

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Оптимізація параметрів робочих органів машин

для чизельного обробітку ґрунту

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-4-24 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Шаля Сергій Анатолійович
Керівник: _____ Пономаренко Наталія
Олександрівна

Рецензент: _____

Дніпро – 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2025 р.

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

Шаля Сергій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «24» жовтня 2025 року №3182

2. Строк подання студентом роботи 22.11.2025 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика об'єкту дослідження. Теоретичні дослідження взаємодії робочих органів чизельного плуга з ґрунтом. Програма і методика проведення експериментальних досліджень результати експериментальних досліджень. Охорона праці. Техніко-економічні показники використання чизельного плуга. Загальні висновки. Список джерел посилання.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1, 2. Мета і задачі, об'єкт, предмет досліджень. 3. Аналіз об'єкта дослідження. 4. Теоретичні дослідження взаємодії робочих органів чизельного плуга з ґрунтом. 5. Теоретичні дослідження. 6. Методика проведення експериментальних досліджень. 7.

Результати експериментальних досліджень. 8. Техніко-економічні показники використання чизельного плуга. 9. Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О.		
2	Пономаренко Н.О.		
3	Пономаренко Н.О.		
4	Пономаренко Н.О.		
5	Пономаренко Н.О.		
6	Пономаренко Н.О.		
нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: 30.08.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 30.05.2025 р.	
2	Теоретичний	до 10.07.2025 р.	
3	Експериментальний	до 29.09.2025 р.	
4	Охорона праці	до 15.10.2025 р.	
5	Економічний	до 22.10.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 29.10.2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Шаля С.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Пономаренко Н.О.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано способи та засоби для обробітку ґрунту, зокрема для чизелювання. Обґрунтовано необхідність досліджень долотоподібних робочих органів чизельного плуга на різних глибинах та за різних швидкостей обробітку ґрунту.

Проведено теоретичні дослідження взаємодії долотоподібної лапи з ґрунтом. Отримано графо-аналітичні залежності для розрахунку основних конструктивно-технологічних параметрів долотоподібних лап чизельного плуга.

Наведено методики та результати експериментальних досліджень з визначення твердості ґрунту та опору долотоподібної лапи чизельного плуга, проведені в ґрунтовому каналі з використанням лабораторного обладнання.

Розроблена карта умов праці для чизельного обробітку ґрунту та логіко-імітаційну модель процесу виникнення травм під час технічного обслуговування чизельного плуга.

Розраховано основні техніко-економічні показники роботи чизельного плуга ПЧ-2,5, агрегатованого трактором ХТЗ-150К-09.172.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Огляд способів обробітку ґрунту	8
1.2 Огляд конструкцій машин для чизельного обробітку	10
1.3 Аналіз робочих органів для чизелювання	16
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА З ҐРУНТОМ	21
2.1 Обґрунтування дії долотоподібних лап чизельного плуга на ґрунт	21
2.2 Обґрунтування зони деформації ґрунту	22
2.3 Обґрунтування опору чизельного плуга	26
Висновки	30
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
3.1. Мета і програма експериментальних досліджень.....	31
3.2. Передумови проведення дослідів	31
3.3. Методика визначення опору робочого органу чизельного плуга	32
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	37
4.1 Опір долотоподібної лапи чизельного плуга	37
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	40
5.1 Складання карти умов праці під час використання чизельного плуга	40
5.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм.....	44
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА	48
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	57

ВСТУП

Чизельний спосіб обробітку ґрунту характеризується створенням зони деформації робочими органами машин (знарядь), а саме: чизельних плугів, культиваторів, глибокорозпушувачів або комбінованих агрегатів, які обробляють ґрунт без утворення ущільненої «підшви». За чизельного обробітку на поверхні поля зберігається значна кількість (60...80%) рослинних (післяжнивних) решток та до 20% вологи в ґрунті [5, 7, 17].

Для повного підрізання бур'янів під час чизелювання й суцільного глибокого розпушення ґрунту без обертання скиби застосовують плоскорізи-глибокорозпушувачі. При цьому послаблюються ерозійні процеси, але не усувається ущільнена «підшва» від дії робочих органів (лемешів, стрілочастих лап) глибокорозпушувачів.

За смужного обробітку ґрунту на глибину до 40см відбувається чергування розпушених та нерозпушених смуг, що дозволяє руйнувати ущільнену «підшву», допомагає проникненню вологи у нижні шари ґрунту. Проте, під час використання для даного виду робіт чизельних плугів спостерігається неповне підрізання бур'янів через брак перекриття за шириною захвату чизельних лап. Крім того, верхній шар ґрунту розпушується нерівномірність, що не забезпечує заданих агротехнічних вимог. За комбінованого чизелювання відбувається суцільне розпушення верхнього (12...22см) та частково нижнього (на 5...15см глибше за ущільнену «підшву») шарів ґрунту. При цьому збільшується площа поверхні дна борозни, що супроводжується кращим проникненням вологи в нижні горизонти, запас якої в порівнянні з оранкою збільшуються на 18...20% [5, 7, 17].

Актуальність теми. Долотоподібні (стрілочасті) лапи чизельних плугів або глибокорозпушувачів обробляють ґрунт на значну глибину, а тому умови їх роботи під час деформації ґрунту мають свої особливості. Рухаючись вперед, за напрямком переміщення енергетичного засобу, долотоподібна лапа у поздовжньо-вертикальній площині деформує певну ділянку ґрунту перед собою. В цьому випадку вона працює як звичайний двогранний клин. Поряд з цим, одночасно, лапою деформується ділянка ґрунту в поперечно-вертикальній площині, що обумо-

влено взаємним зчепленням окремих часточок ґрунту. Зона деформації ґрунту долотоподібною лапою залежить від його фізико-механічних властивостей.

Чизельні плуги обладнуються долотоподібними та стрічастими лапами, жорстко закріпленими на рамі. Для обґрунтування ефективності їх роботи в різних ґрунтоо-кліматичних умовах із змінною твердістю ґрунтів необхідно виконати аналітичні та експериментальні дослідження.

Мета дослідження – підвищення ефективності процесу чизелювання ґрунту через дослідження та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів долотоподібних лап чизельного плуга.

Задачі досліджень:

1. Проаналізувати існуючих способи та засобів для чизельного обробітку ґрунту;
2. Аналітично дослідити взаємодію долотоподібної лапи чизельного плуга з ґрунтом;
3. Виконати експериментальні дослідження процесу деформації ґрунту долотоподібною лапою чизельного плуга;
4. Розробити карту умов праці під час обробітку ґрунту чизельним плугом;
5. Виконати техніко-економічну оцінку застосування чизельного плуга.

Об'єкт дослідження – долотоподібні лапи чизельного плуга ПЧ-2,5 та технологічний процес чизелювання ґрунту.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників ефективності чизелювання ґрунту від параметрів долотоподібних лап чизельного плуга.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Огляд способів обробітку ґрунту

Застосовувані в Україні способи механізованого обробітку ґрунту можна поділити за певними технологічними ознаками, які характеризуються розподілом співвідношень процесів обертання й розпушення скиби ґрунту в часі її обробітку (рисунок 1.1) [5, 7].

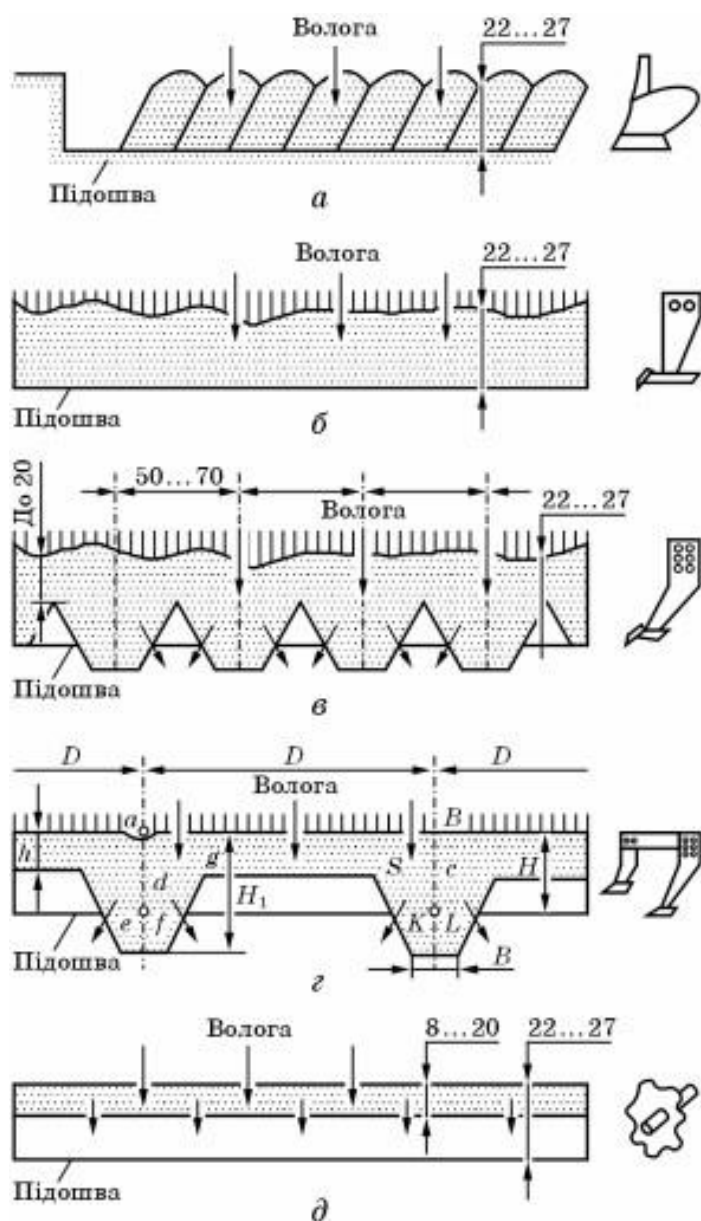


Рисунок 1.1 – Схеми поперечних профілів обробленого ґрунту під час: а – оранки; б – суцільного розпушення; в – смужного розпушення; г – комбінованого розпушення; д – дискування.

Під час оранки або полицевого обробітку ґрунту (див. рисунок 1.1, а) використовують плуги, робочі органи яких підрізають оброблювану скибу, підніма-

ють її з одночасним розпушенням, відведенням сторону і обертанням на 130...180% та укладають на дно попередньо утвореної борозни. За цього способу поверхня поля майже повністю очищається від пожнивних решток, повністю заробляються в ґрунт усі види добрив та післяжнивних решток, знищуються бур'яни, зменшується щільність орного шару.

Проте, під час оранки знижується ерозійна стійкість поверхні поля (особливо на схилах), утворюється ущільнена «підшва» із значною залишковою деформацією від дії лемеша, а сам процес оранки відзначається високою питомою енергоємністю [5, 8, 17].

Чизельний спосіб обробітку ґрунту (див. рисунок 1.1, б – г) передбачає підрізання та розпушення оброблюваної скиби без її обертання. Цей спосіб характеризується створенням зони деформації робочими органами чизельних плугів, культиваторів, глибокорозпушувачів або комбінованих машин без утворення ущільненої «підшви». За чизельного обробітку на поверхні поля зберігається значна кількість (60...80%) рослинних (післяжнивних) решток та до 20% вологи в ґрунті [5, 8, 17].

Для повного підрізання бур'янів під час чизелювання і суцільного глибокого розпушення ґрунту без обертання скиби (див. рисунок 1.1, б) застосовують плоскорізи-глибокорозпушувачі. При цьому послаблюються ерозійні процеси, але не усувається ущільнена «підшва» від дії робочих органів (лемешів, стрілочастих лап) глибокорозпушувачів.

Смужний обробіток ґрунту (чизелювання) на глибину до 40см полягає у чергуванні розпушених та нерозпушених смуг (див. рисунок 1.1, в), що дозволяє руйнувати ущільнену «підшву», допомагає проникненню вологи у нижні шари ґрунту. Проте, за чизелювання спостерігається неповне підрізання бур'янів через брак перекриття за шириною захвату чизельних лап. Крім того, верхній шар ґрунту розпушується нерівномірність, що не забезпечує заданих агротехнічних вимог.

За комбінованого чизелювання відбувається суцільне розпушення верхнього (12...22см) та частково нижнього (на 5...15см глибше за ущільнену «підшву») шарів ґрунту (див. рисунок 1.1, г). При цьому збільшується площа поверхні дна

борозни, що супроводжується кращим проникненням вологи в нижні горизонти, запас якої в порівнянні з оранкою збільшуються на 18...20% [5, 8, 17].

Дисковий обробітку ґрунту (див. рисунок 1.1, д) полягає у суцільному розпушенні верхнього шару ґрунту на глибину до 25см дисковими робочими органами борін та луцильників. Під час дискування поверхня поля обробляється з підрізанням, розпушенням та частковим укладанням у борозну обробленої скиби, а нижній оброблений шар має хвилеподібне дно. Дисковий обробіток вважається проміжним між полицевим та чизельним.

1.2 Огляд конструкцій машин для чизельного обробітку

Для чизельного обробітку ґрунту застосовують велику кількість машин і знарядь, серед яких широкого поширення набули чизельні плуги, чизельні культиватори, розпушувачі та плоскорізи, робочі органи яких мають вигляд клина.

Під час взаємодії клина із ґрунтом виділяють дві основні стадії: 1) першочергове зминання ґрунту в зоні контакту з клином, яке поступово розвивається з наростаючим зусиллям, яке супроводжується зростанням ущільнення та кількості ущільнених частинок; 2) зсув по площині робочого органу і відрив частинок після досягнення максимальних напружень.

Останніми роками обсяги робіт із застосуванням машин і знарядь неполицевого типу, які розпушують ґрунту без обертання скиби зростають і становлять біля 25...35% усіх посівних площ в Україні [2, 5, 8, 17].

Плоскорізи та розпушувачі знайшли широке використання в зонах недостатнього зволоження. Крім того, їх доцільно застосовувати на полях з невеликою кількістю рослинних (післяжнивних) решток замість оранки, що дозволяє скоротити на 20...40% загальні терміни проведення ґрунтообробних робіт, зменшити витрати ПММ, зменшити негативну дію на ґрунтове середовище в цілому.

Плуги-розпушувачі ПРПВ-5-50 (рисунок 1.2) і ПРПВ-8-50 призначені для основного безполицевого обробітку ґрунту з поглибленням орного шару до 40см. Плуг ПРПВ-5-50 має п'ять розпушувальних безполицевих корпусів 1 та стільки ж дискових рифлених ножів 3 з пружинами 2, змонтованими на рамі 5, у передній

частині якої міститься начіпка 4, а в задній частині рами 5 змонтовано опорне колесо з гвинтовим механізмом для регулювання глибини оранки [8, 21].



Рисунок 1.2 – Плуг-розпушувач ПРПВ-5-50:

1 –безполицевий корпус; 2 – пружина; 3 – рифлений дисковий ніж; 4 – начіпка;
5 – рама.

Плуги-розпушувачі ПРПВ-5-50 і ПРПВ-8-50 можуть агрегатуватися з тракторами класів 3,0 та 5,0 з робочою швидкістю до 10км/год.

Чизельні плуги призначені для розпушення ґрунту з поглибленням орного шару, безполицевого обробітку (розпушення з деформацією) ґрунту й для глибокої розробки схилів. Робочі органи чизельних плугів розміщені на рамі у два ряди з кроком 40 і 50см. До задньої частини рами чизельних плугів можна приєднувати дискові знаряддя, котки чи борони.

Плуг чизельний ПЧ-4,5 комплектують дев'ятьма або одинадцятьма робочими органами 4 (рисунок 1.3), розміщеними на рамі 2 у два ряди з кроком 40 або 50см за шириною захвату плуга. У передній частині рами 2 змонтовано начіпний пристрій 1. Під час роботи плуг опирається на два опорні колеса 5, гвинтовим механізмом яких регулюють глибину обробітку в залежності від лап, змонтованих на рамі (для долотоподібних лап глибина обробітку становить 30...45см, а для стрілочастих – 20...30см) [8, 22].

