні окуляри герметичні - ПО-2.

Під час контактування з розчинами мінеральних добрив передбачене застосування спецодягу, що виготовлений із спеціальних тканин з просоченням, а також додаткових засобів індивідуального захисту шкірних покривів - фартухів, нарукавників з плівкових матеріалів.

Заборонено приступати до роботи в голодному стані, у стані алкогольного, наркотичного або медикаментозного сп'яніння, у хворобливому або стомленому стані.

Протягом зміни необхідно слідкувати за самопочуттям. При настанні стомленості, сонливості, раптової болі, не примушуйте себе продовжувати роботу, а залишіть роботу, використайте медичні препарати з аптечки або зверніться по допомогу до присутніх осіб.

Необхідно ознайомитись з місцем для відпочинку й вживання їжі. Перевірити наявність у місці відпочинку бачка з питною водою, рукомийника і медичної аптечки. Місце відпочинку повинне знаходитись не ближче 200 м від робочої зони.

Обов'язковий огляд засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) і засвідчення, що вони не мають пошкоджень і відповідають вимогам захисту при роботі з застосовуваними речовинами, а також в тому, що строк придатності патронів респіраторів і коробок протигазів не минув.

Під час роботи з мінеральними добривами обов'язкове дотримання вимог особистої гігієни.

На оброблених ділянках дозволено проводити роботи тільки після закінчення терміну, що гарантує безпеку робітників у відповідності нормативних документів.

Під час роботи заборонено вживати їжу, пити, курити. Перед вживанням їжі, питтям та курінням необхідно покинути зону роботи, вимити руки та обличчя водою з милом, прополоскати рот водою.

5.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації

Загальні ознаки надзвичайної ситуації (п. 24 ч. 1 ст. 2 КЦЗ):

наявність або загрози загибелі людей чи значне погіршення умов їх життєдіяльності;

заподіяння економічних збитків;

істотне погіршення стану довкілля.

При міжрядній культивації до надзвичайних ситуацій може призвести аварія. Аварії поділяються на дві категорії:

1. До I категорії належать аварії, внаслідок яких:

загинуло 5 чи травмовано 10 і більше осіб;

стався викид отруйних, радіоактивних, біологічно небезпечних речовин за санітарно-захисну зону підприємства;

збільшилась концентрація забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі більш як у 10 разів;

зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я значної кількості працівників підприємства чи населення.

До II категорії належать аварії, внаслідок яких:

загинуло до 5 чи травмовано від 4 до 10 осіб;

зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я працівників цеху, дільниці (враховуються цех, дільниця з чисельністю працівників 100 осіб і більше).

Випадки порушення технологічних процесів, роботи устаткування, тимчасової зупинки виробництва в результаті спрацювання автоматичних захисних блокувань та інші локальні порушення у роботі цехів, дільниць і окремих об'єктів, падіння опор та обрив дротів ліній електропередач не належать до аварій, що мають категорії.

Дії в разі надзвичайних ситуацій регламентуються законодавством України, нормами, стандартами типовими інструкціями [22-38].

Під час роботи з водними розчинами мінеральних добрив при з'явленні тріщин у ємностях, резервуарах, трубопроводах, пошкодженні гумових шлангів, порушенні герметичності, виключіть насос і двигун змішувального апарату.

Якщо усунути несправність власними силами не можете, повідомте керівника робіт.

Розлиті на землю хімічні речовини обробіть хлорним вапном і перекопайте.

Якщо під час роботи з хімічними речовинами трапилось порушення захисних властивостей засобів захисту органів дихання, терміново зупиніть обладнання, вийдіть із зони проведення хімічних робіт.

При виникненні пожежі викличте пожежну команду, повідомте керівництво і приступіть до ліквідації осередку загорання згідно з інструкції про заходи пожежної безпеки.

При виникненні пожежі у виробничому приміщенні, відключіть систему вентиляції, повідомте пожежну охорону, керівника робіт і прийміть участь в ліквідації пожежі.

Під час гасіння пожежі вилучіть із зони можливого попадання води хімічні речовини, взаємодія з водою яких недопустима, або, в крайньому випадку, закрийте брезентом, засипте піском, землею.

Особливих заходів дотримуйтесь під час гасіння хімічних речовин, які затарені в металеві бочки, барабани, каністри, які від надмірного тиску при підвищенні температури, можуть вибухнути, розлитися на великі відстані.

Гасіння локальних вогнищ загорання хімічних речовин виконуйте у протигазах із коробками, які мають фільтр.

Аміачну селітру, що загорілась на складі, гасіть великою кількістю води у протигазах із коробками марки «В» і «М».

При появі напруги на металевих частинах машин, обладнанні у складах або приміщеннях необхідно припинити роботу (відключити їх) і повідомити про це чергового електрика або керівника робіт.

У разі пожежі зупиніть агрегат чи відведіть його у безпечне місце за умови, що такі дії не загрожують вашому життю. Викличте допомогу.

При загорянні двигуна трактора негайно заглушіть його (перекрийте подачу палива). Полум'я гасіть вуглекислотним вогнегасником або підручними матеріалами (піском чи землею), накрийте брезентом, кошмою, мішковиною. Слідкуйте і вживайте заходів, щоб вогонь не потрапив на паливний бак.

Якщо ви переконались у відсутності допомоги і можливості самому справитись із розвитком пожежі, відійдіть від агрегату на відстань не менше і прослідкуйте, щоб до вогнища не наближались сторонні особи.

У випадку торкання агрегату до оголеного проводу ліній електропередачі (намотування проводу на колеса, зачеплення штангами тощо) терміново зупиніть трактор. Не залишаючи робочого місця, доступними сигналами приверніть увагу людей, щоб вони повідомили про подію керівництво підвідомчих електричних мереж для вжиття термінових заходів.

До прибуття аварійної служби не намагайтесь самостійними діями усунути несправність.

У разі виникнення небезпеки перебування в кабіні (пожежа внаслідок електричного розряду тощо), необхідно терміново залишити кабіну трактора. При цьому не допускайте одночасного торкання вашого тіла до машини й землі. Стрибайте на землю на зімкнуті ноги, не тримаючись за трактор. Віддаляйтесь від трактора стрибками (ноги при цьому разом), щоб не потрапити під крокову напругу.

Повідомте керівника робіт про випадок.

При вимушеній зупинці на нерегульованому залізничному переїзді по можливості терміново повідомте залізничників і вживайте заходів до звільнення переїзду: буксирування попутними транспортними засобами, використання стартеру для пересування на короткі відстані тощо.

Крім того, якщо є можливість, направте двох осіб уздовж колії в обидва боки назустріч поїздам, пояснивши їм, як подавати сигнали для зупинки поїзда. У разі відсутності такої можливості, при появі поїзда, йдіть йому назустріч і подавайте сигнал зупинки коловими рухами руки із шматком червоної тканини (уночі – факелом, ліхтарем).

Якщо внаслідок нещасного випадку постраждали люди, надайте їм першу до лікарську допомогу, організуйте (при потребі) транспортування потерпілих до лікарні.

Негайно повідомте керівника свого виробничого підрозділу про нещасний випадок.

5.6. Висновок за п'ятим розділом

У місцях проведення міжрядної культивуації можуть виникнути такі небезпечні та шкідливі фактори: високий рівень температури, вологості та сонячної радіації повітря робочої зони; високий рівень шуму та вібрації; недостатньою освітленістю робочої зони, наявність в робочій зоні відкритих обертаючихся та переміщуючихся частин машин або механізмів; робота на полях з нахилом більше 16% (8-9 градусів); відпочинок під машинами та в інших не призначених для цього місцях (насінневих ящиках, огороженнях, площадках та інше), усунення технічних несправностей або зривів технологічного процесу при працюючому двигуні трактора; проїзд посівних агрегатів по вузьким дамбам та мостам; падіння на агрегат, що рухається.

Дії по запобіганню надзвичайних ситуацій, їх попередженню та дії в разі їх настання регламентуються законодавством України та нормативною документацією.

6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Основними експлуатаційними показниками роботи ґрунтообробного агрегату: продуктивність, витрати робочого часу, паливо-мастильних матеріалів, питомі експлуатаційні та приведені витрати.

У якості базового машинно-тракторного агрегату служить МТЗ-82.1+КРН-5,6 з незахищеними підшипникам коліс секцій просапного культиватора.

Модернізований машинно-тракторний агрегат МТЗ-82.1+КРН-5,6 має захищені підшипники коліс секцій просапного культиватора, дозволить на агрофонах господарств ТОВ «Жива нива» та ТОВ «Наталка» отримати економічний ефект, який буде полягати у зниженні витрат на проведення технічного обслуговування впродовж всього періоду використання модернізованої сільськогосподарської машини.

6.1. Економічна ефективність застосування агрегату МТЗ-82.1+КРН-5,6

Питомі експлуатаційні витрати агрегату розраховують за рівнянням:

$$C_{\text{ит}} = C_m + C_{\text{м}} + C_{\text{нмм}} + C_{\text{зн}}, \quad (6.1)$$

де $C_m, C_{\text{м}}$ - сума витрат на реновацію, капітальний і поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин трактора, приймаємо з таблиці 7.1 [39], грн./га;

$C_{\text{нмм}}$ - вартість паливо-мастильних матеріалів, грн./га;

$C_{\text{зн}}$ - оплата праці персоналу, який обслуговує агрегат, грн./га.

$$C_m = \left[\frac{B_m \cdot \alpha_{\text{рм}} \cdot g_{\text{за}}}{100 \cdot G_{\text{н}}^{\text{рік}}} + \frac{\sum C_{\text{м}}^{\text{н}} \cdot g_{\text{за}}}{1000} \right] \cdot K_i, \quad (6.2)$$

де $B_m \cdot \alpha_{\text{рм}}$ - балансова вартість трактора (грн.) та норма відрахувань, %. З табл. 7.1 [39] визначаємо балансову вартість трактора, яку беремо з урахуванням фактичної сьогоднішньої його ціни (510 000 грн.) та норму відрахувань – 10%;

$\sum C_m^H$ - питомі нормативні витрати на капітальний, поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин і гусениць, грн./т палива, з урахуванням сучасних цін складе близько 849 грн. Цю цифру приймаємо за табл. 7.1 [39].

$G_H^{pic}, g_{год}$ - нормативне річне завантаження палива (кг). При сезонному навантаженні 60 нормо-змін по 40 га/зм і гектарній витраті палива 3,6 кг, норма річного завантаження складе 7200 кг;

K_i - коефіцієнт індексації цін, який враховує інфляцію. Так як ціни приймаємо реальні, то K_i приймаємо 1.

Для трактора МТЗ-82.1 витрати на реновацію, ремонт та технічне обслуговування для даного виду робіт складуть:

$$C_m = \left[\frac{510000 \cdot 10 \cdot 3,6}{100 \cdot 18000} + \frac{849 \cdot 3,6}{1000} \right] \cdot 1 = 13,25 \text{ грн/га}$$

Вартість паливо-мастильних матеріалів знайдемо за формулою:

$$C_{пмм} = C_k \cdot G_{год} = 28,5 \cdot 3,6 = 102,6 \text{ грн/га} \quad (6.3)$$

де C_k - комплексна ціна дизельного пального, грн. Вартість пального буде однаковою для обох варіантів агрегатів, що порівнюються.

Оплату праці обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$C_{зн} = \frac{1,49(K_{нк} \cdot m_{мех} \cdot f_{мех} + m_{доп} \cdot f_{доп}) \cdot 1,02 \cdot K_3}{W_{зм}}, \quad (6.4)$$

де 1,49 і 1,02 - коефіцієнти, які беруть до уваги при нарахуванні оплати праці;

$K_{нк}$ - коефіцієнт, який передбачає класність механізаторів. Приймаємо коефіцієнт 1,2 для трактористів-машиністів першого класу;

$m_{мех}$ і $m_{доп}$ - кількість трактористів-машиністів і допоміжних працівників, які обслуговують агрегат;

f_{mex} і $f_{доп}$ - оплата праці за змінну норму (тарифні ставки) виробітку відповідно трактористам-машиністам і допоміжним працівникам, грн./зм. Приймаємо з табл. 7.2 [17];

K_3 - коефіцієнт збільшення оплати праці за рахунок інфляції, приймаємо $K_3 = 10$.

Оплата праці механізаторів:

$$C_{змс} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 15,58 + 1 \cdot 10,83) \cdot 1,02 \cdot 10}{32} = 14,02 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційні витрати культиватора КРН-5,6 знайдемо за формулою:

$$C_{сгм} = \left[\frac{B_M \cdot \alpha_p}{100 \cdot n_{зм}^m \cdot W_{зм}} + \frac{\sum C_{то}}{W_{зм}} \right] \cdot 1, \text{ грн/га} \quad (6.5)$$

$$C_{сгм} = \left[\frac{55000 \cdot 12,5}{100 \cdot 60 \cdot 32} + \frac{27,4 + 4,3 + 21}{32} \right] \cdot 1 = 5,22 \text{ грн/га}$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{нум}^c = 13,25 + 5,22 + 102,6 + 14,02 = 135,09 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати:

$$П_г^p = C_n^p + E = 64,48 + 0,15 = 64,63 \text{ грн/га}$$

де $E = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

6.2. Економічна ефективність застосування модернізованого агрегату МТЗ-82.1+КРН-5,6М

Експлуатаційні витрати на даному виді робіт складуть для трактора :

$$C_m = \left[\frac{510000 \cdot 10 \cdot 3,6}{100 \cdot 18000} + \frac{269 \cdot 3,6}{1000} \right] \cdot 1 = 11,16 \text{ грн/га}$$

$\sum C_m^n$ - питомі нормативні витрати на капітальний, поточний ремонт, зберігання, заміну шин і гусениць, грн./т палива, без урахування технічного обслуговування культиватора, складе приблизно 269 грн.

