

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Удосконалення основного обробітку ґрунту з розробкою
пневматичної запобіжної системи плуга**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-2-23
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Калга Костянтин Вікторович

Керівник: _____ Теслюк Геннадій Володимирович

Рецензент: _____ Рибкін Антон Петрович

Дніпро, 2024

ДНПРОВСЬКИЙ 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)
« ___ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Калга Костянтин Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення основного обробітку ґрунту з розробкою пневматичної запобіжної системи плуга

керівник роботи Теслюк Геннадій Володимирович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 12 » 11 _____ 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі механізації обробітку ґрунту. Аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан та тенденції розвитку ґрунтообробних машин 2. Теоретичні дослідження процесу обробітку ґрунту. 3. Експериментальні дослідження запропонованої конструкції плуга. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна ефективність роботи. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень. 2. Теоретичні дослідження. 3. Експериментальні дослідження. 4. Економічні показники . 5. Висновки
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
2	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
3	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
4	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
5	Теслюк Г.В., зав. кафедри		
Нормоконтроль	Золотовська О.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 10. 04. 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 20.09.2024 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 10.11.2024 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 27.11.2024 р.	Виконав
5	Економічний	до 01.12.2024 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 10.12.2024 р.	Виконав

Студент

_____ Калга К.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Теслюк Г.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Калга К.В. Удосконалення основного обробітку ґрунту з розробкою пневматичної запобіжної системи плуга / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Робота присвячена вирішенню актуально-практичної задачі зниження енергоємності технологічного процесу обробки кам'янистих ґрунтів за рахунок розробки пневматичної запобіжної системи плуга загального призначення.

В ході огляду існуючої конструкції плуга із запобіжним обладнанням були вивчені і проаналізовані переваги і недоліки сучасної конструкції Системи безпеки плуга для обробки ґрунту, засміченого камінням, розроблена їх класифікація, вдосконалені технічні процеси для основного обробітку ґрунту, засміченого камінням, і вдосконалені технічні засоби захисту. запропоновано схему раціональної конструкції плуга з пневматичною системою безпеки.

Результатом теоретичного дослідження стала аналітична залежність для розрахунків: висоти стійки корпусу плуга, призначеного для обробки кам'янистих ґрунтів. Кутова швидкість і кутове прискорення секції плуга, що виникають при обході перешкод різної форми. Тиск в пневматичному запобіжнику і сила його опору.

Польові випробування секцій з запропонованою пневматичною системою безпеки підтвердили надійне і якісне виконання процесів обробки ґрунту і обходу каменів. Термін окупності капітальних вкладень для впровадження плугів з запропонованою пневматичною системою становить 1,17 року.

Ключові слова: кам'янистий ґрунт, оранка, плуг, запобіжна система, пневматичний запобіжник, тяговий опір.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ПЛУГІВ ІЗ ЗАПОБІЖНИМИ ПРИСТРОЯМИ.....	10
1.1 Плуги з груповими запобіжниками.....	10
1.2 Плуги з індивідуальними запобіжниками фіксаторного типу...	10
1.3. Плуги з запобіжниками у вигляді зрізних болтів.....	12
1.4 Плуги з запобіжником з пружинним важелем.....	13
1.5. Плуги з запобіжниками з гумових подушок.....	17
1.6 Плуги з гідравлічними запобіжниками.....	18
1.7 Плуги з гідропневматичними запобіжниками.....	18
1.8 Плуги з пневматичними запобіжниками.....	21
1.9 Класифікація плугів із запобіжними пристроями.....	22
Висновок по розділу.....	23
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛУГА З ПНЕВМАТИЧНОЮ ЗАПОБІЖНОЮ СИСТЕМОЮ.....	24
2.1 Обґрунтування технологічної схеми запропонованої конструкції плуга.....	24
2.2 Обґрунтування висоти стійки плуга.....	26
2.3 Кінематика обходу перешкоди.....	29
2.3.1 Плоска похила перешкода.....	29
2.3.2 Плоска вертикальна перешкода.....	32
2.4 Хід і параметри установки запобіжника плуга.....	33
2.5 Сила опору пневматичного запобіжника.....	36
2.6 Перспективна характеристика запобіжника плуга.....	39
2.7 Динаміка обходу перешкоди	40
Висновок по розділу.....	42
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛУГА З ПНЕВМАТИЧНОЮ ЗАПОБІЖНОЮ СИСТЕМОЮ.....	43

3.1 Обладнання та методи експериментальних досліджень.....	43
3.1.1 Методика визначення тиску в запобіжнику та сили опору	43
3.1.2 Методика дослідження обходу штучної перешкоди.....	44
3.2 Залежність тиску в запобіжнику і сили його опору від ходу штока і початкового тиску.....	49
3.3. Експериментальні дослідження роботи запобіжної системи при обході штучної перешкоди.....	51
3.4. Результати польових досліджень експериментальної секції плуга.....	55
Висновок по розділу.....	56
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
4.1. Особливості роботи з плугом в різних умовах роботи.....	57
4.2. Навчання та інструктаж персоналу.....	58
Висновок по розділу.....	59
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ...	60
5.1 Результати польових випробувань дослідного зразка плуга ППП-5-35.....	60
5.2. Розрахунок економічних показників від впровадження удосконаленого плуга з пневматичними запобіжниками ППП-5-35.....	64
Висновок по розділу.....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Провідний світовий виробник сільськогосподарської техніки випускає різні типи сільськогосподарських машин із запобіжними пристроями. Найбільш популярні гідравлічні, пневматичні, пружинні та індивідуальні запобіжники пружинного типу. Пружини і пружинні запобіжники набагато простіше в експлуатації, але вони також вимагають значного часу для регулювання сили опору.

Пневматичні запобіжники дуже перспективні, прості по конструкції і забезпечують невелике підвищене значення опору тяговому зусиллю при обході каменю. Тобто енерговитрати на процес обходу каменю при використанні таких запобіжників значно нижче, ніж при використанні інших типів. Крім того, їх тиск можна легко і швидко змінювати. Таким чином, дослідження спрямоване на вдосконалення конструкції плугів з пневматичними запобіжниками, що відрізняються низьким енергоспоживанням для обходу каменю і забезпечують можливість швидкого регулювання.

Мета і завдання роботи: зниження енергоємності технологічного процесу обробки кам'янистих ґрунтів за рахунок розробки пневматичної запобіжної системи плуга загального призначення.

Завдання дослідження:

- проаналізувати основні конструкції плугів для обробки ґрунтів засмічених камінням;
- вдосконалити технологічний процес обробки ґрунтів засмічених камінням, розробити схему ефективної запобіжної системи плуга, проаналізувати зміну тягового опору його секції при обході нею каменю і обґрунтувати раціональні значення основних параметрів запобіжної системи та секції плуга;
- експериментально дослідити процес стиснення запропонованого запобіжника; тягового опору і енергоємності процесу обходу перешкоди

модернізованою секцією плуга;

- провести польові випробування дослідного зразка плуга, оснащеного запобіжною системою і визначити економічний ефект від його впровадження.

Об'єкт дослідження: технологічний процес обробітку ґрунту.

Предмет дослідження: плуг загального призначення з пневматичною запобіжною системою.

Наукова новизна роботи:

- аналітичні залежності з розрахунку тягового опору секції плуга при обході нею каменю і обґрунтування раціональних значень основних параметрів запобіжної системи і секції плуга;

- дані експериментальних досліджень процесів: стиснення запропонованого запобіжника; тягового опору і енергоємності процесу обходу перешкоди модернізованою секцією плуга; показники якості її роботи, які підтвердили і уточнили результати теоретичних досліджень.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці конструкції пневматичного запобіжника з параметрами, оптимальні значення яких обґрунтовані в роботі; уточненні параметрів секції плуга для обробки кам'янистих ґрунтів.

Особистий внесок здобувача. Аналіз досліджень та публікацій щодо конструкцій плугів із запобіжними системами; участь у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень параметрів роботи плуга із запропонованою пневматичною запобіжною системою; побудова графіків; розрахунок економічної ефективності впровадження запропонованої конструкції плуга.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ПЛУГІВ ІЗ ЗАПОБІЖНИМИ ПРИСТРОЯМИ

1.1 Плуги з груповими запобіжниками

Система безпеки плуга пройшла кілька етапів розробки. На першому етапі в основному розроблялися пристрої з засувками і запобіжниками групового дії. Однак розробка фіксаторів в даний час припинена, оскільки необхідно піднімати весь плуг і повертати весь корпус у вихідне положення, а при великій кількості корпусів плуга продуктивність агрегату знижується.

Групові запобіжники також можуть захистити плуг від серйозних поломок, але недоліки, які виникають при спрацьовуванні плуга, і втрата часу на встановлення плуга є серйозними недоліками.

Плуги з корпусом на шрус-болті широко популярні, в той час як плуги з автоматичними запобіжниками більш продуктивні, але мають багато недоліків.

Джерела [10, 12] описують групове злиття односторонніх дій. Деякі були оснащені ріжучими штифтами, інші були оснащені поворотними гаками, коли тяговий опір машини досяг заданого значення, розверніться і зніміть плуг з трактора.

За великим рахунком, до цієї групи можна віднести плуги з важільним запобіжником. Однак через складність механізмів безпеки та допусків цей тип плуга не набув широкого поширення.

1.2 Плуги з індивідуальними запобіжниками фіксаторного типу

На малюнку 1.1 показана типова схема замикається запобіжника [16,25]. Як видно з малюнка, коли зазор зустрічається з каменем, спрацьовують 2 плечових важеля, які обертаються навколо точки O1, а виступ кожуха з натискним важелем обертається навколо точки O, стискаючи пружину замку. Після поглиблення потрібно підняти плуг.

Недоліком запобіжного механізму типу замка є те, що циліндр замка і канавки необхідно виготовляти з високоміцних марок сталі, що технічно ускладнює процес виготовлення такого корпусу.

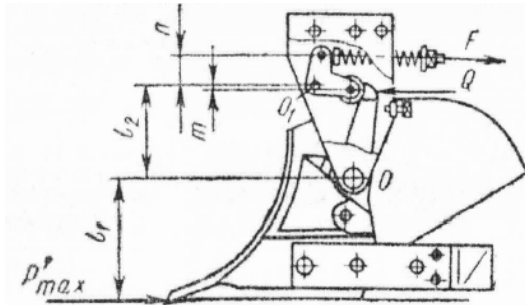


Рис. 1.1 – Запобіжник фіксаторного типу

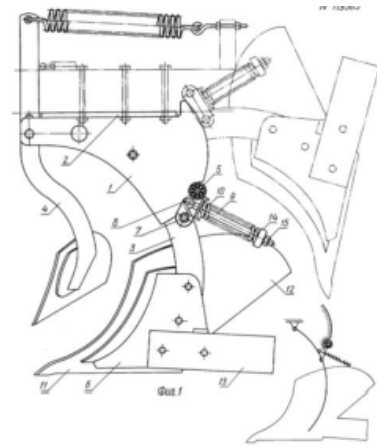


Рис. 1.2 – Конструкція типу запобіжного замка О.Я. Стенгревіца

Особливий інтерес представляє конструкція корпусу плуга, запропонована наступним чином: О.Я. Стенгревіцем (рис. 1.2) [29].

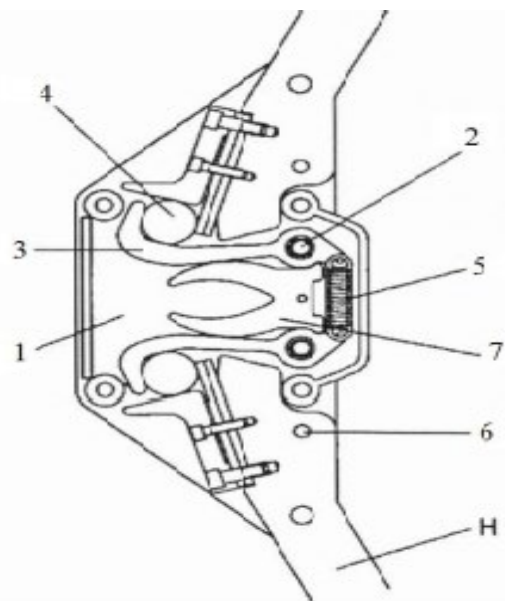


Рис. 1.3 – Шарнірний поворотний плуг напівавтоматичний запобіжний замок фірми Lemken [9].

Конструкція важільного запобіжника білого плуга 508 [7,8] відрізняється оригінальністю від інших конструкцій свого класу. Багаторічний досвід експлуатації цих плугів доводить їх ефективність.

Однією з ефективних систем безпеки типу замка є система Лемкена, прикріплена до шарнірного поворотного плуга моделі EuroPal [6,9,16] (рис.1.3) пристрій позначено як "NH".

Можливо. 1.3. Пристрій має гачки 3, ролики 4 і пружини 5 і 7. Коли корпус плуга взаємодіє з каменем, гак згинається, стискає пружину 7, щоб подовжити пружину 5, і корпус плуга обертається. Щоб повернути футляр у вихідне положення, досить викопати футляр. Завершення процесу повернення справи включає звуковий клацання.

1.3. Плуги з запобіжниками у вигляді зрізних болтів

Ця група плугів найчисленніша. Велика частина землі, орної плугами, вже давно обробляється, тому кількість каменів в орному шарі не так важливо. У зв'язку з цим можна буде ефективно використовувати недорогу конструкцію плуга з запобіжниками у вигляді відрізних болтів. При цьому навіть у плугів з великою кількістю кожухів зупинки останніх можуть бути не такими частими.

У багатьох плугів розташування зрізних болтів однакове. Наприклад, молдавський плуг ПЛН-3-35М, турецька Overum CT4980F, російські плуги фірм «Діас», «Белагромашсервіс», чеські SUKOV типу ArcoAgro, німецької Lemken, польської Uania [9, 7, 11] і т. д. у всіх плугів даних фірм розташування зрізних болтів відрізняється незначно.

Його діаметр варіюється в залежності від способу різання болта. При нарізанні болта з боковим кріпленням стійки краще використовувати болт більшого діаметру при установці деки між 2 боковинами (2 ріжучими поверхнями).

Можна сказати, що положення ріжучого болта в передній частині насадки під час процесу різання призводить до того, що корпус починає переміщатися в раму щодо заднього шарніра стійки, що призводить до поломки стійки і, як правило, до пошкодження корпусу. Від ріжучого болта, де найбільш розумною конструкцією є заднє положення.

1.4 Плуги з запобіжником з пружинним важелем

Плуги з запобіжниками з важільними пружинами представлені практично всіма виробниками плугів і розрізняються за такими конструктивними параметрами, як горизонтальне розташування пружини, кількість використовуваних пружин, використання натяжних або компресійних пружин. фірмою White

Плуги, вироблені фірмою White [18] (рис. 1.4) мати різні типи пружин стиснення, встановлених паралельно горизонтальній площині або по діагоналі проти горизонтальної площини. Плуг працює наступним чином: коли корпус плуга вдаряється об перешкоду, сила P передається на важіль 2 за допомогою стійки 1. Під час роботи зусилля P передається від стійки 1 до шарнірного важеля 2, який, в свою чергу, передає зусилля на вилку за допомогою пружини, що притискає важіль 5 до важеля 3, і обертається щодо точки O_2 . Це призведе до заклинювання пружини 3. Крім того, коли кожух глибокий, обмежувач 4 важеля 5 вставляється в важіль 2, щоб запобігти обертанню важеля 2 в протилежному напрямку.

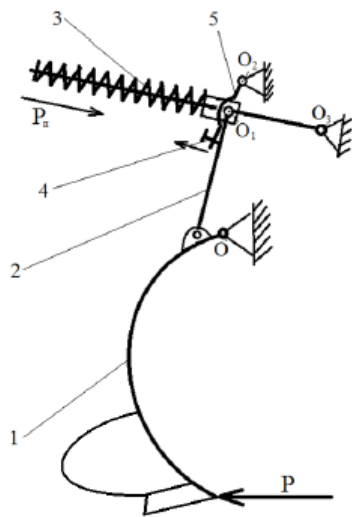


Рис. 1.4 – Схема механізму безпеки компанії WHITE [18]: 1 – стійка; 2 – важіль; 3 – пружина; 4 – упор, 5 – важіль.

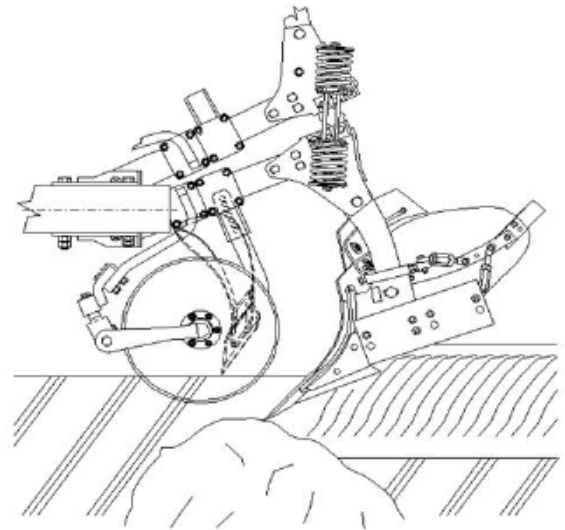


Рис. 1.5 – Плуг з важільно-пружинними запобіжниками LEMKEN VARIOPAL 7X 4 + 1

Плуг VARIOPAL 7X від фірми LEMKEN [16] (рис. 1.5) важіль являє собою Реверсивний плуг з пружинним запобіжником. Конструкція цього плуга виконана таким чином, що стійка утворює механізм паралелограма, встановлений перед кронштейном, прикріпленім до рами. Полиці з'єднані між собою кронштейнами з пружинними пакетами з обох сторін. Між пластинами стійки розміщена спеціальна напрямна пластина, так що дека може бути вирізана тільки відповідно до певної траєкторією руху.

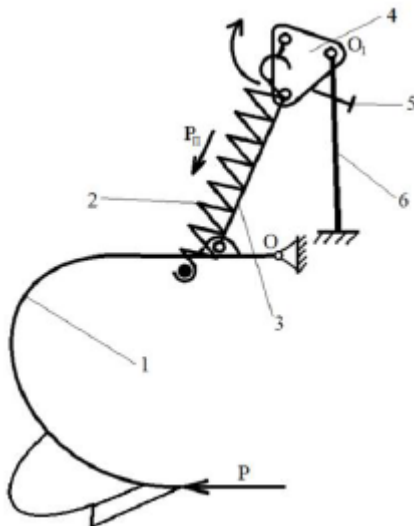


Рис. 1.6 – Схема плуга ПГП-4-40-2 (К): 1 – стійка; 2 – пружина; 3 – важіль; 4 – пластина; 5 – упор, 6 – кронштейн.

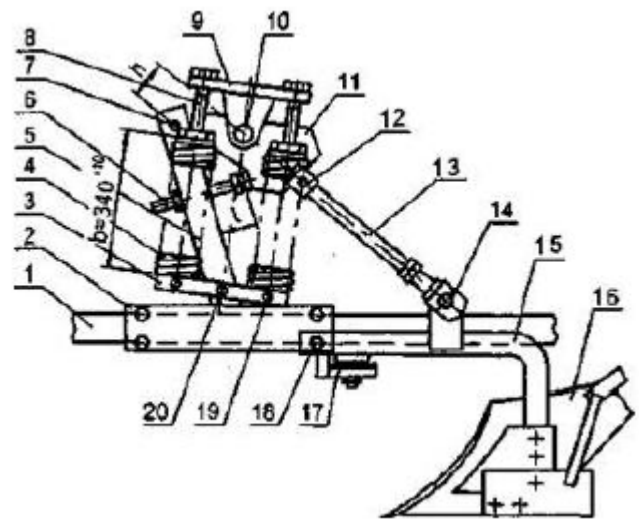


Рис. 1.7 – Схема секцій плуга ПКГ-5-40В.

Турецький плуг ÜNLÜ-4 [15] Оснащений підпружиненим запобіжником. Кожна секція плуга складається з гребеня 2, який спирається на стопор гнізда кронштейна 1 (рис.1.8). Корпус встановлений за 3 ліжками. У середині ліжка 1 встановлена пружина 4. Конструкція плуга дозволяє при необхідності переробляти його для установки натяжних або компресійних пружин, тобто дана схема має високу технічну потужність.

При зіткненні з перешкодою рейка згинається до своєї вертикальної стійки, і шток видовбується. Як тільки ви подолаєте перешкоду, поверніться у вихідне положення.

Враховуючи, що сила пружності збільшується при деформації пружини, а плече сили, що діє на носок, зменшується в зазорі до верхнього упору гребеня під час свердління, можна сказати, що опір тязі, ймовірно, збільшується при свердлінні поперечного перерізу.

Певний інтерес представляє собою конструкція англійського плуга Dowdeswell 100 Series MR [28] (рис. 1.9).

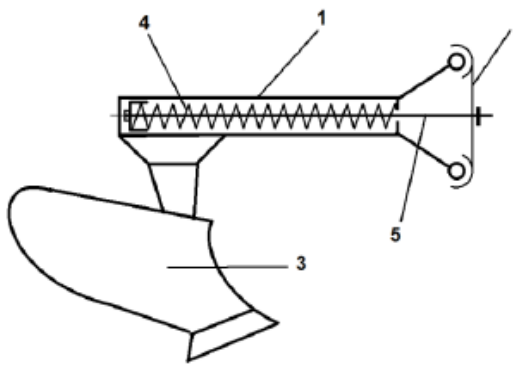


Рис. 1.8 – Плуг ÜNLÜ

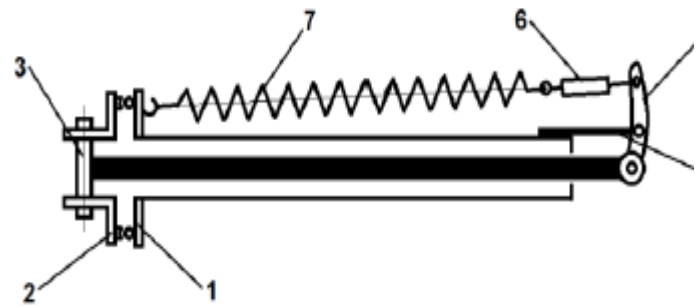


Рис. 1.9 – Схема Dowdeswell 100 Series MR

Лезо секції плуга спирається на стопорне гніздо кронштейна 2, закріплене на рамі плуга. Поздовжній стрижень 3 кріпиться до петлі кронштейна 2 за допомогою пальця, задній кінець якого прикріплений до коромисла 4. Коромисло 4 шарнірно закріплено на кронштейні коромисла 5. До іншого кінця коромисла прикріплений регулювальний стрижень 6, який також прикріплений до пружини 7, і 2. його кінець закріплений на хомуті 1.

