

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера**

Виконав: студент VI курсу,
групи 601-МММ
спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Ладатко О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Рогозін І.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Сучков І. М.

(прізвище та ініціали)

Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера

Магістерська робота

Лист затвердження

ГММ.601-мММ.008-00.00.000МР - ЛУ

Технологічний контроль к.т.н., доц.

 О. С. Васильєв
„19” 01 2024 р.

Розробив студент групи 601-мММ

 О. С. Ладатко
„29” 12 2023 р.

Нормативний контроль к.т.н., доц.

 О. С. Васильєв
„19” 01 2024 р.

Керівник к.т.н., доц.

 І. А. Рогозін
„19” 12 2023 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри будівельних
машин і обладнання
к.т.н., доц.

 О. В. Орісенко

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2			Документація загальна			
3						
4			Вперше розроблена			
5						
6	A4	ГММ.601-МММ.008-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-	
7	A4	ГММ.601-МММ.008-00.00.000А	Анотація	2	-	
8	A4	ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка	83	-	
9						
10			Документація наукова			
11						
12			Вперше розроблена			
13						
14	A4	ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПМ	Обґрунтування параметрів			
15			бічного відвала			
16			бульдозера			
17			Презентаційні матеріали	17	-	
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

Взам. инв. №	Инв. № дюдл.	Подп. и дата	ГММ.601-МММ.008-00.00.000ВР					
			Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Инв. № подл.	Разраб.	Ладатко	Сл	29.12	Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера	Лит.	Лист	Листов
	Проб.	Рогозін	А	29.12		н	1	1
	Н.контр.	Васильєв	Г	29.12		Національний університет імені Юрія Кондратюка, ННІ ІТР, 2023		
	Утв.	Орисенко	А	29.12	Відомість магістерської роботи	Формат А4		

Копировал

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних
технологій та робототехніки

Кафедра, циклова комісія Галузевого машинобудування та мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки _____

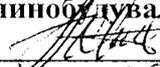
(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри галузевого
машинобудування та мехатроніки**


“04” “09” **О. В. Орсенко**
2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ладатку Олексію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи Обґрунтування параметрів бічного відвала
бульдозера

керівник роботи (проекту) Рогозін Іван Анатолійович, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “04” вересня 2023 року №968-ф.а.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) “29” грудня 2023 року.

3. Вихідні дані до проекту (роботи): Технічна характеристика та опис роботи
бульдозера Т9.01. Креслення та схеми агрегатів і вузлів бульдозера Т9.01.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити): Вступ. 1. Обґрунтування теми магістерської роботи та огляд
літературних джерел. 2. Теоретичне обґрунтування раціонального використання
додаткового бічного відвалу на гусеничному бульдозері 3. Спосіб
експериментального визначення сили опору копання і точки прикладання на
бічний відвал. 4. Методики збереження стійкості бульдозера із додатковим бічним
відвалом при його роботі. Висновки. Список літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера – Презентаційні матеріали.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання "04" вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Приміт.
1	Обґрунтування теми магістерської роботи	22.09.2023 р.	
2	Теоретичні дослідження	20.10.2023 р.	
3	Розроблення методики експерименту	16.11.2023 р.	
4	Розроблення методики збереження стійкості бульдозера	23.11.2023 р.	
5	Оформлення пояснювальної записки магістерської роботи та презентаційних матеріалів	22.12.2023 р.	
6	Представлення готової роботи на кафедру	29.12.2023 р.	

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

Ладатко О. С.

(прізвище та ініціали)

Рогозін І. А.

(прізвище та ініціали)

Зм.

Роз

Пер

Н. к

Затг

Анотація

Ладатко О. С. Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера. – Рукопис.

Магістерська робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування. – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2023.

У роботі проведено аналіз літературних джерел та виділено потребу з пошуку шляхів підвищення продуктивності землерийних машин для галузі будівництва України. Детально розглянуто рішення використання додаткового бічного відвала та виявлено потребу у обґрунтуванні його параметрів.

Запропоновано теоретичну методику визначення об'єму призми волочіння ґрунту на додатковому бічному відвалі, за допомогою якої визначені складові сил опору різанню і переміщенню матеріалу на додатковому бічному відвалі гусеничного бульдозера. Проведено моделювання визначення геометричних параметрів зрізаного ґрунту, на основі якого встановлено раціональну величину шару зрізання ґрунту, та раціональне співвідношенням висоти до ширини бічного відвала. Знайдено теоретичні залежності умов забезпечення стійкості руху бульдозера із додатковим бічним відвалом.