Вартість паливо-мастильних матеріалів знайдемо за формулою:

$$C_{нмм} = Ц_{к} \cdot G_{год} = 28,5 \cdot 3,6 = 102,6 \text{ грн} / \text{га} .$$

Оплата праці механізаторів:

$$C_{зпс} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 15,58 + 1 \cdot 10,83) \cdot 1,02 \cdot 10}{38,8} = 11,56 \text{ грн} / \text{га} .$$

Експлуатаційні витрати модернізованого культиватора КРН-5,6М знайдемо за формулою:

$$C_{сгм} = \left[\frac{B_m \cdot \alpha_p}{100 \cdot n_{зм}^m \cdot W_{зм}} + \frac{\sum C_{то}}{W_{зм}} \right] \cdot 1 = \left[\frac{55000 \cdot 12,5}{100 \cdot 60 \cdot 38,8} + \frac{7,47 + 1,64 + 1,79}{38,8} \right] \cdot 1 = 3,23 \text{ грн} / \text{га} .$$

Розраховуємо загальні експлуатаційні витрати:

$$C_{проект\ нит} = 11,88 + 3,23 + 102,6 + 11,56 = 129,27 \text{ грн} / \text{га} ,$$

Величину капітальних вкладень при експлуатації агрегату за формулою (6.6):

$$K_p = \frac{B_m \cdot \alpha_{pm} \cdot g_{га}}{100 \cdot G_{рік}} + \frac{B_m \cdot n}{n_{зм} \cdot W_{зм}} = \frac{510000 \cdot 10 \cdot 3,6}{100 \cdot 7200} + \frac{55000 \cdot 1}{60 \cdot 38,8} = 30,28 \text{ грн} / \text{га}$$

Нами було прийнято, що балансова вартість модернізованого культиватора складатиме 574000 грн.

Приведені витрати на один га при експлуатації модернізованого МТА:

$$\Pi_{\epsilon 1}^p = C_n^p + E \cdot K = 64,48 + 0,15 \cdot 49,12 = 71,84 \text{ грн} / \text{га}$$

6.3. Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект:

$$E_E = \Pi_{\epsilon}^p - \Pi_{\epsilon 1}^p, \text{ грн} \quad (6.6)$$

$$E_E = 71,84 \cdot 300 - 64,63 \cdot 300 = 2163$$

Строк окупності додаткових капітальних витрат визначаємо за формулою:

$$N = \frac{B_{\epsilon 1} - B_{\epsilon 2}}{E_e}, \quad (5.20)$$

де $B_{\epsilon 1}$, $B_{\epsilon 2}$ – балансова вартість культиватора до та після модернізації.

$$N = \frac{574000 - 565000}{2163} = 4,16$$

Отримані результати наводяться у в табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

Економічне обґрунтування запропонованої розробки

Показник	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
1	2	3	4
Агрегат	-	МТЗ-82.1 + КРН-5,6	МТЗ-82.1 + КРН-5,6М
Балансова вартість агрегату	грн.	565000	574000
Нормативне навантаження	нормо-змін	60	60
Змінна продуктивність	га	32	38,8
Витрати пального	кг/га	3,6	3,6
Витрати на реновацію, ремонт та ТО	грн. / га	13,25	11,16
Вартість ПММ	грн. / га	102,06	102,06
Оплата праці	грн. / га	14,02	11,56
Експлуатаційні витрати	грн. / га	135,09	129,27
Величина капітальних вкладень	грн. / га	-	30,28
Приведені витрати	грн. / га	64,43	71,84
Річний економічний ефект від сервісу при навантаженні 300 га	грн.	-	2163

Таким чином бачимо, що модернізація культиватора КРН-5,6 дозволить ефективно агрегувати її з трактором МТЗ-82.1. При цьому річний економічний ефект складає 2163 грн. при річному завантаженні 60 нормо-змін. Строк окупності модернізованого культиватора складає 4,16 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Конструктивно-технологічні параметри агрегатів, що використовує господарство для обробки просапних культур, залежить від типу, рельєфу ґрунту, технології, вирощуваної культури.

2. Розроблена математична модель процесу обробки ґрунту просапним культиватором характеризує основні параметри, сили та фізичні величини, від яких залежить якість обробки.

3. Величина активних сил та реакцій, що діють на секцію просапного культиватора під час обробки обумовлює його конструктивні та технологічні параметри.

4. Проведені польові випробування показали, що зношення радіальних шарикопідшипників після обробки площі 1000 га становить: закритих $d=24\dots35$ мкм; відкритих $d=41\dots89$ мкм. Зношення периметру лап після обробки 100 га становить: при $V=110$ мм – $3,7\dots8,1\%$; при $V=150$ мм – $3,5\dots8,6\%$.

5. Отримано розрахунок реакції ґрунту R_x , реакція на підшипник R_o та сумарної сили опору $R_{\Sigma zx}$ в залежності від питомого опору ґрунту та різних видів лап. Значення реакції ґрунту зростає відповідно збільшенню розміру ширини лапи, а реакція на опорний коток (підшипник) залежить від геометричного положення сили $R_{\Sigma zx}$.

6. Геометричні параметри лапи впливають на опір обробки ґрунту, відповідно на розміщення та напрям потоків сходження часток в обробленій зоні, таким чином досягається рівномірне розподілення навантаження, та ефект самозаточування лап.

7. Реалізовано метод кінцевих елементів, що закінчується розв'язанням системи алгебраїчних рівнянь, які враховують навантаження в точках вузлів.

8. Отримано оцінку напружень в конструкції секції за Мізесом як при простому розтягненні, так і при складному напруженому стані при застосуванні критерію руйнування Мізеса-Хіла.

9. Оцінка головних напружень секції просапного культиватора, що виконано з використанням системи моделювання 3D-САПР Autodesk Inventor,

дозволяє визначити максимальне напруження при розтягуванні, яке виникає в деталі через умови навантаження, а також максимальне стискаюче напруження, що визвано в деталі через умови навантаження.

10. Розрахунок запасу міцності конструкції секції просапного культиватора запобігає руйнації: стійки виготовляють з пружинних сталей, на лапах в навантажених зонах збільшують розмір елемента, що знаходиться в небезпечному перерізі.

11. Отримані результати магістерської роботи дозволяють сформулювати перспективні напрямки розвитку: необхідність винаходу нових конструктивних форм просапних культиваторів, підвищення якості обробки ґрунту, раціональне використання людських ресурсів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Основи агрономії: курс лекцій. / Н. І. Хомик, А. Д. Довбуш, В. П. Олексюк. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2015. – 300 с.
2. Аріон О. В. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства: Навчально-методичний посібник / О. В. Аріон, Т. Г. Купач, С. О. Дем'яненко. – К., 2017. – 226 с.
3. Гудзь В. П., Лісовал А. П., Андрієнко В. О., Рибак М. Ф. Землеробство з основами ґрунтознавства і агрохімії: Підручник. / За редакцією В. П. Гудзя. Друге видання, перероблене та доповнене. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 408 с.
4. Основы надежности сельскохозяйственной техники / [В. И. Прейсман]; За ред. Д. Г. Войтюка. — К.: Вища школа, 1988. — 17-18 с.
5. Черниш О. М., Березовий М. Г., Яременко В. В., Головач І. В. Теоретична механіка.: навчальний посібник / О. М. Черниш, М. Г. Березовий, В. В. Яременко, І. В. Головач. – К.: Центр учбової літератури, 2020. – 760 с.
6. ГОСТ 1114-84. Культиваторы пропашные. Типы и основные параметры
7. Сысолин П. В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование / П. В. Сысолин, Л. В. Погорелый. – К.: Феникс, 2005. – 264 с.
8. Сайт ТОВ «Аверс-Агро» [Електронний ресурс] // Дніпро : [офіційний веб портал]. – Режим доступу: <https://avers-agro.com.ua/>, вільний. – Назва з екрана.
9. Практикум з використання машин у рослинництві / [В. Ю. Ільченко, А. С. Кобець, В. П. Мельник та ін.]; – Дніпропетровськ, 2002 р. – С. 191
10. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / [А. В. Красниченко]; – М., 1961 г. – С. 862
11. Механізація та технології обробітку ґрунту / [В. В. Марченко, М. М. Гузь, Йоханес Паар]; – К.: ТОВ «Аграр Медієн Україна», 2019 р. – С. 200
12. Сайт Подшипник.ру Центр [Електронний ресурс] // Москва : [офіційний веб портал]. – Режим доступу: <https://www.podshipnik.ru/>, вільний. – Назва з екрана.
13. И. Н. Рыбалко, А. В. Тихонов, А. Д. Мартыненко, А. В. Сайчук, Анализ напряженного состояния и технологические способы повышения ресурса стрельчатых лап культиваторов; - Харьков, 2016 г. – 14 с.
14. Г. И. Семчук. Динамика изнашивания лап культиваторов: Технологический аудит и резервы производства - 2013 г
15. Г. И. Семчук. Конструктивно-технологические характеристики культиваторных лап [Текст] / Г. И. Семчук, А. А. Дудников, А. В.

- Мелешко, В. В. Гуленко // Східно-Європейського журналу передових технологій: журнал / ПГАА. - Харків, 2013 – Вып. 64. – С. 12-14
16. Ю. С. Рудь. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д. О., 2015. – 492 с
 17. Підшипники кочення. ч. 2. Роликові підшипники. Навчальний наочний посібник [Електронний ресурс]: для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» уклад.: А. К. Скуратовський . – Електронні текстові данні 1 файл: 10,6 МБ – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 52 с.
 18. Дефектація деталей технологічного обладнання. Методичні вказівки для студентів, напряму підготовки 6.050503 „Машинобудування“ ОКР Бакалавр – Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016 - 14 с.
 19. О. І. Завгородній, В.О. Сметанкін, Г. Г. Мазнева, Н. В. Сметанкіна. Теорія ймовірностей і математична статистика. Підручник – Харків, ХНТУСГ імені Петра Василенка, 2005.– 278 с.
 20. Теорія ймовірностей і математична статистика [Текст]: навч. - метод. посібник: У 2 частинах / В. І. Жлуктенко, С. І. Наконечний. - К.: Київський національний економічний ун-т, 2000. Ч. 1: Теорія ймовірностей. - [Б. м.]: [б.в.], 2000. - 303 с.
 21. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов [Текст] / В. П. Радин, Ю. Н. Самогин, В. П. Чирков. - Москва : Физматлит, 2013. - 312, [1] с. : ил.; 23 см.
 22. Закон України «Про охорону праці»
 23. Закону України «Про пестициди і агрохімікати»
 24. Типові норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам сільського та водного господарства, затверджених наказом Мініпраці та соціальної політики України від 10 червня 1998 р. № 117
 25. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затверджені наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 26 листопада 2012 р. № 1353
 26. НАКАЗ 06.04.2010 N 173 Про затвердження Правил технічної експлуатації тракторів, самохідних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожньо-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки, інших механізмів
 27. НПАОП 01.0-1.01-12. Про затвердження правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві
 28. ГОСТ ISO 9612-2016 Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах (с Поправкой)

29. ГОСТ 12.1.005-88 Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони
30. ГОСТ 12.2.019-86 Система стандартів безпеки труда (ССБТ). Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности
31. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
32. Примірні інструкція з охорони праці під час виконання робіт із пестицидами та агрохімікатами ПІ 2.0.00-082-99
33. Примірні інструкція з охорони праці для тракториста-машиніста сільськогосподарського виробництва ПІ 2.0.00-013-1999
34. Правила охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання сільськогосподарського виробництва НПАОП 01.41-1.01-01 (ДНАОП 2.2.00-1.01-01)
35. Правила з безпечного складування, зберігання, перевезення, підготовки і внесення в ґрунт аміачної селітри НПАОП 01.41-1.05-72 (НПАОП 63.12-1.07-72) (НАОП 2.2.00-1.05-72)
36. Правила техніки безпеки при роботі з водним аміаком (аміачною водою) НПАОП 01.41-1.07-63 (НАОП 2.2.00-1.07-63)
37. Правила безпечного застосування рідкого аміаку в сільському господарстві НПАОП 01.41-1.08-82 (НАОП 2.2.00-1.08-82)
38. Примірні інструкція з охорони праці під час приймання, зберігання й видачі паливо-мастильних матеріалів та заправлення ними машин ПІ 2.1.00-115-2000
39. Методичні рекомендації з оплати праці робітників сільськогосподарських підприємств на збиранні зернових культур урожаю 2019 року / І. М. Демчак, В. О. Мариненко, В. М. Івченко та ін. – К. :НДІ "Укראгропромпродуктивність", 2019. – 40 с.