Коли секція спрацьовує, рейка 1 відхиляється вгору щодо верхнього упору. У той же час задній кінець стрижня 3 рухається всередині гребеня 1 і повертає стрижень 6, щоб подовжити пружину 4.

На жаль, в літературі відсутні дані про якість роботи цього плуга на сильно забитих камінням ґрунтах.

1. Одним з істотних недоліків плугів з пружинними запобіжниками є тривалий час, що витрачається на адаптацію до зазначених умов експлуатації. Крім того, як показав аналіз, для виробництва пружинних систем безпеки, зокрема реверс жовтневих плугів, необхідно виготовляти системні компоненти з високоміцних марок сталі, що негативно позначається на вартості верстата.

1.5. Плуги з запобіжниками з гумових подушок

Плуги з запобіжниками у вигляді гумових прокладок випускаються компанією ÖVERUM (рис.1.10) [17]. Принцип дії аналогічний принципу дії пружинного запобіжного важеля, описаного вище.

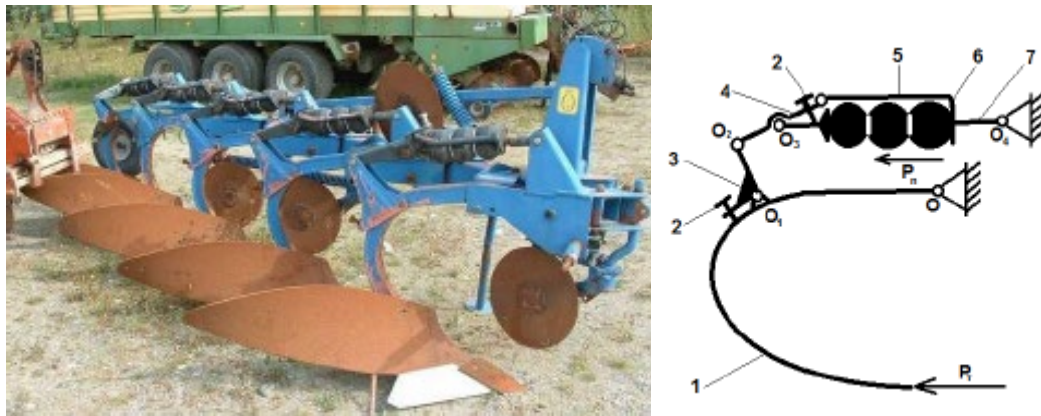


Рис. 1.10 – Плуг ÖVERUM СТ 588 із запобіжниками з гумових подушок.

Плуг з запобіжником у вигляді гумової прокладки працює наступним чином: стійка 1 притискає важіль до важеля 3, він обертається навколо осі O_1 , важіль притискається в його центрі у вигляді коромисла 4, А вал 7 кріпиться до центру за допомогою гумової прокладки у формі 6 поворотів. Інший кінець коромисла Шарнірно прикріплений до важеля 5, а гумова накладка 6 повертається для стиснення під час роботи. Регулятор напруги запобіжника 2 встановлений як на важелі, так і на коромислі 4.

1.6. Плуги з гідравлічними запобіжниками

Гідравлічні запобіжники не набули широкого поширення в гідропневматичних системах, оскільки вони значно менш ефективні, ніж вбудовані запобіжники.

Згідно з цією схемою, кронштейн надійно закріплений на гребнях кожного корпусу, до якого Шарнірно прикріплений шток гідроциліндра. Корпус гідроциліндра Шарнірно з'єднаний з довгим кронштейном рами. Коли частина плуга вдаряється об великий камінь, спина піднімається, а лікоть згинається вправо. В результаті масло виштовхується з гідроциліндра через перепускний клапан, який надходить в резервуар. Після подолання перешкоди система повертається в початкове положення.

З вищевикладеного випливає, що в процесі роботи плуга оснащеного подібною системою весь час задіяна напірна магістраль гідросистеми трактора, що однозначно буде приводити до її перевантаження в момент спрацьовування запобіжника.

1.7 Плуги з гідропневматичними запобіжниками

Для зниження навантажень на кронштейн рами, зменшення ходу запобіжника, і, в цілому, підвищення м'якості спрацьовування, багато фірм стали встановлювати гідроциліндри горизонтально, фактично, просто замінивши ними ресори. До їх числа можна віднести плуги італійських фірм DiRaimondo, Nardi, окремі машини турецької фірми Överum [22, 23].

Велике поширення набувають, так звані «універсальні» запобіжні системи які придатні для установки на оборотних і загородних плугів.

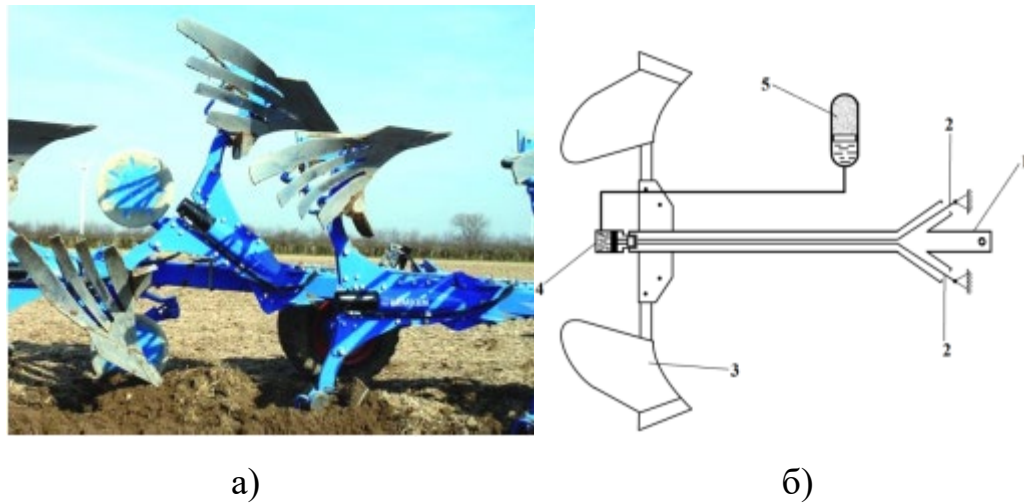


Рис. 1.11 – Плуг з гідропневматичною запобіжної системою Hydromatic з двома упорами фірми Lemken: 1 - гряділь; 2 - завзятий важіль; 3 - корпус; 4 - гідроциліндр; 5 - гідропневматичний акумулятор; а – загальний вигляд секції; б – конструктивна схема.

Ними оснащуються окремі моделі плугів фірм Gregoire-Besson, Duro-France, Emmegiemme, Ünlü [23, 25].

Дана система працює наступним чином. При наїзді на камінь корпусу 3 (рис. 1.12) гряділь 2, впираючись в гнізда кронштейна 1 повертається вгору. При цьому, тяга 5 переміщує шток гідроциліндра 4 вправо, витісняючи рідину в гідропневматичний акумулятор 6. Після проходження перешкоди система повертається у вихідне положення.

Однією з останніх вельми цікавих запобіжних систем є розробка фірми Amazone (рис. 1.13) [16].



Рис. 1.13 – Запобіжна система плуга фірми Amazone.

Як видно з рис. 1.13 механічна частина системи багато в чому схожа з вищеописаною системою фірми Kverneland, оснащеної ресорним запобіжником. Відмінність полягає в тому, що кульові опори замінені пальцями. Головною відмінною рисою механізму в цілому є заміна ресори гідроциліндром, що дозволяє оснащувати плуг системами регулювання тиску спрацьовування системи.

Деякі фірми, наприклад Датська Koncilde оснащують свої плуги схожою системою [25, 23], однак, кожен гідроциліндр забезпечений своїм гідропневмоакумулятором. Подібні рішення є і у кількох інших фірм.

Однак недоліком гідропневматичних систем є: низька екологічність, складність і, як наслідок, висока вартість в порівнянні з іншими такими системами, а також не завжди задовільні силові характеристики.

1.8 Плуги з пневматичними запобіжниками

Ідея використовувати стиснене повітря для приводу запобіжного механізму плуга не нова. Відомі винаходи по оснащенню ґрунтообробних знарядь пневмо-запобіжниками в області механізації лісового господарства, проте, більш ніж опис винаходів, іншої інформації про дані машини нами не виявлено. У пропонованому ним винаході пружини замінені пневматичними циліндрами, а сама система оснащена пневматичними балонами з повітрям знаходяться під високим тиском.

Найвідомішими розробками в цій галузі є плуги виробництва «Оршаагропромаш» Республіки Білорусь. Відомі плуги марки ППП-7-40П і ППП-4-40-4 [16].

На рис. 1.14 зображений плуг ППП-4-40-4, що складається з рами до кронштейнів якої шарнірно приєднані гряди секції. Зверху гряди притискаються пневматичними запобіжниками які за допомогою магістралі з'єднані один з одним. Самі запобіжники складаються з пневматичних подушок, з встановленими всередині штоками.

При наїзді корпусу плуга на камінь гряділь корпусу піднімається вгору стискаючи пневматичний запобіжник. Частина повітря з стисненого запобіжника по пневмо-проводу перетікає в інші.

Перевагами пневматичної запобіжної системи є: екологічність, низькі значення тиску спрацювання, проста конструкція.



Рис. 1.14 – Плуг ППП 4-40-4 з пневматичною системою захисту

Серйозним недоліком даної системи є габарити запобіжників. Іншим недоліком є те, що певні марки тракторів старих конструкцій не обладнані компресорами, що ускладнює їх використання з плугами даного типу.

На наш погляд, з огляду на те, що в плугів даного типу відразу проводиться стиснення повітря, шляхом раціоналізації значення основних параметрів секції і запобіжної системи, можна значно знизити енергоємність процесу обходу перешкоди, підвищивши, тим самим, «м'якість» спрацьовування.

1.9 Класифікація плугів із запобіжними пристроями

На основі вищевикладеного нами була розроблена класифікація плугів для обробки ґрунтів засмічених камінням.

У даній класифікації не відображені варіанти кріплення основних елементів систем – зрізних болтів, гідроциліндрів, пружин і т.д., так як це не є принциповою відмінністю.

З цієї класифікації видно, що пневматичні запобіжники відносяться до групи автоматичних пристроїв, що забезпечують високу продуктивність орного агрегату через реалізацію в них принципу «Non-stop».

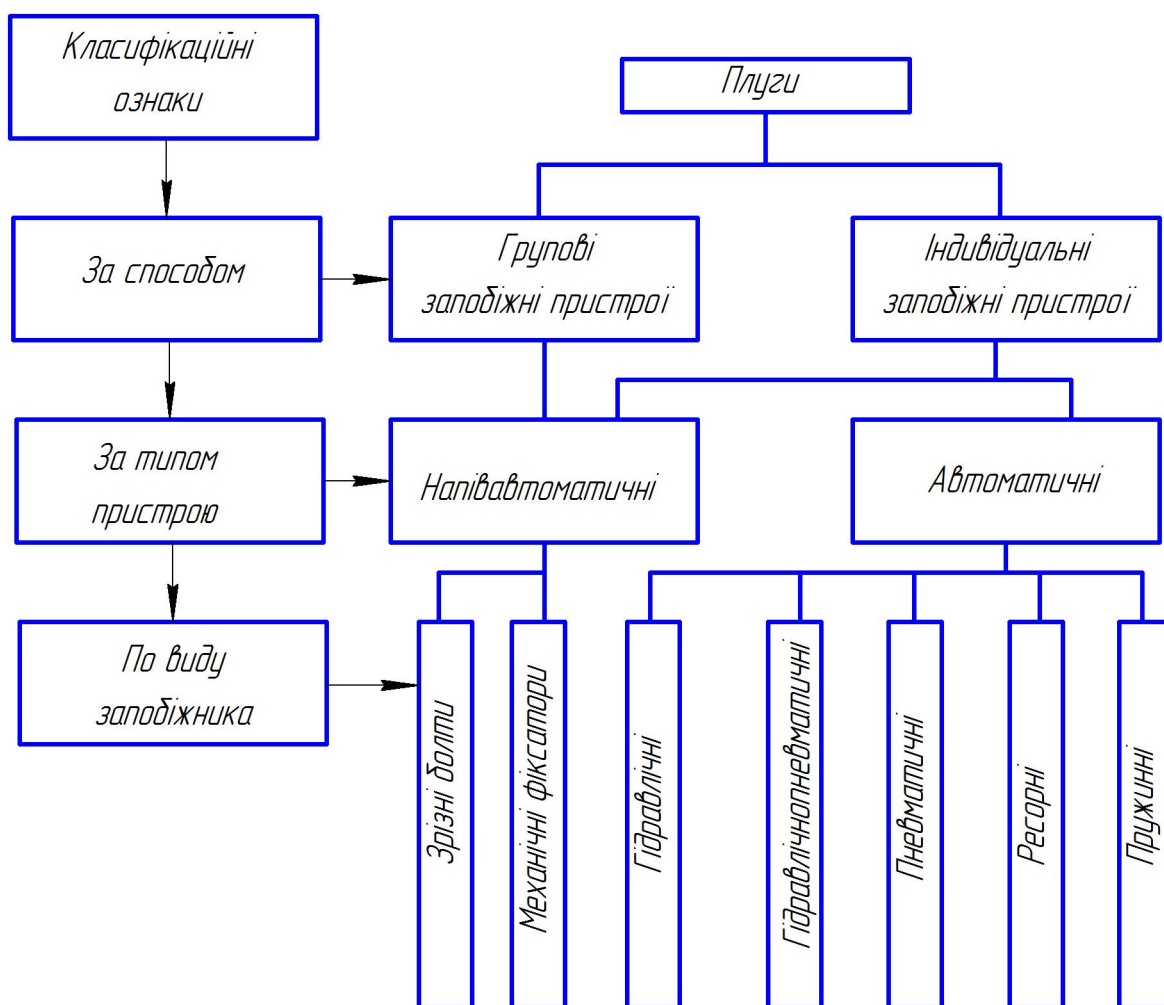


Рис. 1.15 – Класифікація плугів із запобіжними пристроями

При усуненні вищевикладених недоліків плуги з пневматичними запобіжними системами можуть зайняти своє місце на ринку сільськогосподарської техніки.

Висновок по розділу

Виходячи з вищевикладеного, ми розробили класифікацію плугів для обробки ґрунту, засміченої камінням. З цієї класифікації видно, що пневматичні запобіжники відносяться до групи автоматичних пристроїв, які забезпечують високу продуктивність поворотного пристрою за рахунок реалізації своїх принципів.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛУГА З ПНЕВМАТИЧНОЮ ЗАПОБІЖНОЮ СИСТЕМОЮ

2.1 Обґрунтування технологічної схеми запропонованої конструкції плуга

З урахуванням положень наведених у розділі 1, була запропонована принципова схема, що передбачає оснащення, конструкції плуга пневматичними запобіжниками і резервною ємністю (рис. 2.1.) [6].

В якості робочих елементів запобіжників корпусів плуга пропонується використовувати пневматичні подушки фірми «Vibracaustic» [26].

Запропонована схема плуга містить раму 5 (рис. 2.1) із зчіпним пристроєм 7, опорно-регулювальне колесо 6 і шарнірно закріплені на рамі робочі органи з пневматичними запобіжниками 1. Рама плуга складається з поздовжнього, поперечного і головного бруса, виконаного герметично і являє собою ресивер, до якого за допомогою трубопроводу приєднані пневмокамери запобіжників 1.

На відміну від плуга ПГП-4-40-4 запропонована нами система містить резервну ємність.

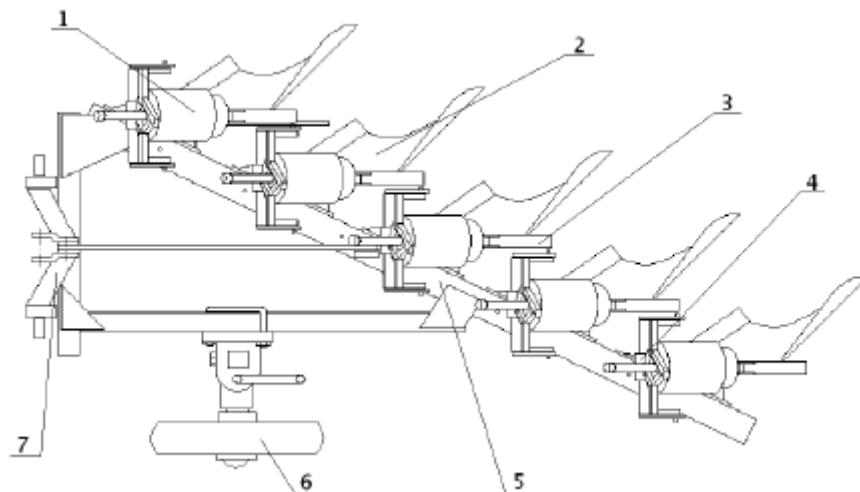


Рис. 2.1 – Вдосконалений плуг із пневматичною запобіжною системою
1 – пневматичний запобіжник; 2 – корпус; 3 – стійка; 4 – кронштейн; 5 – рама; 6 – опорне колесо; 7 – кріплення.

Як видно з рис. 2.2, конструкція запобіжника складається з пневматичної камери 4, герметично встановленої між додатковою камерою 6 і верхньою опорною пластиною 5. Для обмеження ходу запобіжника напрямна частина виконана у вигляді шліцьового вала 2, закріпленого на опорному бачку і втулки 1, встановленої на верхній опорній пластині. Запобіжник встановлюється на плуг за допомогою верхніх опорних вушок 3 і нижнього фланця 7. Для можливості регулювання пневматичного запобіжника на задану величину ходу, з'єднання нижньої опорної площини 6 з фланцем 7 виконано у вигляді гвинтового механізму [36].

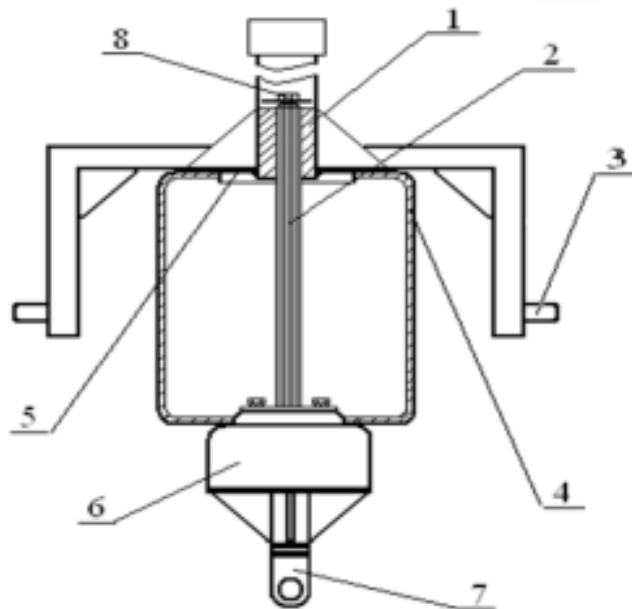


Рис. 2.2 – Схема пневматичного запобіжника: 1 – втулка; 2 – шліцьовий вал (напрямна); 3 – верхні опорні вушка; 4 – пневматична камера; 5 – верхня опорна пластина; 6 – додаткова камера; 7 – фланець; 8 – обмежувальний болт.

Працює плуг наступним чином. При наїзді будь-якої секції плуга на масивний камінь корпус 2 (рис. 2.1) зі стійкою 3 повертається навколо осі шарнірного кріплення стійки до рами. Повітря в камері її запобіжника стискається і частково по трубопроводу переходить в герметичну раму та інші камери запобіжників. Після обходу каменю частина повітря надходить назад з рами плуга і пневмокамер запобіжників в пневмокамеру що розтискається. Корпус зі стійкою займає початкове положення.

Завдяки такій конструкції плуга, при обході перешкоди будь-якої із секцій, при зменшенні її глибини зменшується жорсткість роботи запобіжника, внаслідок чого приріст тягового опору плуга невеликий.

2.2 Обґрунтування висоти стійки плуга

Для успішного обходу каменів необхідне виконання деяких умов. Очевидно, що висота корпусу плуга $h_{ст}$ (рис. 2.4) і зміщення носка лемеша b щодо вертикальної осі, що проходить через точку O , не повинні перешкоджати вільному виглибленню корпусу при обході перешкоди.