Для експериментального підтвердження даних запропоновано застосування комплексу спеціальних вимірювальних приладів у вигляді групи тензометричних датчиків на додатковому бічному робочому органі, що дозволяють вимірювати параметри зрізання ґрунту. Розглянуто методики збереження курсової стійкості бульдозера з додатковим бічним відвалом.

Ключові слова: бульдозер, бічний відвал, ґрунт, призма волочіння, тензодатчик, стійкість.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000А			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Анотація	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Ладатко		<i>OL</i>	29.12			1	
Перев.	Рогозін		<i>R</i>	29.12				
Н. конт.	Васильєв		<i>В</i>	15.01		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.		
Затв.	Орисенко		<i>О</i>	19.01				

Abstract

Ladatko O. S. Justification for the side bulldozer blade parameters. - Manuscript.

Master thesis on obtaining educational degree «Master» in specialty 133 – Industrial Engineering. – National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, 2023.

The thesis analyzes literary sources and highlights the need to find ways to increase the productivity of earthmoving machines for the construction industry of Ukraine. The decision to use an additional side blade was considered in detail and the need to substantiate its parameters was identified.

A theoretical method of determining the soil drag prism volume on the additional side blade is proposed, with the help of which the components of the resistance forces to cutting and movement of material on the additional side blade of the tracked bulldozer are determined. The simulation of determining the geometric parameters of the cut soil was carried out, based on which the rational size of the cut soil layer and the rational ratio of the height to the width of the side blade were established. The theoretical dependencies of the conditions for ensuring the stability of the bulldozer movement with an additional side dump were found.

To experimentally confirm the data, it is proposed to use a set of special measuring devices with the strain gauges group on the additional side working body, which allow measuring the soil cutting parameters. Methods of maintaining course stability for a bulldozer with the additional side blade are considered.

Keywords: bulldozer, side blade, soil, drawing prism, strain gauge, stability.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		2

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера

Пояснювальна записка
до магістерської роботи
ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ

Полтава – 2023 року

Зміст

Вступ.....	3
1 Обґрунтування теми магістерської роботи та огляд літературних джерел	4
1.1 Наукова і технічна інформація про землерийно-транспортні машини з боковим розміщенням робочого органу	4
1.2 Обґрунтування доцільності і сфера застосування машин з боковим відвалом	12
1.3 Питання зрізання ґрунтів робочими органами землерийно-транспортних машин та обґрунтування подальших досліджень	15
2 Теоретичне обґрунтування раціонального використання додаткового бічного відвалу на гусеничному бульдозері.....	20
2.1 Визначення об'єму призми волочіння ґрунту на додатковому бічному відвалі	27
2.2 Проведення моделювання визначення геометричних параметрів зрізаного ґрунту	35
2.3 Визначення впливу бічного відвалу на процес взаємодії з ґрунтом гусеничного ходового обладнання бульдозера.....	57
2.4 Визначення граничної сили	61
3 Спосіб експериментального визначення сили опору копання і точки прикладання на бічний відвал.....	68
4 Методики збереження стійкості бульдозера із додатковим бічним відвалом при його роботі	74
Висновки	76
Список літератури	76

ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Зміст	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Ладатко			29.12			2	
Перев.	Рогозін			29.12				
Н. контр.	Васильєв			15.01				
Затв.	Орисенко			19.01				
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.		

Вступ

План розвитку автомобільних доріг України передбачає збільшення протяжності швидкісних автомагістралей, а також значні обсяги робіт із післявоєнного відновлення пошкоджених на зруйнованих шляхів сполучення. Тому необхідно підвищити темпи і якість виконання робіт і знизити витрати на її здійснення.

Цього можна досягти шляхом створення нової та модернізації існуючої дорожньо-будівельної техніки. Однією з найважливіших операцій при будівництві дорожніх покриттів є планування схилів, насипів і формування каналів з метою забезпечення необхідного рівня і створення умов для протікання води. Для цього в даний час використовуються екскаватори-планувальники, автогрейдери і бульдозери. Для укосів високих насипів з висотою понад 10 метрів і глибоких ям використовуються екскаватори - планувальники з телескопічною стрілкою. Для пологих схилів з укладанням із співвідношенням 1 до 2 можна використовувати бульдозери з нормальним або регульованим відвалом. Однак продуктивність і якість роботи цих бульдозерів дуже низька.