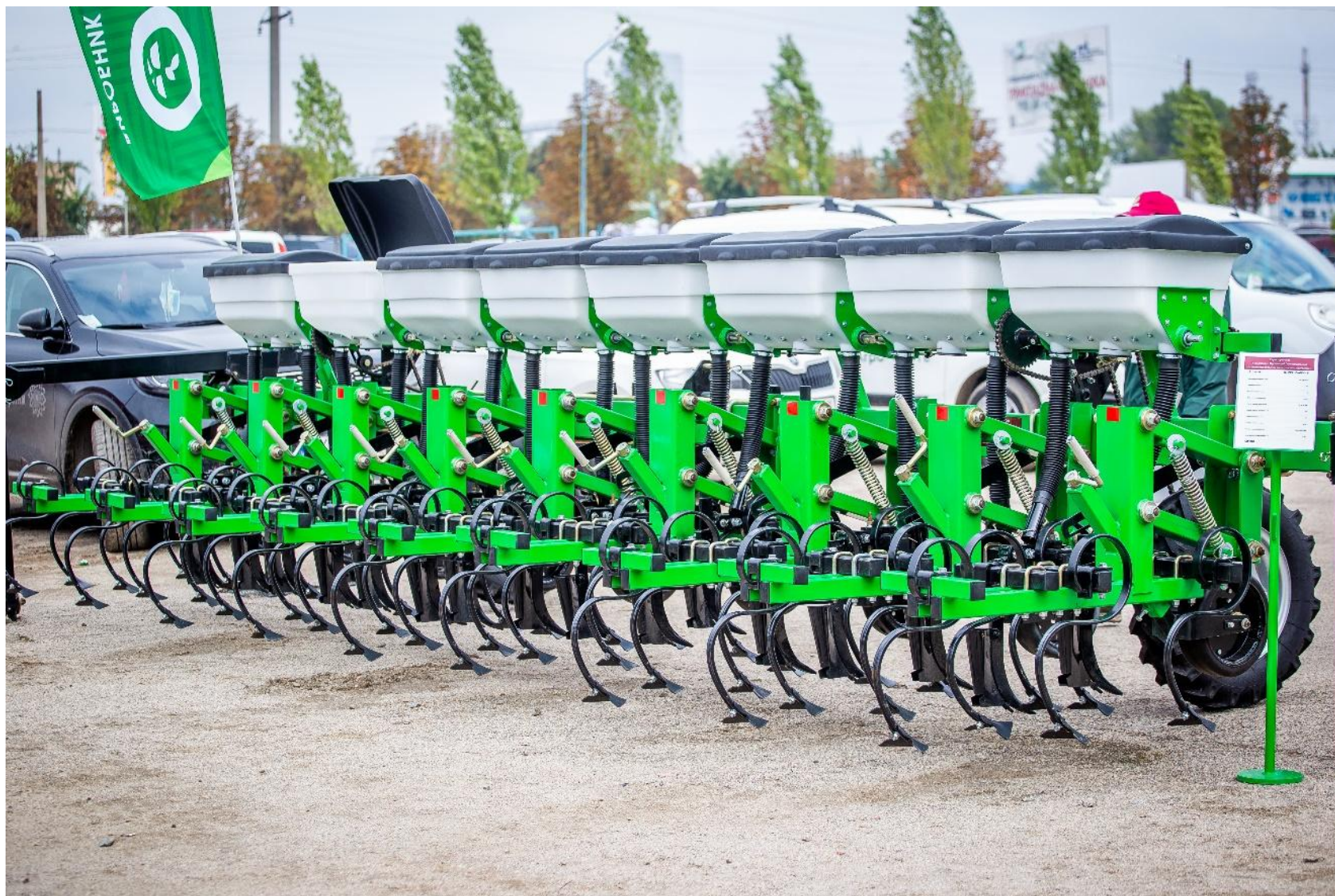


Рис. 1. Секція просапного культиватора важка (90 кг) з системою внесення добрив

Продовження додатку А



Рис. 2. Секція просапного культиватора середньо-важка (75 кг)

Продовження додатку А



Рис. 3. Секція просапного культиватора середньо-важка (75 кг) з системою внесення добрив

Продовження додатку А



Рис. 4. Секція просапного культиватора легка (60 кг) з системою внесення добрив

Продовження додатку А



Рис. 5. Секція просапного культиватора легка (55 кг) з лапами-підгортачами

Продовження додатку А



Рис. 6. Секція просапного культиватора легка (55 кг) з захисними дисками, борінками

Продовження додатку А



Рис. 7. Секція просапного культиватора легка (55 кг) з лапами-підгортачами

Додаток Б

Таблиця 1

Класифікація ґрунтів і порід за гранулометричним складом

азва ґрунту за гранулометричним складом	Вміст фізичної глини ($< 0,01$ мм), %			Вміст фізичного піску ($> 0,01$ мм), %		
	ґрунти			ґрунти		
	Підзолистого типу ґрунтоутворення	Степового типу ґрунтоутворення, а також червоноземи і жовтоземи	Солонці сильно солонковаті ґрунти	Підзолистого типу ґрунтоутворення	Степового типу ґрунтоутворення, а також червоноземи і жовтоземи	Солонці сильно солонковаті ґрунти
Піщаний:						
пухкопіщаний	0-5	0-5	0-5	100-95	100-95	100-95
зв'язнопіщаний	5-10	5-10	5-10	95-90	95-90	95-90
Супіщаний	10-20	10-20	10-20	90-80	90-80	90-80
Суглинковий:						
легкосуглинковий	20-30	20-30	15-20	80-70	80-70	85-80
середньосуглинковий	30-40	30-45	20-30	70-60	70-55	80-70
важкосуглинковий	40-50	45-60	30-40	60-50	55-40	70-60
Глинистий:						
легкоглинистий	50-65	60-75	40-50	50-35	40-25	60-50
середньоглинистий	65-80	75-85	50-65	30-20	25-15	50-35
важкоглинистий	> 80	> 85	> 65	< 20	< 15	< 35

Додаток В

Таблиця 1

Розрахункове значення сили R_{ox} , кг

		Глибина обробки h , см																				
		6			8				10					12								
Кут нахилу реакції грунту, ψ°	18																					
	24																					
		Питомий опір ґрунту q , кг/см																				
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4				
Ширина лапи B , мм	75	6,31	7,10	7,89	8,67	9,46	10,25															
					9,03	9,85	10,67	11,49	12,31	13,14	13,96	14,78	15,60	16,42	17,24	18,06	18,88	19,70				
	80	6,73	7,57	8,41	9,25	10,09	10,94															
					9,63	10,51	11,38	12,26	13,14	14,01	14,89	15,76	16,64	17,51	18,39	19,27	20,14	21,02				
	85	7,15	8,04	8,94	9,83	10,72	11,62															
					10,23	11,17	12,10	13,03	13,96	14,89	15,82	16,75	17,68	18,61	19,54	20,47	21,40	22,33				
	90	7,57	8,52	9,46	10,41	11,36	12,30															
					10,84	11,82	12,81	13,79	14,78	15,76	16,75	17,73	18,72	19,70	20,69	21,67	22,66	23,64				
	95	7,99	8,99	9,99	10,99	11,99	12,99															
					11,44	12,48	13,52	14,56	15,60	16,64	17,68	18,72	19,76	20,80	21,84	22,88	23,92	24,96				
	100	8,41	9,46	10,51	11,57	12,62	13,67															
					12,04	13,14	14,23	15,32	16,42	17,51	18,61	19,70	20,80	21,89	22,99	24,08	25,18	26,27				
	105	8,83	9,94	11,04	12,14	13,25	14,35															
					12,64	13,79	14,94	16,09	17,24	18,39	19,54	20,69	21,84	22,99	24,14	25,29	26,44	27,58				
	110	9,25	10,41	11,57	12,72	13,88	15,04															
					13,25	14,45	15,65	16,86	18,06	19,27	20,47	21,67	22,88	24,08	25,29	26,49	27,69	28,90				

Додаток В
Продовження таблиці 1

		Глибина обробки h, см																				
Кут нахилу реакції ґрунту, ψ°	18	6			8						10						12					
	24	10						12														
		Питомий опір ґрунту q, кг/см																				
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4				
Ширина лапи B, мм	75	6,31	7,10	7,89	8,67	9,46	10,25															
					9,03	9,85	10,67	11,49	12,31	13,14	13,96	14,78	15,60	16,42	17,24	18,06	18,88	19,70				
	80	6,73	7,57	8,41	9,25	10,09	10,94															
					9,63	10,51	11,38	12,26	13,14	14,01	14,89	15,76	16,64	17,51	18,39	19,27	20,14	21,02				
	85	7,15	8,04	8,94	9,83	10,72	11,62															
					10,23	11,17	12,10	13,03	13,96	14,89	15,82	16,75	17,68	18,61	19,54	20,47	21,40	22,33				
	90	7,57	8,52	9,46	10,41	11,36	12,30															
					10,84	11,82	12,81	13,79	14,78	15,76	16,75	17,73	18,72	19,70	20,69	21,67	22,66	23,64				
	95	7,99	8,99	9,99	10,99	11,99	12,99															
					11,44	12,48	13,52	14,56	15,60	16,64	17,68	18,72	19,76	20,80	21,84	22,88	23,92	24,96				
	100	8,41	9,46	10,51	11,57	12,62	13,67															
					12,04	13,14	14,23	15,32	16,42	17,51	18,61	19,70	20,80	21,89	22,99	24,08	25,18	26,27				
	105	8,83	9,94	11,04	12,14	13,25	14,35															
					12,64	13,79	14,94	16,09	17,24	18,39	19,54	20,69	21,84	22,99	24,14	25,29	26,44	27,58				
	110	9,25	10,41	11,57	12,72	13,88	15,04															
					13,25	14,45	15,65	16,86	18,06	19,27	20,47	21,67	22,88	24,08	25,29	26,49	27,69	28,90				
	115	9,67	10,88	12,09	13,30	14,51	15,72															
					13,85	15,11	16,36	17,62	18,88	20,14	21,40	22,66	23,92	25,18	26,44	27,69	28,95	30,21				
120	10,09	11,36	12,62	13,88	15,14	16,40																
				14,45	15,76	17,08	18,39	19,70	21,02	22,33	23,64	24,96	26,27	27,58	28,90	30,21	31,53					
125	10,51	11,83	13,14	14,46	15,77	17,09																
				15,05	16,42	17,79	19,16	20,52	21,89	23,26	24,63	26,00	27,37	28,73	30,10	31,47	32,84					

Додаток В
Продовження таблиці 1

		Глибина обробки h, см																
		6			8				10					12				
Кут нахилу реакції ґрунту, ψ°	18																	
	24																	
		Питомий опір ґрунту q, кг/см																
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
Ширина лапи B, мм	130	10,94	12,30	13,67	15,04	16,40	17,77											
					15,65	17,08	18,50	19,92	21,35	22,77	24,19	25,61	27,04	28,46	29,88	31,31	32,73	34,15
	135	11,36	12,78	14,19	15,61	17,03	18,45											
					16,26	17,73	19,21	20,69	22,17	23,64	25,12	26,60	28,08	29,56	31,03	32,51	33,99	35,47
	140	11,78	13,25	14,72	16,19	17,66	19,14											
					16,86	18,39	19,92	21,45	22,99	24,52	26,05	27,58	29,12	30,65	32,18	33,71	35,25	36,78
	145	12,20	13,72	15,25	16,77	18,30	19,82											
					17,46	19,05	20,63	22,22	23,81	25,40	26,98	28,57	30,16	31,74	33,33	34,92	36,51	38,09
	150	12,62	14,19	15,77	17,35	18,93	20,50											
					18,06	19,70	21,35	22,99	24,63	26,27	27,91	29,56	31,20	32,84	34,48	36,12	37,76	39,41
	155	13,04	14,67	16,30	17,93	19,56	21,19											
					18,66	20,36	22,06	23,75	25,45	27,15	28,84	30,54	32,24	33,93	35,63	37,33	39,02	40,72
	160	13,46	15,14	16,82	18,51	20,19	21,87											
					19,27	21,02	22,77	24,52	26,27	28,02	29,77	31,53	33,28	35,03	36,78	38,53	40,28	42,03
	165	13,88	15,61	17,35	19,08	20,82	22,55											
					19,87	21,67	23,48	25,29	27,09	28,90	30,70	32,51	34,32	36,12	37,93	39,74	41,54	43,35
	170	14,30	16,09	17,87	19,66	21,45	23,24											
					20,47	22,33	24,19	26,05	27,91	29,77	31,63	33,50	35,36	37,22	39,08	40,94	42,80	44,66
175	14,72	16,56	18,40	20,24	22,08	23,92												
				21,07	22,99	24,90	26,82	28,73	30,65	32,57	34,48	36,40	38,31	40,23	42,14	44,06	45,97	
180	15,14	17,03	18,93	20,82	22,71	24,60												
				21,67	23,64	25,61	27,58	29,56	31,53	33,50	35,47	37,44	39,41	41,38	43,35	45,32	47,29	

Додаток В
Продовження таблиці 1

Кут нахилу реакції ґрунту, ψ°		Глибина обробки h, см																					
		6			8			10			12												
		Питомий опір ґрунту q , кг/см																					
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4					
Ширина лапи B, мм	185	15,56	17,51	19,45	21,40	23,34	25,29																
						22,28	24,30	26,33	28,35	30,38	32,40	34,43	36,45	38,48	40,50	42,53	44,55	46,58	48,60				
	190	15,98	17,98	19,98	21,98	23,97	25,97																
						22,88	24,96	27,04	29,12	31,20	33,28	35,36	37,44	39,52	41,60	43,68	45,76	47,84	49,92				
	195	16,40	18,45	20,50	22,55	24,60	26,65																
						23,48	25,61	27,75	29,88	32,02	34,15	36,29	38,42	40,56	42,69	44,83	46,96	49,09	51,23				
	200	16,82	18,93	21,03	23,13	25,24	27,34																
						24,08	26,27	28,46	30,65	32,84	35,03	37,22	39,41	41,60	43,79	45,97	48,16	50,35	52,54				
	205	17,24	19,40	21,55	23,71	25,87	28,02																
						24,68	26,93	29,17	31,42	33,66	35,90	38,15	40,39	42,64	44,88	47,12	49,37	51,61	53,86				
	210	17,66	19,87	22,08	24,29	26,50	28,70																
						25,29	27,58	29,88	32,18	34,48	36,78	39,08	41,38	43,68	45,97	48,27	50,57	52,87	55,17				
	215	18,09	20,35	22,61	24,87	27,13	29,39																
						25,89	28,24	30,60	32,95	35,30	37,66	40,01	42,36	44,72	47,07	49,42	51,78	54,13	56,48				
	220	18,51	20,82	23,13	25,45	27,76	30,07																
						26,49	28,90	31,31	33,71	36,12	38,53	40,94	43,35	45,76	48,16	50,57	52,98	55,39	57,80				
	225	18,93	21,29	23,66	26,02	28,39	30,76																
						27,09	29,56	32,02	34,48	36,94	39,41	41,87	44,33	46,80	49,26	51,72	54,18	56,65	59,11				
230	19,35	21,77	24,18	26,60	29,02	31,44																	
					27,69	30,21	32,73	35,25	37,76	40,28	42,80	45,32	47,84	50,35	52,87	55,39	57,91	60,42					
235	19,77	22,24	24,71	27,18	29,65	32,12																	
					28,30	30,87	33,44	36,01	38,59	41,16	43,73	46,30	48,88	51,45	54,02	56,59	59,17	61,74					