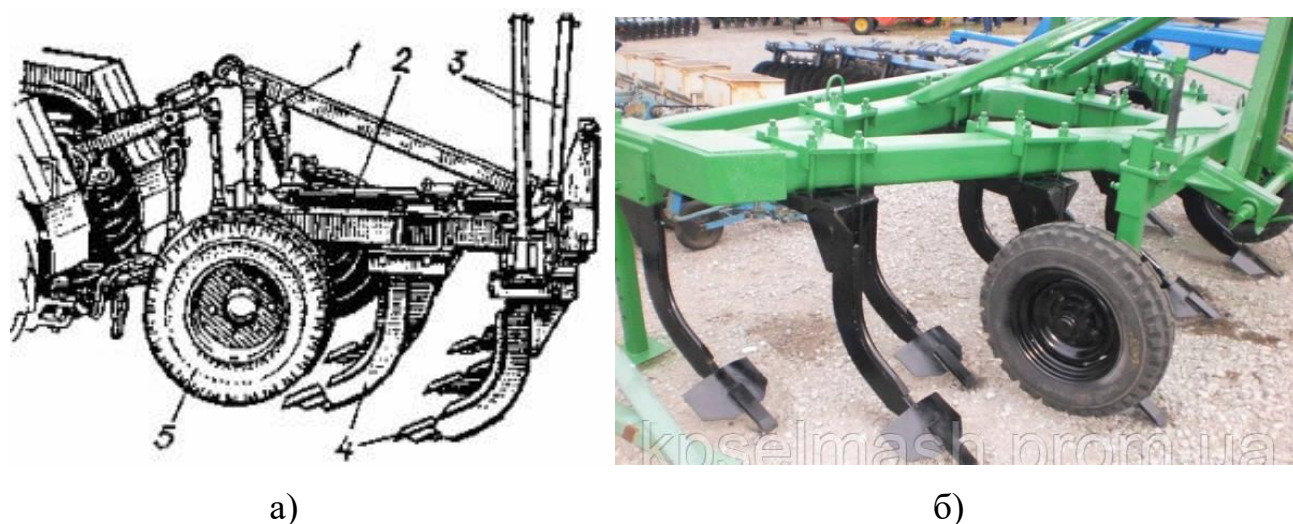


Рисунок 1.3 – Чизельний плуг ПЧ-4,5:

а) схема; б) вигляд загальний; 1 – начіпний пристрій; 2 – рама; 3 – підставки; 4 – робочі органи; 5 – опорне колесо.

Під час роботи чизельного плуга долото розпушувальної долотоподібної лапи, яка має ширину 70мм підрізує й піднімає вверх шар ґрунту, а стояк завдяки бічному куту деформації розсувають його в сторони та розпушують. Стрілчасті лапи встановлюють для повного підрізання бур'янів та більш інтенсивного розпушування ґрунту в нижніх його шарах та винесення його у верхні шари. Вони мають ширину захвату 270мм.

Глибкорозпушувач ГР-2,5 застосовують під час глибокого зяблевого безполицевого обробітку різних за механічним складом ґрунтів на глибину 25-50см з метою запобігання ерозійних процесів, руйнування плужної «підшви», покращення вітряно-водного режиму ґрунтового середовища, підвищення вмісту агрономічно цінних водотривких агрегатів та інших показників родючості ґрунту, а також продуктивності вирощуваних с.-г. культур [10].

Глибкорозпушувач має основну раму 1 (рисунок 1.4, б), на якій змонтовано сім розпушувальних лап 2, начіпний пристрій 5 та два опорних котки 3 у вигляді шипованих металевих циліндрів.

Основна рама 1 становить жорстку просторову конструкцію, виготовлену зварюванням труб квадратного перетину. До верхніх балок рами 1 змонтовано два кронштейни 4, які служать для регулювання глибини обробітку ґрунту.

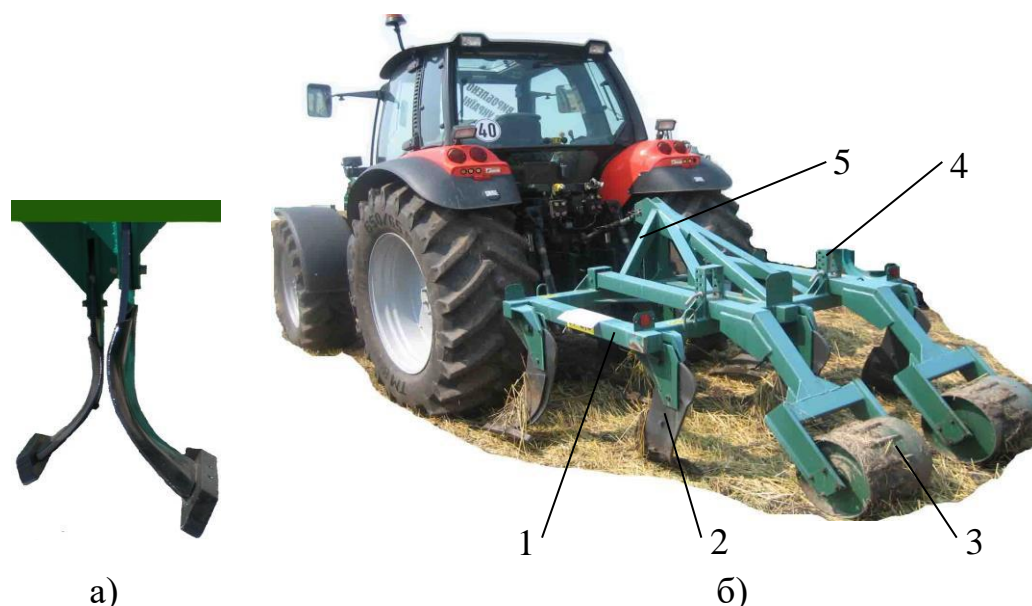


Рисунок 1.4 – Глиботорозпушувач ГР-2,5:

а) робочий орган; б) загальний вигляд; 1 – рама; 2 – розпушувальна лапа; 3 – опорний коток; 4 – кронштейн; 5 – начіпка.

Грунторозпушувальні лапи (див. рисунок 1.4, а) асиметричної форми, зміцнені накладками з накладним долотом в нижній частині. Вони розміщуються у два ряди таким чином, щоб покращити розпушувальний ефект завдяки зустрічним напрямленням розпушувальної дії, а кількість зон деформацій і утворених тріщин у деформованому шарі мають розгалужену мережу. Під час взаємодії з ґрунтом робочі органи забезпечують одночасне розпушування, піднімання і зсув ґрунтового середовища, забезпечуючи інтенсивну його аерацію й накопичення вологи.

Агрегати глиботорозпушувачі АГР-1,7, АГР-2,4 та АГР-3,4 (рисунок 1.5, а) виробництва ВАТ ВО «Восход» призначені для глибокого основного обробітку ґрунту на глибину від 16 до 40см без перекидання пласта замість оранки, а також у системах нульового та мінімального обробітків ґрунту. Їх також застосовують для глибокого післязбирального розпушування та передпосівного обробітку стерньових і мульчованих агрофонів, перелогових земель, кормових угідь та різних за механічним складом ґрунтів, які швидко ущільнюються ходовими системами енергетичних засобів чи після опадів. Наявність у конструкції двох зубчастих котків забезпечує додаткове подрібнення грудок у верхньому шарі ґрунту [1].



а)



б)



в)

Рисунок 1.5 – Машини для глибокого розпушування ґрунту:

АГР-3,4 ВАТ ВО «Восход» (а);
 АЧН-3,0 «ХОМА» ВАТ «Галещина,
 машзавод» (б);
 «RPI-75» фірми DONDI (Італія) (в).

Подібними за призначенням і конструкцією є глибокорозпушувачі АЧН-3,0 «ХОМА» виробництва ВАТ «Галещина машзавод» (див. рисунок 1.5, б) та «RPI-75» італійської фірми DONDI (див. рисунок 1.5, в). різняться вони особливістю робочих органів та їх кількістю. Крім того на розпушувачі АЧН-3,0 «ХОМА» встановлено прутковий коток для додаткового ущільнення і подрібнення верхнього шару ґрунту, а на машині «RPI-75» долотоподібні лапи кріпляться до рами гідравлічну через систему запобігання пошкоджень під час набігання їх на перешкоду [11].

Для глибокого розпушування підорного ущільненого ґрунту на глибину до 65см та руйнування плужної «підшови», утвореної орними агрегатами компанія Lemken пропонує глибокорозпушувач LABRADOR, який агрегується з тракторами потужністю 132кВт. Фірма Јупра пропонує модельний ряд глибокорозпушувачів серії SJ (рисунок 1.6, а) з кількістю встановлених на них робочих органів 1, 3, 5, 7, 9 і глибиною обробітку ґрунту 45, 50, 60, 65, 75 та 80см [17].

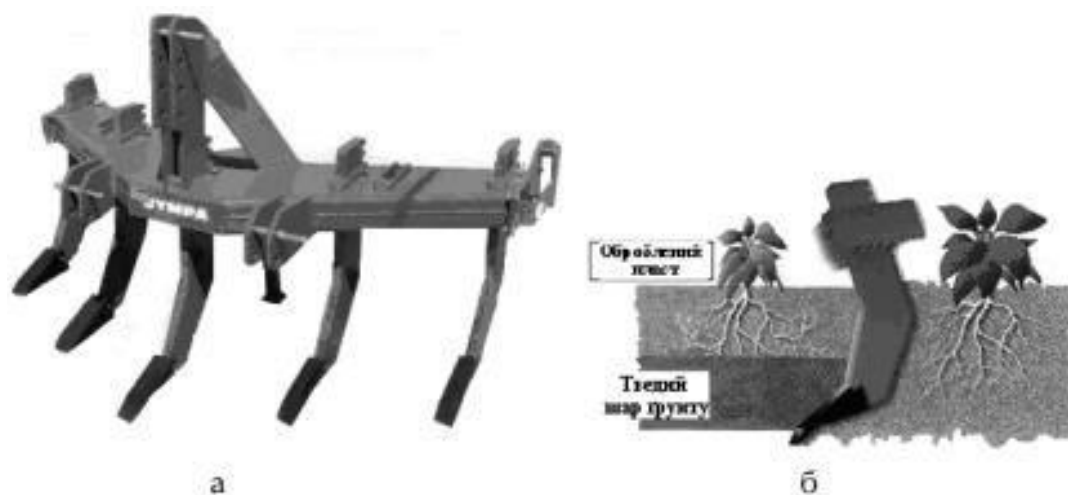


Рисунок 1.6 – Глибокорозпушувач SJ-57-SR50 (а) та взаємодія робочого органу з ґрунтом (б)

Вказані глибокорозпушувачі забезпечують розпушення плужної «підшви» без винесення на поверхню нижніх шарів ґрунту, що забезпечує покращення повітряно-водного режимів життєдіяльності вирощуваних культурних рослин (див. рисунок 1.6, б).

Останніми роками широкого поширення набули розпушувачі для різноглибинного обробітку ґрунту, які вважаються одними із найскладніших ґрунтообробних знарядь чизельного типу. За різноглибинного чизельного обробітку поєднуються мілке суцільне та глибоке смужне розпушення. Це досягається відповідним взаємним розміщенням двох типів чизельних робочих органів стрілкового типу.

Плоскоріз-щілювач начіпний ПЩН-2,5 призначений для основного плоскорізного обробітку ґрунту на глибину 16...22см з одночасним глибоким смужним розпушенням нижнього шару на глибину до 35см. Агрегат доцільно застосовувати для обробітку ґрунту під культури I технологічної групи на полях з обмеженою кількістю рослинних решток (не перевищує 3т/га) на їх поверхні. Машина може працювати на схилах за контурно-меліоративної системи землеробства.

У технологічно-конструктивній схемі (рисунок 1.7) плоскоріза-щілювача функціонально поєднанано три окремі технологічні операції: різноглибинний обробіток, смужне розпушення і щілювання ґрунту [8].

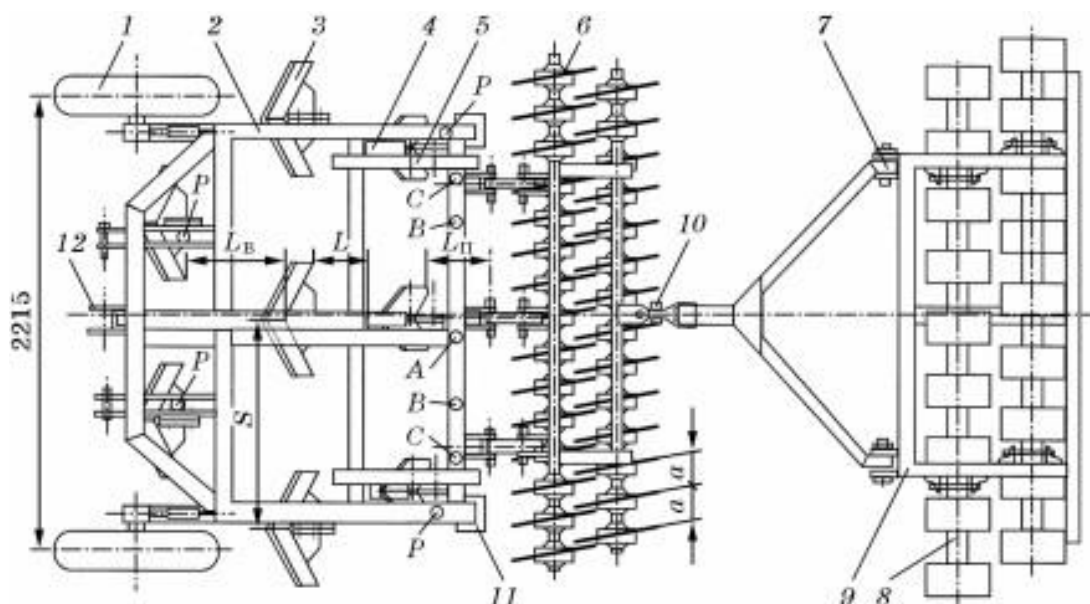


Рисунок 1.7 – Плоскоріз-щілювач начіпний ПЩН-2,5М:

1 – опорні колеса; 2 – рама; 3 – плоскорізні лапи; 4 – розпушувальні лапи; 5 – рухомий кронштейн; 6 – дисковий подрібнювач; 7 – коток; 8 – секція котка; 9 – рама котка; 10 – механізм приєднання котка; 11 – опора; 12 – механізм начіпного пристрою.

Плоскоріз-щілювач начіпний ПЩН-2,5М має зварну основну раму 2 на якій змонтовано плоскорізні 3 та розпушувальні 4 лапи, механізм начіпного пристрою 12 та два опорних колеса 1. До рами 1 кріпиться дисковий подрібнювач 6, а через механізм приєднання до подрібнювача шарнірно кріпиться двобарабанний коток 7. В задній частині основної рами 1 змонтовані рухомі кронштейни 5, за допомогою яких можлива плавна зміна відстані між суміжними розпушувальними лапами 4 в поперечно-вертикальній площині. Завдяки збільшеній до 1000мм відстані між суміжними стояками плоскорізних лап 3 та відстані між суміжними розпушувальними лапами 4 у 500мм покращується пропускна здатність ґрунтообробного знаряддя без забивання робочих органів пожнивними рештками та іншою рослинністю, особливо на забур'янених агрофонах.

Щілювач-розпушувач ґрунту ЩРП-3-70 призначений для глибокого (до 60см) щілювання зябу, посівів озимих зернових культур, сіножатей, лук та пасовищ. Його застосовують і для смужного розпушення ґрунту, знищення плужної «підшви» після оранки, покращення водно-повітряного режиму обробленого

грунту, насичення і зберігання вологи шляхом переміщення поверхневого стоку води у внутрішньогрунтовий, а також для проведення протиерозійних заходів, особливо на схилі ділянках.

Щілювач-розпушувач ґрунту ЩРП-3-70 має раму 2 (рисунок 1.8) на якій змонтовано розпушувальні 3 та щілювальні 5 лапи, два дискові ножі 6 та два опорно-прикочувальні колеса 1. До рами 2 приєднано начіпний механізм 4 [5, 8].

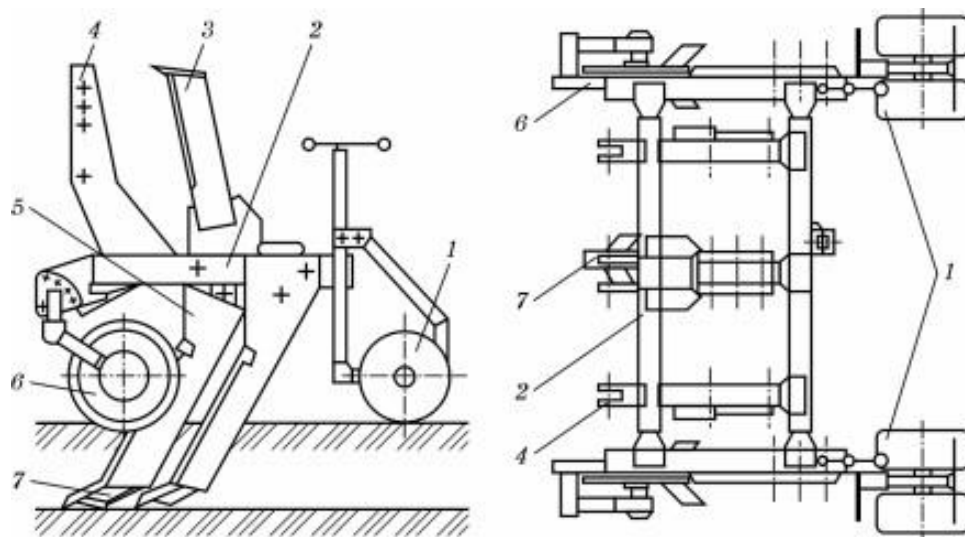


Рисунок 1.8 – Щілювач-розпушувач ґрунту ЩРП-3-70:

1 – опорні колеса; 2 – рама; 3 і 5 – розпушувальні та щілювальні лапи;
4 – начіпний механізм; 6 – дискові ножі; 7 – змінні долота.