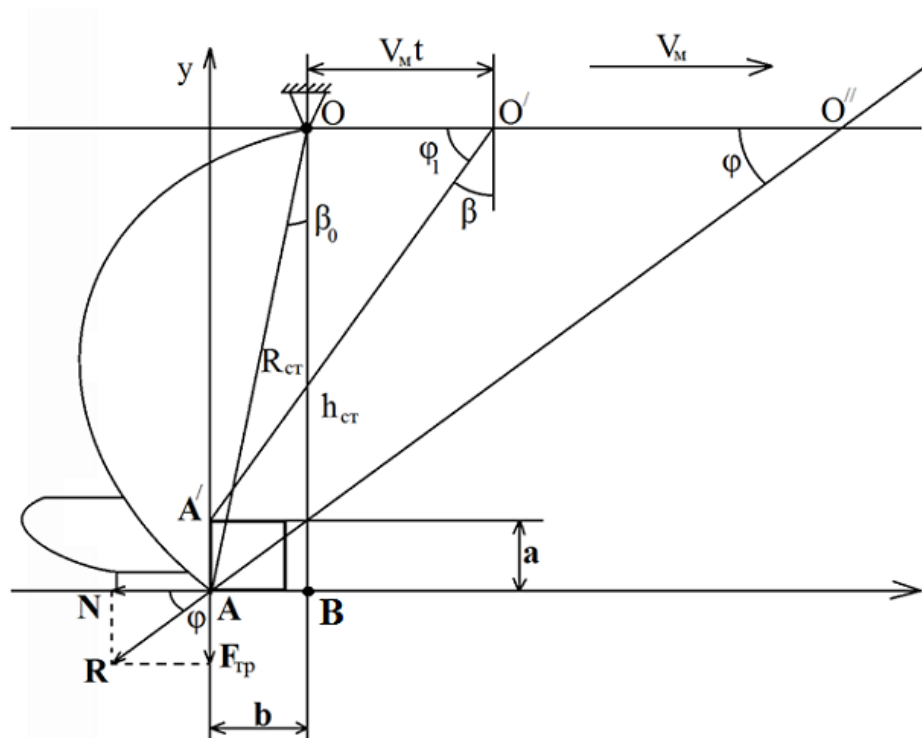


Рис. 2.3 – Схема до обґрунтування висоти стійки плуга $h_{ст}$

Нехай секція плуга повинна обійти вертикальну перешкоду висотою a . Обхід вертикальної перешкоди, це один із найбільш важких для виконання обходів, тому параметри стійки визначені для даного випадку будуть прийнятні і для інших варіантів обходу.

Нехай початок контакту лемеша та перешкоди починається в точці A , а закінчується в точці A' . З боку перешкоди на леміш діють сила N –

нормальна реакція і F_{TP} – сила тертя носка лемеша по поверхні перешкоди. Їх рівнодіюча R відхилена від сили N на кут тертя φ [4, 5].

Вищесказане запишеться у вигляді суми векторів:

$$\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}_{TP};$$

або у аналітичному вигляді:

$$R = \sqrt{N^2 + N^2 \cdot \text{tg}^2 \varphi} = N \sqrt{1 + \text{tg}^2 \varphi}.$$

Проведемо через точку O лінію паралельну осі X і продовжимо лінію дії сили R до перетину з нею. Точку перетину позначимо O'' . Пряма AO'' і пряма OO'' перетинаються під кутом φ . Контакт лемеша з перешкодою закінчується в точці A' . В цей час точка O переміщається вправо. Її положення можна визначити якщо з точки A' провести дугу радіусом рівним R_{cm} до перетину з прямою OO'' . Відрізок $[A'O']$ утворює з прямою OO'' кут φ_1 . З рис. 2.1 видно, що умова обходу перешкоди повинна бути:

$$\varphi_1 \geq \varphi. \quad (2.1)$$

Тоді:

$$\sin \varphi_1 \geq \sin \varphi.$$

або

$$\frac{h_{cm} - a}{R_{cm}} \geq \sin \varphi,$$

де R_{cm} – відстань від точки O до леза лемеша (точка контакту), м.

Прийmemo:

$$\left(\frac{h_{cm} - a}{R_{cm}} \right)^2 \geq \sin^2 \varphi.$$

Враховуючи, що $R_{cm} = \sqrt{h_{cm}^2 + b^2}$ отримаємо:

$$h_{cm}^2 - \frac{2a}{\cos^2 \varphi} h_{cm} + \frac{a^2 - b^2 \sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi} \geq 0.$$

Для знаходження граничних значень коренів даного рівняння перепишемо його у вигляді:

$$h_{cm}^2 - \frac{2a}{\cos^2 \varphi} h_{cm} + \frac{a^2 - b^2 \sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi} = 0. \quad (2.2)$$

де b – зсув носка лемеша щодо вертикалі, яка проходить через точку O .

Рівняння (2.2) являє собою звичайне квадратичне рівняння яке потрібно вирішити щодо h_{cm} . Розв'язавши дане рівняння визначимо мінімально допустиму довжину стійки. Для цього приймемо наступні вихідні дані: висота перешкоди $a=0,25\dots0,35$ м; зміщення лемеша $b=0$; $b=0,1$; $b=0,2$; $b=0,3$ м; кут тертя каміння по сталі становить $\varphi=22,8\dots26,1^\circ$. Оскільки каміння може мати додаткові нерівності поверхні проведемо розрахунки також для кута $\varphi=30^\circ$.

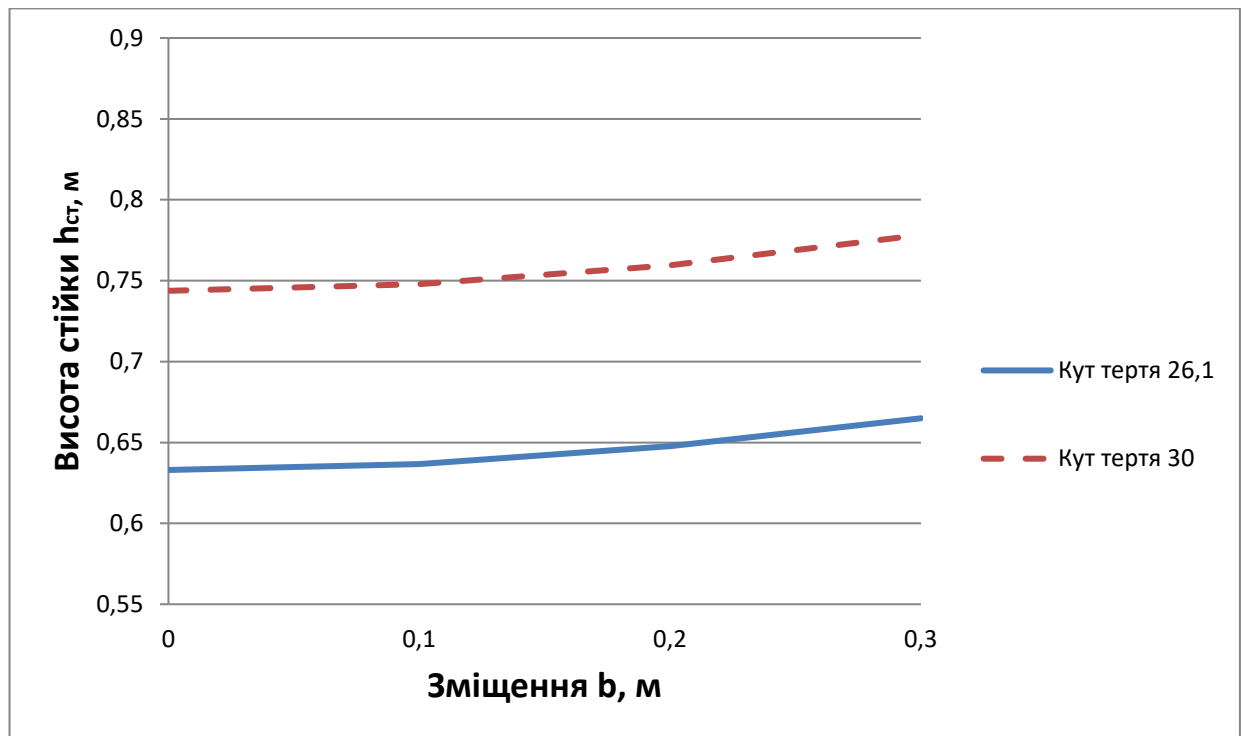


Рис. 2.4 – Залежність необхідної висоти стійки h_{cm} від зсуву носка лемеша b і різних кутів тертя при обході вертикальної перешкоди висотою 0,35 м.

З отриманих графічних залежностей (рис. 2.4, рис. 2.5) видно, що висота корпусу навіть в самому несприятливому випадку не перевищує 0,78м. При цьому на збільшення необхідної висоти стійки h_{cm} , зміщення b

впливає незначно. Набагато більш значущими є параметри – кут тертя φ і висота перешкоди a .

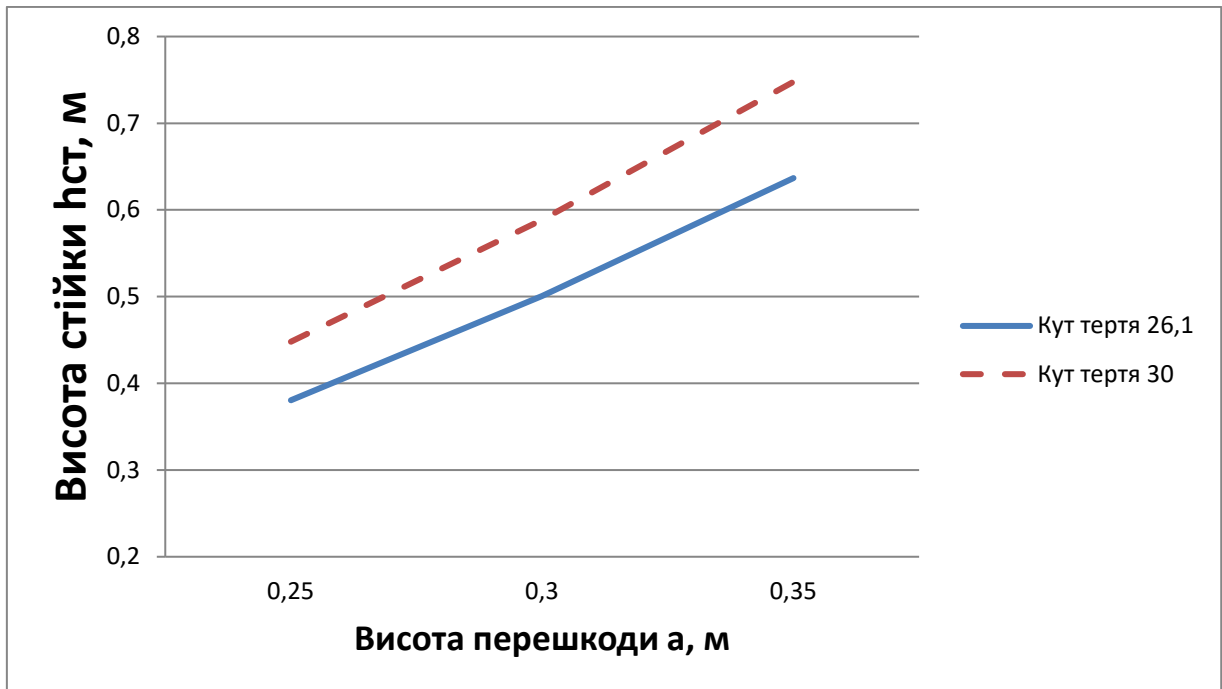


Рис. 2.5 – Залежність висоти стійки плуга h_{cm} від висоти перешкоди при кутах тертя рівних $26,1^\circ$ і 30° і зміщення $b = 0,1$ м.

Таким чином, на підставі проведених розрахунків можна зробити попередній висновок, що для успішного обходу перешкоди необхідна висота стійки $h_{cm} \geq 0,75$ м, зміщення $b \in [0 \dots 0,3]$ м. Однак, при цьому величина $b = 0,3$ м може привести до більших значень тягового зусилля.

2.3 Кінематика обходу перешкоди

2.3.1 Плоска похила перешкода

Складемо розрахункову схему обходу плоскої похилої перешкоди [1, 2].

Нехай $\alpha_{кл}$ – кут нахилу грані плоскої перешкоди.

Складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} -h_{cm} + |AA'| \cdot \sin \alpha_{кл} + R_{ст} \cdot \cos \beta = 0 \\ b + V_M t - |AA'| \cdot \cos \alpha_{кл} - R_{ст} \cdot \sin \beta = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

де h_{cm} – висота стійки плуга, м;

Невідомими є $\alpha_{\text{кЛ}}$ і $|AA'|$.

$$|AA'| = \frac{h_{\text{СТ}} - R_{\text{СТ}} \cos \beta}{\sin \alpha_{\text{кЛ}}}.$$

Тоді: $b + V_{\text{М}}t + \frac{R_{\text{СТ}} \cos \beta - h_{\text{СТ}}}{\sin \alpha_{\text{кЛ}}} \cdot \cos \alpha_{\text{кЛ}} - R_{\text{СТ}} \sin \beta = 0$,

або

$$b + V_{\text{М}}t + R_{\text{СТ}} \cot \alpha_{\text{кЛ}} \cos \beta - h_{\text{СТ}} \cot \alpha_{\text{кЛ}} - R_{\text{СТ}} \sin \beta = 0 \quad (2.4)$$

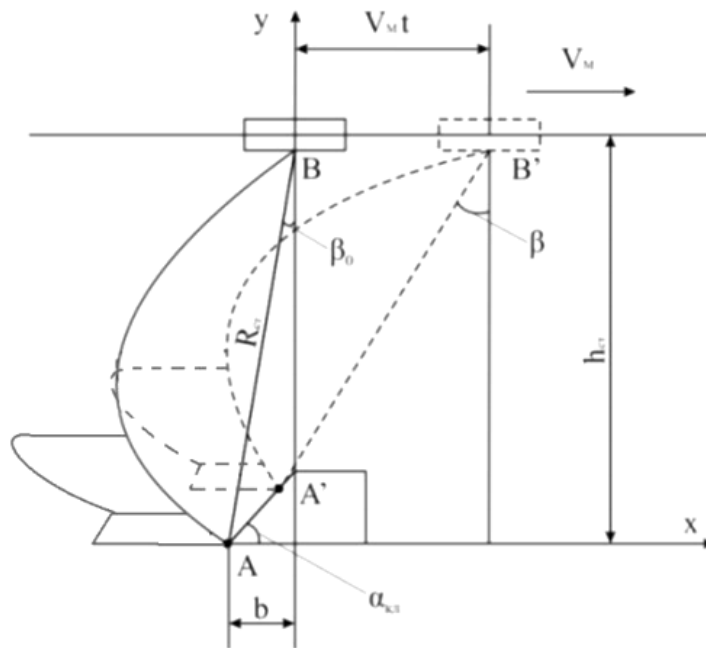


Рис. 2.6 – Схема до аналізу процесу обходу плоскої, похилої перешкоди.

Згрупуємо члени з $R_{\text{СТ}}$ в лівій частині, а решта перенесемо в праву частину:

$$R_{\text{СТ}} (\cot \alpha_{\text{кЛ}} \cdot \cos \beta - \sin \beta) = h_{\text{СТ}} \cot \alpha_{\text{кЛ}} - b - V_{\text{М}}t. \quad (2.5)$$

Введемо позначення:

$$A = \frac{h_{\text{СТ}} \cot \alpha_{\text{кЛ}} - b - V_{\text{М}}t}{R_{\text{СТ}}}.$$

І замінимо $\sin \beta$ на $\cos \beta$ по формулі:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}.$$

Тоді вираз (2.5) перепишеться у вигляді:

$$\cot \alpha_{\text{кл}} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta} - \sin \beta = A$$

Перетворення даного рівняння приводить його до виду:

$$\sin^2 \beta + \frac{2A}{\cot^2 \alpha_{\text{кл}} + 1} \cdot \sin \beta + \frac{A^2}{\cot^2 \alpha_{\text{кл}} + 1} - \frac{1}{\frac{1}{\cot^2 \alpha_{\text{кл}}} + 1} = 0. \quad (2.6)$$

Рівняння (2.6) являє собою квадратне рівняння, яке необхідно вирішити традиційним способом. Для цього, введемо позначення:

$$\sin \beta = z; B = \frac{2A}{\cot^2 \alpha_{\text{кл}} + 1}; C = \frac{A^2}{\cot^2 \alpha_{\text{кл}} + 1} - \frac{1}{\frac{1}{\cot^2 \alpha_{\text{кл}}} + 1}.$$

Тоді застосувавши підстановки, одержимо:

$$z^2 + Bz + C = 0 \quad (2.7)$$

Для рівняння (2.7) дискримінант D визначимо так:

$$D = B^2 - 4C.$$

Шукане значення кута β визначимо з виразу:

$$\beta = \sin^{-1} \left[\frac{-B + \sqrt{D}}{2} \right]. \quad (2.8)$$

Для знаходження значень кутової швидкості $\dot{\beta}$ продифференціюємо за часом рівняння (2.8).

Тоді отримаємо:

$$\dot{\beta} = \frac{V_M}{R_{cm} \cdot (\cot \alpha_{\text{кл}} \cdot \sin \beta + \cos \beta)}. \quad (2.9)$$

Диференціювання за часом вираження (2.9) дозволяє отримати вираз для кутового прискорення $\ddot{\beta}$:

$$\ddot{\beta} = \frac{V_M \dot{\beta} (\cot \alpha_{\text{кл}} \cdot \alpha_{\text{кл}} \cdot \cos \beta - \sin \beta)}{R_{cm} \cdot (\cot \alpha_{\text{кл}} \cdot \sin \beta + \cos \beta)^2}. \quad (2.10)$$

Підставивши вираз (2.9) в (2.10) отримаємо остаточний вираз для розрахунку кутової швидкості:

$$\ddot{\beta} = \frac{V_M^2 (\cos \beta \cdot \cot \alpha_{кл} - \sin \beta)}{R_{cm}^2 \cdot (\cot \alpha_{кл} \cdot \sin \beta + \cos \beta)^3} \quad (2.11)$$

2.3.2 Плоска вертикальна перешкода

Для аналізу кінематики процесу обходу плоскої вертикальної перешкоди скористаємося схемою 2.6. На підставі рис. 2.6 можемо записати:

$$\sin \beta = \frac{V_M t + b}{R_{cm}}$$

або кут повороту гряділя β буде:

$$\beta = \sin^{-1} \left[\frac{V_M t + b}{R_{cm}} \right]. \quad (2.12)$$

Продиференціювавши за часом вираз (2.12) знайдемо вираз для розрахунку кутової швидкості $\dot{\beta}$:

$$\dot{\beta} = \frac{V_M}{R_{cm} \sqrt{1 - \left(\frac{V_M t + b}{R_{cm}} \right)^2}}. \quad (2.13)$$

Продиференціювавши вираз (2.13) за часом знайдемо значення кутового прискорення $\ddot{\beta}$:

$$\ddot{\beta} = \frac{V_M^3 \cdot t + V_M^2 \cdot b}{R_{cm}^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{V_M t + b}{R_{cm}} \right)^2 \right)^{\frac{3}{2}}}. \quad (2.14)$$

Вирази (2.12) ... (2.14) дозволяють розрахувати значення β , $\dot{\beta}$ і $\ddot{\beta}$ для кожного певного значення часу t . Однак, так як ми проводимо розрахунки базуючись значеннями виглиблення Δh , то доцільним буде скористатися виразом наведеним раніше:

$$\beta = \cos^{-1} \left[\frac{h_{cm} - \Delta h}{R_{cm}} \right]. \quad (2.15)$$

Потім, на основі вищезгаданого, можемо визначити вираз для знаходження відповідного часу t :

$$t = \frac{1}{V_M} (R_{cm} \cdot \sin \beta - b). \quad (2.16)$$

Використовуючи отримані вирази та програмний апарат MathCad 10.0 виконуємо розрахунки на базі яких можна зробити деякі висновки. Так, при

обході вертикальної перешкоди зміщення нижньої частини лемеша b практично не впливає на значення виникаючих кутових швидкостей. Найбільший вплив на зміну кутового прискорення спричиняє поступальна швидкість машини V_M . Причому, всі значення прискорень позитивні, що відбивається на зростанні сил інерції, які в даному випадку будуть перешкоджати виглибленню секції [2, 3].

2.4 Хід і параметри установки запобіжника плуга

Довжину кронштейна запобіжника (мал. 2.7) $l_{кр} = |OA|$ слід вибирати з рівності стабілізуючих моментів. Нехай довжина кронштейна $l_{кр}$ нам задана. В процесі виглиблення на необхідну величину, точка A перейде в точку A' . Нехай точка A' знаходиться на прямій OY . Тоді відкладемо від прямої OY кут повороту секції при виглибленні з максимальної глибини (методика його розрахунку наведена вище). З точки A' проведемо пунктиром дугу $A'A$ сектора OAA' с кутом $\Delta\beta$. Тоді кут між віссю OX і кронштейном AO позначимо $\alpha_{кро}$.

Як видно з рис. 2.7:

$$\alpha_{кро} + \Delta\beta = \frac{\pi}{2},$$

або

$$\alpha_{кро} = \frac{\pi}{2} - \Delta\beta. \quad (2.17)$$

Якщо розглядати граничне положення кронштейна OA' , то точка кріплення запобіжника B повинна розташовуватися на прямій, що проходить через точки O і A' , тобто точки на осі OY .

Місце точки B на осі OY можна визначити з умови максимального моменту на початку спрацьовування M_0 який дорівнює добутку сили опору запобіжника $P_{кр}$ на довжину кронштейна $l_{кр}$, тобто

$$M_0 = P_{кр} \cdot l_{кр}. \quad (2.18)$$

Тоді з точки A під прямим кутом до кронштейну OA проводимо пряму до перетину з віссю OY . На місці перетину знаходиться точка B .

Відстань AB є довжиною запобіжника в початковому положенні, тобто $l_{про}$.