Додаток В
Продовження таблиці 1

Кут нахилу реакції ґрунту, ψ°		Глибина обробки h, см																
		6			8				10					12				
		Питомий опір ґрунту q, кг/см																
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
Ширина лапи B, мм	240	20,19	22,71	25,24	27,76	30,28	32,81											
					28,90	31,53	34,15	36,78	39,41	42,03	44,66	47,29	49,92	52,54	55,17	57,80	60,42	63,05
	245	20,61	23,18	25,76	28,34	30,91	33,49											
					29,50	32,18	34,86	37,55	40,23	42,91	45,59	48,27	50,96	53,64	56,32	59,00	61,68	64,36
	250	21,03	23,66	26,29	28,92	31,54	34,17											
					30,10	32,84	35,58	38,31	41,05	43,79	46,52	49,26	52,00	54,73	57,47	60,20	62,94	65,68
	255	21,45	24,13	26,81	29,49	32,17	34,86											
					30,70	33,50	36,29	39,08	41,87	44,66	47,45	50,24	53,04	55,83	58,62	61,41	64,20	66,99
	260	21,87	24,60	27,34	30,07	32,81	35,54											
					31,31	34,15	37,00	39,84	42,69	45,54	48,38	51,23	54,08	56,92	59,77	62,61	65,46	68,31
	265	22,29	25,08	27,86	30,65	33,44	36,22											
					31,91	34,81	37,71	40,61	43,51	46,41	49,31	52,21	55,11	58,02	60,92	63,82	66,72	69,62
	270	22,71	25,55	28,39	31,23	34,07	36,91											
					32,51	35,47	38,42	41,38	44,33	47,29	50,24	53,20	56,15	59,11	62,07	65,02	67,98	70,93
	275	23,13	26,02	28,92	31,81	34,70	37,59											
					33,11	36,12	39,13	42,14	45,15	48,16	51,17	54,18	57,19	60,20	63,22	66,23	69,24	72,25
	280	23,55	26,50	29,44	32,39	35,33	38,27											
					33,71	36,78	39,84	42,91	45,97	49,04	52,10	55,17	58,23	61,30	64,36	67,43	70,49	73,56
290	24,39	27,44	30,49	33,54	36,59	39,64												
				34,92	38,09	41,27	44,44	47,62	50,79	53,97	57,14	60,31	63,49	66,66	69,84	73,01	76,19	
295	24,81	27,92	31,02	34,12	37,22	40,32												
				35,52	38,75	41,98	45,21	48,44	51,67	54,90	58,13	61,35	64,58	67,81	71,04	74,27	77,50	

Додаток В
Продовження таблиці 1

Кут нахилу реакції ґрунту, ψ°		Глибина обробки h, см																	
		6			8					10					12				
		Питомий опір ґрунту q, кг/см																	
		0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	
Ширина лапи B, мм	300	25,24	28,39	31,54	34,70	37,85	41,01												
					36,12	39,41	42,69	45,97	49,26	52,54	55,83	59,11	62,39	65,68	68,96	72,25	75,53	78,81	
	305	25,66	28,86	32,07	35,28	38,48	41,69												
					36,73	40,06	43,40	46,74	50,08	53,42	56,76	60,10	63,43	66,77	70,11	73,45	76,79	80,13	
	310	26,08	29,34	32,60	35,85	39,11	42,37												
					37,33	40,72	44,11	47,51	50,90	54,29	57,69	61,08	64,47	67,87	71,26	74,65	78,05	81,44	
	315	26,50	29,81	33,12	36,43	39,75	43,06												
					37,93	41,38	44,83	48,27	51,72	55,17	58,62	62,07	65,51	68,96	72,41	75,86	79,31	82,75	
	320	26,92	30,28	33,65	37,01	40,38	43,74												
					38,53	42,03	45,54	49,04	52,54	56,05	59,55	63,05	66,55	70,06	73,56	77,06	80,57	84,07	
	325	27,34	30,76	34,17	37,59	41,01	44,42												
					39,13	42,69	46,25	49,81	53,36	56,92	60,48	64,04	67,59	71,15	74,71	78,27	81,82	85,38	
	330	27,76	31,23	34,70	38,17	41,64	45,11												
					39,74	43,35	46,96	50,57	54,18	57,80	61,41	65,02	68,63	72,25	75,86	79,47	83,08	86,70	
	335	28,18	31,70	35,22	38,75	42,27	45,79												
					40,34	44,00	47,67	51,34	55,01	58,67	62,34	66,01	69,67	73,34	77,01	80,67	84,34	88,01	
	340	28,60	32,17	35,75	39,32	42,90	46,47												
					40,94	44,66	48,38	52,10	55,83	59,55	63,27	66,99	70,71	74,44	78,16	81,88	85,60	89,32	
345	29,02	32,65	36,28	39,90	43,53	47,16													
				41,54	45,32	49,09	52,87	56,65	60,42	64,20	67,98	71,75	75,53	79,31	83,08	86,86	90,64		
350	29,44	33,12	36,80	40,48	44,16	47,84													
				42,14	45,97	49,81	53,64	57,47	61,30	65,13	68,96	72,79	76,62	80,46	84,29	88,12	91,95		

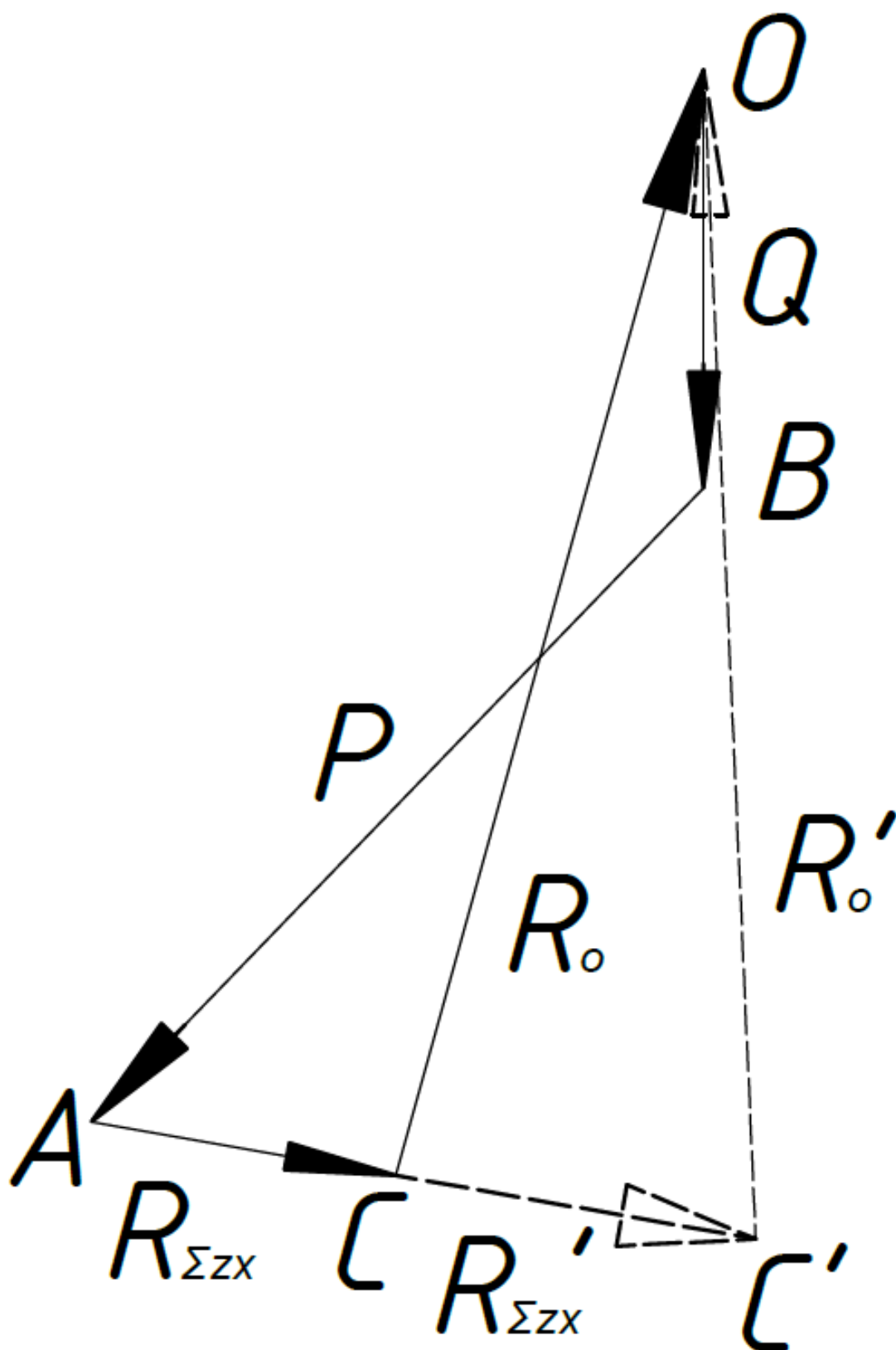


Рис. 1. Графічне визначення рівнодіючої сили R_0 , початкове та кінцеве положення

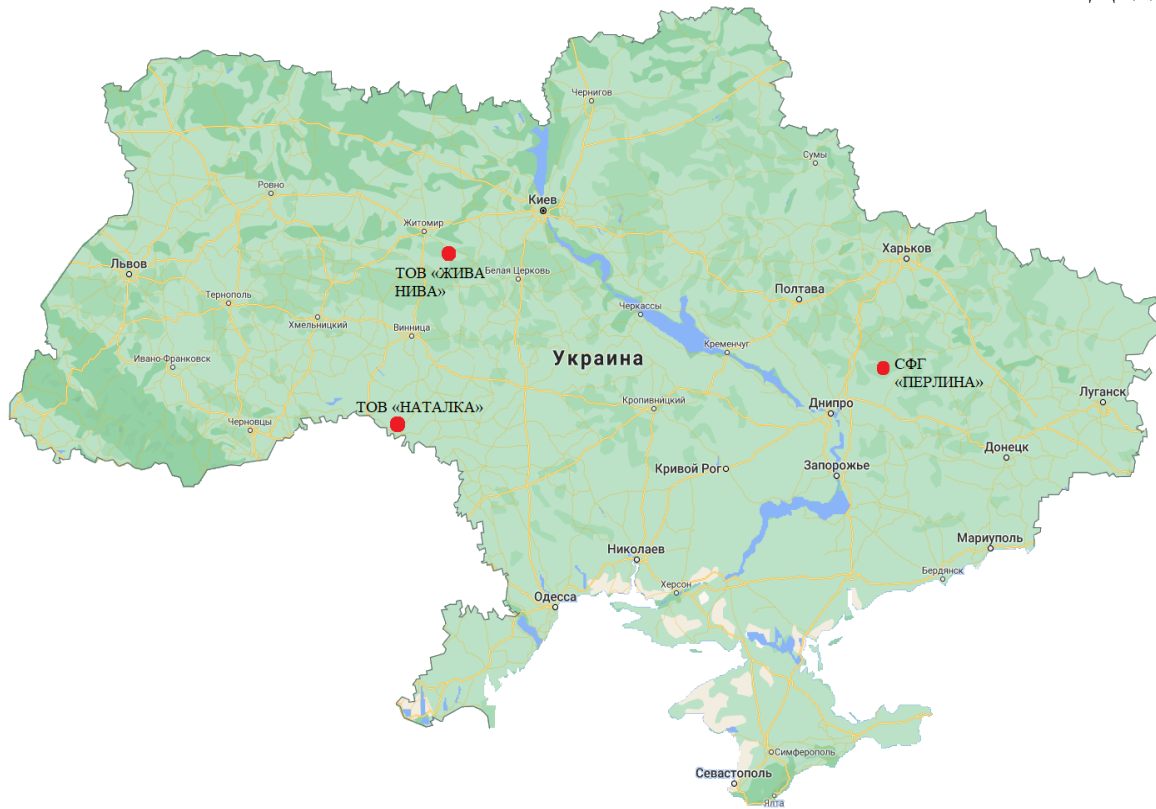


Рис. 1 - Карта-схема географічного розміщення господарств на яких проводили спостереження

Таблиця 1

Значення оптимальної ширини лап просапних культиваторів

Назва	Місце розташування	Зона агрогрунтового районування	Технологія	Властивості ґрунту	Ширина лап В, см
ТОВ «ЖИВА НИВА»	Україна, Житомирська обл., Андрушівський р-н	ЛС2_1	Інтенсивна	Лісостепова зона чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів	150
ТОВ «НАТАЛКА»	Україна, Вінницька обл., Ямпільський р-н	ЛС2_2	Інтенсивна	Лісостепова зона чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів	110
СФГ «ПЕРЛИНА»	Україна, Дніпропетровська обл., Юріївський р-н	СА3	Інтенсивна	Степова зона чорноземів звичайних та південних	150



ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА У СКЛАДІ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

Субочев О. І.¹, к. т. н.

ORCID: 0000-0002-6867-9991

Деркач О. Д.¹

ORCID: 0000-0002-5537-8022

Каракай А. О.¹, магістрант

¹Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

e-mail: subochev.alex@gmail.com

Постановка проблеми. Актуальним питанням сьогодення є зменшення витрат на вирощування сільськогосподарської продукції. Зважаючи на той факт, що витрати енергії є найвищими на операціях основного обробітку ґрунту, а під час вирощування окремих культур, таких як соняшник, кукурудза, картопля, цукрові буряки, ріпак та ін., витрати на проведення основного обробітку ґрунту можуть досягати 25...35% загальних енерговитрат на технологію вирощування, проблема енергозбереження стає ще більш гострою. Ще більшої актуальності енергетика процесу глибокого обробітку ґрунту набуває під час впровадження технологій безполіцевого розпушування, оскільки ці операції позиціонуються не лише як основи ґрунтозахисного землеробства, а й мають забезпечувати принципи зниження енергоємності процесу [1-4].