Робочі органи для щілювання посівів мають стовбу, до нижньої частини якої приварене долото шириною 60 мм і кутом різання 12град. За такого кута різання ґрунт не піднімається вгору і не пошкоджує кореневу систему культурних рослин під час щілювання ґрунту на глибину 30...50см. Якщо розпушувач застосовують для щілювання зябу, то використовують робочі органи з більш винесеними вперед долотами і кутом їх установлення до дна борозни 26град.

Перед кожною щілювальною лапою встановлено дискові ножі діаметром 400мм. Вони перерізають кореневища бур'янів на глибину 10...15см для запобігання намотування їх на стовбу.

Технологічна схема щілювача (рисунок 1.9) забезпечує [8]:

- 1) смужне розпушення ґрунту на глибину до 50см;
- 2) щілювання зяблевого обробітку на глибину від 20 до 60см;

3) щілювання посівів культур, пасовищ та сінокосів на глибину до 40см.

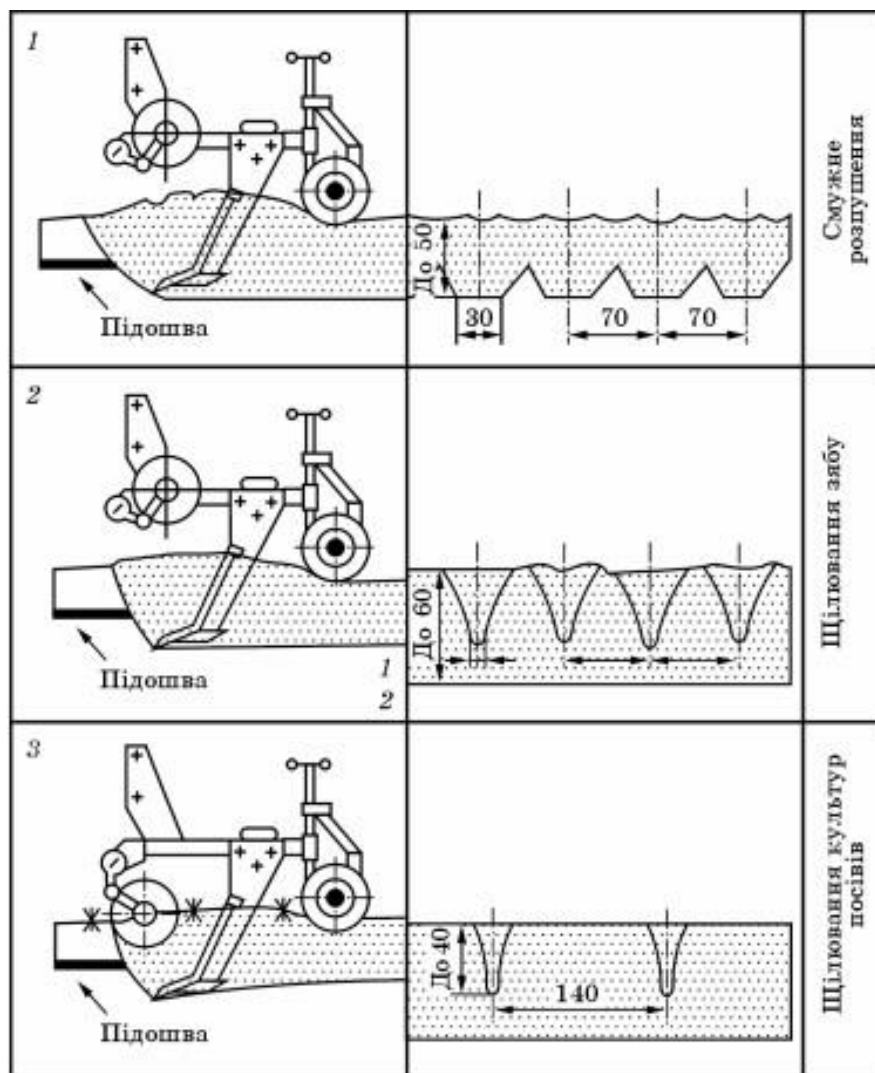


Рис. 1.9. Схеми роботи щілювача-розпушувача ґрунту ЩРП-3-70

Для виконання вказаних технологічних схем робочі органи щілювача-розпушувача розставляють таким чином, щоб забезпечити відстані між щілинами 70см (3 робочі органи) або 140см (2 робочі органи) або застосовувати додатково дискові ножі та опорні котки.

1.3 Аналіз робочих органів для чизелювання

Основними робочими органами машин для чизельного обробітку ґрунту є плоскорізні (рисунок 1.10) та чизельні лапи, дискові подрібнювачі, одно- чи дво- барабанні котки та різні типи ротаційних борін, змонтовані на основній рамі машини або приєднані до неї за допомогою причіпних механізмів, здатних забезпечувати їх регулювання у відповідність із умовами роботи [8].

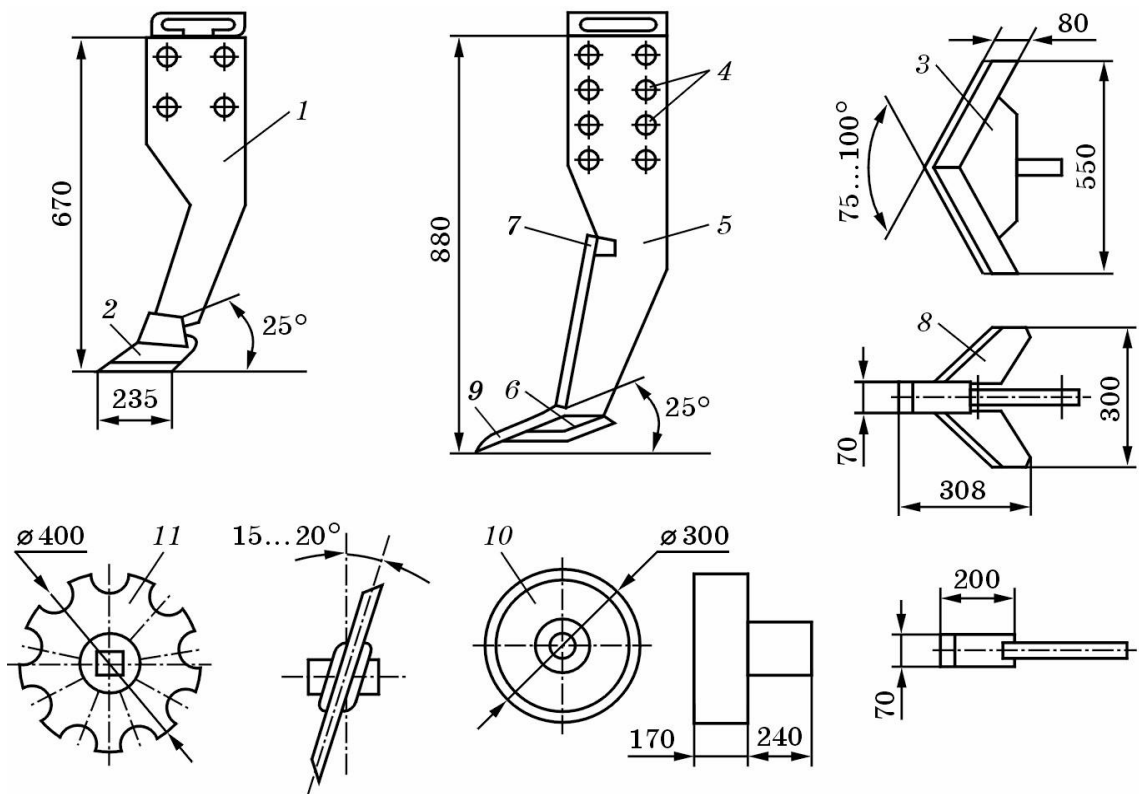


Рисунок 1.10 – Робочі органи розпушувачів:

1 – стовба; 2 – болт; 3 – лапа; 4 – регулювальні отвори; 5 – стовба глибокорозпушувача; 6 – піддолотник; 7 – накладка; 8 – розпушувач; 9 – долото; 10 – коток-ущільнювач; 11 – дисковий ніж.

Робочі органи мають стовбу 1 у нижній частині якої приварено долото 9 або стрілочасту лапу 3 чи розпушувач 8. Ширина захвату кожного робочого органу вибирається від виду виконуваної роботи, ґрунтових умов та вологості ґрунту, від яких залежить також зона деформації ґрунтового середовища.

У чизельних культиваторах для поглибленого обробітку ґрунту забезпечується ешелонованість розміщення робочих органів у два і більше рядів. Широко використовуються на цих культиваторах підпружинені робочі органи у вигляді розпушувальних (долотоподібних) або стрілочастих лап.

Висновки

1. Під час чизельного обробітку ґрунт деформується робочими органами чизельних плугів, культиваторів, глибокорозпушувачів або комбінованих машин без утворення ущільненої «підшви».

2. За чизельного обробітку на поверхні поля зберігається значна кількість (60...80%) рослинних (післяжнивних) решток та до 20% вологи в ґрунті.

3. Основними робочими органами машин для чизельного обробітку ґрунту є плоскорізнні та чизельні лапи, дискові подрібнювачі, одно- чи двобарабанні котки та різні типи ротаційних борін, змонтовані на основній рамі машини або приєднані до неї за допомогою причіпних механізмів, здатних забезпечувати їх регулювання у відповідність із умовами роботи.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА З ГРУНТОМ

2.1 Обґрунтування дії долотоподібних лап чизельного плуга на ґрунт

Відомо, що основними робочими органами чизельних плугів є долотоподібні та стрілочасті лапи [8, 17].

Долотоподібні (стрілочасті) лапи чизельних плугів або глибокорозпушувачів обробляють ґрунт на значну глибину, а тому умови їх роботи під час деформації ґрунту мають свої особливості. Рухаючись вперед, за напрямком переміщення енергетичного засобу, долотоподібна лапа у поздовжньо-вертикальній площині деформує певну ділянку ґрунту перед собою. В цьому випадку вона працює як звичайний двогранний клин. Поряд з цим, одночасно, лапою деформується ділянка ґрунту в поперечно-вертикальній площині, що обумовлено взаємним зчепленням окремих часточок ґрунту. Зона деформації ґрунту долотоподібною лапою залежить від його фізико-механічних властивостей.

Під час руху розміщеного під кутом α робочого органу (клина) за вказаним на рисунку 2.1 напрямком, на ґрунтову скибу, яка переміщується його робочою поверхнею одночасно із ковзанням по ній, діють нормальна сила N та сила тертя F , сумарно виражені через рівнодійну R , яка відхилена від нормалі на кут тертя φ робочої поверхні клина по ґрунту [6, 7].

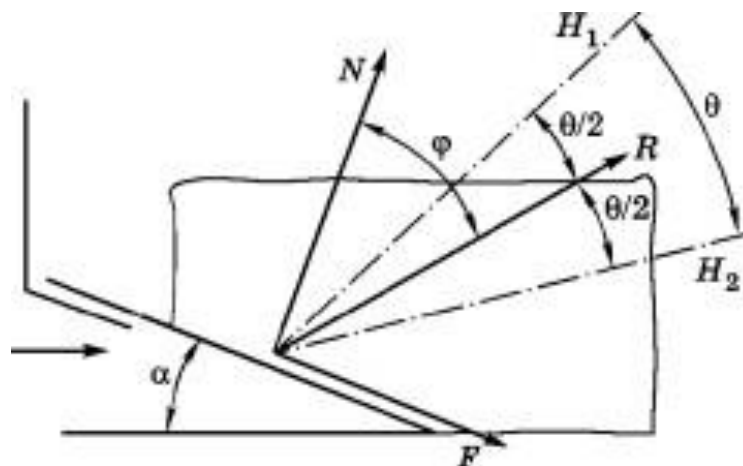


Рисунок 2.1 – Схема дії сил під час взаємодії долотоподібної лапи з ґрунтом

За теорією дотичних напружень напрямком можливих площин сколювання H_1 і H_2 ґрунту по відношенню до сили R можна вважати однаково симетрично-розподіленими під кутом Θ одна до одної. Це пов'язано з самою структурою ґрунту, який розглядається як неоднорідне тіло з наявністю різного роду природних щілин, а тому можливий напрямок сколювання ґрунту не буде значно відхилитися від напрямку рівнодійної сили R .

2.2 Обґрунтування зони деформації ґрунту

Розглянемо зону деформації ґрунту долотоподібною лапою чизельного плуга в поздовжньо-вертикальній площині (рисунок 2.2, а) [6, 7, 24].

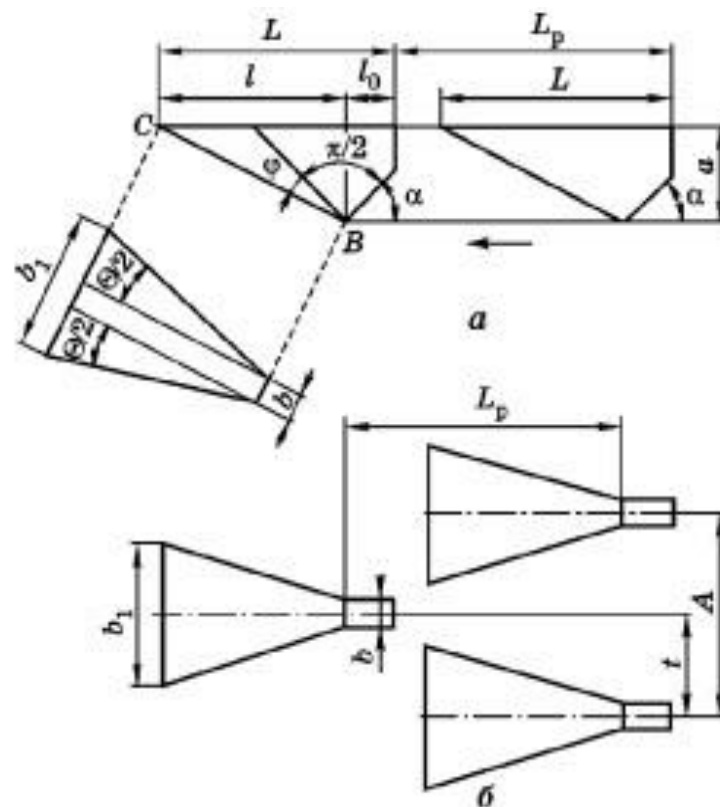


Рисунок 2.2 – Схема деформації ґрунту долотоподібною лапою у поздовжньо-вертикальній (а) та поперечно-вертикальній (б) площинах

Нехай долотоподібна лапа з кутом α (див. рисунок 2.2, а) входження в ґрунт, яка переміщується за вказаним на рисунку напрямком та обробляє його на глибину a . При цьому, максимальне значення L зони деформації (розпушування) ґрунту в поздовжньо-вертикальній площині за напрямком переміщення лапи визначається з умови:

$$L = l_0 + l, \quad (2.1)$$

де l_0 – винос носка лапи;

l – зона деформації ґрунту перед лапою, яка залежить від кута α входження її в ґрунт та кута φ тертя лапи об ґрунт.

Слід також враховувати, що кут φ тертя лапи об ґрунт залежить від коефіцієнта тертя $f = \arctg \varphi$ та змінюється з глибиною обробітку. Це пов'язано з тим, що вологість ґрунту на різних глибинах змінюється (рисунок 2.3).

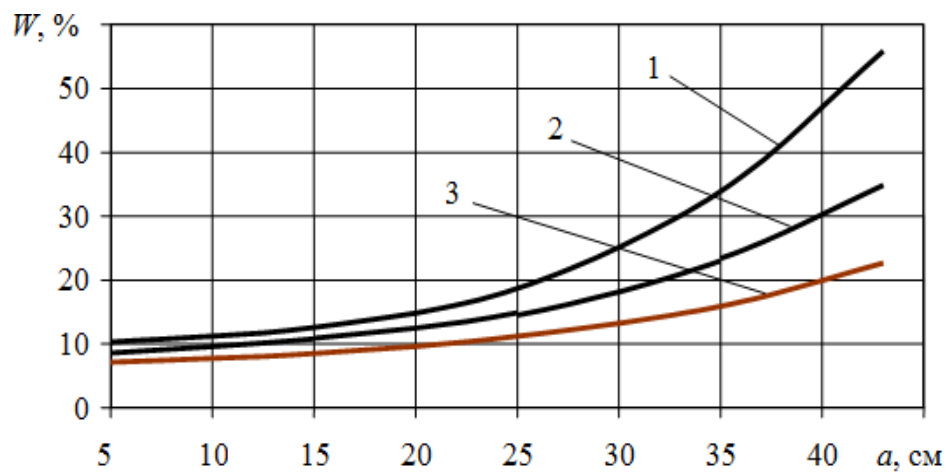


Рисунок 2.3 Закономірність зміни вологості ґрунту за глибиною обробітку:
1 – легкий суглинок; 2 – важкий суглинок; 3 – глина середня.

Як видно з рисунка 2.3 на малих глибинах обробітку ґрунту (в межах 5-20см) вологість W не перевищує 15%. Саме тому, закономірність зміни зони деформації ґрунту долотоподібною лапою чизельного плуга на цих глибинах носить дещо інший характер, ніж на глибинах понад 25см, що притаманно чизельному обробітку. З графіків видно, що вологість глини середньої на всіх глибинах є більшою, ніж у легкого та важкого суглинків, а отже закономірність l має більшу кривизну.