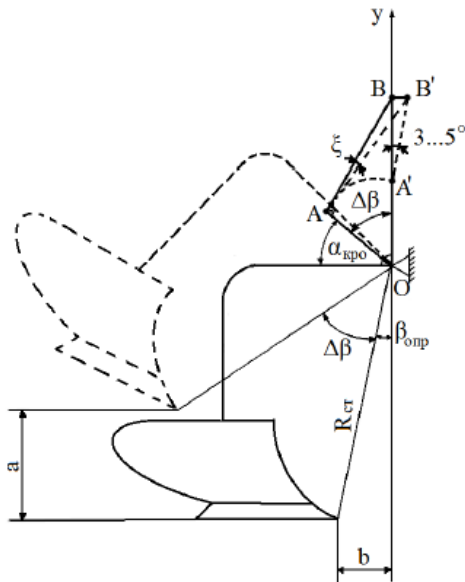


Рис. 2.7 – Схема до визначення ходу запобіжника

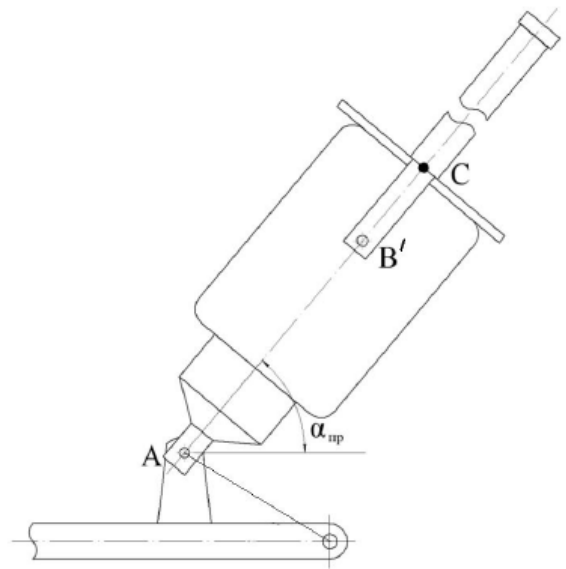


Рис. 2.8 – Схема до визначення точки B' на запобіжнику

Як видно з рис. 2.7:

$$l_{про} = l_{кр} \cdot \tan(\Delta\beta). \quad (2.19)$$

Хід запобіжника S дорівнюватиме:

$$S_{пол} = l_{про} - l_{A/B} = l_{про} - (l_{OB} - l_{кр}). \quad (2.20)$$

Значення l_{OB} визначиться з виразу

$$l_{OB} = \frac{l_{кр}}{\cos(\Delta\beta)}. \quad (2.21)$$

Тоді, підставивши (2.21) і (2.19) в (2.20) отримаємо:

$$S_{пол.} = l_{кр} \left(\frac{\sin \Delta\beta - 1}{\cos(\Delta\beta)} + 1 \right). \quad (2.22)$$

Вираз (2.22) дозволяє розрахувати хід запобіжника для його граничного стану. Однак, з огляду на те, що точки O , A і B знаходяться на одній лінії, можливо заклинювання запобіжника. Тому точку B , по аналогії з

кривошипно-шатунним механізмом двигуна внутрішнього згоряння, доцільно змістити вправо так, щоб кут $\sphericalangle BA'B'$ становив:

$$\sphericalangle BA'B' = 3 \dots 5^\circ = \gamma_{np}.$$

Виходячи з правил обчислення сторін косокутного трикутника довжина запобіжника l'_{np} буде становити:

$$\begin{aligned} l'_{np} = l_{AB'} &= l_{AB}^2 + l_{BB'}^2 - 2l_{AB} \cdot l_{BB'} \cdot \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= l_{AB}^2 + l_{BB'}^2 + 2l_{AB} \cdot l_{BB'} \cdot \sin\alpha. \end{aligned} \quad (2.23)$$

де $l'_{AB}, l_{AB}/l'_{BB}$ – сторони трикутника $\Delta ABB'$ (див. рис. 2.7).

Сторона l_{AB} дорівнює:

$$l_{AB} = l_{кр} \cdot \tan(\Delta\beta). \quad (2.24)$$

Сторона $l_{BB'}$ визначається з виразу:

$$l_{BB'} = l_{A'B'} \cdot \tan(\gamma_{np}),$$

або

$$l_{BB'} = l_{кр} \left(\frac{1}{\cos\Delta\beta} - 1 \right) \cdot \tan(\gamma_{np}). \quad (2.25)$$

Хід запобіжника S дорівнює

$$S_{пол} = l_{AB'} - l_{A'B'}. \quad (2.26)$$

Сторону $l_{A'B'}$, виходячи зі схеми визначимо як:

$$l_{A'B'} = \frac{l_{A'B}}{\cos(\gamma_{np})} = l_{кр} \left(\frac{1}{\cos\Delta\beta} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\cos(\gamma_{np})}. \quad (2.27)$$

Підставивши вирази (2.25) і (2.24) в (2.23), а потім отриманий вираз і залежність (2.27) в (2.26), отримаємо розгорнутий вираз для розрахунку ходу запобіжника:

$$\begin{aligned} S_{пол} = l_{кр} \left[\tan^2(\Delta\beta) + \left(\frac{1}{\cos(\Delta\beta)} - 1 \right)^2 \tan^2(\gamma_{np}) + 2 \tan(\Delta\beta) \cdot \left(\frac{1}{\cos(\Delta\beta)} - 1 \right) \times \right. \\ \left. \tan^2(\gamma_{np}) \cdot \sin(\alpha_0) \right]^{0,5} - \left(\frac{1}{\cos(\Delta\beta)} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\cos(\gamma_{np})}. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Вираз (2.28) являється розгорнутою залежністю для розрахунку ходу пневматичного запобіжника.

Кут ξ який необхідно врахувати при установці запобіжника:

$$\xi = \cos^{-1} \left[\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} \right] \quad (2.29)$$

Проаналізуємо зміна кута ξ . Для цього задаємося значеннями зміни кута $\Delta\beta = 40^\circ; 45^\circ; 50^\circ; 60^\circ; 65^\circ$ і довжиною кронштейна $l_{кр} = 0,2; 0,25; 0,3; 0,35$; м. Потім за формулами (2.17), (2.19) ... (2.25) і (2.29) можна розрахувати значення кута ξ .

В залежності від збільшення довжини кронштейна $l_{кр}$ хід штока запобіжника S зростає. Крім того, хід штока зростає і зі збільшенням кута виглиблення секції $\Delta\beta$. Беручи до уваги зручність розміщення запобіжника, кут його установки в межах від $\alpha_{np} = 48,6 \dots 53,8^\circ$ найбільш прийнятний. При цьому значення ходу не перевищує $S = 0,25$ м.

2.5. Сила опору пневматичного запобіжника

При спрацьовуванні пневматичного запобіжника додаткова камера, піднімаючись вгору, починає деформувати гумову подушку. Тиск всередині камери зростає, а сама вона набуває складну форму. Через встановлення пневматичної подушки поблизу додаткової камери, зростає сумарна сила опору запобіжника.

Припустимо, що поршень піднімається вгору, стискаючи камеру запобіжника (рис. 2.9). В результаті такого переміщення тиск в камері буде поступово наростати.

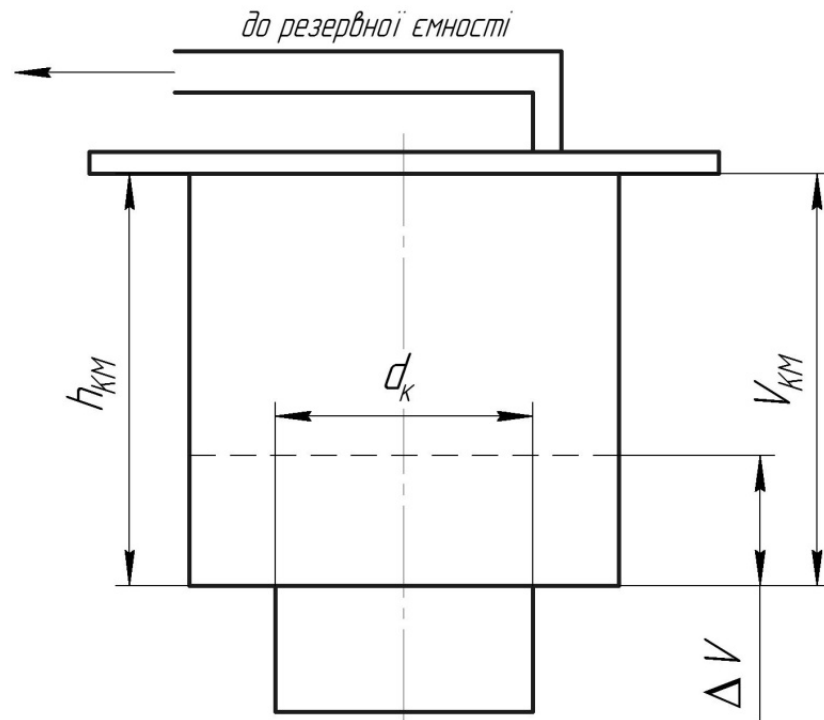


Рис. 2.9 – Схема пневматичного балона

При цьому змінюється об'єм повітря закачаного в пневмокамеру і його температура, тобто процес стиснення є політропічним. Якщо об'єм поршня змінюється повільно, то $n_1 = 1$, якщо швидко, то показник політропи $n_1 = 1,3 \dots 1,4$ [10, 11].

Цей процес багато в чому схожий з процесом стиснення повітря в двигуні внутрішнього згоряння і багатьох інших пристроях, що працюють зі стисненим повітрям [10, 46, 47]. Тому, цілком раціонально припустити що для початкового і кінцевого положення поршня справедливим буде співвідношення:

$$p_0 V_0^{n_1} = p_K V_K^{n_1} = const, \quad (2.30)$$

де: p_0, p_K - початковий і кінцевий тиск, МПа;

V_0, V_K - відповідно початкове і кінцеве значення об'єму запобіжника, м³; n_1 - показник політропи стиснення.

Зі співвідношення (2.30) будемо мати:

$$p_K = P_0 \cdot \left(\frac{V_0}{V_0 - \Delta V} \right)^{n_1} \quad (2.31)$$

де: ΔV - зміна об'єму, м³.

Якщо на плугові встановлено число корпусів n_k , а відповідно і кількість запобіжників - $n_{пр}$, тоді можна записати, що:

$$V_0 = V_{0пр} \cdot n_{пр} + V_{рпл}, \quad (2.32)$$

де: $V_{0пр}$ – початкове значення об'єму запобіжника, m^3 ; $V_{рпл}$ – об'єм резервної ємності плуга, m^3 .

У свою чергу об'єм запобіжника:

$$V_{0пр} = V_{ок} + V_{дк}, \quad (2.33)$$

де: $V_{ок}$ – об'єм гумової (основної) камери, m^3 ; $V_{дк}$ – об'єм в додатковій камері, m^3 .

Підставивши (2.33) в (2.32), отримаємо:

$$V_{0пр} = (V_{ок} + V_{дк}) \cdot n_{пр} + V_{рпл} \quad (2.34)$$

Підставивши (2.34) в (2.31), отримаємо:

$$p_k = p_0 \cdot \left(\frac{(V_{ок} + V_{дк}) \cdot n_{пр} + V_{рпл}}{(V_{ок} + V_{дк}) \cdot n_{пр} + V_{рпл} - \Delta V} \right)^{n_1} \quad (2.35)$$

Уточнимо останній вираз (2.35). Об'єм ΔV витісняється поршнем:

$$\Delta V = \frac{\pi d_{дк}^2}{4} \cdot S. \quad (2.36)$$

Однак, у міру підйому поршня його діаметр збільшується на $2\Delta\alpha_{ст}$. Тоді формула (2.36) набуде вигляду:

$$\Delta V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{дк} + 2\Delta\alpha_{ст})^2 \cdot S \quad (2.37)$$

До величини стиснення основної камери у формулі (2.37) $\Delta\alpha_{ст}$ доцільно прийняти рівним 0. Після того як стиснення відбудеться $2\Delta\alpha_{ст}$ необхідно враховувати.

У роботах [47, 48] робоче положення підвіски починається при стисненні основної камери на 77%. Тоді висота робочої камери H_{max} визначиться зі співвідношення:

$$H_{max} = 1,3S + H_{min} \quad (2.38)$$

Вираз (2.38) дозволяє розрахувати необхідну висоту основної камери. Тоді, з урахуванням (2.37) вираз (2.35) набуде вигляду:

$$p_k = p_0 \cdot \left(\frac{(V_{ок} + V_{дк}) \cdot n_{пр} + V_{рпл}}{(V_{ок} + V_{дк}) \cdot n_{пр} + V_{рпл} - \frac{\pi}{4} \cdot (d_{рк} + 2\Delta\alpha_{ст})^2 \cdot S} \right)^{n1} \quad (2.39)$$

Вираз (2.39) дозволяє визначити тиск всередині запобіжника вбудованого в ланцюг пневматичної запобіжної системи. Це дозволяє отримати прийнятні для практики результати за умови з'єднання запобіжників трубопроводами з великим діаметром і малою довжиною. В іншому випадку необхідно проводити більш точний розрахунок з урахуванням втрат напору застосовуючи рівняння Бернуллі.

2.6 Перспективна характеристика запобіжника плуга

Бажана характеристика запобіжника ґрунтообробного інструменту подано в роботах [46], де сказано, що по мірі виглиблення робочого органу при зустрічі з перешкодою запобіжник повинен забезпечувати незмінність тягового опору.

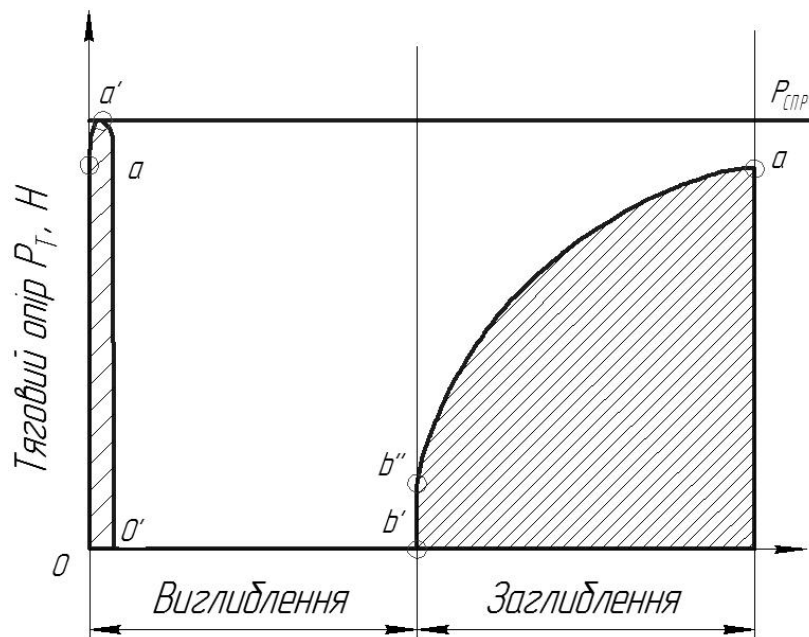


Рис. 2.10 – Перспективна розгорнута характеристика запобіжної системи плуга

Припустимо що на долото лемеша діє горизонтально спрямована сила тобто відбувається обхід вертикальної перешкоди. сила тертя спрямована уздовж межі вниз. У момент контакту леза лемеша з перешкодою при досягненні тяговим опором встановленого значення запобіжник спрацьовує

(Рис. 2.10, точка а). В ідеалі опір має миттєво впасти до 0 (точка О'). Потім починається, власне, процес проходження перешкоди (ділянка о'б). Далі, зусилля стає рівним зусиллю, достатньому для заглиблення робочого органу (точка б').

В цьому випадку, витрати енергії будуть йти тільки на заглиблення запобіжника (площа обмежена кривою bc). Витратами енергії на досягнення значення зусилля спрацьовування на початку процесу контакту леза лемеша з каменем можна знехтувати.

2.7 Динаміка обходу перешкоди

У процесі обходу корпусом плуга плоского або круглої перешкоди виникають сили інерції, які, в кінцевому підсумку, впливають на величину тягового опору. Складемо розрахункову схему (рис. 2.11).

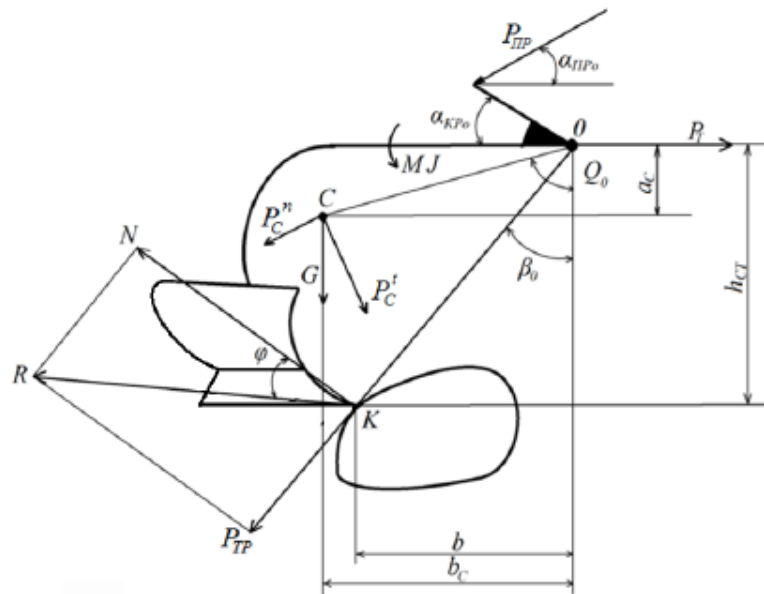


Рис. 2.11 – Схема до аналізу динаміки обходу перешкоди корпусом плуга

Незалежно від форми перешкоди в процесі його обходу необхідно, щоб дотримувалася умова [1, 3, 5]:

$$M_{CO}^J + M_{P_t} + M_G + M_N + M_{P_{TP}} + M_{P_{IP}} = 0, \quad (2.40)$$

де $M_{P_t}, M_G, M_N, M_{P_{TP}}, M_{P_{IP}}$ – відповідно моменти: тангенційної сили інерції; сили тяжіння; нормальної реакції; сили тертя; запобіжника, (Н·м);

M_{CO}^J - момент інерції корпусу відносно точки О, (Н · м).

Інерційний момент M_{CO}^J дорівнює:

$$M_{CO}^J = J_{zo} \cdot \ddot{\beta}, \quad (2.41)$$

де J_{zo} – момент інерції секції відносно горизонтальної осі, що проходить через точку О.

Момент нормальної сили інерції відносно осі повороту дорівнює нулю, тобто:

$$M_{P_n} = 0. \quad (2.42)$$

Момент від тангенціальної сили інерції відносно осі повороту:

$$M_{P_n} = -m_c \ddot{\beta} \cdot l_c^2 \quad (2.43)$$

де l_c - відстань від точки О до центра ваги, м; m_c – маса секції без урахування маси запобіжника, кг.

У свою чергу, відстань l_c буде:

$$l_c = \sqrt{a_c^2 + b_c^2}. \quad (2.44)$$

де a_c, b_c – координати центра ваги, м.

Момент від сили тяжіння відносно осі повороту

$$M_G = -m_c \cdot g \cdot \sin(Q_0 + \Delta\beta). \quad (2.45)$$

де Q_0 – кут між прямою, що проходить через центр ваги (точка С) і точку О та вертикальною прямою, що проходить через точку О.

Кут Q_0 визначиться з виразу:

$$Q_0 = \tan^{-1} \frac{a_c}{b_c}. \quad (2.46)$$

Момент від сили опору запобіжника

$$M_{P_{\text{ПП}}} = P_{np} \cdot l_{kp} \cdot \cos\left(\alpha_{окр} + \Delta\beta + \alpha_{np} - \frac{\pi}{2}\right).$$

Використовуючи властивість:

$$\cos \alpha = \cos(-\alpha), \quad \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \sin \alpha,$$

можемо записати:

$$M_{P_{\text{ПП}}} = P_{np} \cdot l_{kp} \cdot \sin(\alpha_{окр} + \Delta\beta + \alpha_{np}). \quad (2.47)$$

Моменти M_N і $M_{P_{\text{ПП}}}$ будуть залежати від форми і фізико-механічних властивостей перешкоди, в зв'язку з чим вираз для їх визначення виводиться для кожного типу перешкоди окремо.

Для того, що б визначити силу тягового опору виникає при обході перешкоди, можна записати ще одне рівняння, застосувавши метод кінетостатики:

$$-N \cdot \cos \varepsilon - N \cdot \tan \varphi \cdot \sin \varepsilon - P_n \cdot \sin(Q_0 + \Delta\beta) + P_t \cdot \cos(Q_0 + \Delta\beta) - P_{np} \cdot \cos \alpha + P_T = 0.$$

Висновок по розділу

Розроблено аналітичні залежності для розрахунків: висоти стійки корпусу плуга, призначеного для обробки скельного ґрунту; кутової швидкості і кутового прискорення секцій плуга, що виникають при обході перешкод різної форми; сили тиску і опору пневматичного запобіжника.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛУГА З ПНЕВМАТИЧНОЮ ЗАПОБІЖНОЮ СИСТЕМОЮ

3.1 Обладнання та методи експериментальних досліджень

3.1.1 Методика визначення тиску в запобіжнику та сили опору

Для вивчення залежності зміни тиску і сили опору пневматичного запобіжника від величини стиснення, попередньо нами була створена установка схема якої представлена на рис. 3.1.