Поступовий перехід від технологій класичної поліцевої оранки до технологій безполіцевого глибокого обробітку є реаліями сьогодення. Впровадження в технологічні процеси вирощування продукції рослинництва на етапах основного обробітку ґрунту процесів глибокого розпушування, дозволяють суттєво скоротити витрати на проведення операцій, зруйнувати ущільнену підорну підшву, цим самим покращити інфільтраційні властивості ґрунтів, скоротити прояви вітрової та водної ерозій, і зрештою, являють основами ґрунтозахисного енергоощадного землеробства [5].

Ще одним фактором, який обмежує використання глибокорозпушувачів є висока вартість закордонних машин та запасних частин до них, що реалізуються на ринку сільськогосподарської техніки, а вітчизняні виробники здебільшого необґрунтовано копіюють будову закордонних аналогів без вдосконалення конструкцій та їх адаптації до ґрунтових умов,



експлуатаційних особливостей енергетичних засобів, специфіки реалізації технологій глибокого розпушування [6].

Протягом останніх років місцевими виробниками робляться спроби вдосконалити як окремі елементи конструкцій глибокорозпушувачів, так і їх принципових схем і механізмів регулювань загалом, що повинно підвищити загальну ефективність їх використання, спростити та обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри і режими роботи та забезпечити комплектування агрегатів із існуючим енергетичними засобами. Для комплексної оцінки якісних показників роботи, витрат енергії, ефективного агрегування, пошуку раціональних конструкцій та набору робочих органів проводяться відповідні теоретико-експериментальні дослідження, хоча ряд питань залишаються не вивченими. Зокрема, актуальними питаннями залишаються питання взаємозв'язку якості операцій глибокого розпушування із енерговитратами та можливість комплектування ефективного ґрунтообробного агрегату із раціональним набором робочих органів з тракторами різного тягового класу та конструкціями енергетичних засобів [7].

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що найбільш вагомим фактором, який забезпечує створення оптимальних умов росту і розвитку рослин є механічний обробіток ґрунту. Проте, часті і глибокі обробітки щорічно призводять до втрати органічної речовини від 1 до 2%, яка має важливе значення для формування необхідних фізико-механічних властивостей, структури ґрунту та інших факторів родючості [8].

Механічний обробіток ґрунту являє собою дію на нього робочими органами ґрунтообробних машин і знарядь на відповідну глибину, це один із засобів регулювання водного і повітряного режимів оброблюваного шару. Він, з одного боку, сприяє нагромадженню вологи в ґрунті та зменшення її непродуктивних втрат і створює умови для продуктивного використання рослинами вологи, а з другого - знижує кількість вологи в цьому шарі при надмірному зволоженні. Усунення надлишку вологи сприяє збільшенню загальної аерації і створення оптимального співвідношення води і повітря в ґрунті [9].

Ряд дослідників доводять [10-14], що проведення багатократного механічного обробітку ґрунту, з однієї сторони, дозволяє забезпечити максимальне знищення бур'янів, але з іншої – суттєво погіршує структуру і сприяє загальному ущільненню орного горизонту, що вимагає здійснення додаткових операцій обробітку, а отже, супроводжується збільшенням витрат енергії. В публікації робиться висновок про те, що чим більше ґрунт обробляється, тим більше він потребує обробітку [10]. Тому при виборі виду обробітку ґрунту, типу машини чи знаряддя, конструктивних особливостей робочих органів та



їх поєднань, параметрів налаштувань ґрунтообробних агрегатів і режимів роботи, насамперед необхідно виходити із умов, що забезпечують агрофізичні та інші властивості ґрунтів.

У боротьбі з ерозією велика роль належить правильному обробітку ґрунту, який запобігає та істотно знижує їх руйнівну силу. Крім того, у півтора-два рази збільшуються витрати на обробіток переуцільненого ґрунту. Плужна підшва затрудняє утворення та проникнення коріння у більш глибокі шари ґрунту, різко порушується водний режим. Рослини, які вирощуються на ґрунтах з плужною підшвою, навіть у вологі роки знаходяться в умовах посухи [15, 16].

На практиці прийнято затрати енергії на обробіток ґрунту оцінювати дійсними витратами пального. Крім того, відомо, що витрати пального на обробіток ґрунту суттєво залежать не лише від конструктивних особливостей робочих органів і знарядь ґрунтообробних машин та їх компоновки у агрегати, але і від типу та фізико-механічних властивостей ґрунтів, що підлягають обробці [17, 18, 19].

Формулювання цілей статті. Дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів робочих органів просапного культиватора на тяговий опір і оцінка витрат пального залежно від компоновки агрегату та набору робочих органів під час роботи комбінованих просапних агрегатів елементів, які деформують ґрунт, переважно у горизонтальній площині. Оцінка енергоємності обробітку ґрунту комбінованими просапними культиваторами, шляхом аналітичного дослідження силової взаємодії запропонованого знаряддя і практичного аналізу витрат пального в залежності від компоновки агрегату та набору робочих органів [20].

Основна частина. Розробка моделі динамічної взаємодії просапного культиватора з опорною поверхнею.

При побудові схеми просапної культиватора необхідно враховувати наступні вимоги: конструкція культиватора повинна забезпечувати пристосовність робочих органів до мікрорельєфу поля; конструкція культиватора повинна передбачати пристрої: для регулювання глибини ходу кожного робочого органу; для зміни кута установки до горизонтальної площини кожної секції, а також кута установки до горизонтальної площини кожного робочого органу; культиватор повинен мати механізми, які забезпечували б плавне або ступінчасте регулювання глибини ходу робочих органів (ступінчастість повинна бути не більше ніж через 20 мм); ходові колеса слід розташовувати попереду робочих органів, щоб сліди їх були оброблені.

Найбільше цим вимогам відповідає схема побудови просапного культиватора з використанням окремих секцій, які закріплені на раму



культиватора за допомогою скоб, а розподіл навантаження відбувається за рахунок впровадження в конструкцію чотириохланкового паралелограмного механізму.

Секція культиватора просапного складається з таких вузлів (рис. 1): паралелограм, рама, опорне колесо, стійка, лапа.



Рис. 1. Конструкція секції просапного культиватора

Динамічний аналіз складається з визначення впливу зовнішніх сил, сил ваги конструкції, сил тертя та масових сил (сил інерції) на ланки механізму, на елементи ланок, на кінематичні пари та нерухомі опори та встановлення способів зменшення динамічних навантажень, що виникають при русі механізму, режиму руху механізму під дією заданих сил та встановлення способів, що забезпечують задані режими руху механізму.

В динамічний аналіз механізмів включається задачі теорії коливань в механізмах, про співударяння ланок механізмів теорії пружності, теорії і машин механізмів.

Розв'язання задачі розрахунку терміну служби підшипнику потребує дослідження та визначення параметрів руху колеса відносно центра в рухомій системі координат. Треба проаналізувати роботу опорного колеса культиватора керуючись основними законами динаміки абсолютного руху.

В основі динаміки абсолютного руху матеріальної точки знаходяться перший та другий закони Ньютона. Точка M здійснює обертальний рух: абсолютний рух цієї точки відносно деякого центру нерухомої системи координат O , відносний рух відносно рухомої системи координат O_{xyz} .

Рівняння руху невідільної матеріальної точки:

$$m\vec{W}_a = \vec{F} + \vec{R}, \quad (1)$$



де m - маса матеріальної точки M опорного колеса, кг;
 \overline{W}_a - прискорення маса матеріальної точки M опорному колесі, m/c^2 ;

\overline{F} - сумарна сила, що враховує всі сили, які діють на опорне колесо при роботі культиватора, Н;

\overline{R} - реакція, яка замінює в'язі невіЛЬНОї матеріальної точки M , що обмежує її рух у просторі, Н.

Рівняння відносного руху:

$$m\overline{W}_z = \overline{F} + (-m\overline{W}_x) + (-m\overline{W}_y) + \overline{R}, \quad (2)$$

де \overline{W}_z - прискорення матеріальної точки M відносно вісі z ;

\overline{W}_x - прискорення матеріальної точки M відносно вісі x ;

\overline{W}_y - прискорення матеріальної точки M відносно вісі y .

З рівнянь (1, 2) випливає, що для складання рівняння руху матеріальної точки треба визначення активних сил і реакцій.

Сили, що діють на колесо просапного культиватора при обертальному русі при обмеженні глибини наведено на рис. 2.

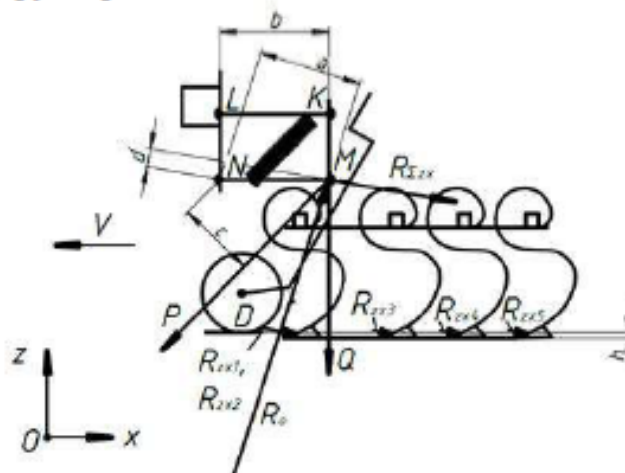


Рис. 2. Схема дії сил на секцію просапного культиватора при обмеженні глибини обробки і швидкості руху

Для забезпечення постійності глибини ходу в конструкції секції просапного культиватора передбачене опорне колесо. За рахунок цього збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя. Ця сила навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації.

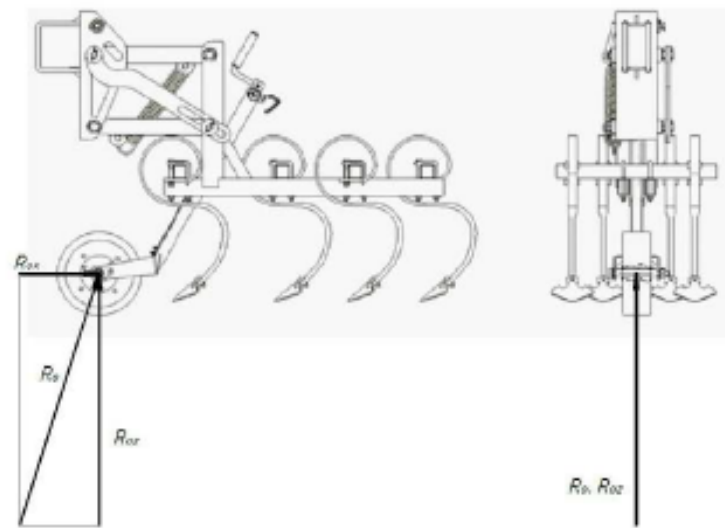


Рис. 3. Графічна дія вертикальної і горизонтальної складових навантаження на опорні колеса

Рівноваги системи будується за формулою

$$R_0 \cdot a - R_{\Sigma x} \cdot d - Q \cdot b - P \cdot c = 0, \quad (3)$$

де R_0 - навантаження на опорні колеса (рис.3), Н;

$R_{\Sigma x}$ - сила опору ґрунту, Н;

Q - вага системи, Н;

P - зусилля пружини, Н;

a, b, c, d - плечі сил, $R_0, Q, P, R_{\Sigma x}$ відповідно, відносно центра обертання системи, м.

Визначення навантаження на опорні колеса при роботі культиватора наведено у вигляді паралелограма сил (рис. 4).

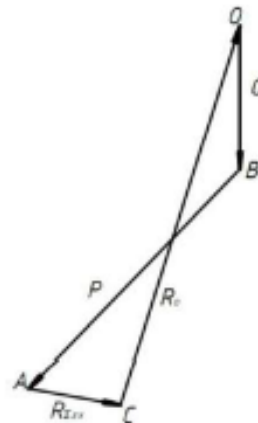


Рис. 4. Графічне визначення навантаження на опорні колеса

Горизонтальна складова сили опору ґрунту визначається за формулою (рис. 5):



$$R_x = R_{zx} \cdot \cos \psi, \quad (4)$$

де R_{zx} - сила опору ґрунту;
 ψ - кут нахилу реакції ґрунту.

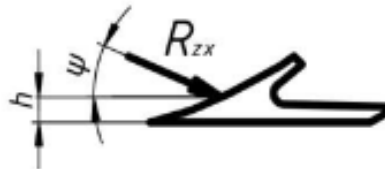


Рис. 5. Дія сила опору ґрунту на універсальну стрілочасту лапу

При розрахунках стрілочастих лап з кутом кришіння $\beta = 15-30^\circ$, що працюють на парових та просапних культиваторах, кут ψ приймається рівним $18-24^\circ$. Нижнє значення кута ψ відповідає глибині обробки ґрунту $h_{обр} \leq 8$ см, та меншому значенню кута β , верхня границя - глибині $h_{обр} = 10-12$ см, та більшому значенню кута β .

Питомий опір ґрунту визначається за формулою:

$$q = \frac{R_x}{b_n}, \quad (5)$$

де b_n - ширина захвату лапи, см.

Горизонтальна складову сили опору ґрунту визначається за формулою:

$$R_x = b_n \cdot q. \quad (6)$$

Залежність сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора наведено на рис. 6.