Отже, на глибинах понад 0,25м робочий орган чизельного плуга працює в більш вологому середовищі. Розглядаючи закономірності зміни коефіцієнтів тертя від вологості (рисунок 2.4) можна помітити, що за вологості ґрунту до 20% відбувається сухе тертя грудочок по робочому органу чизельного плуга і усі графіки мають наближену прямо-пропорційну закономірність.

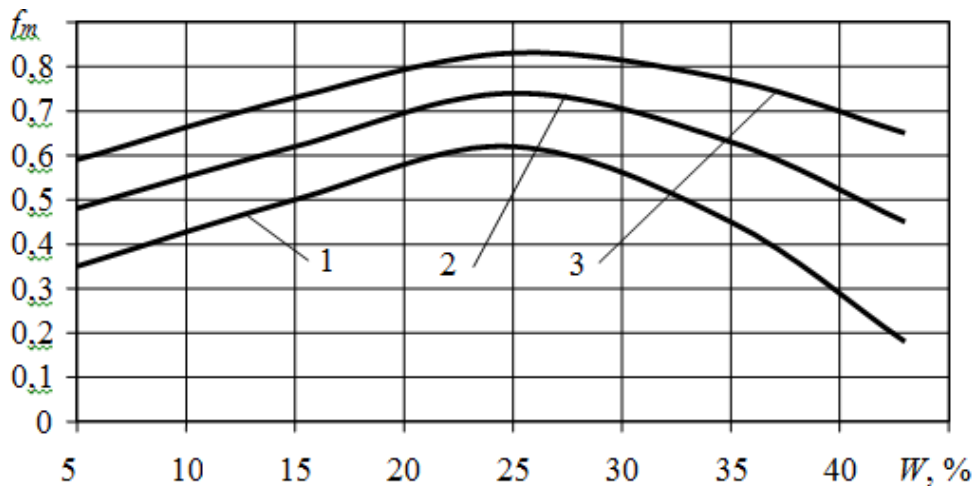


Рисунок 2.4 Залежність коефіцієнта тертя від вологості ґрунту:
1 – легкий суглинок; 2 – важкий суглинок; 3 – глина середня.

Це означає, що робочий орган самоочищається наступним шаром ґрунту. На ділянці 20-30% спостерігається значне налипання ґрунту на робочі органи, а тому в цій зоні застосовувати робочі органи недоцільно, через збільшення сил адгезії.

Коли вологість ґрунту вища 30% коефіцієнт тертя зменшується – відбувається мокре тертя між робочим органом і ґрунтом з наявною водяною плівкою між ними, що супроводжується зменшення опору робочого органу.

Згідно рисунка 2.2, а формула (2.1) набуде вигляду:

$$L = l_0 + atg(\alpha + \varphi). \quad (2.2)$$

Зона деформації ґрунту долотоподібною лапою чизельного плуга у поперечно-вертикальній площині також обмежена площинами сколювання кутом θ або $\theta/2$ бічної деформації між ними до осі симетрії.

Зону деформації ґрунту в поперечному напрямку можна визначити, скориставшись рисунком 2.2, б, де відображено повернуту на 90град. площину сколювання (на рисунку 2.2, а – це лінія BC). З рисунку видно, що максимальна ширина b_1 зони деформації ґрунту долотоподібною лапою на поверхні ґрунту становить [6, 15, 24]:

$$b_1 = b + \frac{2atg \frac{\Theta}{2}}{\cos(\alpha + \varphi)}, \quad (2.3)$$

де b – конструктивна ширина долотоподібної лапи.

З рисунка 2.2, б видно, що зона деформації ґрунту перед долотоподібною лапою різна за глибиною обробітку – чим ближче до лапи, тим вона більша. Це явище слід враховувати під час компоновання робочих органів на рамі чизельного плуга, розміщуючи їх у два ряди з певним перекриттям.

Але основною умовою розміщення долотоподібних лап на рамі чизельного плуга є забезпечення суцільної деформації та розпушування ґрунту по всій глибині його обробітку, у відповідність з наведеною схемою (див. рисунок 2.2, б). Для запобігання забиванню простору між передніми і задніми рядами лап ґрунтом, бур'янами, післяжнивними рештками, відстань L_p між рядами лап (за ходом руху агрегату) слід вибирати з умови, щоб

$$L_p > L. \quad (2.4)$$

Теоретичними дослідженнями встановлено, що за глибин обробітку долотоподібними лапами чизельних плугів до 30см оптимальна відстань між переднім і заднім рядами лап L_p має становити 650-710мм. Якщо глибину обробітку збільшити до 45см, тоді відстань між рядами лап чизельного плуга має становити 750-820мм. Аналогічні відстані мають бути збережені під час комплектування чизельного плуга стрілочастими лапами, якщо вони також працюватимуть на вказаних вище глибинах обробітку.

Під час монтування долотоподібних лап на рамі чизельного плуга слід враховувати, що зона деформації ґрунту лапою є завжди більшою за ширину самої лапи.

Відстань A (див. рисунок 2.2, б) між долотоподібними лапами чизельного плуга в рядах слід вибирати з умови їх дворядного розміщення, тобто:

$$2b_1 > A > b_1; \quad (2.5)$$

Кількість n_p долотоподібних розпушувальних лап, які встановлюються на рамі чизельного плуга, визначаються за формулою

$$n \frac{B_k}{t}, \quad (2.6)$$

де B_k – робоча ширина захвату чизельного плуга, м;

t – відстань між слідами лап, м (за дворядного розміщення на рамі чизельного плуга $t = A/2$).

Таким чином, на рамі чизельного плуга ПЧ-2,5 слід встановити п'ять долотоподібних лап, розмістивши їх у два ряди: дві у першому та три у другому рядах, з відстанню між ними 0,5м за ходом агрегату.

2.3 Обґрунтування опору чизельного плуга

Під час взаємодії робочих органів чизельного плуга з ґрунтом, останній чинить опір, величина якого залежить від конструктивних особливостей робочих органів та фізико-механічних властивостей та стану (вологості) ґрунтового середовища.

Опір чизельного плуга визначаємо як суму складових опорів (сил), які виникають в процесі взаємодії його робочих органів з ґрунтом, а саме:

$$P_{xz} = Gf_{yz} + F_a k_a + R_n k_n + F_\delta k_\delta + Jk_i, \quad (2.7)$$

де G , J – відповідно сила ваги чизельного плуга та сила інерції ґрунту під час його деформації, кН;

F_a – сумарні сили адгезії, які виникають між робочим органом і ґрунтовим середовищем, кН;

F_δ – сумарні сили деформації ґрунту робочими органами чизельного плуга, кН;

R_n – опір стійки долотоподібної лапи чизельного плуга, кН;

f_{yz} – узагальнений коефіцієнт тертя (враховує тертя ґрунту по ґрунту й ґрунту по робочому органу плуга);

k_a – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від матеріалу, з якого виготовлено робочі органи чизельного плуга та вологості ґрунту;

k_n – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від товщини стійки лапи;

k_d – безрозмірний коефіцієнт, який відображає вплив геометричних параметрів долотоподібного робочого органу чизельного плуга на інтенсивність деформації ґрунту;

k_i – безрозмірний коефіцієнт, який враховує швидкість переміщення чизельного плуга під час обробітку ґрунту.

Інтенсивність налипання часточок ґрунту на робочі органи чизельного плуга залежить від конфігурації робочої поверхні (стійки й долота) й матеріалу, з якого вони виготовлені. Але найбільш впливовим чинником є вологість ґрунту, де під час переміщення робочого органу виникають сили молекулярного зв'язку (адгезії), через які часточки ґрунтового середовища контактують з поверхнею долотоподібних лап. Сумарну їх силу визначаємо за формулою

$$F_a = nC_3S_3, \quad (2.8)$$

де C_3 – питома сила адгезії (липкість), кН/м² (див. графіки);

S_3 – площа контакту робочої поверхні долотоподібного робочого органу чизельного плуга з ґрунтом, м²;

n – кількість долотоподібних робочих органів чизельного плуга, що одночасно контактують з ґрунтом.

Площу контакту робочої поверхні долотоподібної лапи під час її взаємодії з ґрунтом не є постійною, але визначається орієнтовно глибиною обробітку та конструктивними параметрами сумарно стійки і долота лапи, які безпосередньо контактують з ґрунтом.

Враховуючи конструктивні особливості долотоподібної лапи чизельного плуга площа S_3 контакту її робочої поверхні з ґрунтом наближено може бути визначена за формулою

$$S_3 = 2hb_2, \quad (2.9)$$

де h – глибина обробітку ґрунту, м;

b_2 – середня ширина стійки долотоподібної лапи, що безпосередньо контактує з ґрунтом, м;

Під час взаємодії долотоподібної лапи чизельного плуга з ґрунтом, в ньому виникають сколювання, тріщини, які супроводжуються деформацією обробленої ділянки на певну ширину захвату (зону деформації b_1) ґрунту. Сумарну силу деформації ґрунту без врахування швидкості переміщення робочого органу в ґрунтовому середовищі наближено визначаємо за формулою:

$$F_o = n \cdot k \cdot a \cdot b_1, \quad (2.10)$$

де k – питомий опір ґрунту, кН/м^2 .

Частини стійок робочого органу чизельного плуга вважаємо симетричними відносно центральної вертикальної осі. Якщо знехтувати випадковими реакціями, перпендикулярними до осі долотоподібної лапи знехтувати, то можна розглядати сумарні реакції ґрунту на стійку, як розміщені в площині її руху, тобто у вертикальній площині, яка проходить через центр стійки.

Розглянемо можливі випадки встановлення стійки чизельного плуга до вертикальної площини, тобто за кутів різання $\psi_n > 90^\circ$ (рисунок 2.5, б) та $\psi_n < 90^\circ$ (рисунок 2.5, в).

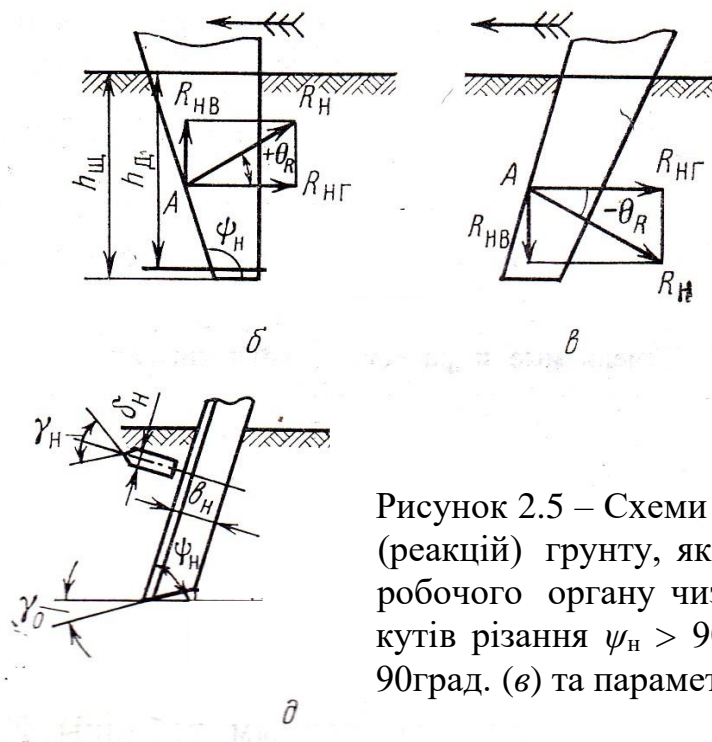


Рисунок 2.5 – Схеми для визначення сил (реакцій) ґрунту, які діють на стійку робочого органу чизельного плуга за кутів різання $\psi_n > 90^\circ$ (б); $\psi_n < 90^\circ$ (в) та параметрів стійки (д)

Горизонтальна складова сумарного зусилля різання ґрунту (утворення щілини) стійкою чизельної лапи (кН) можна визначити з умови:

$$R = 10^{-2} \rho h (1 + 0,1 \delta_n) \left[1 - \left(\frac{90^\circ - \psi_n}{180^\circ} \right) \right] k_\gamma, \quad (2.11)$$

де ρ – твердість ґрунту, кН/м²

$h_{щ}$ – глибина утвореної щілини стійкою долотоподібною лапи, м;

δ_n – товщина стійки, м;

k_γ – коефіцієнт, який враховує кут загострення γ_n (див. рисунок 2.5, д).

Вертикальна складова сумарного зусилля різання ґрунту (утворення щілини) стійкою лапи за кутів різання $\psi_n > 90^\circ$ (див. рисунок 2.5, б) та $\psi_n < 90^\circ$ (див. рисунок 2.5, в), відповідно визначається за такими формулами

$$R_{HB} = R_{HT} \operatorname{tg}(\psi_n - 90^\circ), \quad (2.12)$$

$$R_{HB} = R_{HT} \operatorname{ctg} \psi_n. \quad (2.13)$$

Сумарну реакцію ґрунту на прорізання щілини стійкою долотоподібною лапи чизельного плуга становить:

$$R_H = \sqrt{R_{HT}^2 + R_{HB}^2}. \quad (2.14)$$

Тоді кут нахилу рівнодійної до горизонту становить:

$$\text{- за } \psi_n > 90^\circ \text{ (див. рисунок 2.5, б)} \quad \Theta_R = \operatorname{arctg}\left(\frac{R_{HB}}{R_{HT}}\right), \quad (2.15)$$

$$\text{- за } \psi_n < 90^\circ \text{ (див. рисунок 2.5, в),} \quad \Theta_R = -\Theta_R. \quad (2.16)$$

Під час взаємодії робочих органів з ґрунтом виникають також інерційні сили, зумовлені швидкістю взаємодії та параметрами самої деформованої ділянки. Сумарну силу інерції ґрунту під час його обробітку визначаємо за формулою

$$J = \frac{10^{-4} j a b V^2 n \sin \varphi}{g \sin(\varphi + \alpha)}, \quad (2.17)$$

де j – щільність ґрунту, кг/м³;

V – робоча швидкість руху агрегату для чизелювання ґрунту, м/с;

$$V = V_m (1 - \delta), \quad (2.18)$$

V_m – теоретична швидкість руху агрегату для чизелювання, м/с;

φ – кут сколювання ґрунту перед долотоподібною лапою, град;

α – кут входження носка долотоподібною лапи в ґрунт, град.

Силу ваги чизельного плуга визначаємо з врахуванням коефіцієнта перекочування його опорних коліс поверхнею ґрунту μ , тобто:

$$G = G_c \mu. \quad (2.19)$$

Якщо підставити отримані значення за формулами (2.8), (2.10), (2.18) та (2.19) у формулу (2.7), то можна визначити опір чизельного плуга з врахуванням усіх вищенаведених чинників, які є впливовими на перебіг технологічного процесу чизелювання.

Висновки

1. Теоретичними дослідженнями встановлено, що, на рамі чизельного плуга ПЧ-2,5 слід встановити п'ять долотоподібних лап, розмістивши їх у два ряди: дві у першому та три у другому рядах, з відстанню між ними 0,5м за ходом агрегату.

2. Аналітичними дослідженнями встановлено, що на глибинах понад 0,25м робочий орган чизельного плуга працює в більш вологому середовищі, а тому закономірність зміни його опору, для різних глибин обробітку, від вологості носить стохастичний характер, а тому вимагає експериментальних досліджень.

3. Спільним розв'язком рівнянь (2.8), (2.10), (2.18), (2.19) та (2.7) можна визначити опір чизельного плуга з врахуванням усіх вищенаведених чинників, які є впливовими на перебіг технологічного процесу чизелювання.

3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Мета і програма експериментальних досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень ставилося завдання визначити опір робочого органу чизельного плуга під час обробітку різного за твердістю ґрунту на певних глибинах, підтвердження та доповнення теоретичних досліджень системи «долотоподібний робочий орган – ґрунт».

Для досягнення сформульованої мети була розроблена програма експериментальних досліджень, яка включала:

- 1) Визначення твердості ґрунту;
- 2) Встановлення закономірності зміни опору робочого органу чизельного плуга в залежності від швидкості його руху й твердості ґрунту;

3.2 Передумови проведення дослідів

Твердість ґрунту має суттєвий вплив на перебіг технологічного процесу його обробітку робочими органами чизельного плуга чи культиватора. Першочергово вона залежить від ґрунтових умов [7, 15, 24].

Тому об'єктом досліджень була взаємодія долотоподібних робочих органів чизельного плуга під час суцільного обробітку ґрунту на глибинах 0,20–0,30 м з попереднім визначенням твердості ґрунту в зоні обробітку. Експериментальні дослідження проводились на фізичних моделях долотоподібних лап чизельного плуга, які кріпилися на рухомому візку лабораторної установки, яка переміщувалася в ґрунтовому каналі.

Експериментальні дослідження проводились з використанням загальноприйнятих методик [15, 24]. Отримані експериментальні дані оброблялись методами математичної статистики й теорії ймовірності й передбачали наступне: визначення середнього арифметичного X ; середніх квадратичних відхилень окремо-

го вимірювання σ й кінцевого результату m ; коефіцієнта варіації v ; відносного статистичного відхилення p від середнього арифметичного [24].