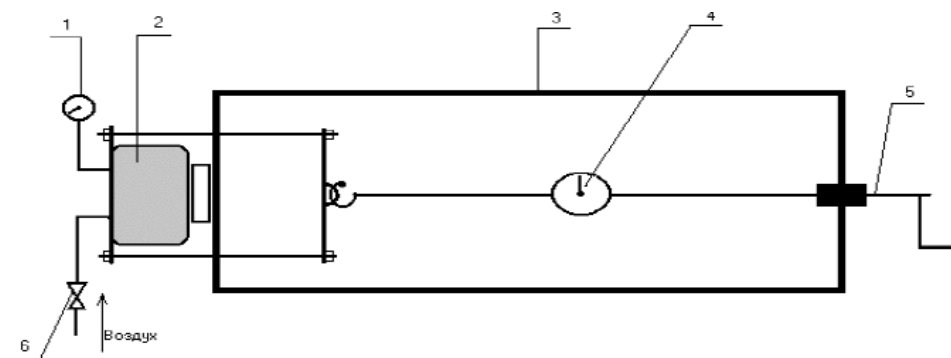


Рис. 3.1 – Схема установки для динамометрування пневматичної камери запобіжника: 1 – манометр; 2 – пневматична камера; 3 – рама установки; 4 – динамометр ДПУ-5-2 ГОСТ 13837-68; 5 – натяжний пристрій; 6 – впускний клапан.

У процесі дослідження запобіжника задавалися значення тиску в його камері від 0,1 МПа до 0,6 МПа. При проведенні експериментів вимірювалися і записувалися показники: тиск, зусилля опору, величина стиснення запобіжника.

Результати вимірювань заносилися в програму MS Excel, в якій оброблялися відповідно до поставлених завдань.

Дослід проводили при тиску в пневмосистемах: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 МПа. Пневмокамери попередньо стискалися до 380 мм, хід стиснення склав $S = 220\text{мм}$ (без демпфера відбійника тобто з 380мм до 160мм).

Під час проведення досліду, за допомогою манометра, встановленого на пневмозапобіжник, фіксувалося значення приросту тиску p (МПа) при

стисненні пневмокамери. З шкали стенду знімалося відповідне зусилля опору P (Н) пневматичного запобіжника. Показання знімалися через кожні 10 мм стиснення запобіжника.

Швидкість стиснення підбиралася такою, щоб фіксація значень могла здійснюватися з їх одночасним записом в робочий зошит.

3.1.2 Методика дослідження обходу штучної перешкоди

Для дослідження процесу обходу штучної перешкоди модернізованим корпусом плуга використовувалася машина, що дозволяє досліджувати тяговий опір робочих органів різних ґрунтообробних машин методом лінійного динамометрування. Кінематична схема машини і принцип її роботи описані в [46].

Для проведення вимірювань застосовувалося обладнання на базі вимірювального комплексу ZetLab з багатоканальним АЦП Zet 210 і диференціальним підсилювачем Zet 411, які мають широкий діапазон програмного забезпечення для візуалізації. Реальні показники можуть відрізнитися.

Вимірювальна апаратура в комплекті з програмним забезпеченням дозволяє зчитувати інформацію від 1 до 1000 разів в секунду.

З огляду на те, що робочі органи можуть містити в конструкції різні приводи (пневматичні, електричні) машина оснащена малогабаритною електростанцією (генератором) і компресором з ресивером і регулятором. Наявність електростанції також не обмежує дослідника у виборі вимірювального і підсилювального обладнання та дозволяє використовувати різноманітні прилади й датчики з живленням від змінної електричної мережі, наприклад датчик тиску серії ЗОНД-10-ВД з трансформаторним блоком живлення БПТ-24.

Загальний вигляд машини з встановленим на ній експериментальним зразком плугового корпусу представлений на малюнку 3.1. Для імітації процесу обходу каменю робочим органом, на рівному асфальтованому

майданчику встановлювалося штучна перешкода (Рис. 3.2), що являє собою посилений сталевий лист товщиною 14 мм і шириною 600 мм, встановлений під кутом 60...75° на глибину до 800 мм і висотою над рівнем поверхні 270 мм.



Рис. 3.1 – Загальний вигляд дослідної установки із встановленим на неї обладнанням та експериментальним зразком корпусу плуга: 1 – основна рама; 2 – підвісна рама з встановленим тензорним датчиком; 3 – опорне колесо з гвинтовим механізмом на стійці; 4 – обладнання для вимірювань із АЦП, 5 – датчик швидкості руху з приводом від опорного колеса; 6 – експериментальний робочий орган із встановленим на стійці тензодатчиком; 7 – компресорна установка; 8 – малогабаритна електростанція.

Для зменшення тертя при взаємодії робочого органу з листом, на робочий орган було встановлено підшипник кочення або металічний циліндр (рис. 3.2).

В процесі проведення дослідів змінювалися такі параметри, як висота обходу, швидкість наїзду та початковий тиск в камері пневматичного запобіжника.



Рис. 3.2 – Загальний вигляд штучно створеної перешкоди

Для вимірювання тягового опору, на випробувальну машину встановлювався тензометр НАТІ, який являє собою кільце з наклеєними всередині чотирма тензодатчиками. Датчики нами були переклеєні, ми використовували тензометричні резистори марки PFL-30-11 японського виробництва. Схема включення тензометричного динамометра в ланцюг наведена на рис. 3.3. Потім проводилася калібрування тензометричної ланки. Для цього до секції плуга кріпився одним кінцем динамометр ДПУ-30К, який іншим кінцем фіксувався до нерухомій опорі. На рис. 3.4 наведена графічна залежність між показниками АЦП і силою розтягу динамометра (тяговий опір РТ).

Як видно з рис. 3.6. між показаннями АЦП і тяговим опором існує прямо пропорційна залежність.

Для запису вимірюваних значень швидкості був задіяний канал аналого-цифрового перетворювача Zet210, виходи якого були підключені до двокаскадного підсилювачу приладу ТЕ30-5Р.

Для того, щоб на екрані комп'ютера осцилограми швидкості руху відображалися в координатах час-швидкість руху (м / с) необхідно було

закладати в програмний комплекс ZetLab перерахунок отриманих сигналів. Для цього слід мати на увазі, що передавальне відношення від колеса до валу датчика швидкості 1:10. Таким чином, перерахунок числа обертів вала датчика швидкості знайденому по рівняннях калібрування в значення поступальної швидкості машини не має складностей.

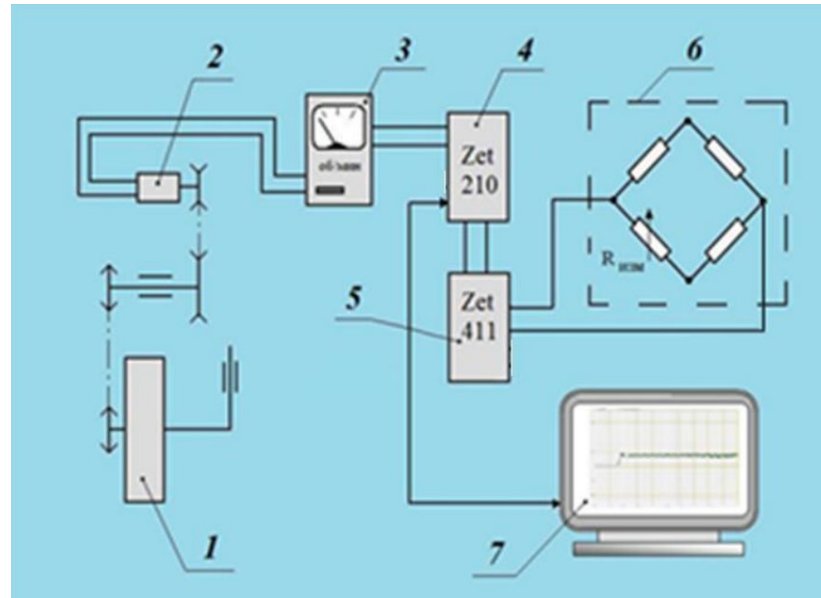


Рис. 3.3 – Схема вимірювань тягового опору і швидкості в розробленій машині: 1 – опорне колесо; 2 – датчик обертів з приводом; 3 – електронний тахометр GE30-5P; 4 – багатоканальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) Zet 210; 5 – диференційний підсилювач Zet 411; 6 – схема тензометричного моста динамометра; 7 – ПК з програмним забезпеченням вимірювального комплексу ZetLab.

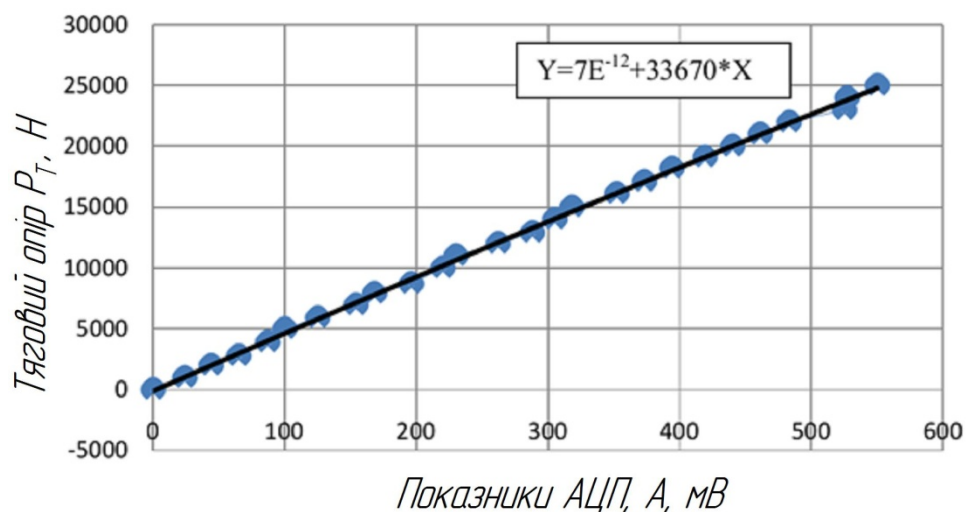
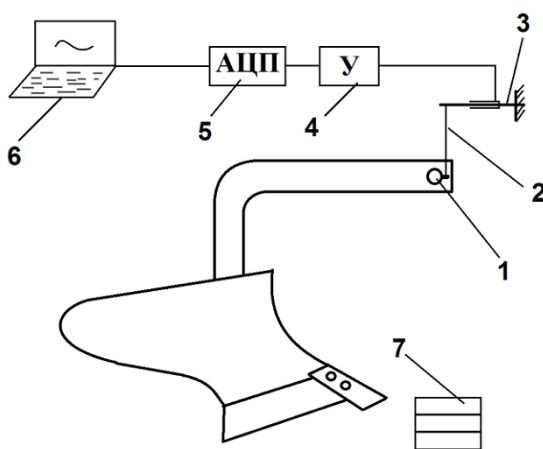


Рис. 3.4 – Графічна залежність між показаннями АЦП і силою розтягу

Вимірювання величини виглиблення корпусу плуга спочатку проводилося лінійкою. Тобто, при подоланні корпусом плуга штучної перешкоди трактор загальмовують, на екрані комп'ютера осцилограма мала характерну горизонтальну лінію, а потім лінійкою вимірювалося відстань від основи перешкоди до нижньої частини лемеша.

Надалі, для реєстрації висоти виглиблення машини використовувався тензометричний метод (рис. 3.5).



а)



б)

Рис. 3.5 – Вимірювання величини виглиблення корпусу плуга: а – схема вимірювання; б – секція плуга із закріпленою пластинкою для вимірювання виглиблення; 1 – втулка секції; 2 – нитка; 3 – тензометрична пластинка; 4 – підсилювач; 5 – АЦП; 6 – ноутбук; 7 – дерев'яні підкладки.

Вимірювання величини виглиблення відбувалося наступним чином. До втулці секції 1 кріпилася нитка 2, з'єднана іншим кінцем з тензометричною пластинкою 3. Сигнал від тензодатчиків пластини надходив в тензометричний підсилювач 4 (Zet 411) і аналого-цифровий перетворювач 5 (Zet 210). З підсилювача сигнал надходив в ноутбук 6, де записувався на жорсткий диск і виводився на екран у вигляді осцилограм.

3.2 Залежність тиску в запобіжнику і сили його опору від ходу штока і початкового тиску

Таким чином нами була проведена серія експериментів з дослідження зміни тиску запобіжнику і розвивається їм сили опору в залежності від величини ходу штока і початкового тиску в запобіжнику при приєднанні до нього резервної ємності рівній 2,5 об'єму запобіжника.

З рис. 3.6 видно, що при стисненні запобіжника на 90 мм, на кривих зміни сили опору чітко спостерігається пік. Потім при значенні ходу штока рівному 120 ... 130 мм на кривій чітко спостерігалася западина, а при $S = 140$ мм значення сили опору було трохи більшим.

Введемо поняття коефіцієнтів приросту сили опору і приросту тиску (табл. 3.1), які визначаються за виразами:

$$K_p = \frac{P_{S=140}}{P_{S=0}}, \quad (3.1)$$

$$k_p = \frac{P_{S=0}}{P_0}, \quad (3.2)$$

де $P_S = 140$, $P_S = 0$ значення сили опору запобіжника (Н) при ході штока $S = 0$ мм, $S = 140$ мм.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти приросту сили опору пневматичного запобіжника K_p і тиску k_p

№ п/п	Показник	Значення коефіцієнтів при початковому тиску p_0 , (МПа)				
		$p_0 = 0,1$	$p_0 = 0,2$	$p_0 = 0,3$	$p_0 = 0,4$	$p_0 = 0,5$
1	Коефіцієнт приросту сили K_p	1,74	1,43	1,73	1,88	1,82
2	Коефіцієнт приросту тиску k_p	1,22	1,1	1,19	1,2	1,18

Як видно з таблиці 3.1 при зміні початкового тиску в межах 0,1 ... 0,5 МПа відповідні коефіцієнти складають $k_p = 1,1 \dots 1,22$; $K_p = 1,43 \dots 1,88$. Значення даних коефіцієнтів при тиску $p_0 = 0,4$ і $p_0 = 0,5$ МПа в середньому складають $K_p = 1,85$, $k_p = 1,19$.

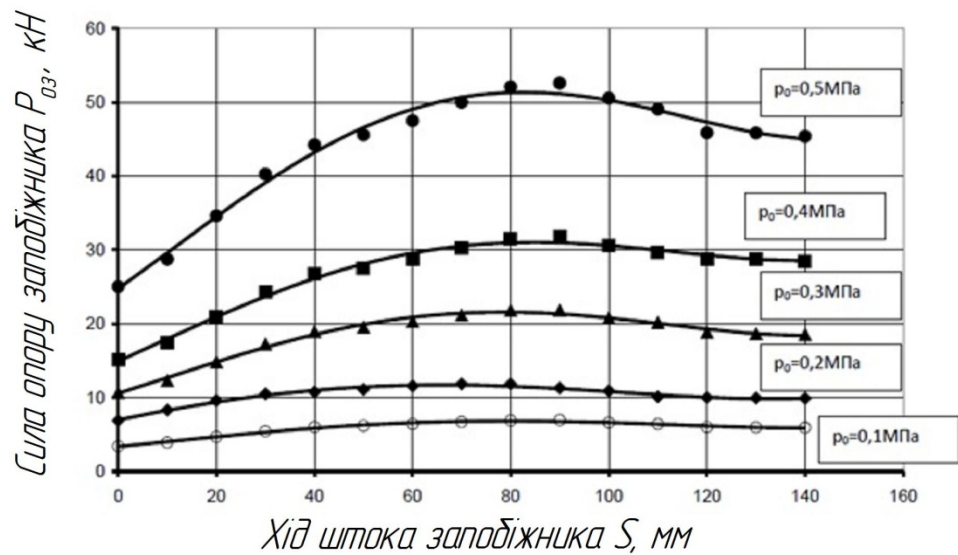


Рис. 3.6 – Зміна сили опору пневматичного запобіжника в залежності від величини ходу штока і початкового тиску

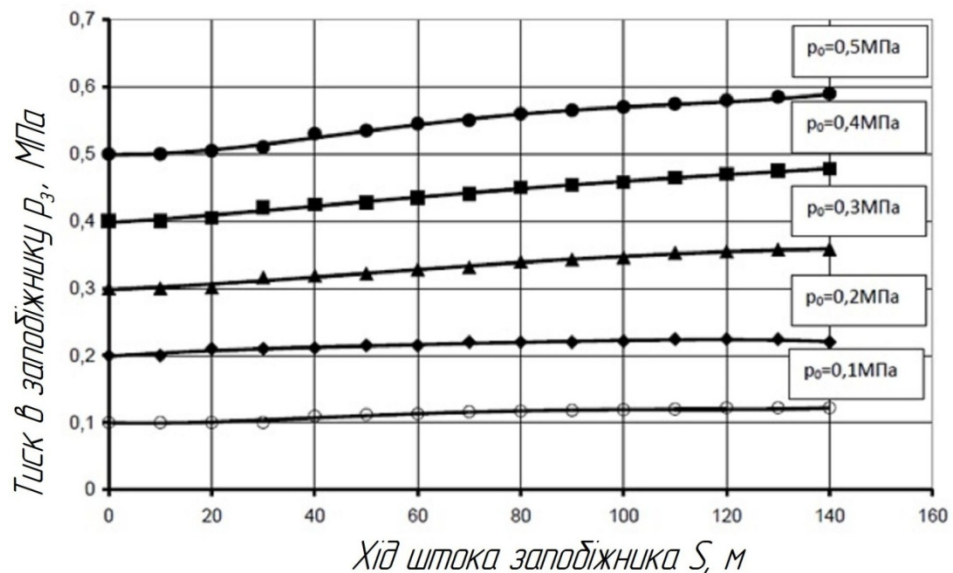


Рис. 3.7 – Зміна тиску в пневматичному запобіжнику в залежності від величини ходу штока і початкового тиску

Таким чином, при зазначеному діапазоні ходу штока запобіжника, в разі приєднання до нього резервної ємності з об'ємом рівним 2,5 його обсягами, приріст сили опору знижується на 49%, а тиск на 28% в порівнянні з випадком стиснення запобіжника без резервної ємності.

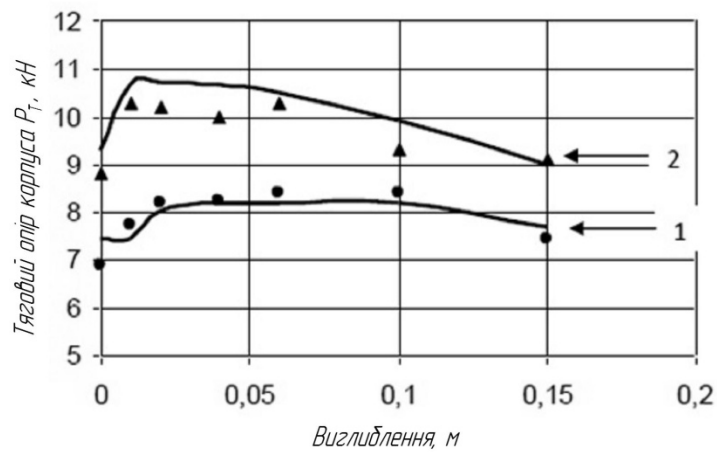
Різке наростання тиску всередині пневматичного запобіжника і сили його опору, однозначно говорить про недоцільність застосування такої

конструкції в якості пневматичного запобіжника, що не оснащуючи його резервної ємністю або не поєднати його з іншими запобіжниками.

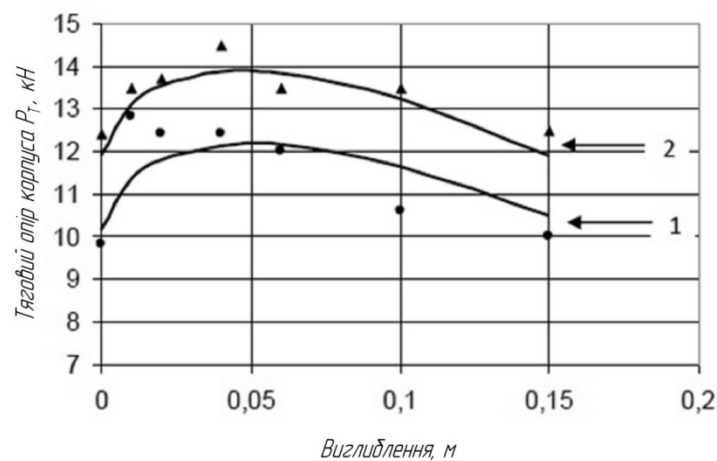
Починаючи з тиску $p_0 = 0,3$ МПа і вище, криві зміни сили опору набувають близьку один до одного форму.

3.3 Експериментальні дослідження роботи запобіжної системи при обході штучної перешкоди

На рис 3.8 представлені результати експериментальних досліджень тягового опору модернізованої секції плуга з пневматичним запобіжником при обході нею штучної плоскої перешкоди.



а)



б)

Рис 3.8 – Експериментальне і теоретичні залежності тягового опору секції плуга, оснащеної пневматичним запобіжником від виглиблення: а) 1 – при початковому тиску $p_0 = 0,3$ МПа; 2 – при початковому тиску $p_0 = 0,4$ МПа; б) 1 – при початковому тиску $p_0 = 0,5$ МПа; 2 – при початковому тиску $p_0 = 0,6$ МПа.

Експериментальні значення нанесені у вигляді точок. На цьому ж малюнку наведені розрахункові криві процесу обходу, отримані на базі теоретичних досліджень.

Як видно з графіка, теоретичні криві досить непогано відображають процес, проте, сам діапазон виглиблення дуже невеликий – до 0,15 м. При заданих розмірах корпусу, тяговий опір секції при обході плоскої перешкоди спочатку зростає, а потім плавно починає знижуватися.

Зі збільшенням початкового тиску p_0 максимальне значення тягового опору набуває більших значень. Так, якщо при $p_0 \leq 0,4$ МПа приріст тягового опору $\Delta P_T = 1,4 \dots 1,6$ кН, то при $p_0 \leq 0,5 \dots 0,6$ МПа $\Delta P_T = 2$ кН.

В цілому, як видно за результатами експерименту розроблена запобіжна система має вельми задовільні характеристики, тобто в заданому діапазоні виглиблення забезпечує досить «м'яке» спрацьовування.