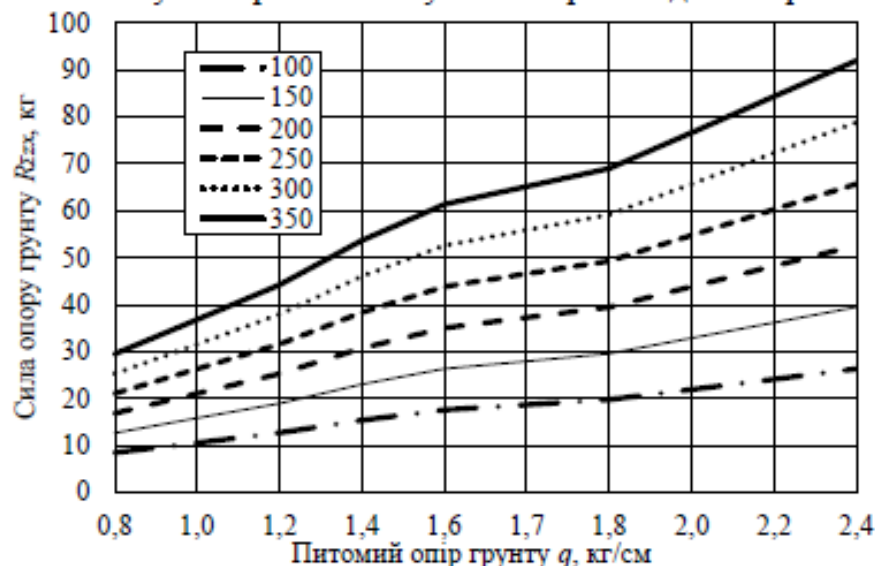


Рис. 6. Залежність сили опору обробки від питомого опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора



Підвищення сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора пояснюється тим, що чим більше питомий опір ґрунту і чим більше ширина захвату лап тим більше зусилля на тяговому органі просапного культиватора.

Залежність навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при різних глибинах обробки наведено на рис 7.

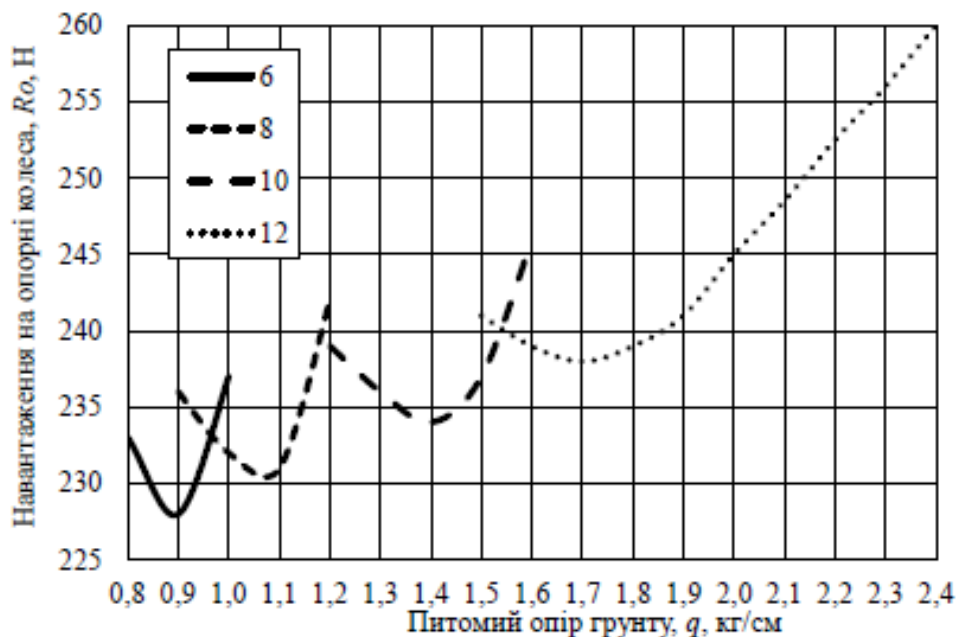


Рис. 7. Залежність навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при різних глибинах обробки

З рис. 6 видно, що при збільшенні питомого опору ґрунту і глибини обробки буде підвищуватись навантаження на опорні колеса. Залежність навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при кожній глибині обробки має нерівномірний характер: на початку зменшується до деякого мінімуму, а потім збільшується.

Висновки. Розв'язано задачі розрахунку терміну служби підшипнику, проведено дослідження та визначення параметрів руху колеса відносно центра в рухомій системі координат. Для забезпечення постійності глибини ходу в конструкції секції просапного культиватора передбачене опорне колесо, за рахунок чого збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя, навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації. Проаналізовано роботу опорного колеса культиватора керуючись основними законами динаміки абсолютного руху.

Обґрунтовано підвищення сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора. Виявлено



нерівномірний характер залежності навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при кожній глибині обробки.

Список використаних джерел

1. Лещенко С. В., Сало В. М., Васильковський А. М. Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery*. 2014. Vol. 16, № 2. P. 195–201.
2. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production: Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference*. Uman, 2019. P. 18-20.
3. Лещенко С. М., Сало В. М., Петренко Д. І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Сер. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. Вип. 31. С. 10–20.
4. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine: Coll. scientific-works of Intern. Research Practice Conf. Nizhyn*, 2019. P. 84–91.
5. Skliar R. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux «Social function of science, teaching and learning»*. Bordeaux, France 2020.
6. Vasytkovska K. V., Leshchenko S. M., Vasytkovskyi O. M., Petrenko D. I. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting // *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 50, № 3. P.13-20.
7. Leschenko S., Petrenko D., Salo V. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кіровоград, 2014. Вип. 44. С. 237-243.
8. Лещенко С. М., Сало В. М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2016. Вип. 4 (103). С. 31-37.
9. Сало В. М., Богатирьов Д. В., Лещенко С. М., Савицький М. І. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві. *Техніка і технології АПК*. 2014. № 10 (61). С. 16-19.



10. Zabolotko O. O. Performance indicators of farm equipment. *Kramar Readings: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference*. 2017. P. 155–158.
11. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив: навчальний посібник / В. М. Сало та ін. Харків, 2016. 244 с.
12. Сало В. М., Богатирьов Д. В., Лещенко С. М., Савицький М. І. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві. *Техніка і технології АПК*, 2014. № 10 (61) С. 16-19.
13. Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв: Монография. К.: Феникс, 2008. 266 с.
14. Сало В. М., Лещенко С. М., Пашинський В. А., Ярових Р. В. Аналіз процесів чизельвання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кіровоград, 2015. Вип. 45, Ч.1 С. 126-132.
15. Kyurchev S., Kolodiy A. Analysis of existing methods and means for the separation of seeds. *Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture*. 2013. Vol. 15, №2. P. 197-204.
16. Dudarev I., Kirchuk R. Simulation of bulk materials separation process in spiral separator. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 53, no. 3. pp. 57-64.
17. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»* 2017. P. 155–158.
18. Skliar A. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 249-258.
19. Лузан П. Г., Лузан О. Р., Петренко Д. І. Обґрунтування параметрів решета для сепарації зерна. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2016. Вип. 29. С. 46-53.
20. Лещенко С. М., Сало В. М. Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переущільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград: КНТУ, 2015 р. Вип. 28. С. 181-186.



ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА У СКЛАДІ МАШИННО- ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

Субочев О.И., Деркач О.Д., Каракай А.О.

Анотація

Проведено теоретико-експериментальні дослідження для комплексної оцінки якісних показників роботи, витрат енергії, ефективного агрегування, пошуку раціональних конструкцій та набору робочих органів.

Розв'язано задачі розрахунку терміну служби підшипнику, проведено дослідження та визначення параметрів руху колеса відносно центра в рухомій системі координат. Для забезпечення постійності глибини ходу в конструкції секції просапного культиватора передбачене опорне колесо, за рахунок чого збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя, навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації. Проаналізовано роботу опорного колеса культиватора керуючись основними законами динаміки абсолютного руху.

Обґрунтовано підвищення сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора. Виявлено нерівномірний характер залежності навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при кожній глибин обробки.

Ключові слова: просапний культиватор ТОВ «Avers-Agro», динамічний аналіз, сили опору обробки

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОПАШНОГО КУЛЬТИВАТОРА В СОСТАВЕ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Субочев О.И., Деркач А.Д., Каракай А.А.

Аннотация

Проведен теоретико-экспериментальные исследования для комплексной оценки качественных показателей работы, затрат энергии, эффективного агрегатирования, поиска рациональных конструкций и набора рабочих органов.

Решены задачи расчета срока службы подшипника, проведены исследования и определения параметров движения колеса относительно центра в подвижной системе координат. Для обеспечения постоянства глубины хода в конструкции секции пропашные культиваторы предусмотрено опорное колесо, за счет чего увеличивается тяговое сопротивление агрегата на величину силы трения, нагружает подшипниковые узлы, влияет на срок их эксплуатации. Проанализирована работа опорного колеса культиватора руководствуясь основными законами динамики абсолютного движения.

Обоснованно повышение силы сопротивления обработки от сопротивления почвы при различных ширины захвата лап пропашного культиватора. Выведено неравномерный характер зависимости нагрузки на опорные колеса от удельного сопротивления ґрунта при каждой глубине обработки.

Ключевые слова: пропашной культиватор ООО «Avers-Agro», динамический анализ, силы сопротивления обработки



JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ROW CULTIVATOR IN THE MACHINE-TRACTOR AGGREGATE

Subochev O.I., Derkach O.D., Karakay A.O.

Summary

Improving the operation of the cultivator by the number and composition of legs and durability of bearings performed in LLC «Avers-Agro», which allows adaptation to the soil conditions, operational characteristics of energy, specific of the loosening implementation technologies.

Theoretical and experimental researches for a complex estimation of qualitative indicators of work, expenses of energy, effective aggregation, search of rational designs and a set of working bodies are carried out.

A model of dynamic interaction of a cultivator with a supporting surface was developed. When constructing a cultivator scheme, the following requirements are taken into account: the cultivator design must ensure the adaptability of the working bodies to the microrelief of the field.

The design of the cultivator provides devices: for adjusting the depth of each working body; to change the installation angle to the horizontal plane of each section, the installation angle to the horizontal plane of each working body.

The cultivator is equipped with mechanisms that provide smooth or stepwise adjustment of the depth of the working bodies; the running wheels are located in front of the working bodies so that their traces are processed.

Dynamic analysis consists of determining the influence of external forces, gravity, friction and inertia forces acting on the links of the mechanism, the elements of the links, the kinematic pairs and fixed supports and identifying ways to reduce dynamic loads arising from the movement of the mechanism, mode of movement of the mechanism under the action of the set forces and establishment of the ways providing the set modes of movement of the mechanism.

The dynamic analysis of mechanisms includes problem tasks of the theory of oscillations in mechanisms, about collision of mechanisms links of the elasticity theory, the theory and machines of mechanisms.

The tasks of calculating the service life of the bearing are solved, research and determination of the parameters of wheel movement relative to the center in the moving coordinate system are carried out. To ensure the consistency of the depth of travel in the design of the section of the cultivator provided a support wheel, which increases the traction resistance of the unit by the amount of friction, loads the bearing units, which affect their service life. The operation of the cultivator support wheel is analyzed according to the basic laws of absolute motion dynamics.

The increase of tillage resistance from soil resistance at different widths of cultivator paws is substantiated. The non-uniform character of the dependence of the load on the support wheels on the specific resistance of the soil at each depth of cultivation is revealed.

Key words: row cultivator LLC «Avers-Agro», dynamic analysis, tillage resistance forces

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра «Експлуатація машинно-тракторного парку

Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів
просапного культиватора у складі машинно-тракторного агрегату

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконала: студентка II курсу, групи МгМз-1-19
Каракай Анастасія Олексіївна

Керівник: к.т.н., доцент
Субочев Олександр Іванович

Дніпро 2021

Мета роботи - підвищення ефективності виробництва сільгосп підприємств на основі розробки агрегатів оптимальної конструкції.

Об'єкт дослідження – конструктивно-технологічні параметри агрегатів для обробки просапних культур.

Предмет дослідження – ефективність впровадження в конструкцію просапного культиватора захищених підшипників кочення, визначення оптимальної комбінації універсальних стрілчастих лап при обробці ґрунтів з різними фізико-хімічними властивостями, оцінка міцнісних характеристик секції просапного культиватора при робочому навантаженні.

Задачі:

1. Проведення аналізу конструктивно-технологічних параметрів просапного культиватора в залежності від агроґрунтового районування території.
2. розробка математичної моделі процесу обробки ґрунту просапним культиватором встановлення основних параметрів, сил та фізичних величин, від яких залежить якість обробки.
3. Визначення активних сил та реакцій, які діють на секцію просапного культиватора під час обробки, що обумовлює його конструктивні та технологічні параметри.
4. Проведення польових випробувань та лабораторних експериментальних досліджень підшипників, лап просапних культиваторів.
5. Застосування методу кінцевих елементів для оцінки конструкції секції просапного культиватора на міцність.
6. Оцінка напружень в конструкції секції за Мізесом, як при простому розтягненні, так і при складному напруженому стані при застосуванні критерію руйнування Мізеса-Хіла.
7. Оцінка головних напружень, що виникають в секції просапного культиватора.
8. Розрахунок запасу міцності конструкції секції просапного культиватора.
9. Визначити перспективи розвитку в розробці конструктивно-технологічних параметрів просапних культиваторів.