У зв'язку з цим у роботі з метою розширення області раціонального використання і підвищення ефективності бульдозерів на гусеничних рушіях, було досліджено питання оснащення їх додатковим бічним відвалом, розташованим за межами опорної площини базової машини.

В даний час недостатньо досліджень по експлуатації бульдозерів з додатковими бічними відвалами за межами опорної площини базової машини. Виходячи з вищесказаного, можна констатувати актуальність теми та наукового спрямування поданої роботи.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Ладатко			29.12	Вступ	Літ.	Лист	Листів
Перев.	Рогозін			29.12			3	
Н. конт.	Васильєв			6.01	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.			
Затв.	Орисенко			19.01				

1. Обґрунтування теми магістерської роботи та огляд літературних джерел

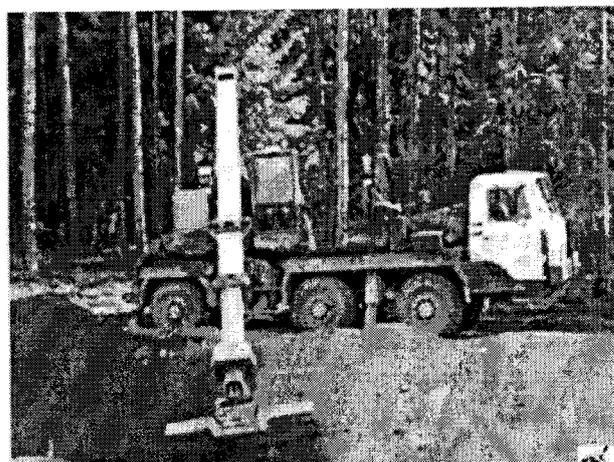
1.1. Наукова і технічна інформація про землерийно-транспортні машини з боковим розміщенням робочого органу.

У дорожньому будівництві для виробництва схилів використовуються різні машини, серед яких: автогрейдер, екскаватори, планувальники, одноковшові екскаватори, автомобілі тощо.

На рисунку 1.1 показані землерийні машини, які в даний час найбільш використовуються для цього виду робіт:



а)



б)

а) - Caterpillar car grader; б) - екскаватор-планувальник на базі автомобіля КАМАЗ

Рисунок 1.1 – землерийні машини, що використовуються при плануванні схилів.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Огляд та аналіз наукових праць щодо процесу взаємодії з ґрунтом робочих органів землерийно-транспортних машин	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Ладатко		<i>[Signature]</i>	29.12			4	
Перев.	Рогозін		<i>[Signature]</i>	29.12				
Н. конт.	Васильєв		<i>[Signature]</i>	18.01		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.		
Затв.	Орисенко		<i>[Signature]</i>	19.01				

з'єднаннями, крім того, передній важіль з'єднаний з рамою автогрейдера за допомогою горизонтального шарніра і гідравлічного циліндра, задній важіль за допомогою карданного і гідравлічного циліндрів, і несучу балку за допомогою гідроциліндра (рисунок 1.3).