3.3 Методика визначення опору робочого органу чизельного плуга

Під час обробітку ґрунту долотоподібними лапами чизельного плуга, ґрунт чинить опір його деформуванню, що узагальнено виражається зоною сколювання перед лапою і з обидвох її сторін завдяки куту бічної деформації. Перед безпосереднім дослідженням опору проводились дослідження з визначення твердості ґрунту на досліджуваній ділянці. Отримані значення слугували вихідними даними для обґрунтування умов роботи долотоподібної лапи чизельного плуга в ґрунтовому каналі.

Таким чином, експериментальні дослідження з визначення опору робочого органу чизельного плуга проводилися у два етапи: на першому з них встановлювалась твердість ґрунту, а на другому – опір долотоподібного робочого органу.

Відомо, що твердість та коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту перебувають у кореляційній залежності з його опором під час обробітку робочими органами ґрунтообробних машин. Для їх визначення доцільно використати твердомір Ревякіна [15].

Суть методики з визначення твердості ґрунту базувалась на вдавлюванні в ґрунт деформатора приладу Ревякіна відповідного об'єму через протаровану циліндричну пружину з наперед відомою жорсткістю.

Відомий твердомір має нерухому рамку 1 (рисунок 3.1, а) з опорною поверхнею й пристроєм для кріплення міліметрового паперу та шток 2 з наконечником 3. Шток 2 через пружину 5 з'єднаний з важелем 4. Кінець пружини через передавальний механізм 8 з'єднувався з олівцем-самописцем 6, яким, на міліметровому папері, фіксувалась деформація пружини 5 у вигляді горизонтальних відрізків Y і заглиблення наконечника 3 – у вигляді вертикальних відрізків h діаграми 7.

Під час експериментів прилад встановлювався на досліджувану поверхню ґрунту таким чином, щоб наконечник 3 торкався її. Після плавного натискання

руками на важіль 4, наконечник 3 заглиблювався в ґрунт і олівець самописця 6 викреслював діаграму 7, яка відображає закономірність зміни прикладеного зусилля P від деформації ґрунту h :

$$P = k \cdot Y, \quad (3.1)$$

де k – жорсткість пружини, Н/мм.

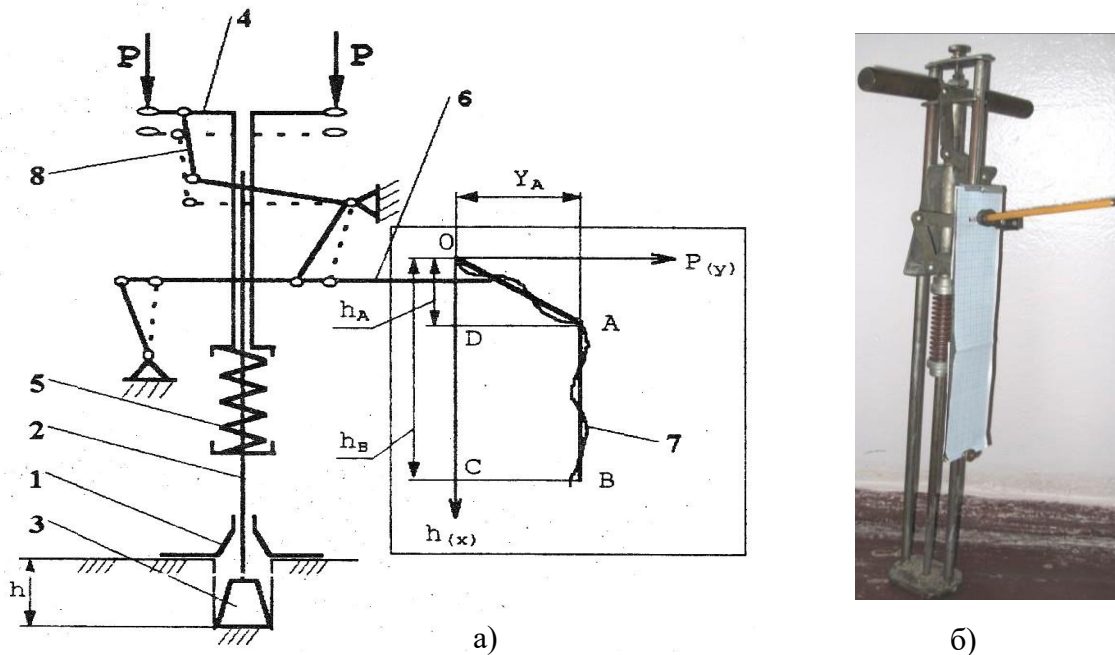


Рисунок 3.1 – Схема твердоміра: а) схема, б) загальний вигляд.

Апроксимація діаграми прямими лініями OA і AB показує наближений характер процесу деформації ґрунту. На ділянці OA (перша фаза) сила опору занурення деформатора носить лінійний характер деформації ґрунту h . На ділянці AB (друга фаза) зростання деформації ґрунту не спричиняє збільшення зусилля навантаження й ґрунт деформується за постійного тиску на нього.

Твердість ґрунту на межі прямої пропорційності можна визначити з умови

$$p = \frac{kY}{S}, \quad (3.2)$$

де Y – середня ордината діаграми, мм;

S – площа основи наконечника приладу, см^2 .

Експерименти проводились перед переміщенням візка з робочими органами чизельного плуга на лінії його руху вздовж ґрунтового каналу у трьох точках на глибині 15 см наконечником у вигляді плунжера, площа якого $S=1\text{см}^2$. Під час

експериментів отримані за допомогою приладу заміри, оброблялися аналітично для остаточного встановлення середньої твердості ґрунту.

На другому етапі експериментальних досліджень визначався тяговий опір долотоподібного робочого органу чизельного плуга за змінної швидкості руху візка 8 (рисунок 3.2) лабораторної установки та наперед визначеною твердістю ґрунту в ґрунтовому каналі 2, основою якого є змонтований на опорах 11 короб з насипаним у нього ґрунтом, шар якого сягає 0,4м. З двох зовнішніх сторін коробка змонтовано рейси 10 по яких, на колесах 9, рухався візок 8.

Візок 8 – це зварна рама прямокутної форми, у середній частині якої, на квадратному валі, змонтовано кронштейн 4 в якому закріплено долотоподібний робочий орган 7. Тягою 6 кронштейна 4 можна змінювати (регулювати) кут входження робочих органів чизельного плуга в ґрунт.

Візок 8 переміщувався рейсами 10 за допомогою електродвигуна 12, який тягнув його тросом 3 через варіатор змінних швидкостей 13 та шків 1. Між самим візком 8 і тросом 3 монтувався наперед відтарований у стаціонарних лабораторних умовах тяговий електричний динамограф 4, кабелем 14 з'єднаний з реєструвальною апаратурою (на рисунку 3.2 не показано).

Під час проведення експериментальних досліджень каретка 8 з робочими органами 7 чизельного плуга встановлювались на початку ґрунтового жолобу. Робочий орган 7 опускався на відповідну глибину обробітку і включався електродвигун 12, який тросом 3 тягнув каретку 8, яка рухалась рейсами 10 вздовж ґрунтового каналу 2, опираючись на колеса 9.

Під час переміщення візка 8 тяговий електричний динамограф 4 подавав сигнали через кабель 14 до осцилографа, який записував опір долотоподібної лапи у вигляді осцилограм. Одночасно секундоміром засікався час проходження всього ґрунтового каналу і визначалась робоча швидкість V_p переміщення візка з долотоподібною лапою.

Після обробки осцилограм визначався тяговий опір долотоподібної лапи чизельного плуга за залежністю:

$$R_{agr} = Y \cdot \delta, \quad (3.3)$$

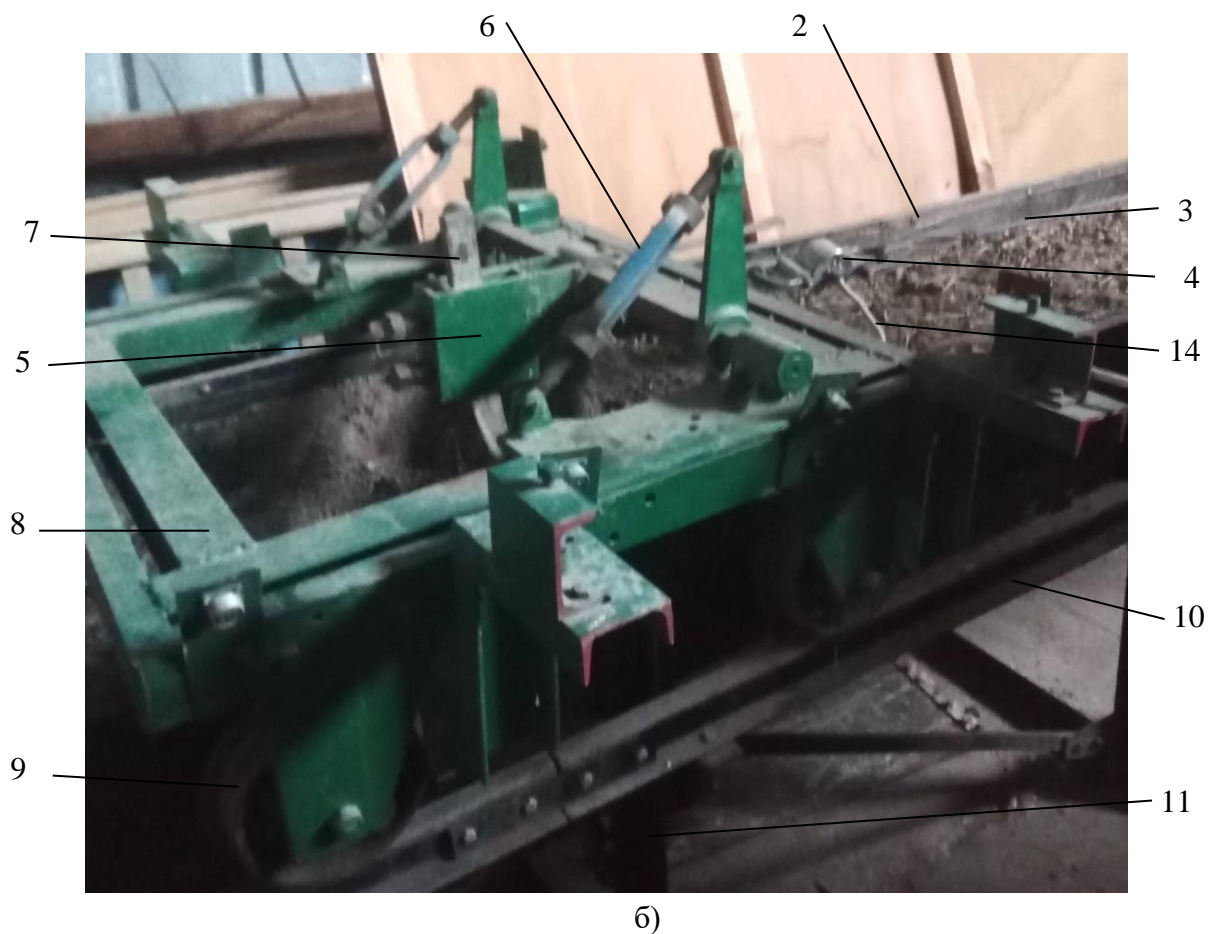
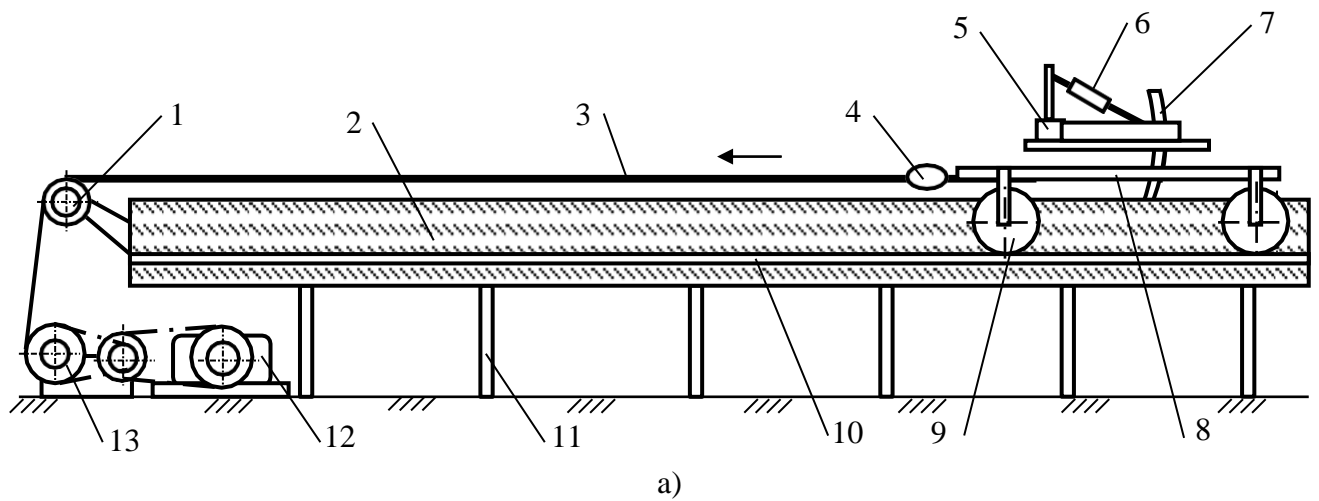


Рисунок 3.2 – Лабораторна установка для дослідження опору робочого органу чизельного плуга:

а) схема; б) загальний вигляд; 1 – шків; 2 – ґрунтовий канал; 3 – трос; 4 – динамограф електричний; 5 – кронштейн; 6 – тяга регульовальна; 7 – робочий орган (лапа долотоподібна); 8 – візок; 9 – колесо візка; 10 – рейси; 11 – опора; 12 – електродвигун; 13 – варіатор швидкостей; 14 – кабель.

де Y – середнє значення ординати осцилограми, мм;

δ – масштаб тягового електричного динамографа.

Експериментальні дослідження проводились на глибинах обробітку 0,25; 0,3 та 0,35м.

Перед кожною серією дослідів ґрунт вздовж каналу вирівнювався, ущільнювався та визначалась його твердість. Вологість ґрунту в ґрунтовому каналі під час проведення експериментів не перевищувала 23%.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Опір долотоподібної лапи чизельного плуга

Виконаними експериментальними дослідженнями встановлено, що опір долотоподібної лапи чизельного плуга змінюється в залежності від твердості ґрунту й швидкості переміщення робочого органу під час обробітку. Впливовою на величину тягового опору долотоподібної лапи є також глибина її обробітку. Це пов'язано передовсім із різною вологістю ґрунту за глибиною обробітку, і як наслідок, коефіцієнт тертя і кут бічної деформації ґрунту теж змінюється.

Для долотоподібної лапи чизельного плуга (під час експериментів використовувалась фізична модель лапи), яка переміщувалася візком лабораторної установки з швидкістю 1,5м/с закономірність зміни середніх значень опору $R_{\partial(I)}$ в залежності від твердості ґрунту наближено описується поліноміальним рівнянням другого ступеня, що має вигляд:

$$R_{\partial(I)} = 0,5179 P^2 - 01814 P + 0,114. \quad (4.1)$$

Для долотоподібної лапи чизельного плуга, яка переміщувалася візком лабораторної установки з швидкістю 2,0м/с закономірність зміни середніх значень опору $R_{\partial(II)}$ в залежності від твердості ґрунту наближено описується поліноміальним рівнянням другого ступеня, що має вигляд:

$$R_{\partial(II)} = 0,6071 P^2 - 0,168 P + 0,14. \quad (4.2)$$

Для долотоподібної лапи чизельного плуга, яка переміщувалася візком лабораторної установки з швидкістю 2,0м/с закономірність зміни середніх значень опору $R_{\partial(III)}$ в залежності від твердості ґрунту наближено описується поліноміальним рівнянням другого ступеня, що має вигляд:

$$R_{\partial(III)} = 0,625 P^2 - 0,075 P + 0,15. \quad (4.3)$$

Графічна інтерпретація проведених експериментальних досліджень (рисунок 4.1) показує, що в діапазоні твердості ґрунтів 0,2-0,4кН/м² спостерігається приблизно лінійне зростання опору долотоподібної лапи чизельного плуга з 0,10

до 0,22кН для усіх діапазонів змінних швидкостей переміщення візка лабораторної установки за глибини обробітку 0,25м.