Після проведення лабораторних досліджень секції плуга з пневматичним запобіжником, для порівняння і визначення доцільності розробленої запобіжної системи, нами також були проведені дослідження процесу обходу штучного перешкоди секцією плуга з ресорним запобіжником і секцією плуга з гідропневматичним запобіжником.

За отриманими даними побудовані графіки залежності приросту зусилля від виглиблення (рис 3.9).

Таблиця 3.2 – Залежність тягового опору корпусу плуга з ресорним запобіжником від виглиблення і величини попередньої натяжки запобіжника

Виглиблення, мм	Тяговий опір в залежності від попереднього стиснення ресори, Н					
	0 мм	5 мм	10 мм	15 мм	20 мм	25 мм
0	7210	7860	7330	7460	7640	7310
30	7840	8170	7710	7870	7760	7580
60	8180	8470	8170	8000	8090	8140
90	8730	8880	8680	8330	8510	8340
120	9210	9210	8740	8640	8800	8520
150	9270	9450	9000	8830	9090	8700

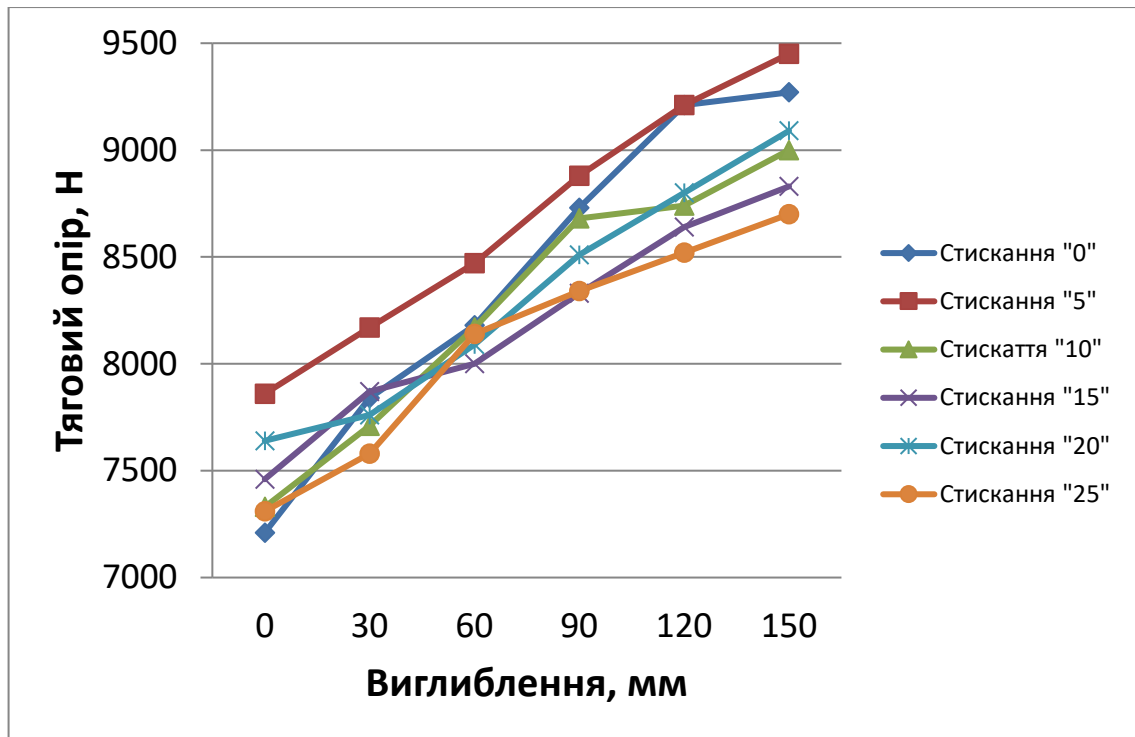


Рис. 3.9 – Залежність тягового опору секції плуга, оснащеної ресорним запобіжником від величини виглиблення.

Як видно з таблиці 3.2 і отриманих графіків тягового опору корпусу плуга з ресорним запобіжником (рис. 3.9), найбільш прийнятна характеристика для роботи на полях засмічених камінням є характеристика з попереднім стисненням ресори в 5 мм.

При цьому, максимальний приріст тягового опору склав 2,06 кН при стисканні ресори на 0 мм. мінімальний приріст склав 1,37 кН при стисканні ресори на 15мм. Отримані результати говорять про те, що ресорний запобіжник забезпечує м'яке спрацьовування секції.

Таблиця 3.3 – Залежність тягового опору корпусу плуга з гідропневматичним запобіжником від виглиблення і величини заданого тиску в пневмогідроаккумуляторі

Виглиблення, мм	Заданий тиск в циліндрі, Н					
	4 МПа	5 МПа	6 МПа	7 МПа	8 МПа	9 МПа
0	14635	18498	20943	24295	26863	28158
30	15430	18830	21600	24790	27340	29820
60	18335	19742	23217	25975	28537	32522
90	20720	20738	25188	27460	29968	37508
120	23105	21734	27159	28945	31399	42494
150	25490	22730	29130	30430	32830	47480

На наступному етапі нами вивчалися характеристики секції оснащеної гідропневматичним запобіжником. У таблиці 3.3 наведені результати досліджень, за якими побудовані графіки, представлені на рис. 3.10.

Аналізуючи матеріали таблиці 3.3 і рис. 3.6 можна зробити висновок, що гідропневматичний запобіжник забезпечує більш високі значення початку спрацьовування, тобто можливість експлуатації плуга в найважчих умовах.

Разом з тим, тільки при виглибленні корпусу плуга на 15 см тяговий опір зростає на 22 ... 74%.

Якщо провести оцінку приросту тягового опору секції з ресорним запобіжниками, то легко встановити, що значення приросту тягового опору становить 18,4 ... 27,7%.

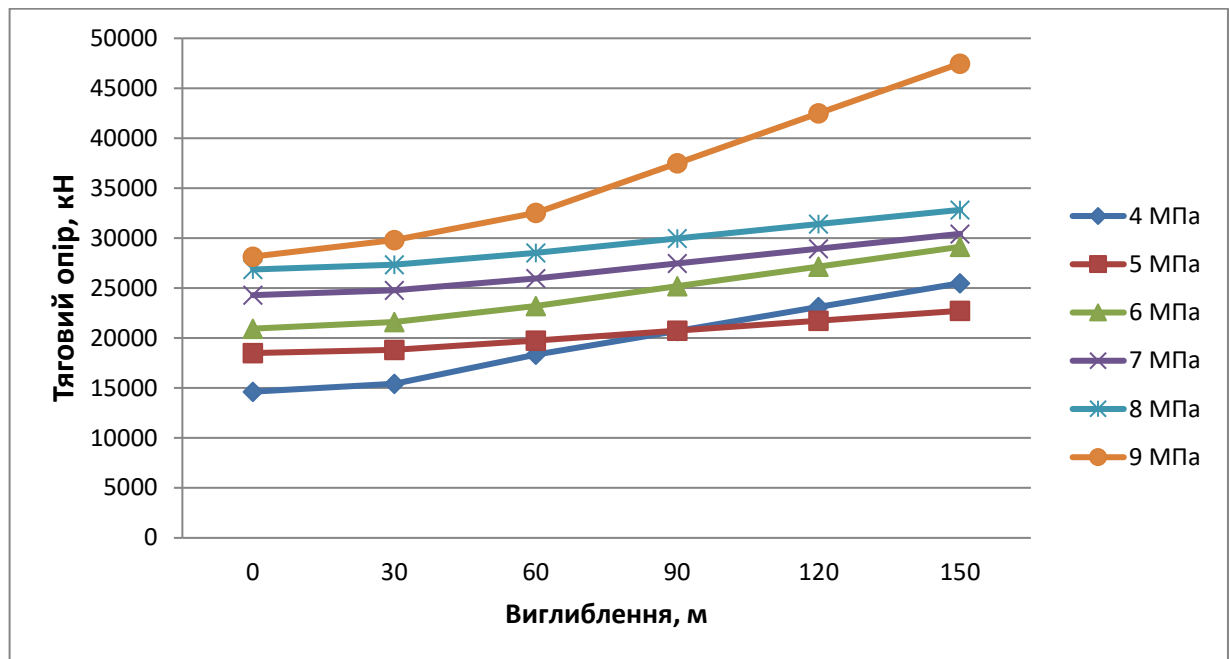


Рис. 3.10 – Залежність тягового опору секції плуга, оснащеної гідропневматичним запобіжником від виглиблення.

Далі нами був проведений експеримент по динамометруванню процесу виглиблення секції встановленої безпосередньо на плузі.

3.4. Результати польових досліджень експериментальної секції плуга

Випробування зафіксували швидкість руху, тяговий опір, свердління корпусу, а в деяких експериментах - горизонтальну силу, що діє на стійку плуга під час свердління секції, та тиск повітря в системі безпеки. Середня швидкість агрегату становила 1,5 м / с.

Як видно з експерименту 1... Як показано на малюнку 5, його проводять при глибині оранки 180 мм, а середнє значення відхилення від заданої глибини оранки проводять в експерименті 4...6, мінімальне значення відхилення отримують при тиску у запобіжнику 0,5 і 0,6 МПа (досліди 5 і 6).

Таблиця 3.4 - Результат польових експериментів по дослідженню тягового опору експериментального корпусу плуга оснащеного пневматичним запобіжником

№ п/п	Глибина оранки, м · 10 ⁻³	Тиск, МПа	Середнє значення тягового опору, P _{ср} , Н	Максимальное значення тягового опору, P _{ср} + 3σ, Н	Среднее значение зміни глибини, Δh _{ср} , мм	Максимальне значення зміни глибини, Δh _{ср} + 3σ, мм
0	1	2	3	4	5	6
1	180	0,2	4370	8690,4	11,65	35,9
2		0,3	4728	9627	12,29	45,9
3		0,4	4576	9242	3,5	14,6
4		0,5	4742	9065	3,5	10,1
5		0,6	4465	10777	4,1	11,3
6	200	0,2	4895	8381	32,2	82,6
7		0,3	4988	8945	11,9	22,6
8		0,4	6069	12543	14,6	57,2
9		0,5	4844	9665	3,8	11,2
10		0,6	5694	10650	4,5	10,5
11	220	0,2	5475	9492	47,7	126,5
12		0,3	5516	9101	43,8	113,1
13		0,4	7121	13634	20,9	73,7
14		0,5	4962	10800	3,8	7,7
15		0,6	5085	8721	4,9	10,6
16	250	0,2	5791	10240	37,4	108,5
17		0,3	5209	9883	15,5	51,8
18		0,4	6569	12602	15,2	47,9
19		0,5	7446	12150	4,6	13
20		0,6	4823	8783	0,8	2,9
21	280	0,2	6433	9892	44,5	107,5
22		0,3	7596	12558	31,8	93
23		0,4	8149	14245	26,7	88,8
24		0,5	7780	15175	10,2	36,3
25		0,6	5401	10090	3,1	5,5

Це також зрозуміло з досвіду 1...5. Мінімальне значення середнього значення тягового опору спостерігається при тиску в запобіжнику 0,2; 0,4...0,6 МПа. Оскільки є значне відхилення від заданої глибини оранки, від тиску 0,2 МПа слід відмовитися. Отже, при глибині оранки 0,18 м тиск повітря у детонаторі має бути не менше 0,4 МПа.

Аналіз експериментальних даних на глибині оранки 0,2...0,22 м означає, що тиск повітря в запобіжнику становив 0,5 у всіх експериментах...Було мінімальне відхилення від глибини 0,6 МПа, яка була набором для вирощування. З тієї ж серії експериментів, при глибині оранки 0,22 м, тиску повітря 0,5 МПа у детонаторі середнє значення тягового опору склало 4902 н, а при тиску повітря 0,6 МПа середнє значення тягового опору склало 5085 н... 0,22 м, рекомендується встановити значення тиску з 0,5 МПа до запобіжної системи плуга.

З результатів досліджень, проведених на глибині обробітку ґрунту 0,25 м... Для 0,28 м можна зробити висновок, що відхилення від заданої глибини оранки відбувається при тиску у детонаторі 0,6 МПа. Однак при глибині оранки 0,25 м максимальне значення відхилення становить 0,013 м, що означає, що незначне зниження твердості ґрунту означає, що якісна оранка можлива при тиску повітря у запобіжнику 0,5 МПа.

Всі експерименти проводилися без попереднього стиснення повітряної камери детонатора. Як показано вище, при попередньому стисненні камери на величину 5-7 см можна очікувати більш стабільної роботи пневматичної системи і зниження тиску повітря.

Висновок по розділу

Таким чином нами була проведена серія експериментів з дослідження зміни тиску запобіжнику і розвивається їм сили опору в залежності від величини ходу штока і початкового тиску в запобіжнику при приєднанні до нього резервної ємності рівній 2,5 об'єму запобіжника. В цілому, польові випробування секції підтверджують її високу практичну корисність.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Окрім основних аспектів охорони праці, при обробітку ґрунту плугом є ще кілька важливих моментів, на які варто звернути увагу для забезпечення безпеки працівників та ефективності роботи.

4.1. Особливості роботи з плугом в різних умовах роботи

Обробіток важких ґрунтів (глинисті, засолені): на таких ділянках, де ґрунт важкий і вологий, плуг може потребувати більше зусиль для роботи. Важливо перевіряти правильність регулювання глибини обробітку і кута атаки плуга, щоб запобігти перевантаженню трактора.

Кам'янисті та скелясті ділянки: на таких територіях збільшується ризик пошкодження плуга. Тому необхідно регулярно перевіряти стан робочих органів на наявність тріщин або затуплених частин, а також забезпечити наявність додаткових інструментів для очищення плуга від каміння, щоб запобігти забиванню або поломці.

Обробіток ґрунту з вищими рослинами: якщо на полі є залишки рослин або бур'яни, потрібно забезпечити додаткові заходи безпеки, щоб уникнути забивання плуга. Це також допоможе зменшити навантаження на трактор.

Безпека при роботі з потужними тракторами:

Перевантаження трактора: важливо не допустити перевантаження трактора, оскільки це може призвести до його перевертання або поломки. Для цього необхідно регулювати глибину обробітку ґрунту та використовувати трактори відповідної потужності.

Правильна техніка руху: при роботі на великій площі або в умовах обмеженого простору важливо дотримуватися певної техніки руху — трактор повинен рухатись рівно, без різких маневрів, що дозволяє зберегти стійкість техніки. Необхідно регулярно змінювати напрямок руху, щоб не допустити надмірного зношування або ускладнення роботи.

Безпека під час ремонту та обслуговування плуга:

Проводити ремонт тільки на зупиненій техніці: перед виконанням будь-яких робіт, пов'язаних з ремонтом або обслуговуванням плуга, треба переконатися, що трактор вимкнений, а плуг відключений від зчеплення.

Використання спеціальних інструментів: під час ремонту потрібно використовувати лише перевірені інструменти, що відповідають стандартам безпеки. Особливо це стосується заміни лез та інших гострих частин, де є ризик травмування.

Застосування захисних засобів: при ремонті плуга необхідно користуватися спеціальними захисними засобами: рукавичками, окулярами, а також стежити за тим, щоб поверхня робочих органів була знежирена, що допомагає уникнути травм під час маніпуляцій.

4.2. Навчання та інструктаж персоналу

Індивідуальна інструкція для операторів: кожен оператор трактора та плуга повинен пройти інструктаж щодо безпечної експлуатації, вивчити правильну техніку роботи з машинами, а також правила першої допомоги в разі травм.

Застосування передових технологій: сучасні плуги часто оснащуються системами автоматичного управління, тому важливо навчити працівників правильно користуватися новими технологіями для підвищення продуктивності та зниження ризиків при роботі.

Висока температура повітря: на великих фермах у спекотні дні працівники повинні забезпечувати себе водою для пиття, уникати перегріву, носити легкий, але захисний одяг. Крім того, потрібно враховувати технічні обмеження, пов'язані з перегрівом трактора.

Низька температура: в холодну пору року можна зіткнутися з проблемами, такими як обмерзання робочих частин плуга чи трактора. Це може призвести до пошкодження техніки, тому важливо заздалегідь

проводити технічне обслуговування, вчасно обробляти техніку проти іржі та обмерзання.

Екологічні заходи при обробітку ґрунту:

Захист навколишнього середовища: обробіток ґрунту плугом також має екологічний аспект. Необхідно уникати надмірного витягування ґрунту або обробітку на ділянках, де це може призвести до ерозії або зниження родючості.

Зменшення шумового забруднення: сучасні трактори зазвичай оснащені системами для зменшення шуму, що позитивно впливає на здоров'я працівників і навколишнє середовище.

Вирішення аварійних ситуацій:

План дій у разі поломки: необхідно знати порядок дій у разі поломки техніки, особливо в ізольованих місцях, де можуть бути відсутні засоби зв'язку. Працівники повинні бути готові викликати технічну допомогу або здійснити дрібний ремонт своїми силами.

Евакуація: у разі серйозної аварії на полі необхідно мати план евакуації або доступ до транспорту для безпечного виходу з небезпечної зони.

Своєчасне обслуговування: для продовження терміну служби плуга та трактора потрібно проводити планове технічне обслуговування — замінювати зношені частини, перевіряти роботу трансмісії, системи охолодження, гальмівних механізмів тощо.

Висновок по розділу

З часом з'являються нові моделі плугів та тракторів з покращеними технічними характеристиками, тому варто регулярно оновлювати техніку для підвищення ефективності роботи. Загалом, дотримання належних заходів охорони праці при обробітку ґрунту плугом забезпечує безпеку працівників, знижує ризик технічних поломок і підвищує продуктивність роботи.

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

5.1 Результати польових випробувань дослідних зразків плуга ППП-5-35

В якості базової моделі ми вибрали напівнавісний плуг PGP-5-35, який після модернізації був перейменований в ППП-5-40 (рис. 1). 5.1). Роботи полягали в заміні корпусу з шириною захвату 40 сантиметрів і корпусу з шириною захвату 35 см від компанії "Формаш-Нева". Потім був виготовлений новий кронштейн для установки пневматичних запобіжників, а також спроектована і виготовлена сама запобіжна пневматична система, яка включала в себе резервний бак і підключений до нього пневматичний запобіжник.



Рис. 5.1 – Плуг ППП-5-35: 1 – рама; 2 – кронштейн; 3 – резервна ємність; 4 – регульовальне колесо; 5 – опорне колесо; 6 – стійка секції; 7 – пневматичний запобіжник; 8 – трубопроводи.

1. Одна стійка плуга в корпусі поєднана з запобіжником і розташована поверх кронштейна з контактною пластиною. Остання підключена до блоку управління. Манометр тиску встановлений на блоці управління, світлодіоди живлять мережу, тумблер для управління вихлопом і електромагнітний

клапан випуску використовують реле. Повітря надходить в пневматичну систему плуга від компресора трактора через регулятор тиску і ресивер.

Перед початком роботи, якщо в системі безпеки плуга немає повітря, тракторист включає вимикач живлення і перемикач управління впускним клапаном. Далі повітря з компресора трактора надходить в пневматичну систему плуга через регулятор тиску і ресивер. Тиск в пневмосистемі плуга має становити не менше 0,5 МПа. В цьому випадку контакти стійки і пластини замикаються, а на панелі управління загоряються відповідні світлодіоди. Потім плуг поглиблюється і починається робочий процес оранки. Якщо тиск в пневмосистемі занижено, світлодіод почне часто блимати або повністю згасне. Далі водій трактора включає Впускний клапан за допомогою тумблера і збільшує тиск повітря в пневмосистемі плуга до тих пір, поки діод не подасть оптичний сигнал. Миготіння діода повинно бути не більше 5 разів кожні 1 секунду. Після цього вимикач електромагнітного клапана вимикається. Якщо світлодіод довго не блимає, це означає, що на пневмосистему плуга буде надаватися великий тиск.

Щоб знизити тиск, водій трактора включає електромагнітний клапан. Як тільки діод починає блимати з інтервалом приблизно в 5 секунд, клапан відключається. У таблиці 5.1 приведена характеристика плуга ППП-5-35.

При проведенні польових випробувань плугів ППП-5-35 ми використовували майданчик, характеристики якої наведені в таблиці 5.2.

Як ви можете бачити з таблиці, умови випробувань були не дуже суворими, але ми повинні сказати, що ми тестували плуги на інших сільськогосподарських фермах (рис.5.2). Результати випробувань наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.1 – Технічна характеристика плуга ППП-5-35

Швидкість, км / год	20
Маса, кг	2025
Глибина оранки, мм	до 300
Ширина захвата плуга, мм	1750
Продуктивність за 1 годину основного часу, га	1,2-1,4
Робоча швидкість руху, км \ год	6-9
Агрегується з тракторами маса тяги, кН	30
Довжина, мм	7260
Висота, мм	1800
Ширина, мм	2800
Тиск в пневмосистемі плуга, МПа	0,3...0,6



Рис. 5.2 – Випробування плуга ППП-5-35 з пневматичними запобіжниками в польових умовах.

Результати випробувань наведені в таблиці 4.3. Прототип плуга забезпечував стабільні характеристики процесу плуга під час випробувань.

Відхилення від заданого значення ширини захвату також було невелике – 7,8%.

Плуг ППП-5-35 забезпечував високі значення інших параметрів плуга протягом усього періоду випробувань. Гребені на поверхні орної ділянки не перевищували 4,6 см. цілісність загортання рослинних залишків склала 98,5%, а глибина загортання - 12,2 см.

Таблиця 5.2 – Особливості агрофона при випробуванні плугів ППП-5-35.