ЗНАЧЕННЯ І МІСЦЕ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ

Карта-схема агрогрунтового районування України



Способи обробітку ґрунту



Пояснення до карти-схеми агрогрунтового районування України

Назва зони	Назва провінції	Назва підзони	
П – зона мішаних лісів дерново-підзолистих типових і оглеєних ґрунтів Українського Полісся	П1 – західна провінція		
	П2 – центральна правобережна провінція		
	П3 – лівобережна висока провінція		
	П4 – лівобережна низинна провінція		
ЛС – лісостепова зона чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів	ЛС1 – західна провінція	ЛС1 – західна провінція	
		ЛС2 – правобережна центральна висока провінція	ЛС2_1 – північна підпровінція ЛС2_2 – південна підпровінція
	ЛС3 – лівобережна низинна провінція	ЛС3 – лівобережна низинна провінція	ЛС3_1 – північна підпровінція ЛС3_2 – південна підпровінція
		ЛС4 – лівобережна висока провінція	ЛС4 – лівобережна висока провінція
	С – степова зона чорноземів звичайних та південних		СА – підзона чорноземів звичайних північного Степу
		СА2 – Дніпровсько-Дніпровська провінція	
		СА3 – Дніпровсько-Донецька провінція	
		СА4 – Донецька провінція	
		СА5 – Залонська провінція	
	СБ – підзона південно-степових чорноземів південних	СБ – підзона південно-степових чорноземів південних	СБ1 – Придунайська провінція
			СБ2 – Азово-Причорноморська провінція
			СБ3 – Кримська провінція
СБ4 – Керченська провінція			
СС – Сухостепова зона темно-каштанових та каштанових ґрунтів	СС1 – Причорноморська провінція	СС2 – Північно-Кримська провінція	
К – зона буроземів опідзолених оглеєних Закарпатського передгір'я до 125–400 м а. в.	КЗН – провінція лучино-буроземних оглеєних ґрунтів Закарпатської низовини		
КП – зона буровато-підзолистих оглеєних ґрунтів передгір'я Карпат до 300–500 м а. в.			
КПЗ – зона буроземів опідзолених оглеєних Закарпатського передгір'я до 125–400 м а. в.			
КПЛ – зона гірсько-лучних буроземів полонин Карпат з 1200–1500 м а. в.			
КГ – зона гірсько-лісових буроземів Карпат до 500–1500 м а. в.			
Кр – ґрунтові зони Гірського Криму			
КрС – зона чорноземів передгірного Степу			
КрЛС – зона ґрунтів передгірного Лісостепу			
КрЯ – зона гірсько-лучних ґрунтів яйл			
КрП – зона коричневих ґрунтів південного схилу головного гірського хребта			

АНАЛІЗ МАШИН ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Вплив робочих органів землеобробних агрегатів на ґрунт

№	Операція	Вплив на ґрунт
1	Різання	Відрізуванні певних розмірів скиб із загального масиву
2	Кришіння	Забезпечує зменшення розмірів ґрунтових структурних часточок
3	Розпушування	Зміна взаємного розміщення ґрунтових часточок зі збільшенням пористості
4	Ущільнення	Змінюється взаємне розміщення ґрунтових часточок і супроводжується зменшенням пористості
5	Перемішування	Забезпечує зміну взаємного розміщення ґрунтових часточок з метою створення більш однорідного оброблюваного шару ґрунту
6	Вирівнювання	Зменшенню розмірів нерівностей поверхні поля
7	Підрізування бур'янів	Прорізання поверхневого шару ґрунту

Агрегати, що використовуються при виконанні технологічних операцій

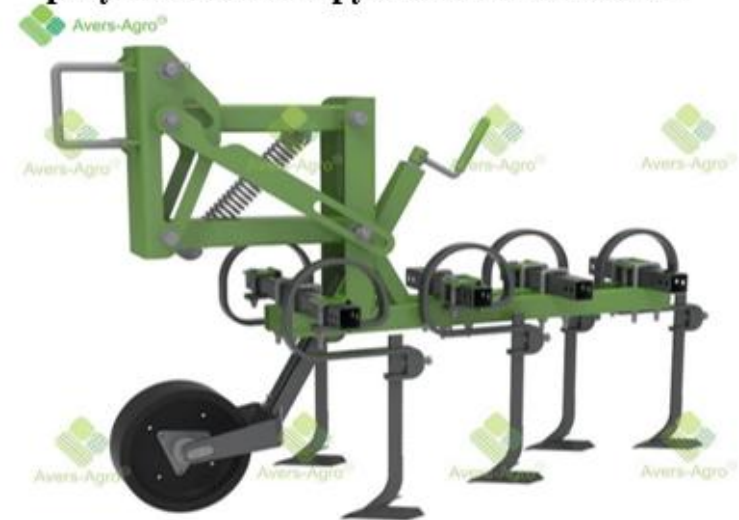
Вид сільгоспмашини	Технологічні операції								%
	Різання	Кришіння	Розпушування	Ущільнення	Перемішування	Вирівнювання	Обертання ґрунту	Підрізування бур'янів	
Плуг	+	+	+		+		+		63
Культиватор	+	+	+		+	+		+	75
Дисковий лущильник	+	+	+		+	+			63
Борона		+	+		+	+			50
Фрези		+	+		+				38
Котки				+					13
Вирівнювачі						+			13
Шлейф-борони		+	+			+			38

КЛАСИФІКАЦІЯ МАШИН ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Секція просапного культиватора з нерегульованими пружинними стійками



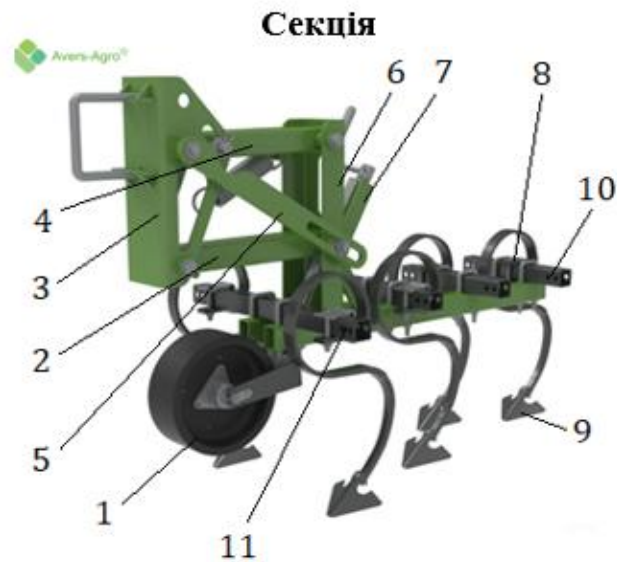
Секція просапного культиватора з регульованими пружинними стійками



Просапний культиватор GR 5.6 агрегування з трактором JD 8400

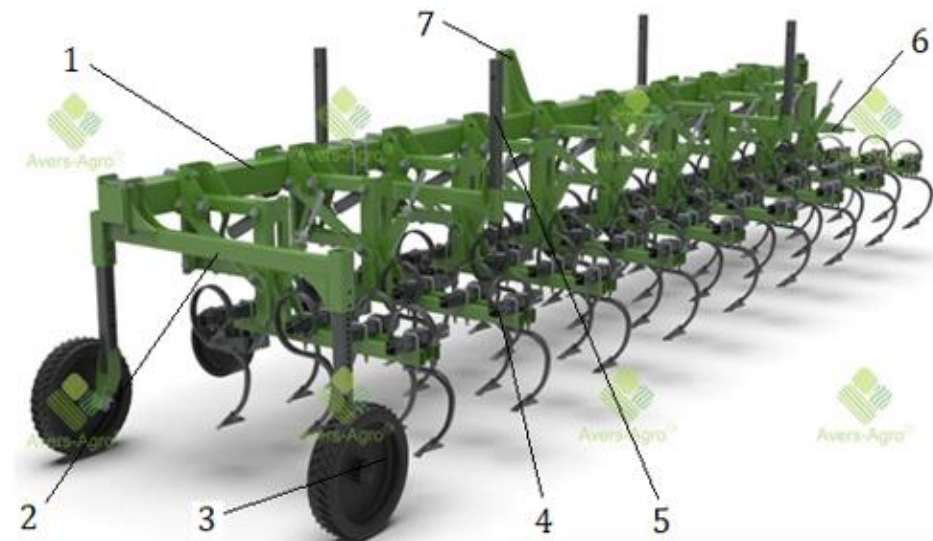


КОНСТРУКЦІЯ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА



- 1 – опорний коток,
- 2 – поводок,
- 3 – кронштейн,
- 4 – верхній поводок,
- 5 – транспортний обмежувач,
- 6 – кронштейн-гряділь,
- 7 – різбовий механізм,
- 8 – тримач стійки,
- 9 – стрілчаста лапа,
- 10 – вал короткий,
- 11 – вал довгий [8]

Просапний культиватор GREEN RAZOR 5,6:

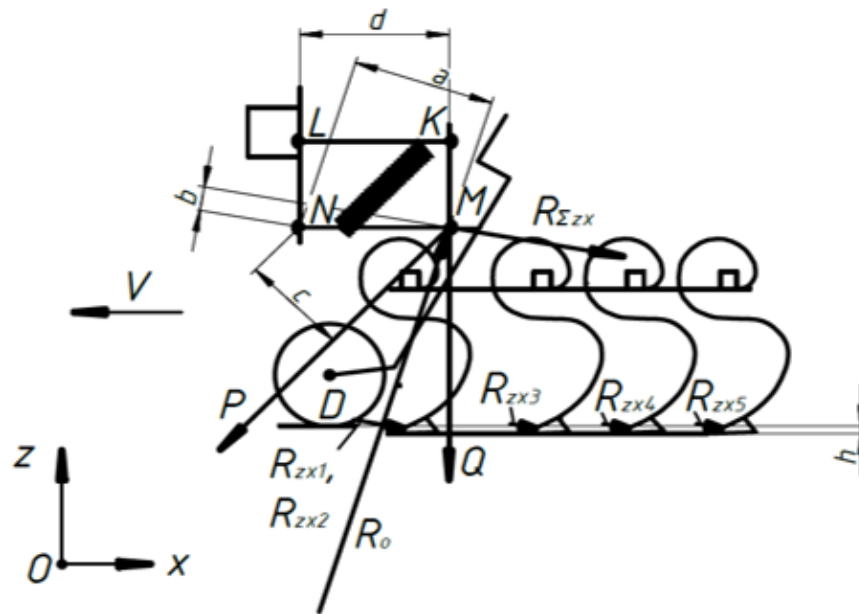


Конструкція просапного культиватора GREEN RAZOR 5,6:

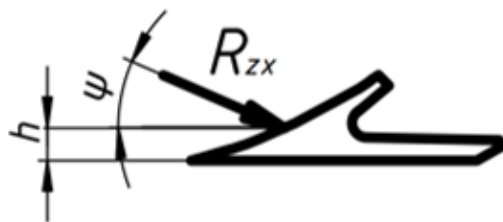
- 1 – рама,
- 2 – кронштейн транспортний,
- 3 – колеса опорні,
- 4 – секція,
- 5 – домкрат,
- 6 – навісний пристрій,
- 7 – напівпричіпний пристрій (транспортний) [8]

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СЕКЦІЇ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

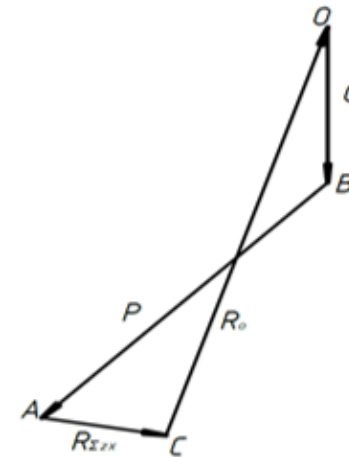
Схема дії сил на секцію просапного культиватора при обмеженні глибини h , швидкості руху V



Дія сили R_{zx} на універсальну стрічкову лапу



Графічне визначення рівнодіючої сили R_o



Рівняння рівноваги секції просапного культиватора:

$$R_o \cdot a - R_{\Sigma zx} \cdot b - P \cdot c - Q \cdot d = 0$$

де R_o – реакція на опорний коток, Н;
 $R_{\Sigma zx}$ – сила опору обробці $R_{\Sigma zx}$, Н;
 P – сила стискання пружини, Н;
 Q – вага секції просапного культиватора, Н;
 a, b, c, d – плечі сил $R_o, R_{\Sigma zx}, P, Q$, відповідно, відносно центра обертання системи, м.