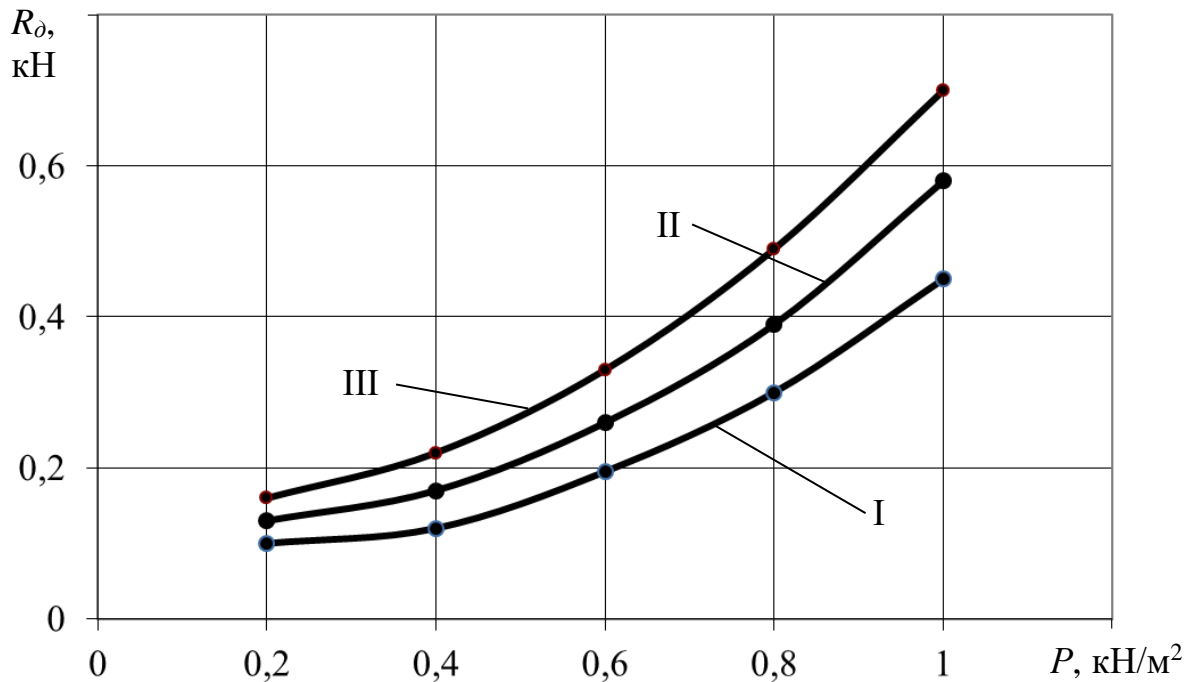


Рисунок 4.1– Закономірність зміни опору R_d (кН) долотоподібної лапи чизельного плуга від твердості ґрунту P (кН/м²) для глибини обробітку 0,25м і швидкостей руху 1,5 (I), 2,0 (II) та 2,5 (III) м/с.

Як видно із отриманих графічних залежностей (див. рисунок 4.1) для глибини обробітку 0,25м і твердості ґрунтів понад 0,4кН/м² відбувається більш інтенсивне зростання опору долотоподібної лапи, причому для вищих швидкостей опір робочої секції також є найбільшим. Так, за швидкості переміщення лапи в ґрунті 1,5м/с його максимальне значення сягає 0,45кН, а за швидкості 2,5м/с – 0,7кН.

Аналогічні експериментальні дослідження, проведені для долотоподібної лапи чизельного плуга, заглибленої в ґрунт на глибини 0,3 та 0,35м відповідно, дозволили отримати майже аналогічні закономірності зміни її опору. Це пояснюється тим, що умови роботи лап в ґрунтовому каналі й безпосередньо на полі різняться, оскільки важко створити аналогічні умови розподілу ізоляцій напружень

від дії ходових систем енергетичних засобів у природному середовищі на полі та в ґрунтовому каналі.

Висновки

1. Виконаними експериментальними дослідження підтверджено, що опір долотоподібної лапи чизельного плуга залежить від твердості ґрунту і закономірності її зростання наближено можна описати поліноміальними рівняннями другого ступеня.

2. Згідно виконаних досліджень встановлено, що в діапазоні твердості ґрунтів $0,2-0,4 \text{кН/м}^2$ спостерігається приблизно лінійне зростання опору долотоподібної лапи чизельного плуга з $0,10$ до $0,22 \text{кН}$ для усіх діапазонів змінних швидкостей переміщення візка лабораторної установки за глибини обробітку $0,25 \text{м}$.

3. Дослідженнями встановлено, що для глибини обробітку $0,25 \text{м}$ і твердості ґрунтів понад $0,4 \text{кН/м}^2$ відбувається більш інтенсивне зростання опору долотоподібної лапи, причому для вищих швидкостей опір робочої секції також є найбільшим. Так, за швидкості переміщення лапи в ґрунті $1,5 \text{м/с}$ його максимальне значення сягає $0,45 \text{кН}$, а за швидкості $2,5 \text{м/с}$ – $0,7 \text{кН}$.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Складання карти умов праці під час використання чизельного плуга

В сучасному сільськогосподарському виробництві характерним явищем є вплив на організм людини різних технологічних, технічних, біологічних та інших факторів, з метою прогнозування яких потрібно провести паспортизацію кожного робочого місця працівника [4, 14].

Метою паспортизації санітарно-технічного стану робочого місця є виявлення усіх виробничих небезпек для розробки проектів та прийняття інженерно-технічних і організаційних рішень, спрямованих на створення безпечних і нешкідливих умов праці. Відповідно до типової ієрархічної структури сільськогосподарського виробництва одиничним елементом виробництва є робоче місце. На ньому проявляються всі небезпечні і шкідливі фактори, які діють на працюючого і визначають ефективність його виробничої діяльності.

Базовим елементом паспортизації є карта умов праці, в якій представлені фактори безпеки по трьох напрямках факторів безпеки: трудовому, санітарно-гігієнічному та технічному [4, 14].

Карта умов праці передбачає виявлення на робочому місці шкідливих і небезпечних виробничих факторів та причин їх виникнення; дослідження санітарно-гігієнічних факторів виробничого середовища, важкості й напруженості трудового процесу, комплексну оцінку факторів виробничого середовища і характеру праці на відповідність їх вимогам стандартів, норм і правил; обґрунтування віднесення робочого місця до відповідної категорії з шкідливими умовами праці, підтвердження (встановлення) права працівників на пільгове пенсійне забезпечення та інші пільги залежно від умов праці.

Паспорт підприємства складається з окремих паспортів діляниць та містить додаткову характеристику засобів загальногосподарського користування, об'єкти колективного захисту. Кожний головний спеціаліст господарства організовує обстеження умов праці і стан технічної безпеки у підпорядкованій йому галузі. Зна-

чно зменшити об'єми робіт при паспортизації можна шляхом групування типових робочих місць.

За гігієнічною класифікацією праці та іншими джерелами визначається перелік факторів умов праці на робочому місці, для яких з нормативних документів встановлюються гранично допустимий рівень або гранично допустиму концентрацію (ГДР, ГДК), які заносять в графи 1, 2 та 3 (таблиця 5.1).

Складаємо карту умов праці робочого місця механізатора під час обробітку ґрунту чизельним плугом виконавши розрахунки окремих коефіцієнтів за наступними формулами.

Коефіцієнт нормозабезпеченості визначаємо за формулою

$$K_n = 1 \pm \frac{A_s - A_n}{A_n}, \quad (5.1)$$

де A_s - фактичне значення фактора умов праці;

A_n – гранично допустимий рівень або концентрація.

Коефіцієнт небезпечності від дії фактора можна визначити з виразу:

$$K_{\partial\phi} = K_n \cdot T_{\partial\phi}. \quad (5.2)$$

де $T_{\partial\phi}$ – час дії фактора у частках тривалості зміни.

Коефіцієнт небезпечності від усіх факторів становить:

$$K = \frac{K_{\partial\phi}}{n} \quad (5.3)$$

де n – кількість факторів умов праці.

Під час складання умов праці на робочому місці механізатора використовуємо дані нормативних документів:

- ДСТУ 12.1.005-93 – Повітря робочої зони. Санітарно-гігієнічні вимоги;
- ДСТУ 23.00-93 – Вібрація, терміни та визначення;
- ДНАОП 0.00-1* – Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

На підставі аналізу даних таблиці 5.1 можна зробити висновок, що фактичне значення умов праці механізатора під час використання чизельного плуга де-

Шкідливими є також пари нафтопродуктів (дизельного палива, оливи гідросистеми та гідроприводу). Для запобігання шкідливої дії вказаних небезпек механізатору необхідно щогодини робити технологічні перерви на 5–10 хв., вимкнувши при цьому двигун та покинувши кабіну енергетичного засобу.

5.2 Оцінка рівня безпеки виникнення аварій і травм

Методикою оцінки рівня безпеки робочих місць, машин, робочих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня безпеки для конкретного об'єкта. Таким показником вибрана ймовірність виникнення аварій, травм або катастроф залежно від досліджуваного явища.

Для того щоб оцінку рівня небезпек певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірності будь-якого випадкового явища. Основні принципи цього методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця чи окремої машини виявляють виробничі небезпеки, можливі аварії або травмонезбезпечні ситуації. При оцінці ситуацій визначають події, які можуть стати головними [14].

Після вибору головної події розпочинають побудову моделі. Використовуючи оператори „і” та „або”, виконують набір ситуації, які можуть призвести до тієї події, яка вибрана як головна.

Після визначення відповідних аварійних, травмонезбезпечних або катастрофічних ситуацій та їх кількості, визначають інші події, що входять до кожної такої ситуації, логічним аналізом із використанням операторів „і”, „або”. Процес побудови моделі триває поки не будуть знайдені усі базові події, що визначають межу моделі.

Повністю побудована модель підлягає математичній обробці для визначення ймовірності кожної випадкової події, що увійшла до моделі, починаючи з базових і закінчуючи головною.

Ймовірність базових подій визначають за даними виробництва. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль. Якщо буде встановлено, що такий рівень ко-

нтролю становить 50 або 30%, то ймовірність відповідно дорівнює 0,5 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність становить 1, якщо контроль ідеальний, відповідна ймовірність дорівнює 0.

1. Нехай дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора „і” входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити за формулою

$$P_3 = P_1 \cdot P_2.$$

2. За допомогою оператора „і” три події з ймовірностями P_1 , P_2 і P_3 формують четверту подію P_4 , яку обчислюють

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

3. Оператор „і” об’єднує n подій з ймовірностями $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$. Тоді ймовірність вихідної події P буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n.$$

4. Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора „або” входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2.$$

5. Оператор „або” об’єднує три базові події з ймовірностями P_1, P_2 і P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступну подію з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3.$$

6. Якщо в оператора „або” входять чотири і більше випадкових базових подій з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згрупувають по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення аж поки не залишиться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції.

Так, поступово обчислюють ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Значення ймовірності головних подій, що досліджуються, на жаль, не можна порівняти з нормативними значеннями певного ступеня ризику для певної людини – машинної системи, бо таких даних просто не існує. Але значення ймовірностей тієї чи іншої події, обчислені при дослідженні конкретної моделі, дає уяву про високу, середню і незначну небезпеку.

Для проведення обчислень ймовірності травми використаємо логіко-імітаційну модель (рисунок 5.1) процесу її формування

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2.$$

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,2.$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6 + P_3 \cdot P_6 = 0,32.$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9 = 0,2.$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12} = 0,2.$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13} + P_{10} \cdot P_{13} = 0,32.$$

$$P_{17} = P_{15} + P_{16} - P_{15} \cdot P_{16} = 0,2.$$

$$P_{20} = P_{18} + P_{19} - P_{18} \cdot P_{19} = 0,2.$$

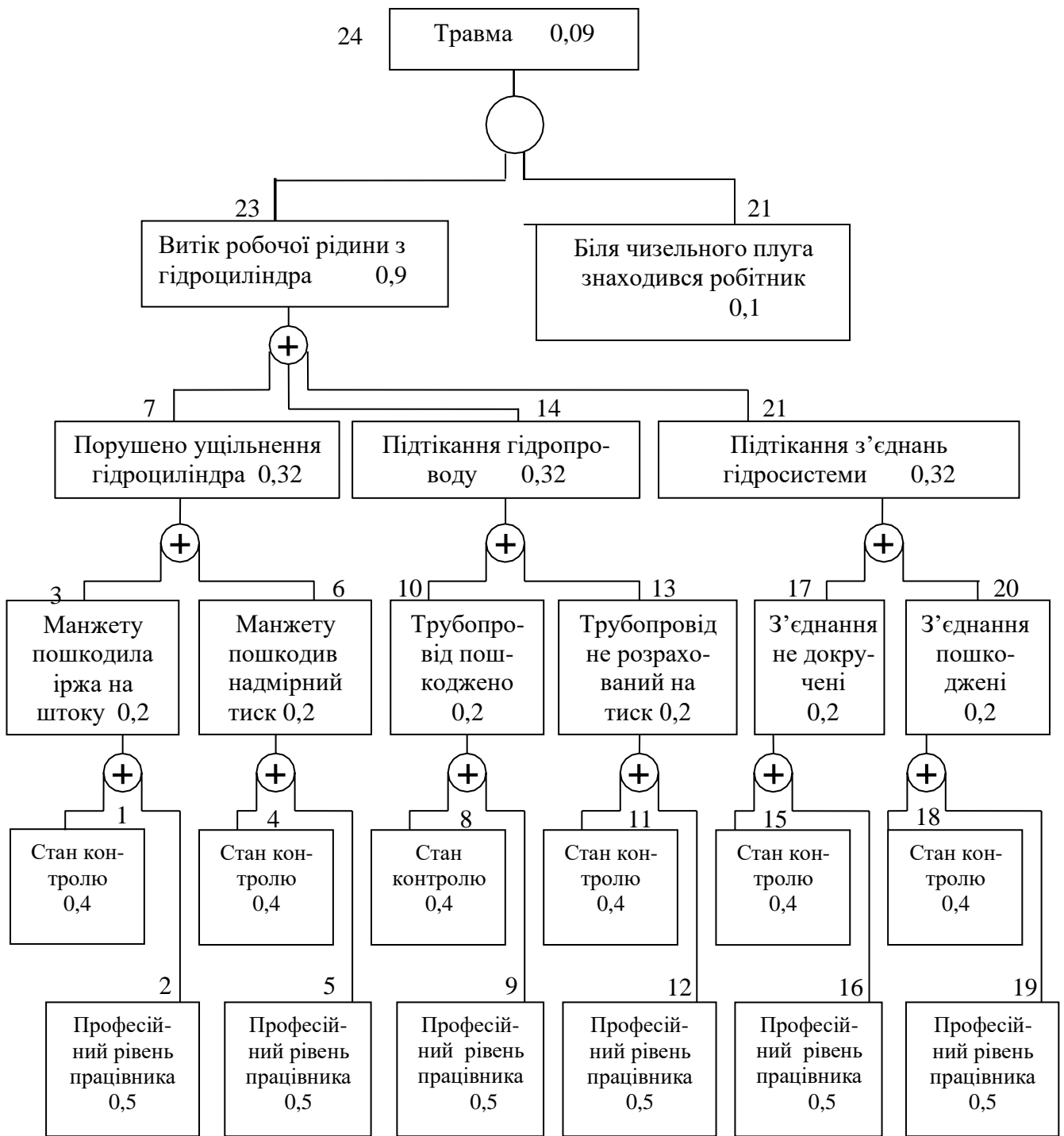
$$P_{21} = P_{17} + P_{20} - P_{17} \cdot P_{20} + P_{17} \cdot P_{20} = 0,32.$$

$$P_{23} = P_7 + P_{14} + P_{21} - P_7 \cdot P_{14} \cdot P_{21} = 0,9.$$

$$P_{24} = P_{23} \cdot P_{22} = 0,09.$$

Таким чином, проведення технічного обслуговування комбінованого підрибнювача, приєднаного до причіпної скоби трактора і її гідравлічна система з'єднана з гідравлічною системою енергетичного засобу і піднятою рамою в транспортне положення вимагає дотримання вимог безпеки, через можливе виникнення травм та аварій. Перш за все, проводячи технічне обслуговування слід, користуватися надійним підставками, які необхідно підкладати під раму чизельного плуга для фіксації його в транспортному положенні.

Якщо чизельний плуг обслуговувати без підставок, а тільки використовувати елементи роздільно-агрегатної гідравлічної системи трактора, то на робочому місці під час його ТО за наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 9,0 травм.



Оператори:

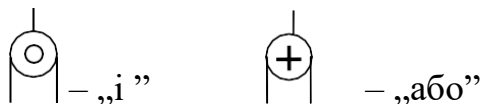


Рисунок 5.1 – Схема логіко-імітаційної моделі процесу виникнення травм під час технічного обслуговування чизельного плуга:

1, 2, 3 – номери подій; 0,3; 0,4 – ймовірність подій.

Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень робітників, замінити пошкоджені елементи гідроприводу), то можна побачити на моделі, шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

Слід мати на увазі, що на даному робочому місці можуть бути й інші недоліки, які призведуть до травми з інших причин.

Використання логіко-імітаційних моделей для дослідження аварій і травм та обґрунтування заходів з охорони праці, дають можливість знизити ймовірність виникнення аварійних та травмонезбезпечних ситуацій. Якщо необхідно оцінити рівень небезпеки робочого місця, слід уважно вивчити і побудувати логічні моделі можливих небезпечних ситуацій, які враховують усі стани обладнання та самого робочого місця, а також поведінку механізатора і розрахувати ймовірність виникнення можливих травм.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА

Економічна ефективність використання чизельних плугів у сучасних технологіях обробітку ґрунту визначається комплексом техніко-економічних показників, які характеризують рівень витрат на виконання агротехнічної операції та корисний результат, отриманий від її застосування. До ключових показників належать: прямі питомі експлуатаційні затрати, витрата палива, продуктивність агрегату та затрати праці механізатора. Саме ці складові формують собівартість обробітку одиниці площі та впливають на рентабельність застосування машинно-тракторного агрегату (МТА) з чизельним плугом.