№ п/п	Найменування показника	Значення показника для всіх типів плугів	Значення показника для вибраної ділянки
1	Тип ґрунту і назва за механічним	Ґрунти з різними фізико-механічними властивостями	кам'яниста
2	Рельєф, ухил, град.	до 8	5
3	Вологість ґрунту,%: відносна абсолютна	20-70 до 30	45 22
4	Твердість ґрунту, мПа	до 4	3,4
5	Висота (довжина) рослинних і пожнивних залишків, см	до 25	15,5
6	Питомий опір	до 1,4	0,74

Таблиця 5.3 – Результати випробувань прототипу плуга ППП-5-35

№	Показник	Од.	Значення показника
1	Глибина обробітку (середня),	см	27,5
2	Середньоквадратичне відхилення	+ - см	1,45
3	Робоча ширина захвату (середня)	м	1,75
4	Відхилення фактичної ширини захоплення від заданої ширини	+ - %	7,8
5	Гребені на поверхні ріллі	см	4,6
6	Ступінь загортання рослинних і пожнивних залишків		98,5
7	Глибина загортання рослинних залишків	см	12,2
8	Забивання робочих органів ґрунтом і рослинними залишками		Не спостерігалось
9	Подрібнення ґрунту, розміри грудок: - до 50 мм включно. - більше 50 мм	%	85,2 14,8
10	Змінний коефіцієнт використання часу		0,88
11	Коефіцієнт готовності		1
12	Робоча швидкість руху	км/ч	8,5
13	Продуктивність	га/ч	1,3
14	Витрати палива	кг/га	19,5

Кількість ґрунтових мас розміром до 5 см склала 85,2%. Продуктивність агрегату за 1 годину основного часу склала 1,2 га/год.

5.2. Розрахунок економічних показників від впровадження удосконаленого плуга з пневматичними запобіжниками ППП-5-35

Розрахунок економічної ефективності прототипа плуга ППП-5-35 проводився нами за типовою методикою. В якості базової моделі нами був обраний плуг ПКМ-5-35, дані по якому взяті з літератури. У таблиці 4.4. наведено вихідні дані для розрахунку. У таблиці 4.5 наведені результати розрахунку.

Таблиця 4.4 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	ПКМ-5-35	ППП-5-35
Ширина захвату машини, (Ш) м	1,75	1,75
Робоча швидкість, км / год (V_p)	8	8,5
Коефіцієнт використання часу зміни, (τ)	0,8	0,88
Вартість машини, грн.	300000	270000
Маса машини (m_m), кг	2200	2025
Витрата палива на одиницю роботи ($g_{га}$), кг / га	19,7	19,5
Коефіцієнт нарахувань на зарплату	1,46	1,46
Обслуговуючий персонал, чол.	1	1
Коефіцієнт обліку вартості ПММ ($K_{пмм}$)	0,35	0,35
Коефіцієнт відрахувань на ТО і ремонт (r)	0,33	0,33
Річне завантаження техніки, год	400	400
Коефіцієнт відрахувань на амортизацію (α)	0,125	0,125

Таблиця 4.5 – Основні показники економічної ефективності

№ п/п	Розрахункові показники	Розмір.	ПКМ-5-35	ППП-5-35
1	Продуктивність машини за 1 годину роботи ($Wч$)	га / год.	1,2	1,3
2	Витрати коштів на оплату праці (Z)	грн. / га	175,98	162,44
3	Витрати коштів на ПММ (Γ)	грн. / га	823,46	815,1
4	Витрати коштів на ТО і ремонт (P)	грн. / га	349	291,3
5	Витрати коштів на амортизацію (A)	грн. / га	161,6	134,8
6	Витрати праці при виконанні операції (Z_T)	люд.-г. / га	0,83	0,77
7	Питома залишкова вартість (Цост)	грн. / га	56,2	46,9
8	Річний обсяг робіт нової техніки (B_n)	га	-	1040
9	Прямі експл. витрати (I),	грн. / га	1510	1403,6
12	Річне напрацювання нової техніки (B_z)	га	-	520
13	Річна економія грошових коштів ($E_{гн}$)	грн.	-	50492
14	Термін окупності дод. кап.вкладення по нов. техніці (Струм)	рік	-	1,17
15	Верхня межа ціни нової машини (Цл)	грн.	-	565039
16	Річна економія витрат праці при експлуатації нової машини ($Z_{т.г.}$)	люд.-год.	-	31,2
17	Індекс зміни (зниження) витрат праці, СЗТ	%	-	7,2
18	Індекс зміни (зниження) витрат коштів, Се	%	-	7
19	Індекс зміни (збільшення) металоємності машини, См	%	-	8,6

Висновок по розділу

Запропонований плуг забезпечує високу якість обробки ґрунту, надійний обхід каменів і легко адаптується до конкретних умов експлуатації. Термін окупності капітальних вкладень для впровадження плугів з запропонованою пневматичною системою становить 1,17 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Були розглянуті переваги і недоліки сучасної конструкції Системи безпеки плугів для забитого камінням землеробства, розроблена їх класифікація.

2. На основі аналізу запропоновано розроблений технічний процес основної обробки засміченим камінням ґрунту і схема раціональної конструкції плугів з пневматичною системою безпеки.

3. Для розрахунків розроблені аналітичні залежності: висоти стійки корпусу плуга, призначеної для обробки кам'яного ґрунту; кутової швидкості і кутового прискорення секцій плуга, що виникають при обході різних форм загороджень; міцності тиску і опору пневматичного запобіжника.

4. Сила опору пневматичного запобіжника і характер зміни тиску в ньому досліджуються експериментально в залежності від величини його стиснення (ходу штока S). Якщо він був оснащений пневматичними запобіжниками, то збільшення опору тяги на ділянці при обході штучних перешкод висотою 0,15 м виявилось рівним 9,89... 16,23%; пружинний запобіжник, 18,4... 27,7%; гідропневматичні запобіжники-22... 74%.

5. Польові випробування секцій з пропонованою пневматичною системою безпеки підтвердили надійні і якісні характеристики обробки ґрунту і обходу каменів. Рекомендоване значення тиску повітря для пневматичної системи становило 0,4... 0,6 МПа.

6. Результати польових випробувань дослідного зразка плуга ППС-5-35 з пропонованою системою безпеки показали, що плуг забезпечує якісну обробку ґрунту, надійний обхід каменю і легко налаштовується на певні умови експлуатації. Річна економія коштів складає 50492 грн, а термін окупності капіталовкладень на впровадження плугів з пропонованою пневматичною системою становить 1,17 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. – 340 с.
2. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. (Під редакцією проф. С.І.Кучеренка). / В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетнік, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко, М.Г. Березовий. – Вінниця: Нова книга, 2010. – 667 с.
3. Ковбаса В. П. Обґрунтування напрямків досліджень зниження енергомісткості корпусів плугів / В. П. Ковбаса, В. П. Курка, К. М. Думенко // Вісн. аграр. науки Причорномор'я. – 2010. – Вип. 3 (54). – С. 178–183.
4. Андрущак В. Плуг – бути чи не бути / В. Андрущак // Farmer. – 2010. – № 7. – С. 68–69.
5. Бакум М. В. Проектування сільськогосподарських машин: навч. посіб. Ч. 1. Плуги загального призначення / М. В. Бакум, С. П. Нікітін, А. В. Сергєєва; за ред. М. В. Бакума; Харк. держ. техн. ун-т с.-г. – Х., 2003. – 336 с.
6. Бондаренко М. Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві: підруч. для студ. вузів / М. Г. Бондаренко, В. А. Демешук. – К. : Вищ. шк., 1995. – 237 с.
7. Булгаков В. М. Автоматизована побудова 3-D моделі полиці плуга із циліндроїдальної поверхні / В. М. Булгаков, Д. Г. Войтюк, С. Ф. Пилипака // Науковий вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 166. – С. 51–62.
8. Каталог [Електронний ресурс] //baurum.ru [Офіц. сайт]. –URL: <http://www.baurum.ru/alldays/?cat=geometrical-statics&id=3888>
9. Булгаков В. М. Проектування полиці плуга із розгортної поверхні за заданою геодезичною лінією – граничною траєкторією руху скиби / В. М. Булгаков, Д. Г. Войтюк, С. Ф. Пилипака // Науковий вісн. Нац. ун-ту

- біоресурсів і природокористування України. – 2010. – Вип. 144, ч. 5. – С. 20–35.
10. Василенко М. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин / М. Василенко // Пропозиція. – 2012. – № 12. – С. 86–92.
11. Васильченко В. Нові напівнавісні оборотні плуги «Діамант» від LEMKEL / В. Васильченко // Аграрна техніка та обладнання. – 2012. – № 1. – С. 34–37.
12. Васильченко В. Оборотний плуг Vari Tansanit від Lemken / В. Васильченко // Агроном. – 2010. – № 4. – С. 130–133
13. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, С. С. Яцун, М. Я. Довжик; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми : Унів. кн., 2008. – 543 с.
14. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. вузів / Р.Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, І. І. Павх; М-во освіти і науки України, Терноп. акад. нар. госп-ва. – Тернопіль, 2002. – 251 с.
15. Головчук А. Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: у 3 кн.: підручник. Кн. 3. Машини сільськогосподарські / А. Ф. Головчук, В. І. Марченко, В. Ф. Орлов; за ред. А. Ф. Головчук. – К. : Грамота, 2005. – 576 с.
16. Ґрунтообробні машини: технічні та технологічні особливості // Зерно. – 2012. – № 7. – С. 138–139.
17. Дранішніков О. Обертовий лебідковий плуг / О. Дранішніков // Новини агротехніки. – 2010. – № 2. – С. 46–49.
18. Дубровін В. О. Агротехнічна оцінка роботи двохярусних плугів з напівгвинтовими полицями верхнього ярусу / В. О. Дубровін, С. С. Тищенко, А. І. Мороз // Науковий вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. – 2011. – № 166. – С. 67–72.
19. Експериментальні дослідження плуга з дисковим подрібнювачем / Д. В. Скоробогатов, Г. А. Голуб, С. С. Тищенко // Науковий вісн. Нац. аграр. н-ту. – 2008. – № 125. – С. 304–314.
20. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Т. 1. Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. / П. М.

Заїка, М-во освіти і науки України, М-во аграр. політики України, Харк. держ. техніч. ун-т с.-г. – Х.: ОКО, 2001. – 443 с.

21. Кобець А. С. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин: практикум / А. С. Кобець, О. М. Кобець, А. М. Пугач. – Дніпропетровськ : Свідлер А. Л., 2011. – 163 с.

22. Ковбаса В. П. Визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості ґрунту шляхом дослідження його коливань / В. П. Ковбаса, Ахмед Кадем Алі, Д. Ю. Калініченко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – № 2 – С. 36-41.

23. Кравчук В. Оцінка експлуатаційно-технологічних показників білоруських та українських ґрунтообробних і посівних машин, агрегованих з енергонасиченими тракторами РУП «МТЗ», у різних системах обробітку ґрунту / В. Кравчук, О. Рожанський, В. Громадська // Техніка і технології АПК. – 2012. – № 10. – С. 31–34.

24. Марченко В. В. Основний обробіток ґрунту обертовими плугами / В. В. Марченко, І. Г. Котко // Агроном. – 2009. – № 1. – С. 112–119.

25. Марченко В. В. Універсальні багатофункціональні плуги / В. В. Марченко, О. М. Ткаченко, В. М. Несвідомін // Агроном. – 2007. – № 1. – С. 86–89.

26. Марченко В. Особливості конструкції оборотних плугів / В. Марченко, Л. Шустік, В. Опалко // Agroexpert: практичний посібник аграрія. – 2010. – № 3. – С. 104–107.

27. Новицький А. Сучасні методи забезпечення дієздатності плугів / А. Новицький, С. Карабиньош, З. Ружилю // Фермерське господарство. – 2012. – № 43. – С. 28–29.

28. Плуг EUROPA II 180 OVERUM [Електронний ресурс] // Kongskilde Industries A/S [Офіц. сайт]. – URL: <http://www.kongskilde.com/in/ruRU/Agriculture/Soil/Ploughing/Semi%20mounted%20reversible%20wagon%20plough/KONGSKILDE%20EUROPA-II-180>.

29. Плуг Lemken 7 Н 4 S kiekko+ kuorimet+ tukip [Електронний ресурс] // LEMKEN GmbH & Co. KG [Офіц. сайт]. –URL: <http://www.mascus.com.ua/selhoztehnika/reversivnye-plugi/lemken-variopal-8h-4+1/wau7n6s5.html>.
30. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин: навч. посіб. / К. І. Шмат, П. В. Сисолін, В. В. Карманов, Г. І. Іванов ; Херсон. держ. техн. ун-т. – Херсон : Олді-плюс, 2004. – 308 с.
31. Сисолін П. В. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування: підруч. для студ. вищ. навч. закл. Кн. 1. Машини для рільництва / П. В. Сисолін, В. М. Сало, В. М. Кропівний; за ред. М.І. Черновола. – К. : Урожай, 2001. – 384 с.
32. Типові норми продуктивності машин і витрат палива на передпосівному обробітку ґрунту: Економічні нормативи / В. В. Вітвіцький, І. В. Лобастов, М. Ф. Кисляченко та ін.; Україн. н.-д. ін-т продуктивності агропромислового комплексу. – К.: Укראгропромпродуктивність, 2005. – 672 с.

ДОДАТКИ

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ
З РОЗРОБКОЮ ПНЕВМАТИЧНОЇ ЗАПОБІЖНОЇ СИСТЕМИ
ПЛУГА**

Виконав: магістрант групи МГАІ-2-23
Калга Костянтин Вікторович

Керівник: канд. техн. наук, доц.
Теслюк Геннадій Володимирович

Дніпро, 2024

Актуальність теми. Провідні світові виробники сільськогосподарської техніки випускають ґрунтообробні машини з різними типами запобіжних пристроїв.

Досить перспективними є пневматичні запобіжники, які конструктивно прості і забезпечують невеликі значення проросту тягового опору при обході каменів. Крім того, тиск в них легко і швидко можна змінювати.

Тому дослідження спрямовані на вдосконалення конструкції плуга з пневматичними запобіжниками, що характеризується низькими енерговитратами на обхід каменів та забезпечує можливість швидкого регулювання, є актуальними.

Мета роботи полягає в зниженні енергоемності технологічного процесу обробки кам'янистих ґрунтів за рахунок розробки пневматичної запобіжної системи плуга загального призначення.

Завданнями дослідження є:

- проаналізувати основні конструкції плугів для обробки ґрунтів засмічених

камінням;

- розробити схему ефективної запобіжної системи плуга, проаналізувати зміну тягового опору його секції при обході нею каменю і обґрунтувати раціональні значення основних параметрів запобіжної системи та секції плуга;

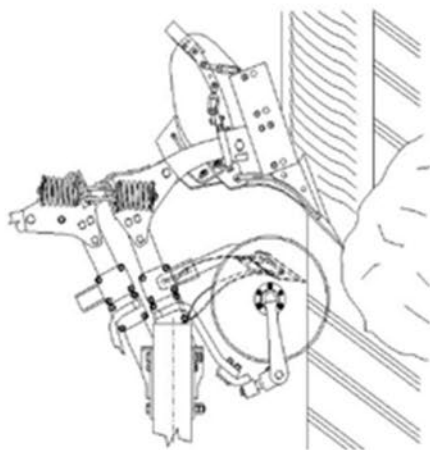
- експериментально дослідити процес стиснення запропонованого запобіжника; тягового опору і енергоемності процесу обходу перешкоди модернізованою секцією плуга;

- провести польові випробування дослідного зразка плуга, оснащеного запобіжною системою і визначити економічний ефект від його впровадження.

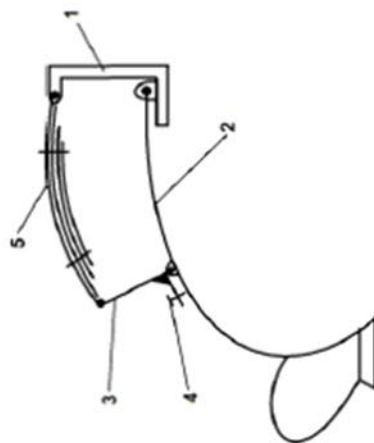
Об'єкт дослідження: технологічний процес обробітку ґрунту.

Предмет дослідження: плуг загального призначення з пневматичною запобіжною системою.

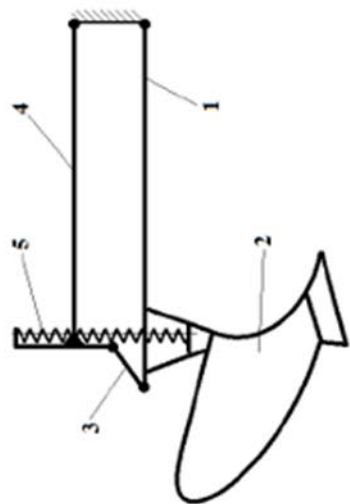
ЗАПОБІЖНІ СИСТЕМИ ПЛУГІВ



Плуг LEMKEN VARIOPAL 7X 4 + 1



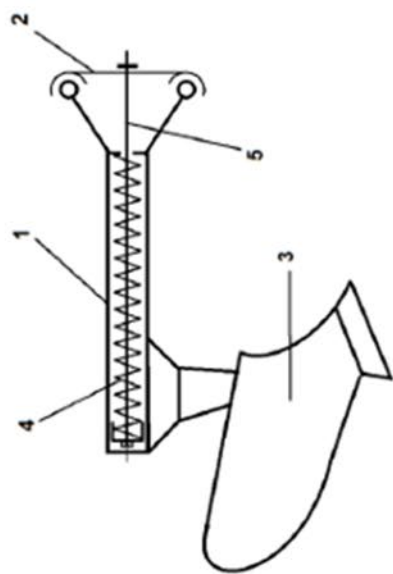
Конструктивна схема плуга із запобіжною системою ресорного типу: 1 - кронштейн секції; 2 - гряділь; 3 - важіль; 4 - регулювальний болт; 5 - ресора.



Плуг ALPLER: 1 – гряділь; 2 – корпус плуга; 3 – поворотний важіль; 4 – верхня тяга; 5 – пружина.



Плуг ÖVERUM ST 588 із гумових Амазоні (Гідравлічна)

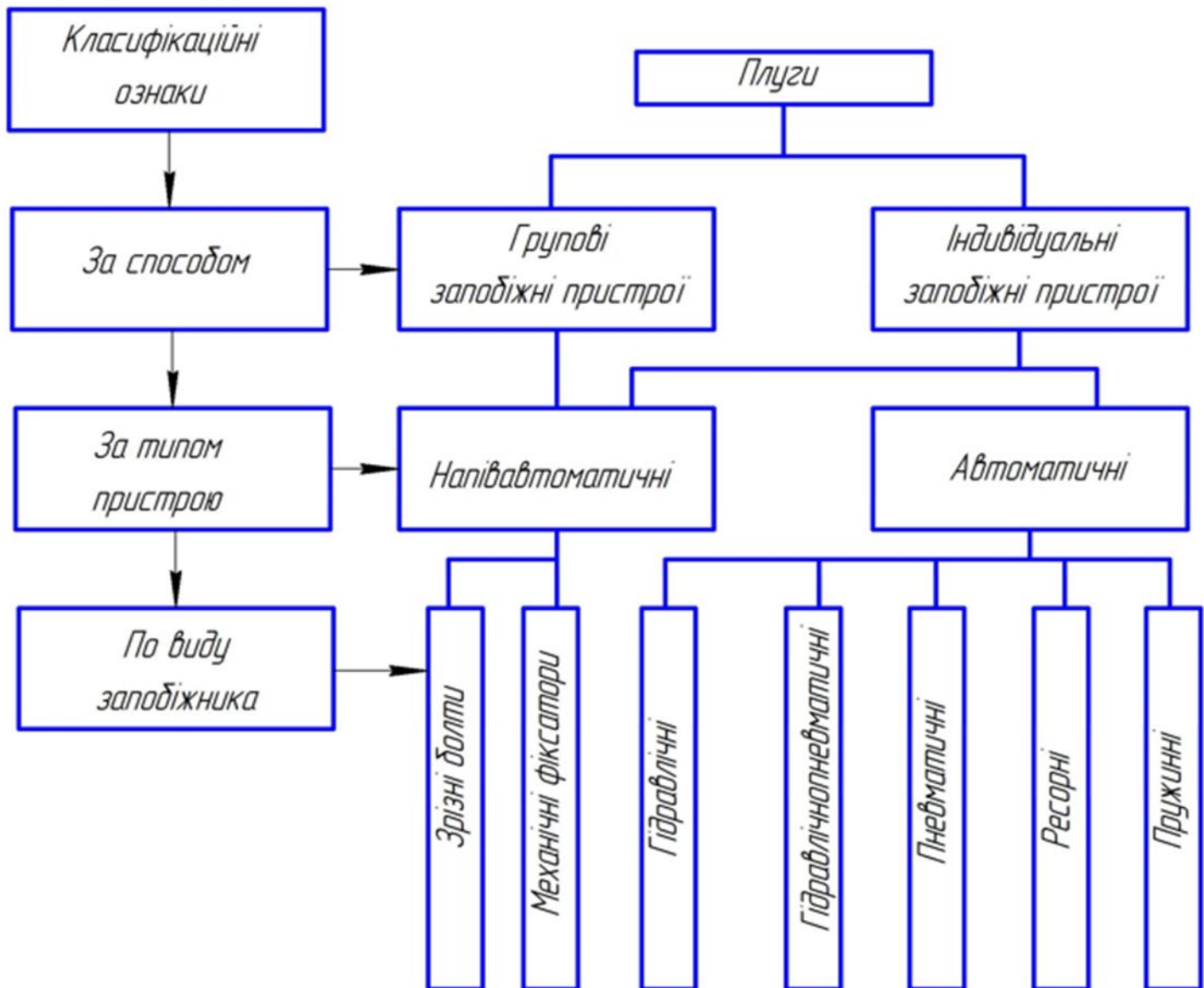


Плуг ÜNLÜ: 1 – гряділь; 2 – кронштейн; 3 – корпус; 4 – пружина; 5 – тяга.