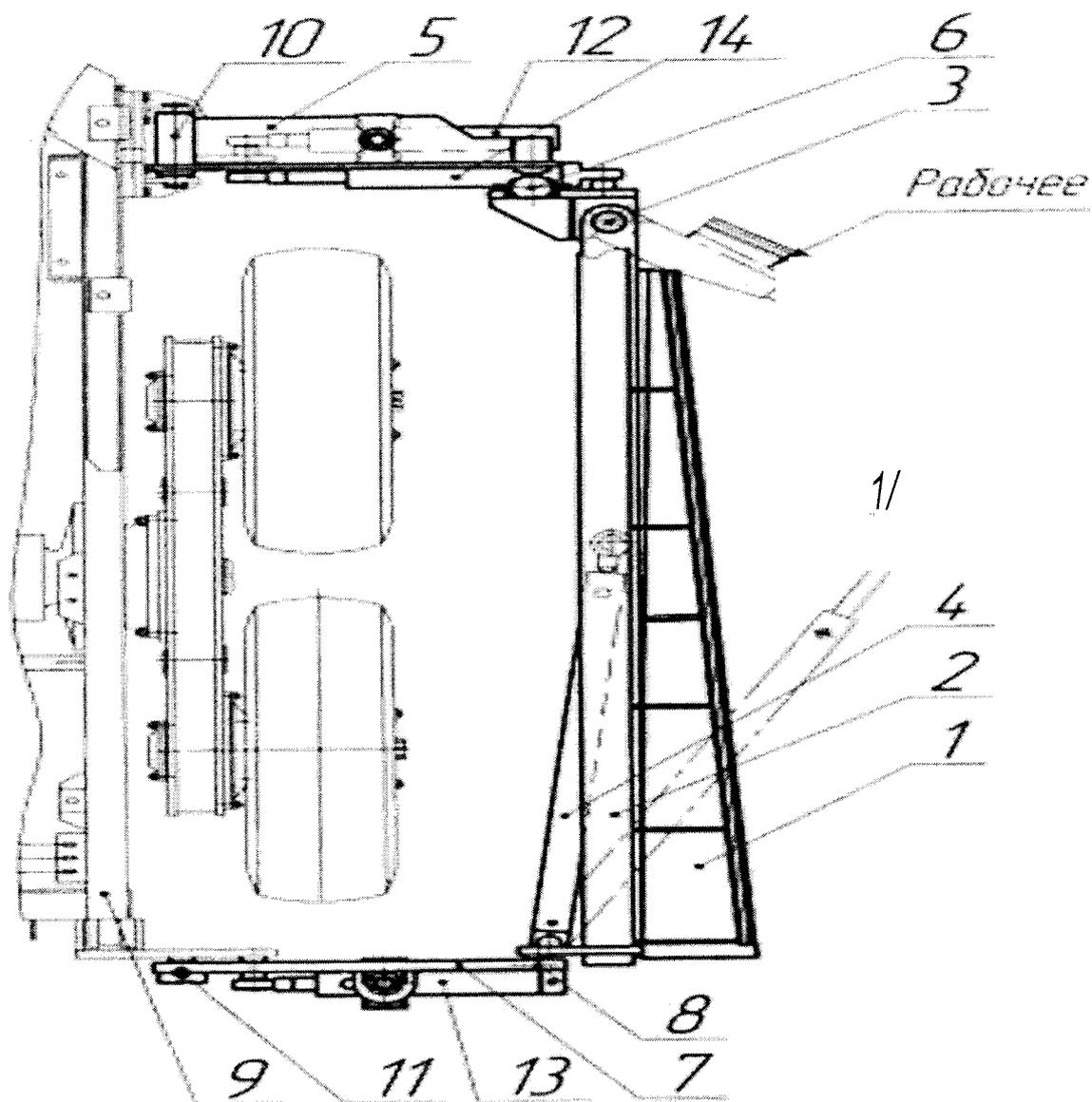


Рисунок 1.3 - Бокове обладнання автогрейдера

В дослідженні, метою якого є обґрунтування машини, яка має підвищену продуктивність [21], ми можемо знайти, що планувальник схилу, який включає в

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		6

себе базову машину з телескопічною стрілою, на якій встановлений відвал, встановлюється на стрілці паралельно її поздовжньої осі, забезпечується бічною щогою і вікном, розташованим на її далекому кінці від базової машини, і оснащений металником, встановленим на задній частині відвалу перед вікном (рисунок 1.4)