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ОПОРНИЙ КОТОК СЕКЦІЇ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА

Графічний розрахунок
вертикальної складової сили R_o

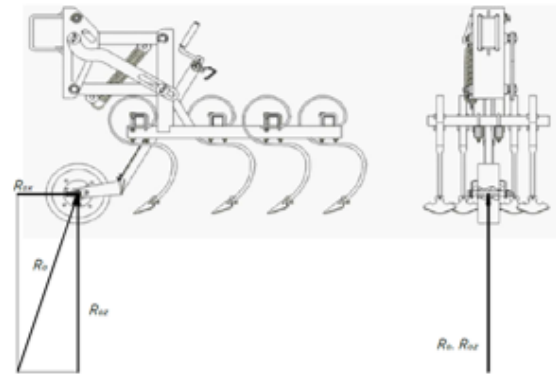
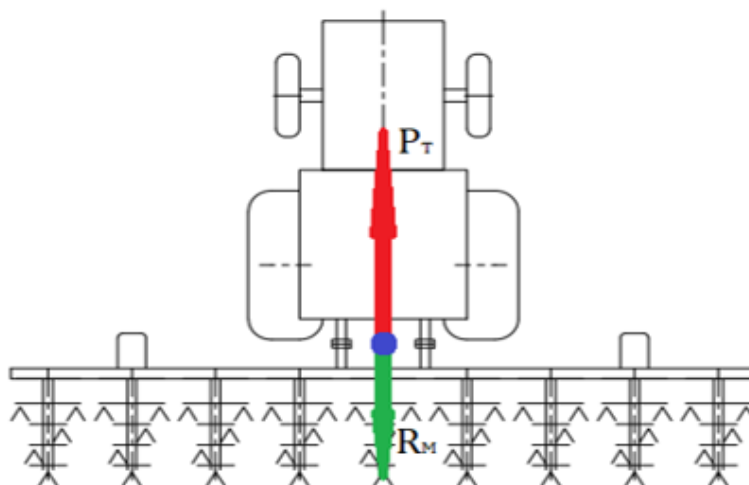
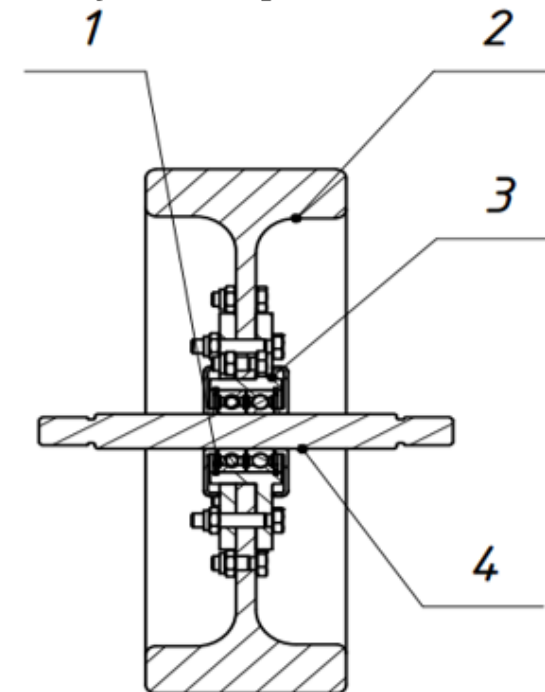


Схема дії сил на культиватор у складі МТА



Конструкція опорного колеса
просапного культиватора, основні елементи



- 1 – підшипники,
- 2 – напівдиски, бандаж,
- 3 – ступиця,
- 4 – вісь

ПОЛЬОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Випробування стійкості ходу лап просапного культиватора



Прийом для вимірювання радіального зазору котка



Форми лап просапного культиватора



а

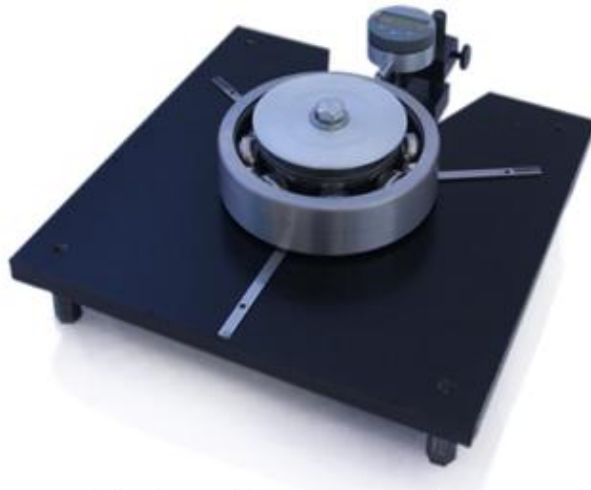


б

а – нова,
б – зношена

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Пристосування для вимірювання
радіального зазору підшипника



Радіальні шарико-підшипники

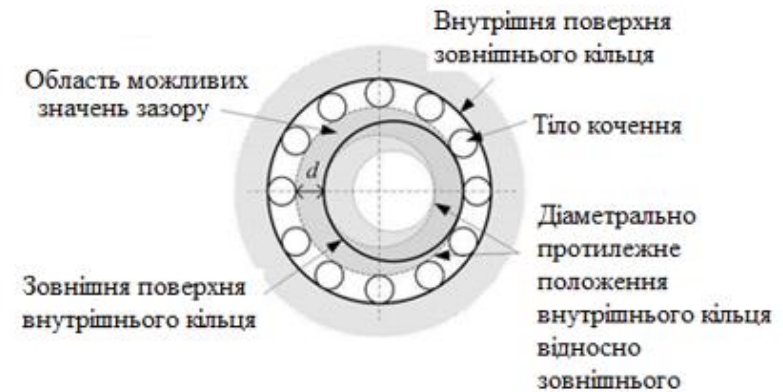


а



б

Геометричні параметри радіального
зазору підшипника кочення

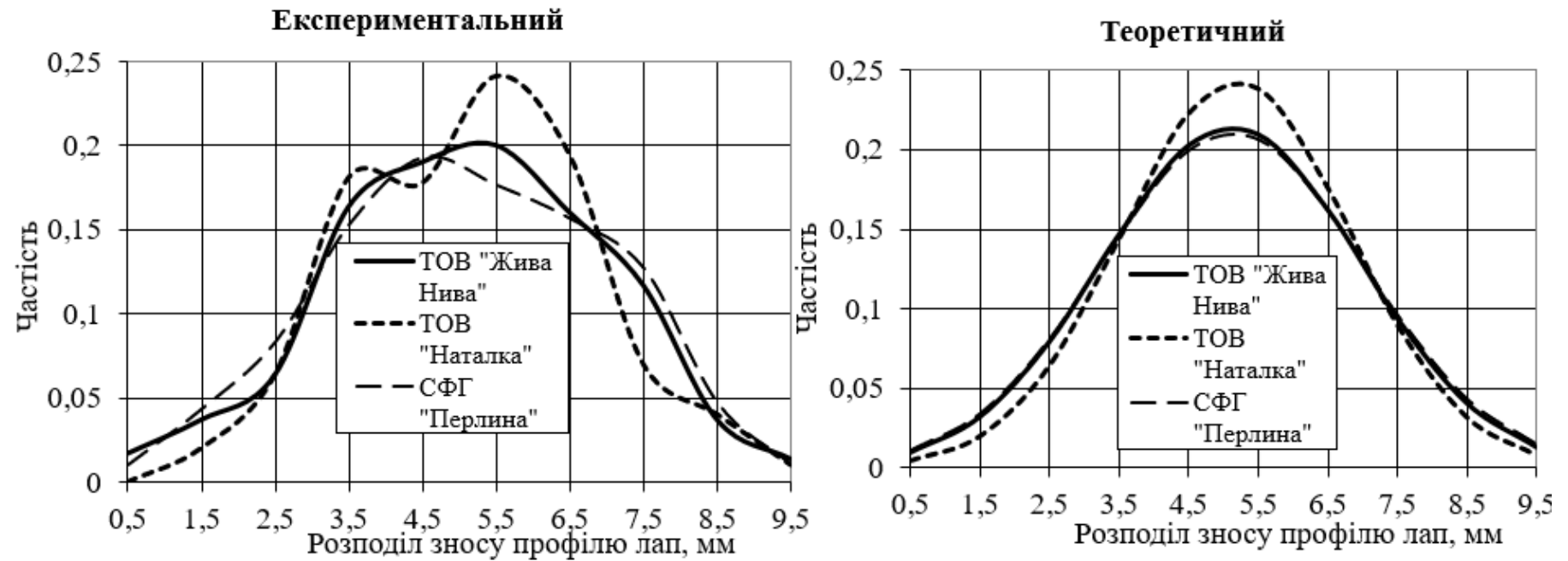


Радіальний шарико-підшипник
відкритого типу, зношений,
робочі поверхні



а – відкритого,
б – закритого
типу

**РОЗПОДІЛ ЗНОСУ ПЕРИМЕТРУ УНІВЕРСАЛЬНИХ СТРІЛЧАСТИХ ЛАП № 150 АГРОФІРМ
ПІСЛЯ КУЛЬТИВАЦІЇ 100 ГА ПЛОЩІ**



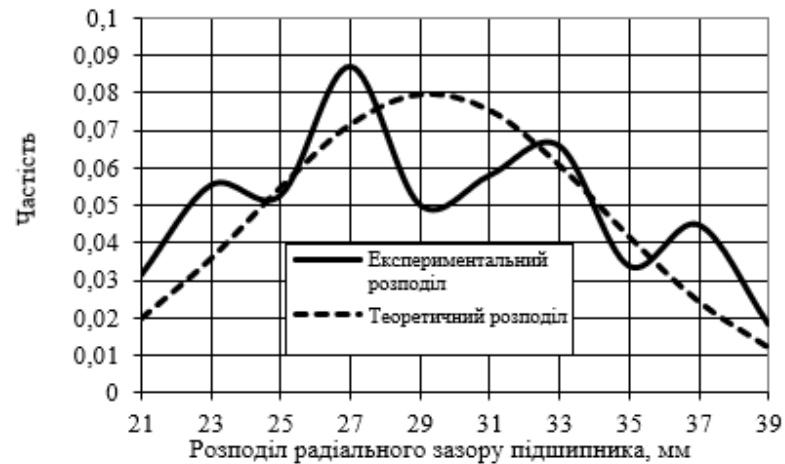
**Периметр зношення лап просапних культиваторів шириною В=150 мм
після обробки 100 га при глибині обробки 6 см, %**

№ досліду	%	№ досліду	%	№ досліду	%	№ досліду	%	№ досліду	%
1	4,5	7	5,8	13	8,4	19	7,7	25	6,1
2	6	8	3,8	14	5,9	20	5,8	26	8,6
3	5,1	9	3,5	15	4	21	5,6	27	8,3
4	3,6	10	4,9	16	8,1	22	6,0	28	6,8
5	4,1	11	4	17	5,5	23	8,2	29	7,3
6	6,3	12	7,4	18	4,5	24	8,0	30	6,8

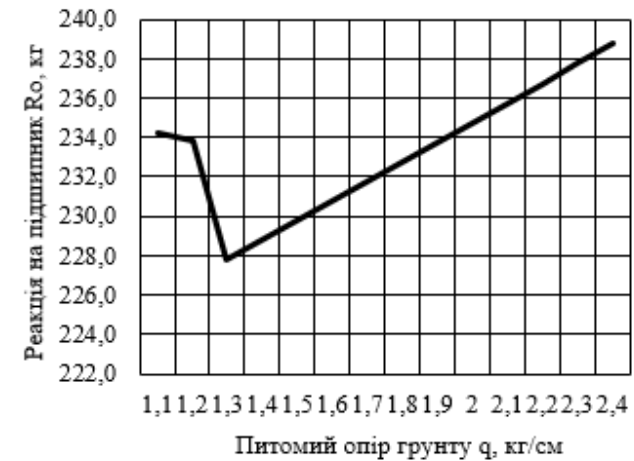
РОЗПОДІЛ РАДІАЛЬНОГО ЗАЗОРУ



Закритих підшипників коліс культиваторів після культивації
 1000 га площі $d_{cp}=29,32$ мм, $\sigma_d=4,99$ мм, $v=0,170$



Залежність реакції на опорний коток від питомого опору ґрунту, ширина лапи 150 мм



ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА



ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ РОЗРОБКИ

Показник	Одиниця Виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
1	2	3	4
Агрегат	-	МТЗ-82.1 + КРН-5,6	МТЗ-82.1 + КРН-5,6М
Балансова вартість агрегату	грн.	565000	574000
Нормативне навантаження	нормо-змін	60	60
Змінна продуктивність	га	32	38,8
Витрати пального	кг/га	3,6	3,6
Витрати на реновацію, ремонт та ТО	грн. / га	13,25	11,16
Вартість <u>ПММ</u>	грн. / га	102,06	102,06
Оплата праці	грн. / га	14,02	11,56
Експлуатаційні витрати	грн. / га	135,09	129,27
Величина капітальних вкладень	грн. / га	-	30,28
Приведені витрати	грн. / га	64,43	71,84
Річний економічний ефект від сервісу при навантаженні 300 га	грн.	-	2163

ВИСНОВКИ

1. Конструктивно-технологічні параметри агрегатів, що **використовує** господарство для обробки просапних культур, залежить від типу, рельєфу ґрунту, технології, вирощуваної культури.
2. Розроблена математична модель процесу обробки ґрунту просапним культиватором характеризує основні параметри, сили та фізичні величини, від яких залежить якість обробки.
3. Величина активних сил та реакцій, що діють на секцію просапного культиватора під час обробки обумовлює його конструктивні та технологічні параметри.
4. Проведені польові випробування показали, що зношення радіальних шарико-підшипників після обробки площі 1000 га становить: закритих $d=24\dots35$ мкм; відкритих $d=41\dots89$ мкм. Зношення периметру лап після обробки 100 га становить: при $B=110$ мм – 3,7...8,1%; при $B=150$ мм – 3,5...8,6%.
5. Отримано розрахунок реакції ґрунту R_x , реакція на підшипник R_o та сумарної сили опору $R_{\Sigma zx}$ в залежності від питомого опору ґрунту та різних видів лап. Значення реакції ґрунту зростає відповідно збільшенню розміру ширини лапи, а реакція на опорний каток (підшипник) залежить від геометричного положення сили $R_{\Sigma zx}$.
6. Геометричні параметри лапи впливають на опір обробки ґрунту, відповідно на розміщення та напрям потоків сходження часток в обробленій зоні, таким чином досягається рівномірне розподілення навантаження, та ефект самозаточування лап.
7. Реалізовано метод кінцевих елементів, що закінчується розв'язанням системи алгебраїчних рівнянь, які враховують навантаження в точках вузлів.
8. Отримано оцінку напружень в конструкції секції за Мізесом як при простому розтягненні, так і при складному напруженому стані при застосуванні критерію руйнування Мізеса-Хіла.
9. Оцінка головних напружень секції просапного культиватора, що виконано з використанням системи моделювання 3D-САПР Autodesk Inventor, дозволяє визначити максимальне напруження при розтягуванні, яке виникає в деталі через умови навантаження, а також максимальне стискаюче напруження, що визвано в деталі через умови навантаження.
10. Розрахунок запасу міцності конструкції секції просапного культиватора запобігає руйнації: стійки виготовляють з пружинних сталей, на лапах в навантажених зонах збільшують розмір елемента, що знаходиться в небезпечному перерізі.
11. Отримані результати магістерської роботи дозволяють сформулювати перспективні напрямки розвитку: необхідність винаходу нових конструктивних форм просапних культиваторів, підвищення якості обробки ґрунту, раціональне використання людських ресурсів.