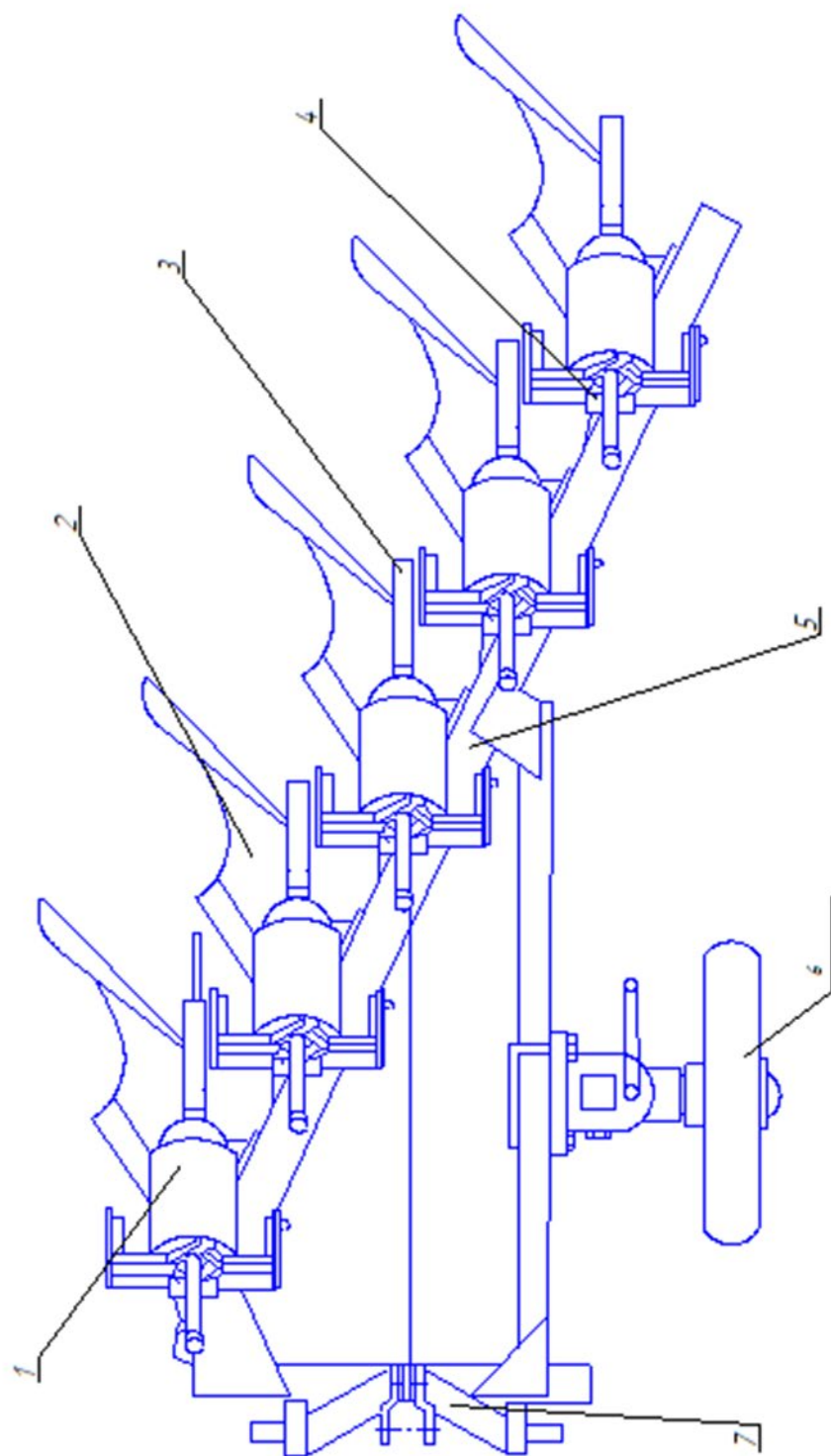


Запобіжна система плуга фірми

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАПОБІЖНИХ СИСТЕМ

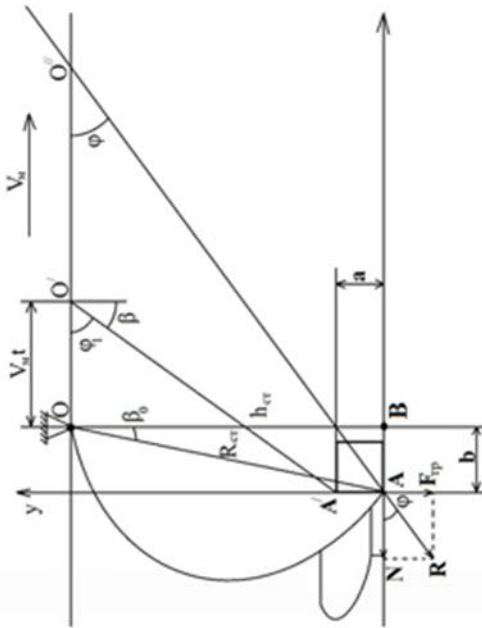


ПЛУГ ІЗ ПНЕВМАТИЧНОЮ ЗАПОБІЖНОЮ СИСТЕМОЮ



Вдосконалений плуг із пневматичною запобіжною системою 1 – пневматичний запобіжник; 2 – корпус; 3 – стійка; 4 – кронштейн; 5 – рама; 6 – опорне колесо; 7 – кріплення.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИСОТИ СТІЙКИ ПЛУГА



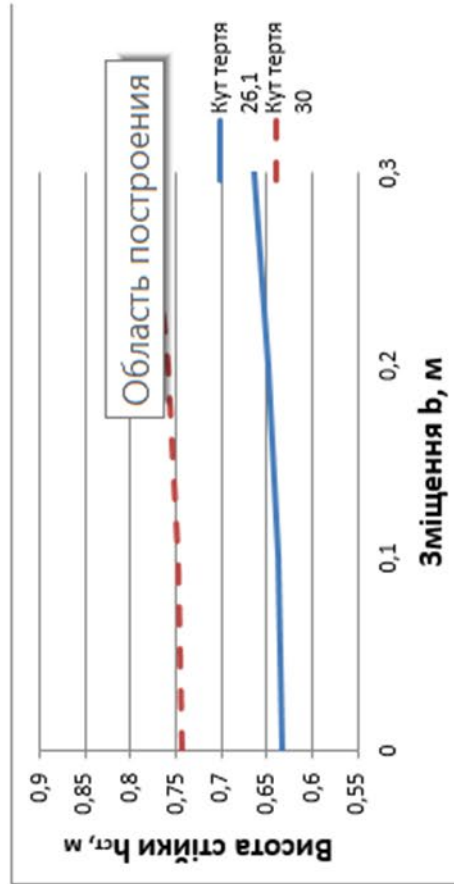
Рівняння для визначення висоти стійки:

$$h_{ст}^2 - \frac{2a}{\cos^2 \varphi} h_{ст} + \frac{a^2 - b^2 \sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi} \geq 0.$$

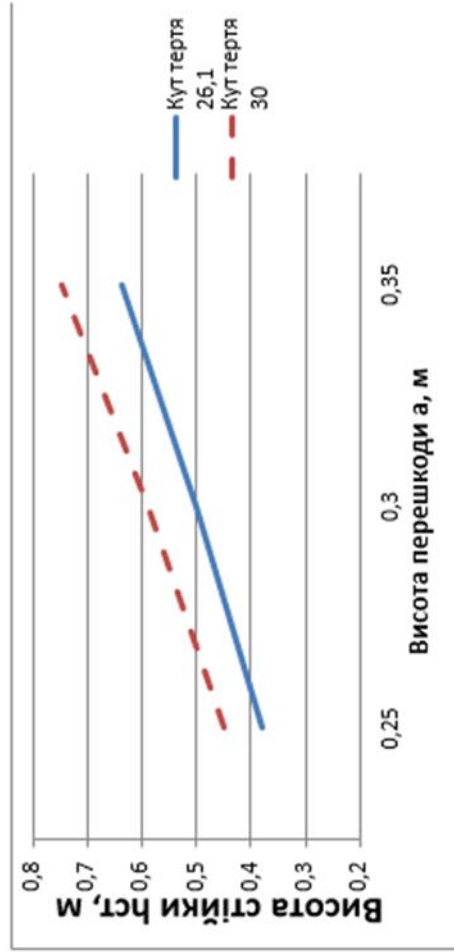
вихідні дані:

- висота перешкоди $a=0,25 \dots 0,35$ м;
- зміщення лемеша $b=0$; $b=0,1$; $b=0,2$; $b=0,3$ м;
- кут тертя каміння по сталі становить $\varphi=22,8 \dots 26,1^\circ$ (з врахуванням додаткової шорсткості каміння розрахунок проводиться також для значення $\varphi=30^\circ$).

Схема до обґрунтування висоти стійки плуга $h_{ст}$



Залежність необхідної висоти стійки $h_{ст}$ від зсуву носка лемеша b при ободі вертикальної перешкоди висотою $0,35$ м.



Залежність необхідної висоти стійки плуга $h_{ст}$ від висоти перешкоди при зміщенні $b = 0,1$ м.

ПАРАМЕТРИ ПНЕВМАТИЧНОГО ЗАПОБІЖНИКА

$$p_0 V_0^{n_1} = p_k V_k^{n_1} = const,$$

p_0, p_k – початковий і кінцевий тиск, МПа; V_0, V_k – відповідно початкове і кінцеве значення об'єму запобіжника, м³; $n_1 = 1,3 \dots 1,4$ – показник політропи стиснення. Кінцевий тиск всередині запобіжника:

$$p_k = p_0 \cdot \left(\frac{V_0}{V_0 - \Delta V} \right)^{n_1}$$

ΔV – зміна об'єму, м³.

$$V_0 = V_{\text{опр}} \cdot n_{\text{пр}} + V_{\text{рпл}}$$

$V_{\text{опр}}$ – початкове значення об'єму запобіжного пристрою, м³; $V_{\text{рпл}}$ – об'єм резервної ємності плуга, м³. $n_{\text{пр}}$ – кількість запобіжних пристроїв.

Зміна об'єму робочої камери:

$$\Delta V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{дк}} + 2\Delta\alpha_{\text{ст}})^2 \cdot h_{\text{дк}}$$

Кінцевий тиск всередині запобіжника:

$d_{\text{дк}}$ – діаметр додаткової камери, м;

$\Delta\alpha_{\text{ст}}$ – товщина стінки додаткової камери, м.

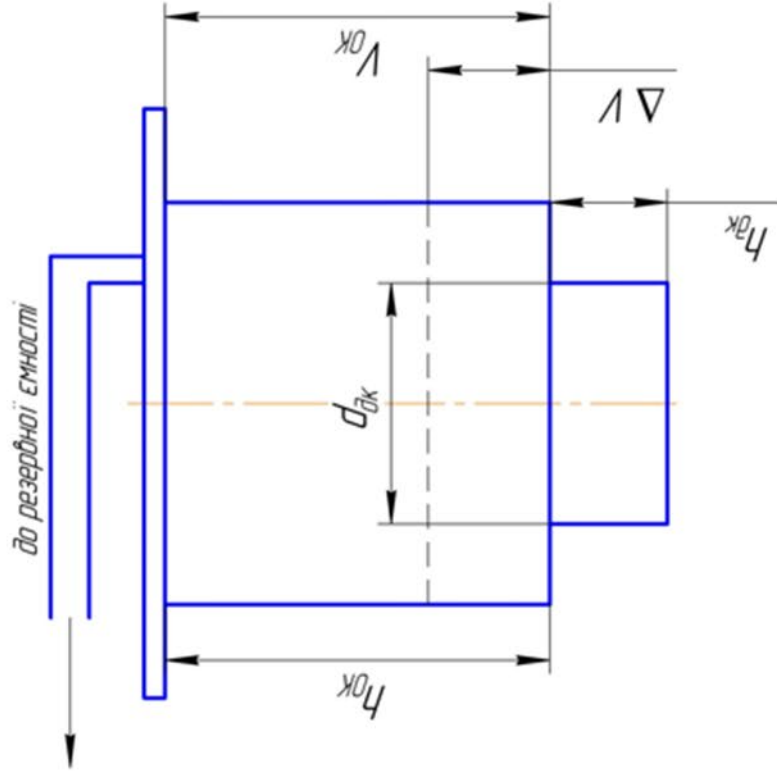


Схема пневматичного балона

$$p_k = p_0 \cdot \left(\frac{(V_{\text{ок}} + V_{\text{дк}}) \cdot n_{\text{пр}} + V_{\text{рпл}}}{(V_{\text{ок}} + V_{\text{дк}}) \cdot n_{\text{пр}} + V_{\text{рпл}} - \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{дк}} + 2\Delta\alpha_{\text{ст}})^2 \cdot h_{\text{дк}}} \right)^{n_1}$$

ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Загальний вигляд штучно створеної перешкоди



Загальний вигляд дослідної установки із встановленим на неї обладнанням та експериментальним зразком корпусу плуга: 1 – основна рама; 2 – підвісна рама з встановленим тензорним датчиком; 3 – опорне колесо з гвинтовим механізмом на стійці; 4 – обладнання для вимірювань із АЦП; 5 – датчик швидкості руху з приводом від опорного колеса; 6 – експериментальний робочий орган із встановленим на стійці тензодатчиком; 7 – компресорна установка; 8 – малогабаритна електростанція.

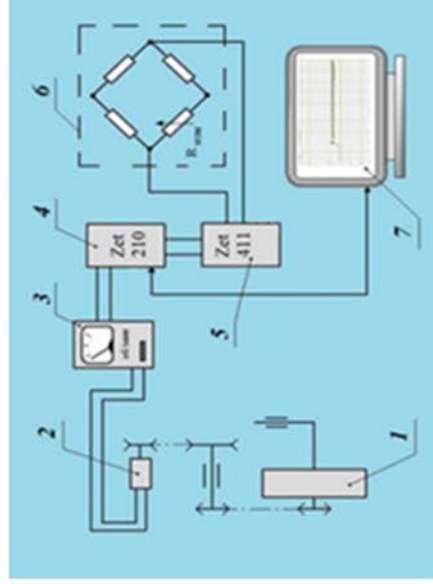
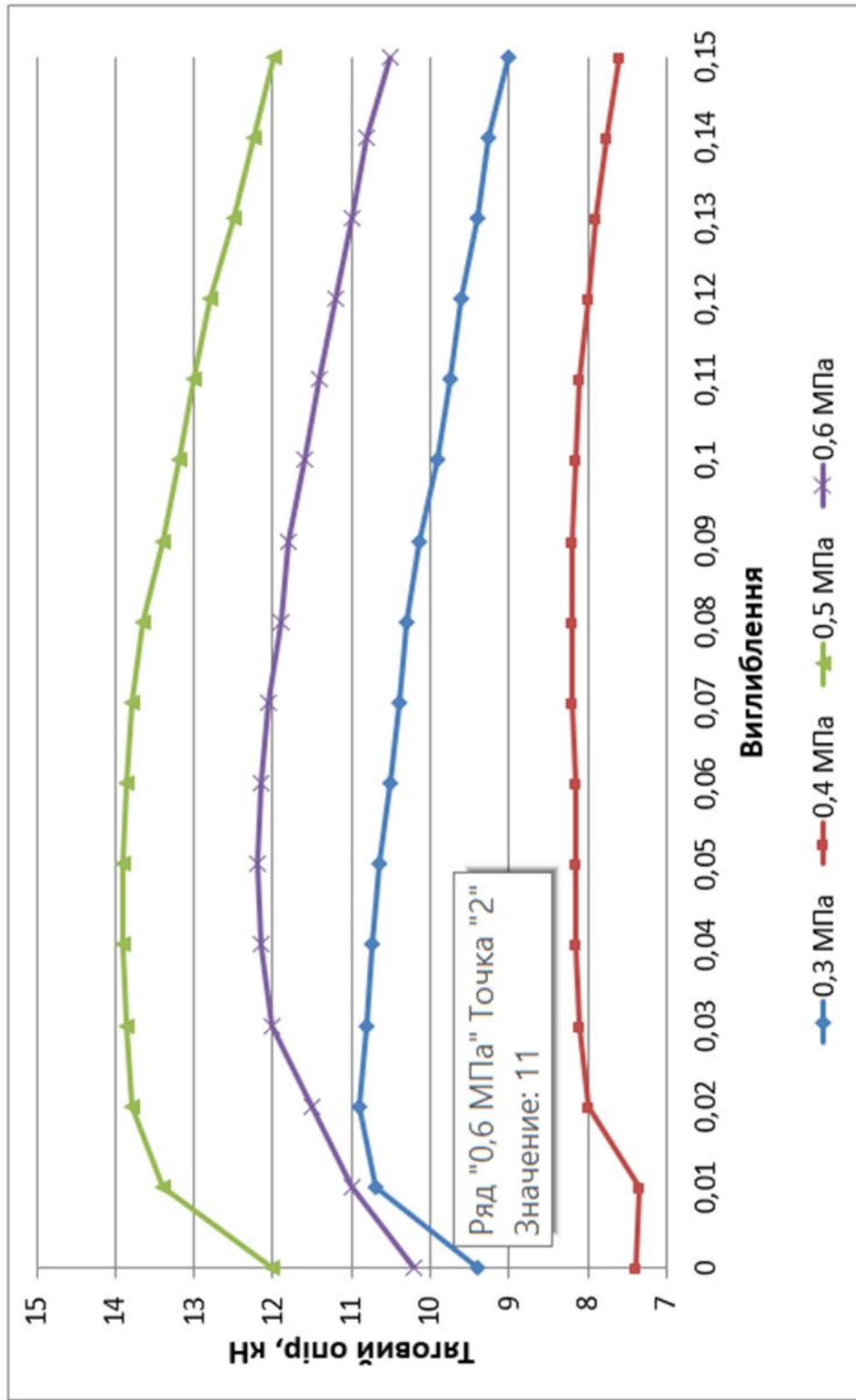


Схема вимірювань тягового опору і швидкості в розробленій машині: 1 – опорне колесо; 2 – датчик обертів з приводом; 3 – електронний тахометр TE30-5P; 4 – багатоканальний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) Zet 210; 5 – диференційний підсилювач Zet 411; 6 – схема тензометричного моста динамометра; 7 – ПК з програмним забезпеченням вимірювального комплексу ZetLab.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЯГОВОГО ОПОРУ



Залежність тягового опору секції запропонованої конструкції плута від виглиблення та початкового тиску p_0 пневматичного запобіжного пристрою

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

Основні показники економічної ефективності

№ п/п	Розрахункові показники	Розмір.	ПКМ-5-35	ППП-5-35
1	Продуктивність машини за 1 годину роботи (Wч)	га / год.	1,2	1,3
2	Витрати коштів на оплату праці (З)	грн. / га	175,98	162,44
3	Витрати коштів на ПММ (Г)	грн. / га	823,46	815,1
4	Витрати коштів на ТО і ремонт (Р)	грн. / га	349	291,3
5	Витрати коштів на амортизацію (А)	грн. / га	161,6	134,8
6	Витрати праці при виконанні операції (Зт)	люд.-г. / га	0,83	0,77
7	Питома залишкова вартість (Цост)	грн. / га	56,2	46,9
8	Річний обсяг робіт нової техніки (Вн)	га	-	1040
9	Прямі експл. витрати (Г),	грн. / га	1510	1403,6
12	Річне напрацювання нової техніки (Вз)	га	-	520
13	Річна економія грошових коштів (Егн)	грн.	-	50492
14	Термін окупності ^{по області} капітальних вкладень по нов. техніці (Струм) _{Область діаграммы}	рік	-	1,17
15	Верхня межа ціни нової машини (Цл)	грн.	-	565039
16	Річна економія витрат праці при експлуатації нової машини (Зт.г.)	люд.-год.	-	31,2
17	Індекс зміни (зниження) витрат праці, СЗТ	%	-	7,2
18	Індекс зміни (зниження) витрат коштів, Се	%	-	7
19	Індекс зміни (збільшення) металоемності машини, См	%	-	8,6

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Були розглянуті переваги і недоліки сучасної конструкції Системи безпеки плугів для забигого камінням землеробства, розроблена їх класифікація.
2. На основі аналізу запропоновано розроблений технічний процес основної обробки засміченим камінням ґрунту і схема раціональної конструкції плугів з пневматичною системою безпеки.
3. Розроблено аналітичні залежності для розрахунку: висоти стійки корпусу плуга, призначеного для обробки кам'янистих ґрунтів; кутів швидкостей і кутів прискорень секції плуга, що виникають при обході перешкоди різної форми; тиску в пневматичному запобіжнику і сили його опору.
4. Сила опору пневматичного запобіжника і характер зміни тиску в ньому досліджуються експериментально в залежності від величини його стиснення (ходу штока S). Якщо він був оснащений пневматичними запобіжниками, то збільшення опору тяги на ділянці при обході штучних перешкод висотою 0,15 м виявилось рівним 9,89... 16,23%; пружинний запобіжник, 18,4... 27,7%; гідропневматичні запобіжники-22... 74%.
5. Польові випробування секції з пропонованою пневматичною системою безпеки підтвердили надійні і якісні характеристики обробки ґрунту і обходу каменів. Рекомендоване значення тиску повітря для пневматичної системи становило 0,4... 0,6 МПа.
6. Результати польових випробувань дослідного зразка плуга ППП-5-35 з пропонованою системою безпеки показали, що плуг забезпечує якісну обробку ґрунту, надійний обхід каменю і легко налаштовується на певні умови експлуатації. Термін окупності капітальних вкладень на впровадження плуга із запропонованою пневматичною системою становить 1,17 років.