Загальні положення щодо економічної оцінки чизельного обробітку

Чизельні плуги застосовуються для безполицевого розпушування ґрунту на глибину 25–45 см без інверсії скиби. Така технологія передбачає значно менші енергетичні витрати порівняно з традиційною оранкою, що зумовлює її важливу економічну перевагу. При цьому забезпечується збереження структури ґрунту, водопроникності, зменшення ерозійних процесів і підвищення родючості.

З економічної точки зору важливо встановити, наскільки використання чизельного плуга є доцільним у порівнянні з іншими ґрунтообробними знаряддями. Для цього проводиться аналіз витрат і продуктивності агрегату, визначаються прямі та побічні економічні вигоди, а також проводиться розрахунок собівартості та річного економічного ефекту.

Продуктивність агрегату з чизельним плугом

Продуктивність є одним із головних показників ефективності роботи агрегату. Вона залежить від ширини захвату плуга, робочої швидкості, рівня поля та організації роботи. Для чизельних плугів характерна вища робоча швидкість порівняно з корпусними плугами — у межах 7–10 км/год, що дозволяє отримати підвищену змінну продуктивність.

За результатами експлуатаційних спостережень продуктивність агрегату з чизельним плугом зростає на 15–25 % у порівнянні з традиційною оранкою, що напряду впливає на економію часу, зниження витрат оплати праці та палива на

одиницю площі.

Підвищена продуктивність досягається завдяки:

зменшенню сили тягового опору;

можливості роботи на вищих швидкостях;

відсутності необхідності у частих зупинках для очищення робочих органів;

стабільності проходження агрегату у важких ґрунтових умовах.

Таким чином, збільшення продуктивності є однією з ключових переваг чизелювання, що створює основу для загальної економічної вигоди.

Витрата пального при виконанні чизельного обробітку

Питома витрата пального є одним із головних факторів, що впливає на собівартість технологічної операції. Чизельні плуги вимагають менших тягових зусиль порівняно з корпусними плугами, що дозволяє зменшити витрату дизельного палива на 12–20 %.

До факторів, що знижують енергоємність чизельного обробітку, належать:

відсутність інверсії скиби, що значно скорочує енергетичні витрати;

оптимальний профіль робочих органів, які мінімізують опір ґрунту;

рівномірний розподіл навантаження між стійками;

наявність захисних пружинних або гідравлічних запобіжників, які зменшують втрати енергії при навантаженнях.

У середньому питомі витрати пального при роботі чизельного плуга становлять 10–14 л/га, залежно від глибини розпушування та типу ґрунту. Це на 3–5 л/га менше, ніж при традиційному обробітку корпусним плугом.

Прямі питомі експлуатаційні затрати

До складу прямих експлуатаційних затрат входять:

витрати на паливо та мастильні матеріали;

оплата праці механізатора;

амортизаційні відрахування;

витрати на технічне обслуговування та ремонт;

накладні та супутні витрати, пов'язані з роботою агрегату.

Завдяки підвищеній продуктивності та зниженню паливомісткості прямі витрати на виконання чизелювання зменшуються на 10–18 %, у порівнянні з

традиційною оранкою.

Основними чинниками зниження питомих затрат є:

менша кількість проходів по полю;

скорочення витрат часу на одиницю робіт;

нижчі витрати на технічне обслуговування через простішу конструкцію чизельних плугів;

триваліший ресурс ножів та стояків.

Таким чином, прямі експлуатаційні затрати є суттєво нижчими, що робить чизельний обробіток економічно доцільним навіть при великих обсягах робіт.

Затрати праці механізатора

Затрати праці — це трудові витрати механізатора на виконання одиниці роботи, які визначаються в людино-годинах на гектар. За рахунок підвищеної швидкості та продуктивності агрегату, а також меншої кількості необхідних регулювань, затрати праці при чизелюванні зменшуються на 17–22 %.

Серед причин:

збільшена реальна змінна продуктивність;

відсутність тривалих зупинок для очистки корпусів і перевероту скиби;

простіше керування агрегатом;

менша втома оператора при виконанні безполицевого розпушування.

Зниження трудомісткості позитивно впливає на собівартість виконання робіт та річну ефективність використання МТА.

Узагальнивши наведені показники, можна стверджувати, що собівартість чизелювання 1 га у середньому на 15–20 % нижча, ніж класичної оранки. Це обумовлюється:

зменшенням паливних витрат;

скороченням затрат праці;

підвищеною продуктивністю агрегату;

нижчою амортизаційною складовою;

меншою кількістю ремонтних операцій.

У господарствах, що використовують чизельний плуг регулярно, річний

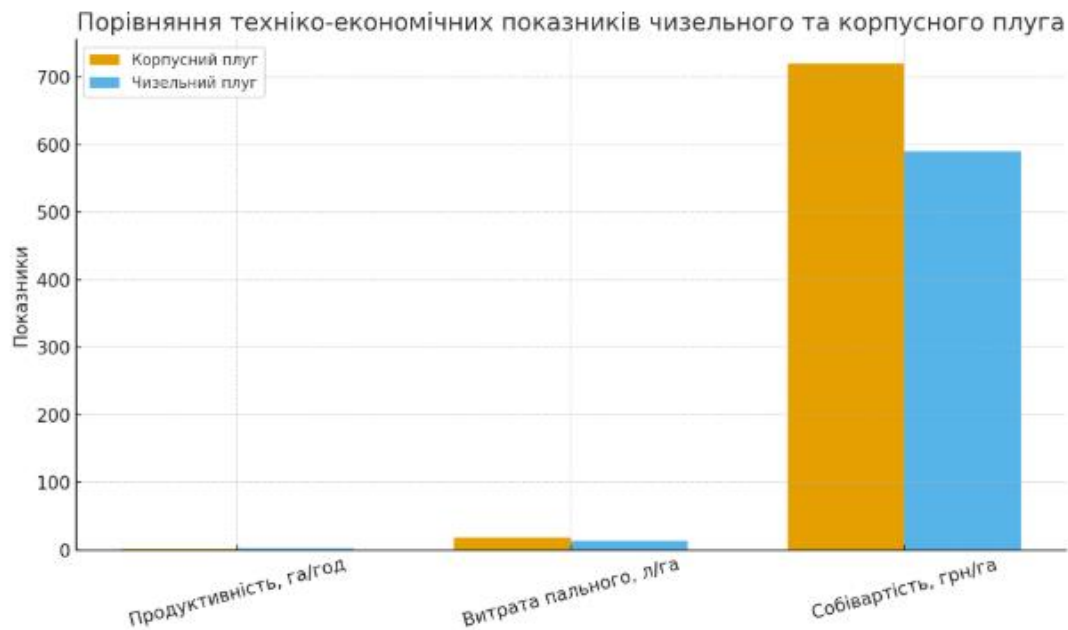


Рис. 5.1. Порівняння техніко-економічних показників чизельного та корпусного плуга.

На графіку наведено порівняння основних техніко-економічних показників роботи чизельного плуга та традиційного корпусного (лемішного) плуга. Аналіз даних демонструє переваги чизельного обробітку ґрунту за ключовими параметрами ефективності. Перший стовпчиковий блок відображає **продуктивність агрегату**. Значення показують, що продуктивність чизельного плуга становить **2,2 га/год**, що на 22 % вище порівняно з корпусним плугом (1,8 га/год). Це зумовлено меншим тяговим опором, більшим робочим захватом та можливістю роботи на більших швидкостях. Підвищення продуктивності сприяє скороченню тривалості виконання основного обробітку ґрунту і дозволяє ефективніше використовувати техніку в пікові агротехнічні строки.

Другий блок характеризує **питомі витрати пального**. Згідно з графіком, чизельний плуг споживає **13,8 л/га**, що на 25–27 % менше, ніж корпусний плуг (18,5 л/га). Зменшення енергетичних витрат пояснюється тим, що чизельний обробіток руйнує ґрунт без інверсії пласта, що потребує значно меншої кількості енергії на одиницю площі. Третій порівнюваний показник — **собівартість виконання технологічної операції**. Вартість обробітку чизельним плугом становить **590 грн/га**, тоді як корпусним плугом — **720 грн/га**. Отже, зниження собівартості сягає 18 %.

Проведений техніко-економічний аналіз свідчить, що застосування чизельних плугів є високоефективним із точки зору енергозбереження, продуктивності та собівартості технологічного процесу. Обробіток ґрунту чизельним плугом забезпечує зниження питомих витрат, покращує структуру ґрунту та підвищує рентабельність виробництва. Основними техніко-економічними показниками роботи чизельного плуга є прямі питомі експлуатаційні затрати, витрата палива, продуктивність та затрати праці [16, 20, 25].

Прямі питомі експлуатаційні затрати визначаються за формулою

$$I = Z_n + A + R + П + Z_{зб}, \quad (6.1)$$

де Z_n – сума заробітної плати механізаторів і допоміжних працівників, грн./га;

A – амортизаційні відрахування, грн./ га;

R – відрахування на ремонт і технічне обслуговування, грн./ га;

$П$ – вартість паливно-мастильних матеріалів, грн./ га;

$Z_{зб}$ – відрахування на зберігання, грн./ га.

Відрахування на зарплату визначаються з виразу

$$Z_n = \Sigma (n_i \tau_i k_i) / W_{зм}, \quad (6.2)$$

де n_i – чисельність i -го виробничого персоналу, чол.;

τ_i – годинна тарифна ставка працівників, грн./год;

k_i – коефіцієнт, що враховує всі види доплат і нарахувань;

$W_{зм}$ – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год.

Визначаємо годинну продуктивність агрегату за формулою:

$$W_{зм} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (6.3)$$

де τ – коефіцієнт використання часу зміни, що визначається за формулою:

$$\tau = T_p / T_{зм}, \quad (6.4)$$

Чистий робочий час в загінці:

$$T_p = \varphi (T_{зм} - T_{зуп}), \quad (6.5)$$

де $T_{зм}$, $T_{зуп}$ – відповідно тривалість зміни та зупинок з працюючим двигуном, год.;

Амортизаційні відрахування всіх складових агрегату визначаються з виразу:

$$A = \Sigma (B_i a_i / (W_{зм} T_{ф.p.i})), \quad (6.6)$$

де B_i – балансова вартість i -ої складової агрегату та допоміжного обладнання (машини для видалення з поля стрижнів капусти), грн.;

a_i – коефіцієнт відрахувань на реновацію усіх складових агрегату;

$T_{ф.p.i}$ – тривалість фактичного річного використання складових МТА, год.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування визначаються за формулою

$$R = \Sigma (B_i (p_i + \kappa_i) / (W_{зм} T_{н.p.i})), \quad (6.7)$$

де p_i – коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування i -ої складової агрегату;

κ_i – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт трактора або складних самохідних машин;

$T_{н.p.i}$ – нормативне річне завантаження i -ої складової агрегату, год.

Вартість паливно-мастильних матеріалів можна визначити з виразу

$$П = QЦ / W_{зм}, \quad (6.8)$$

де Q – витрата паливно-мастильних матеріалів, кг/год:

$$Q = \frac{G_{зм}}{W_{зм}} = \frac{G_p T_p + G_x T_x + G_z T_z}{0,1 B_p V_p T_{зм} \tau}, \quad (6.9)$$

де G_p , G_x , G_z – годинна витрата палива двигуном відповідно при роботі з навантаженням, на холостому ходу агрегату та роботі двигуна на зупинках, кг/год;

T_p , T_x , T_z – час роботи агрегату, який визначають залежно від умов роботи, год.

$Ц$ – комплексна вартість нафтопродуктів, грн./кг.

Витрати на зберігання машин визначаються виходячи із затрат на їх консервацію та підготовку до використання й приймаються в межах 6,5 % від витрат на ремонти і технічне обслуговування, тобто

$$Z_{зб} = 0,065 R. \quad (6.10)$$

Затрати праці на виконання операції знищення кущової рослинності

$$Z_{зб} = П_о / W_{зм}, \quad (6.11)$$

де $П_о$ – чисельність обслуговуючого персоналу, чол.

Вихідні дані для проведення досліджень техніко-економічних показників використання чизельного плуга вибирались на основі найсприятливіших умов його використання. Ціни техніки вибирались станом на 1.10.2024 р. [23]. Годинні тарифні ставки обслуговуючого персоналу визначались з умови отримання середньої заробітної плати в межах 18500 грн/місяць.

Результати розрахунків техніко-економічних показників використання машини чизельного плуга, агрегатовано з трактором ХТЗ-150К-09.172 зводимо в таблицю 6.1 для остаточного аналізу.

Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники використання чизельного плуга

Показники	ХТЗ-150К-09.172 + ПЧ-2,5
Продуктивність годинна, га/год.	1,14
Витрата палива, кг/га	26,30
Прямі затрати, грн./га на:	
- оплату праці	86,43
- паливно-мастильні матеріали	1446,50
- ТО, поточний і капітальний ремонт	930,65
- реновацію	621,28
- затрати на зберігання	60,49
- всього прямих затрат	3145,36
Затрати праці, люд. год/га	0,71

Як видно з проведених розрахунків техніко-економічних показників під час використання агрегату для чизельного обробітку у складі трактора ХТЗ-150К-09.172 та чизельного плуга ПЧ-2,5 його годинна продуктивність становить 1,14га/год. При цьому сума прямих питомих експлуатаційних затрат складає 3145,36грн/га, а затрат праці – 0,71люд. год./га.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Під час чизельного обробітку ґрунт деформується робочими органами чизельних плугів, культиваторів, глибокорозпушувачів або комбінованих машин без утворення ущільненої «підшви».
2. За чизельного обробітку на поверхні поля зберігається значна кількість (60...80%) рослинних (післяжнивних) решток та до 20% вологи в ґрунті.
3. Основними робочими органами машин для чизельного обробітку ґрунту є плоскорізні та чизельні лапи, дискові подрібнювачі, одно- чи двобарабанні котки та різні типи ротаційних борін, змонтовані на основній рамі машини або приєднані до неї за допомогою причіпних механізмів, здатних забезпечувати їх регулювання у відповідність із умовами роботи.
4. Теоретичними дослідженнями встановлено, що, на рамі чизельного плуга ПЧ-2,5 слід встановити п'ять долотоподібних лап, розмістивши їх у два ряди: дві у першому та три у другому рядах, з відстанню між ними 0,5м за ходом агрегату.
5. Аналітичними дослідженнями встановлено, що на глибинах понад 0,25м робочий орган чизельного плуга працює в більш вологому середовищі, а тому закономірність зміни його опору, для різних глибин обробітку, від вологості носить стохастичний характер, а тому вимагає експериментальних досліджень.
6. Спільним розв'язком рівнянь (2.8), (2.10), (2.18), (2.19) та (2.7) можна визначити опір чизельного плуга з врахуванням усіх вищенаведених чинників, які є впливовими на перебіг технологічного процесу чизелювання.
7. Виконаними експериментальними дослідження підтверджено, що опір долотоподібної лапи чизельного плуга залежить від твердості ґрунту і закономірності її зростання наближено можна описати поліноміальними рівнянням другого ступеня.
8. Згідно виконаних досліджень встановлено, що в діапазоні твердості ґрунтів 0,2-0,4кН/м² спостерігається приблизно лінійне зростання опору долотоподібної лапи чизельного плуга з 0,10 до 0,22кН для усіх діапазонів змінних

швидкостей переміщення візка лабораторної установки за глибини обробітку 0,25м.

9. Дослідженнями встановлено, що для глибини обробітку 0,25м і твердості ґрунтів понад $0,4\text{кН/м}^2$ відбувається більш інтенсивне зростання опору долотоподібної лапи, причому для вищих швидкостей опір робочої секції також є найбільшим. Так, за швидкості переміщення лапи в ґрунті $1,5\text{м/с}$ його максимальне значення сягає $0,45\text{кН}$, а за швидкості $2,5\text{м/с}$ – $0,7\text{кН}$.
10. Як видно з проведених розрахунків техніко-економічних показників під час використання агрегату для чизельного обробітку у складі трактора ХТЗ-150К-09.172 та чизельного плуга ПЧ-2,5 його годинна продуктивність становить $1,14\text{га/год.}$; при цьому сума прямих питомих експлуатаційних затрат складає $3145,36\text{грн/га}$, а затрат праці – $0,71\text{люд. год./га}$.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Агрегат глибокого розпушення. URL: https://voshod.ua/i/upload/file/TM_VOSHOD.pdf (дата звернення: 10.09.2024).
- 2 Бендера І.М., Грубий В.П., Роздорожнюк П.І. та ін. Експлуатація машин та обладнання. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І. 2013. 576 с.
- 3 Білявський Г. О., Фурдуй Р. С. , Костіков І. Ю. Основи екології: підручник, 2-ге вид., доповн. Київ. Либідь, 2005. 407 с.
- 4 Винокуров Л. Е., Васильчик М.В., Гаман М.В. Основи охорони праці. Київ. Вікторія. 2001. 254 с.
- 5 Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські машини: підручник. Київ: Агроосвіта, 2015. 679 с.
- 6 Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник. Київ. Вища освіта, 2005. 464 с.
- 7 Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навчальний посібник. Суми : ВТД «Університетська книга». 2008. 543 с.
- 8 Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. Київ. Вища освіта, 2004. 544 с.
- 9 Галещина машзавод. Офіційний сайт компанії. URL: <https://galmash.com.ua/> (дата звернення: 14.09.2024).
- 10 Глибокорозпушувач ГР-25. URL: <https://bilotserkivmaz.com.ua/product/hlybokorozpushuvach-hr-2-5/> (дата звернення: 12.09.2024).
- 11 Глибокорозпушувач RPI-75. URL: <https://www.agriaffaires.com.ua/dondi-dondi-rpi-75.html> (дата звернення: 11.09.2024).
- 12 Лихочвор В.В., Петриненко В.Ф., Івашук П.В., Корнійчук О.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 3-є вид., виправ., допов. Львів: НВФ «Українські технології», 2010. 1088 с.
- 13 Павловський М.А. Теоретична механіка: Підручник. -2-ге вид., стереотип. Київ. Техніка, 2004. 512 с: іл.