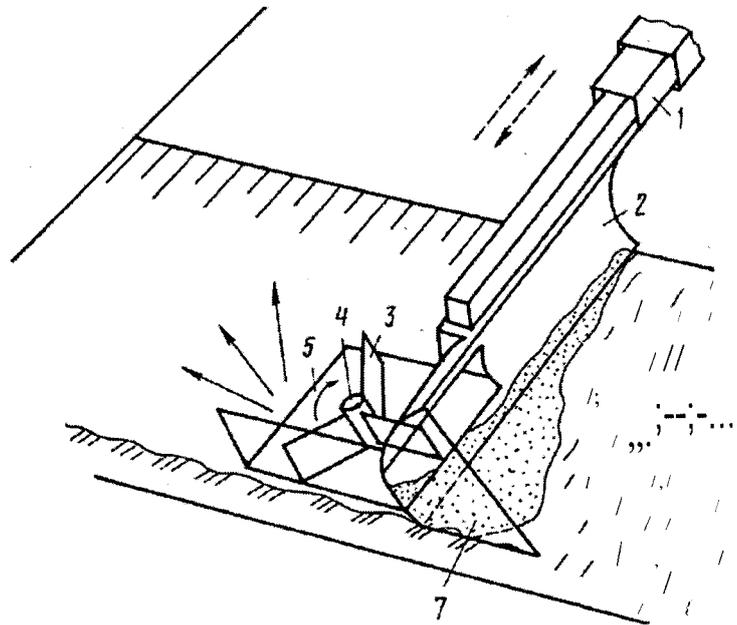
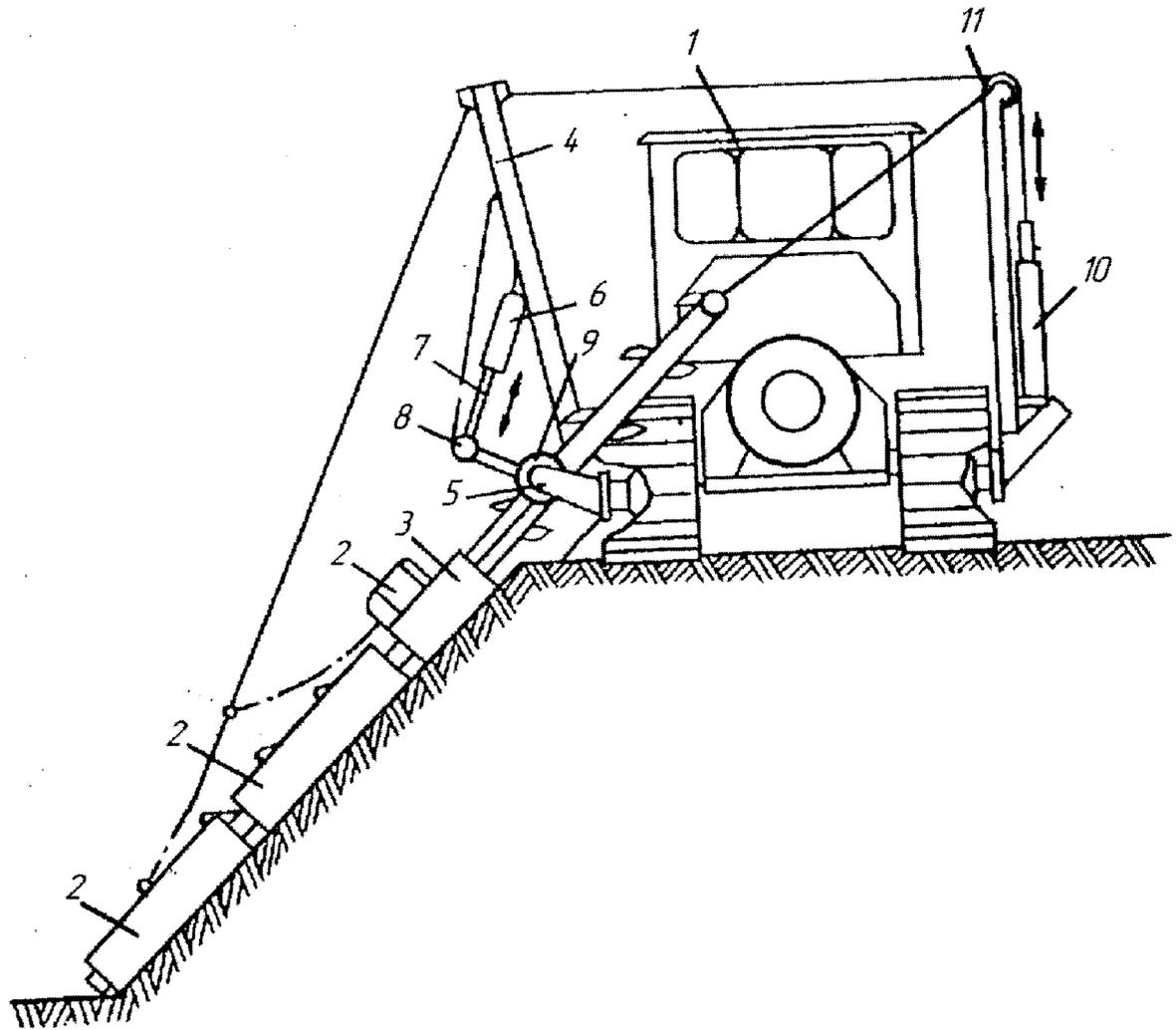


Рисунок 1.4 - Планувальник нахилу

Також є відомою конструкція планувальника нахилу каналу (рисунок 1.5), що включає базову машину, пристрій планування з ковшовим конвеєром і засобом ущільнення ґрунту і пристрій, встановлений на базовій машині для регулювання положення планувального пристрою на схилі, відрізняються тим, що для поліпшення якості планування схилу відповідно до заданим нахилом без використання спеціально підготовлених опорних поверхонь по всій довжині каналу, планувальний пристрій забезпечений системою похилих роликів, розташований за ковшовим конвеєром в ході руху машини, а засоби для зняття землі - у вигляді валів, розташованих перед транспортером, обладнаних на периферії розпушувальними лопатями [10].