- 14 Пістун І.П., Тимочко В.О., Городецький І.М., Березовецький А.П. Охорона праці (гігієна та виробнича санітарія). Львів «Тріада плюс», 2015. 224 с.
- 15 Рибарук В.Я., Ріпка І.І. Сільськогосподарські машини. Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів. ЛДАУ, 1998. 264 с.
- 16 Ріпка І.І., Семен Я.В., Крупич О.М., Бендера І.М., Рудь А.В. Основи механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. посібник. Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с.;
- 17 Рудь А.В., Бендера І.М., Войтюк Д.Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. У 2 т.: Т1. Київ. Агроосвіта, 2012. 584 с.; іл.
- 18 Рудь А.В., Бендера І.М., Войтюк Д.Г. та ін. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підр. У 2 т.: Т2. Київ. Агроосвіта, 2012. 432 с.; іл.
- 19 Сидорчук О.В. Інженерний менеджмент в АПК. Львів: Львів. держ. агр. ун-т, 2005. 87с.
- 20 Сосновська О.О., Ярошенко П.П., Іванюта М.В. Техніко-економічне обґрунтування господарських рішень у рослинництві. Навчальний посібник. Київ. Центр навчальної літератури. 2006. 384 с.
- 21 Плуг-розпушувач ПРПВ-5-50. URL: <https://kpselmash.prom.ua/ua/p397900576-plug-glibokorozpushuvach-prpv.html> (дата звернення: 10.09.2024).
- 22 Чизельний плуг ПЧ-4,5. URL: <https://kpselmash.prom.ua/ua/p397866465-plug-chizelnij-pch.html> (дата звернення: 11.09.2024).
- 23 Харківський тракторний завод. URL: <http://xtz.ua/ua/kolisni-tractory/xtz-150k-09-172.html> (дата звернення: 21.10.2024).
- 24 Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: Навчальний посібник. Київ : НМК ВО, 1992. 320 с.
- 25 Шевчук Р.С., Крупич О.М. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки: *Метод. рекомендації* Львів. ДАУ. Львів, 1994. 27 с.

ДОДАТКИ

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО -
ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Дослідження параметрів робочих органів машин
для чизельного обробітку ґрунту**

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконав: студент 2го курсу, групи МГАІ4-24
Сергій ШАЛІЯ**

**Керівник: к.т.н., доцент
Наталія ПОНОМАРЕНКО**

Дніпро 2025

Мета дослідження – підвищення ефективності процесу чизелювання ґрунту через дослідження та обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів долотоподібних лап чизельного плуга.

Задачі досліджень:

1. Проаналізувати існуючих способи та засобів для чизельного обробітку ґрунту;
2. Аналітично дослідити взаємодію долотоподібної лапи чизельного плуга з ґрунтом;
3. Виконати експериментальні дослідження процесу деформації ґрунту долото-подібною лапою чизельного плуга;
4. Розробити карту умов праці під час обробітку ґрунту чизельним плугом;
5. Виконати техніко-економічну оцінку застосування чизельного плуга.

Об'єкт дослідження – долотоподібні лапи чизельного плуга ПЧ-2,5 та технологічний процес чизелювання ґрунту.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників ефективності чизелювання ґрунту від параметрів долотоподібних лап чизельного плуга.

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ



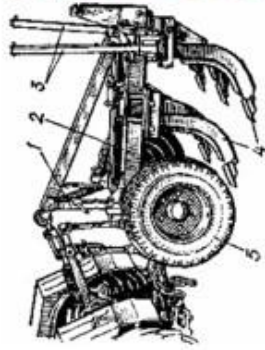
Рисунок 1.2 – Плуг-розпушувач ПРПВ-5-50:

1 – безполіцейвий корпус; 2 – пружина; 3 – рифлений дисковий ніж; 4 – націлка; 5 – рама.



Рисунок 1.4 – Глибокорозпушувач ГР-2,5:

а) робочий орган; б) загальний вигляд. 1 – рама; 2 – розпушувальна лапа; 3 – опорний коток; 4 – кронштейн; 5 – націлка.



а)

Рисунок 1.3 – Чизельний плуг ПЧ-4,5:

а) схема; б) вигляд загальний; 1 – внутрішній пристрій; 2 – рама; 3 – підставка; 4 – робочі органи; 5 – опорне колесо.



б)



а)

Рисунок 1.5 – Машини для глибокого розпушування ґрунту:

АГР-3,4 ВАТ ВО «Восход» (а); АЧН-3,0 «ХОМА» ВАТ «Галещина, машзавод» (б); «RPI-75» фірми DONDI (Італія) (в).



в)

**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІ РОБОЧИХ
ОРГАНІВ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА З ҐРУНТОМ**

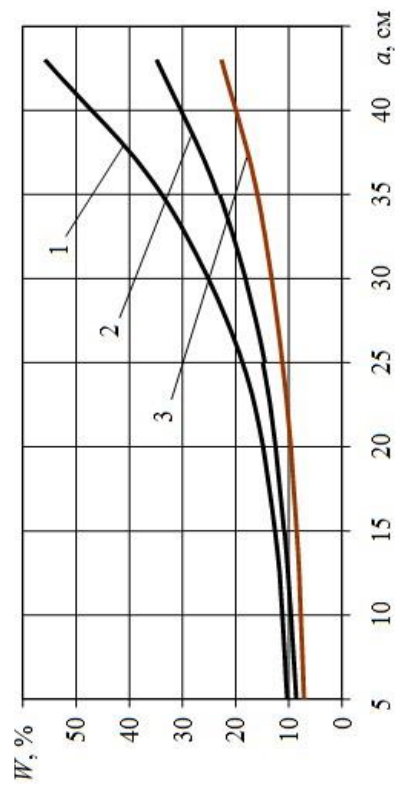


Рисунок 2.3 Закономірність зміни вологості ґрунту за глибиною обробітку:
1 – легкий суглинок; 2 – важкий суглинок; 3 – глина середня.

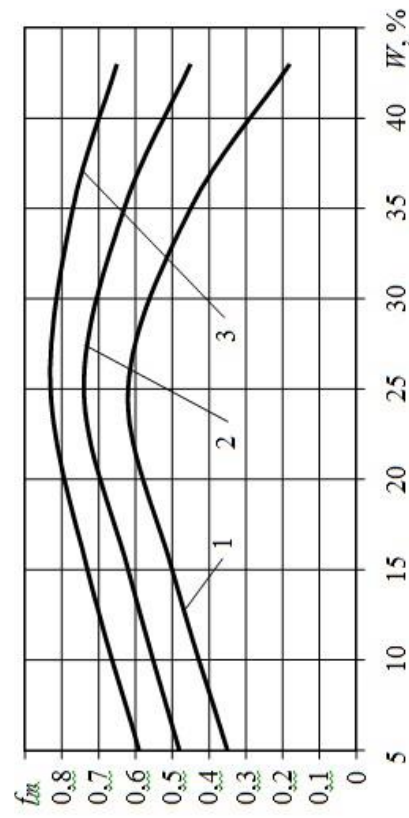
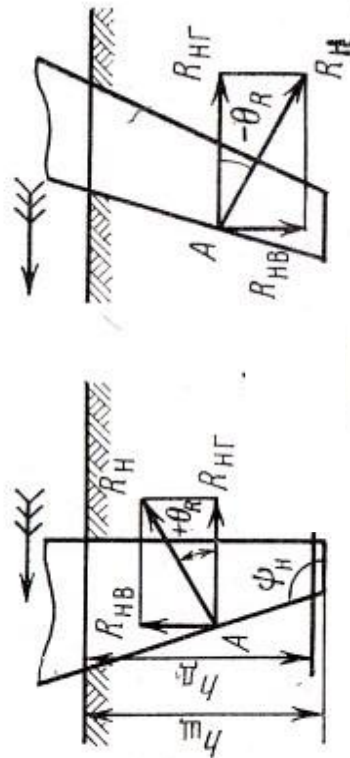
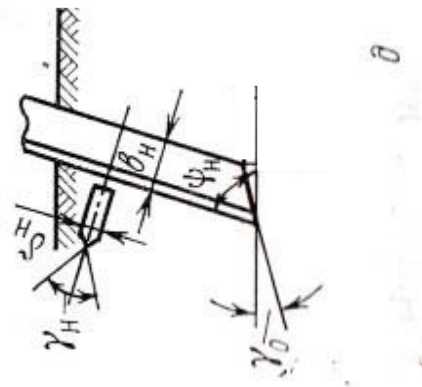


Рисунок 2.4 Залежність коефіцієнта тертя від вологості ґрунту:
1 – легкий суглинок; 2 – важкий суглинок; 3 – глина середня.

Теоретичні дослідження



а



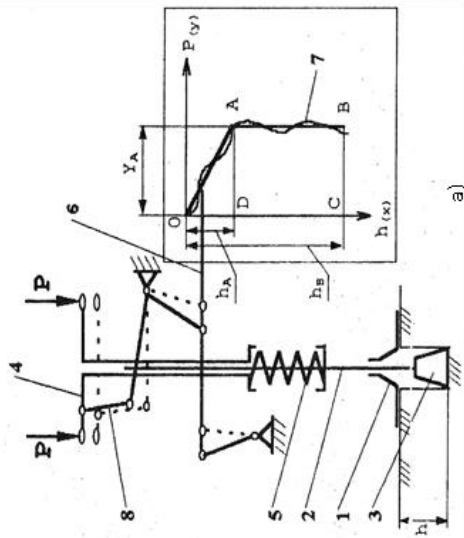
б

Схеми для визначення сил (реакцій) робочого ґрунту, які діють на стійку органу чизельного плуга за кутів різання $\psi_H > 90^\circ$ град. (а); $\psi_H < 90^\circ$ град. (б) та параметрів стійки (в)

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**



б)



а)



б)

Рисунок 3.2 – Лабораторна установка для дослідження опору робочого органу чіпляльного плуга

а) схема; б) загальний вигляд; 1 – шків; 2 – ґрунтовий канал; 3 – трос; 4 – динамограф електричний; 5 – кронштейн; 6 – тяга регулювальна; 7 – робочий орган (лапа дологоподібна); 8 – візок; 9 – колесо візка; 10 – рейси; 11 – опора; 12 – електродвигун; 13 – варіатор швидкостей; 14 – кабель.

Схема твердоміра а) схема, б) загальний вигляд

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

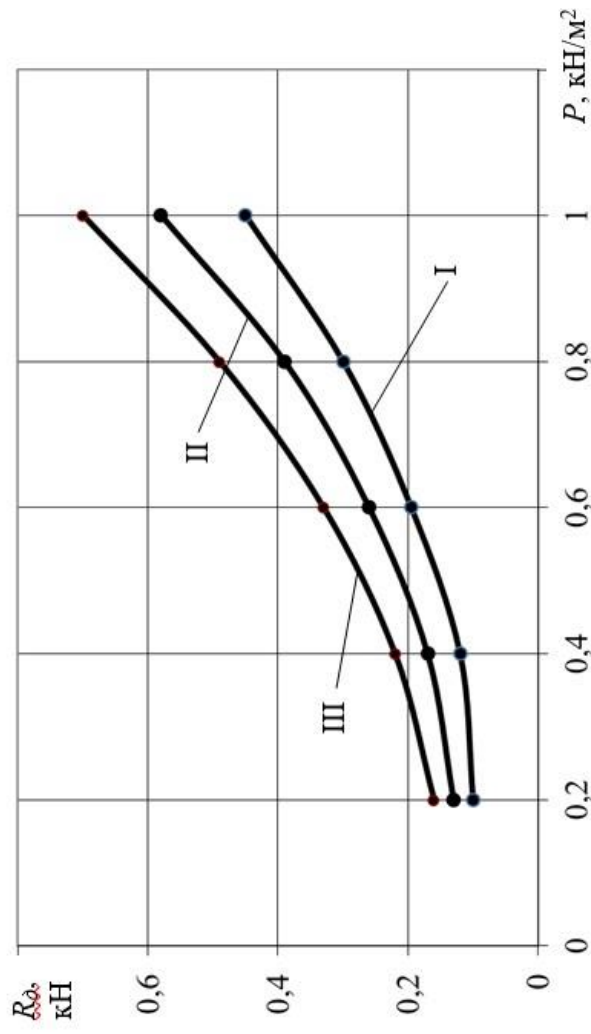


Рисунок 4.1 – Закономірність зміни опору R_0 (кН) додотоподібної лаші чизельного плуга від твердості ґрунту P (кН/м²) для глибини обробітку 0,25м і швидкостей руху 1,5 (I), 2,0 (II) та 2,5 (III) м/с.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВИКОРИСТАННЯ ЧИЗЕЛЬНОГО ПЛУГА

Показники	ХТЗ-150К-09.172 + ПЧ-2,5
Продуктивність годинна, га/год.	1,14
Витрата палива, кг/га	26,30
Прямі затрати, грн./га на: - оплату праці - паливно-мастильні матеріали - ТО, полочний і капітальний ремонт - реновацію - затрати на зберігання - всього прямих затрат	86,43 1446,50 930,65 621,28 60,49 3145,36
Затрати праці, люд. год/га	0,71

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Під час чизельного обробітку ґрунт деформується робочими органами чизельних плугів, культиваторів, глибокорозпушувачів або комбінованих машин без утворення ущільненої «спідшви».
2. За чизельного обробітку на поверхні поля зберігається значна кількість (60...80%) рослинних (післяживних) решток та до 20% вологи в ґрунті.
3. Основними робочими органами машин для чизельного обробітку ґрунту є плоскорізна та чизельні лапи, дискові подрібнювачі одно- чи двобарабанні котки та різні типи ротаційних борів змонтовані на основній рамі машини або приєднані до неї за допомогою причіпних механізмів, здатних забезпе-чувати їх регулювання у відповідності із умовами роботи
4. Теоретичними дослідженнями встановлено, що, на рамі чизельного плуга ПЧ-2,5 слід встановити п'ять долотоподібних лан, розмістивши їх у два ряди: дві у першому та три у другому ряді, з відстанню між ними 0,5м за ходом агрегату.
5. Аналітичними дослідженнями встановлено, що на глибинах понад 0,25м робочий орган чизельного плуга працює в більш вологому середовищі, а тому закономірність зміни його опору, для різних глибин обробітку від во-логості носить стохастичний характер, а тому вимагає експериментальних досліджень
6. Спільним розв'язком рівнянь (2.8), (2.10), (2.18), (2.19) та (2.7) можна визначити опір чизельного плуга з врахуванням усіх вищевведених чинників, які є впливовими на перебіг технологічного процесу чизелювання
7. Виконаними експериментальними дослідженнями підтверджено, що опір долотоподібної лапи чизельного плуга залежить від твердості ґрунту і закономірності її зростання наближено можна описати поліноміальним рівнянням другого ступеня.
8. Згідно виконаних досліджень встановлено, що в діапазоні твердості ґрунтів 0,2-0,4кН/м² спостерігається приблизно лінійне зростання опору долотоподібної лапи чизельного плуга з 0,10 до 0,22кН для усіх діапазонів змінних швидкостей переміщення зв'язка лабораторної установки за глибини обробітку 0,25м.
9. Дослідженнями встановлено, що для глибини обробітку 0,25м і твердості ґрунту понад 0,4кН/м² відбувається більш інтенсивне зростання опору долотоподібної лапи, причому для вищих швидкостей опір робочої секції також є найбільшим. Так, за швидкості переміщення лапи в ґрунті 1,5м/с його максимальне значення сягає 0,45кН, а за швидкості 2,5м/с – 0,7кН.
10. Як видно з проведених розрахунків техніко-економічних показників під час використання агрегату для чизельного обробітку складі трактора ХТЗ-150К-09.172 та чизельного плуга ПЧ-2,5 його година продуктивність становить 1,14га/год; при цьому сума прямих питомих експлуатаційних затрат складає 3145,36грн/га, а затрат праці – 0,71люд. год/га.