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



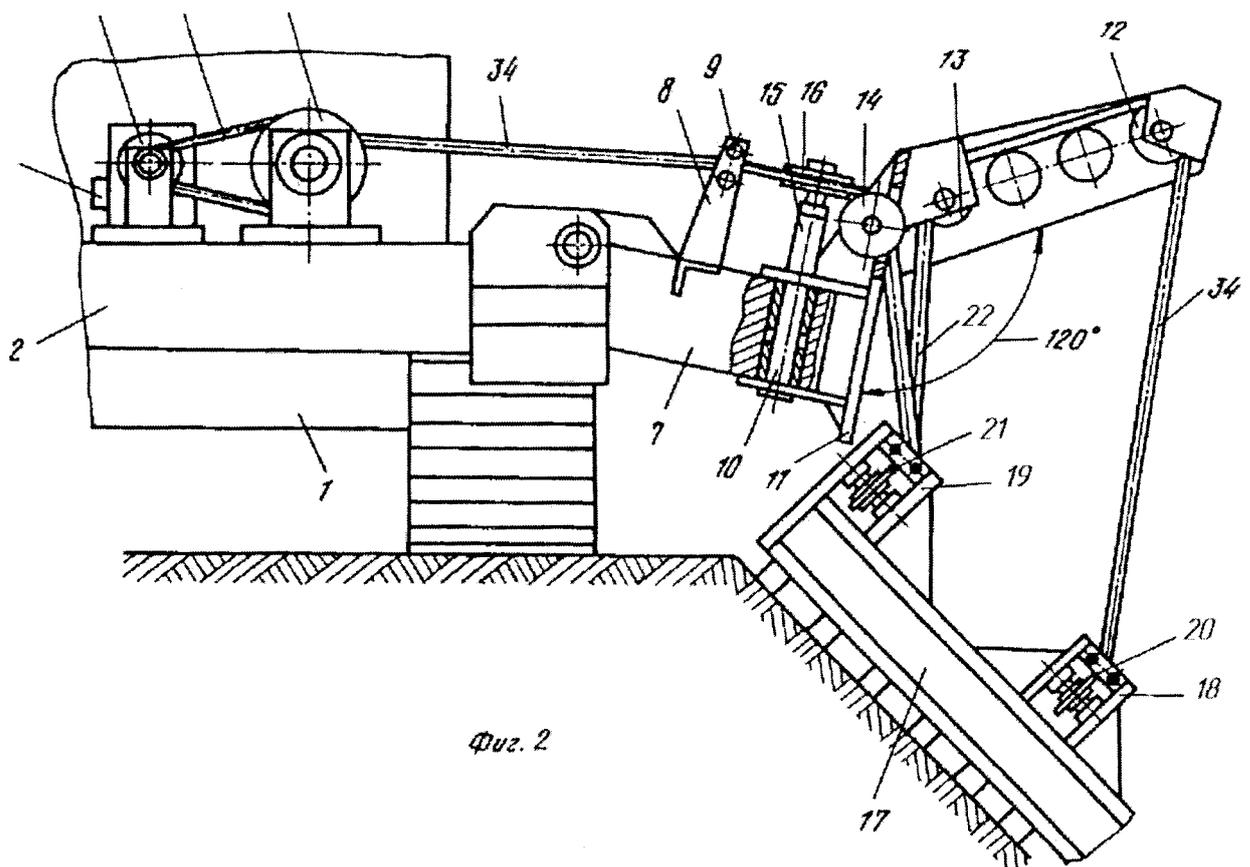
1 - базова машина; 2 - двигун; 3 - водяні ролики; 4 - стійка; 5 - кронштейн;
 6 - гідроциліндр; 7 - вилка; 8 - качалка; 9 - блок відведення; 10 - гідроциліндр;
 11 - стійка

Рисунок 1.5 - Планувальник нахилу каналу

Планувальники нахилу можуть різнитися між собою. Так, наприклад, існує планувальник нахилу [23], що складається з базової машини, рами з робочим елементом, встановленим на ній збоку машини за допомогою гнучкого елемента, обертової пластини і вертикального шарніра, і приводу з механізмом живлення, який відрізняється тим, що для того щоб забезпечити надійну роботу

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		8

планувальника і збільшити ширину укосів, що підлягають обробці на постійній довжині робочого елемента, обертова пластина забезпечена жорстко закріпленим кутом стрілки до неї, а робочий елемент забезпечений пристроєм для регулювання кута різання. Гвинт кріпиться на ньому за допомогою вертикальної петлі і втілюється у вигляді з'єднаних між собою стійок, на якому шарнірно встановлений важіль, а також змонтований гвинт з повзунком з опорами, які взаємодіють з важелем, при цьому важіль підключається, через блок і гнучкий силовий елемент спереду базової машини (рисунок 1.6).



Фиг. 2

1 - базова машина; 2 - каркас; 3 - барабан; 4 - ланцюгові; 5 - коробка передач; 6 - гідромотор; 7 - важіль; 8 - стійка; 9 - гідро-ролики; 10 - шарнір; 11 - поворотна пластина; 12, 13, 14 - блоки; 15 - вісь; 16 - керівний блок; 17 - робочих членів; 18, 19 - опори; 20, 21 - блоки; 22 - канат

Рисунок 1.6 - Планувальник нахилу

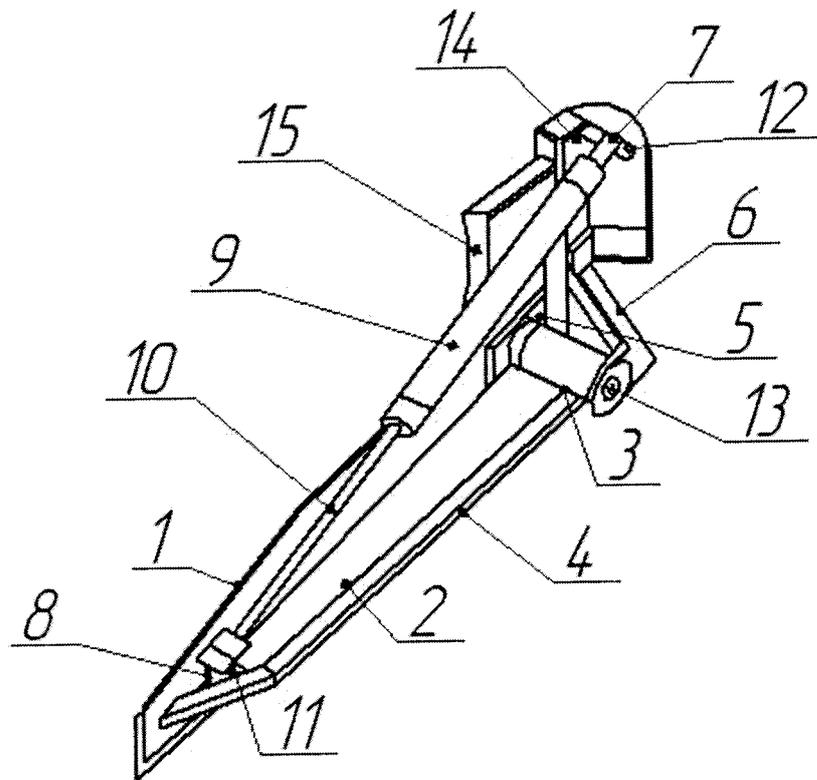
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ

Лист

9

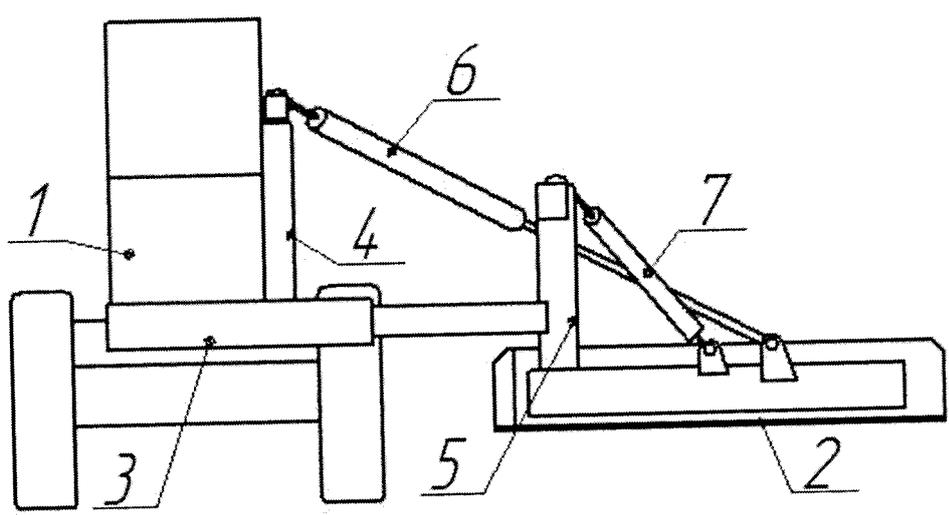
Слід також розглянути закордонні зразки машин для планування схилів бічним відвалом, прикріпленого до головного відвалу бульдозера. Так, у Сполучених штатах Америки відомі машини, бічна вісь обертання яких знаходиться на нижній кромці головного відвалу бульдозера [34]. Поворот і кут зрізу регулюється гідравлічним циліндром, який з'єднує край бічного відвалу і верхній край головного відвалу (рисунок 1.7).



- 1 – боковий відвал; 2 - фасонка; 3 – шарнірна труба; 4 - розпірна труба;
 5 - монтажна пластина; 6 - розпірний елемент; 7, 8 – циліндричні тримачі;
 9 - гідроциліндр; 10 - стрижень; 11, 12 - осі; 13 - болт; 14 - кронштейн;
 15 – головний відвал

Рисунок 1.7 - Бічний відвал

Також американські інженери розглядають обладнання для кріплення на машинах типу колісний грейдер [35]. Особливість такого технічного рішення полягає в тому, що відвал можна використовувати в якості грейдера або установки для формування відкосів (рисунок 1.8). У цьому технічному рішенні можна змінити: відстань від основної машини до відвалу; кут захоплення відвалу; кут зрізу відвала.



1 - базова машина, 2 - відвал; 3 - фіксована секція; 4 - фіксована вертикальна стійка; 5 - рухома вертикальна стійка; 6 - гідроциліндр для зміни кута захоплення; 7 - гідравлічний циліндр для зміни кута різання.

Рисунок 1.8 – Навісне обладнання колісного грейдера

У Японії інженери запропонували вісь обертання бічного відвалу на штовхаючій планці, де гідравлічний циліндр обертання під'єднується до головного відвалу [37] (рисунок 1.9).

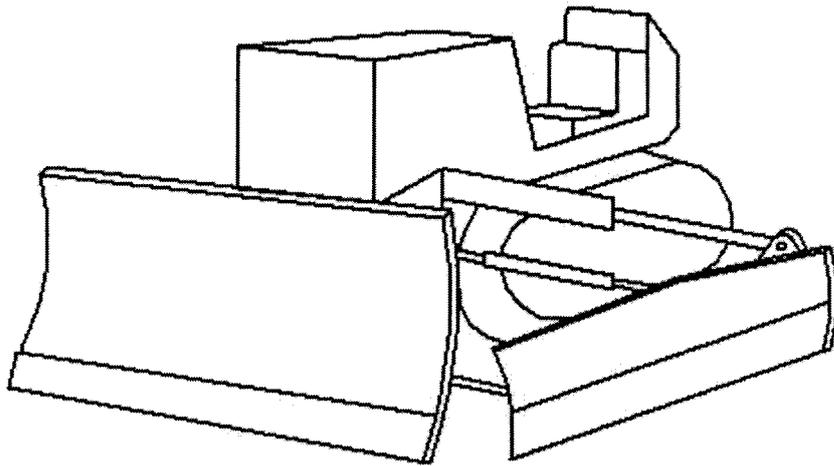


Рисунок 1.9 – Варіант встановлення бічного відвалу на бульдозер

Аналіз відомих технічних рішень і реалізованих конструкцій показав, що можливі два варіанти установки бічного відвалу:

- на штовхаючій планці;
- на головний відвал бульдозера.

Аналіз існуючих конструкцій довів, що в плані простоти і надійності кращим варіантом є перший спосіб монтажу бічного відвалу.

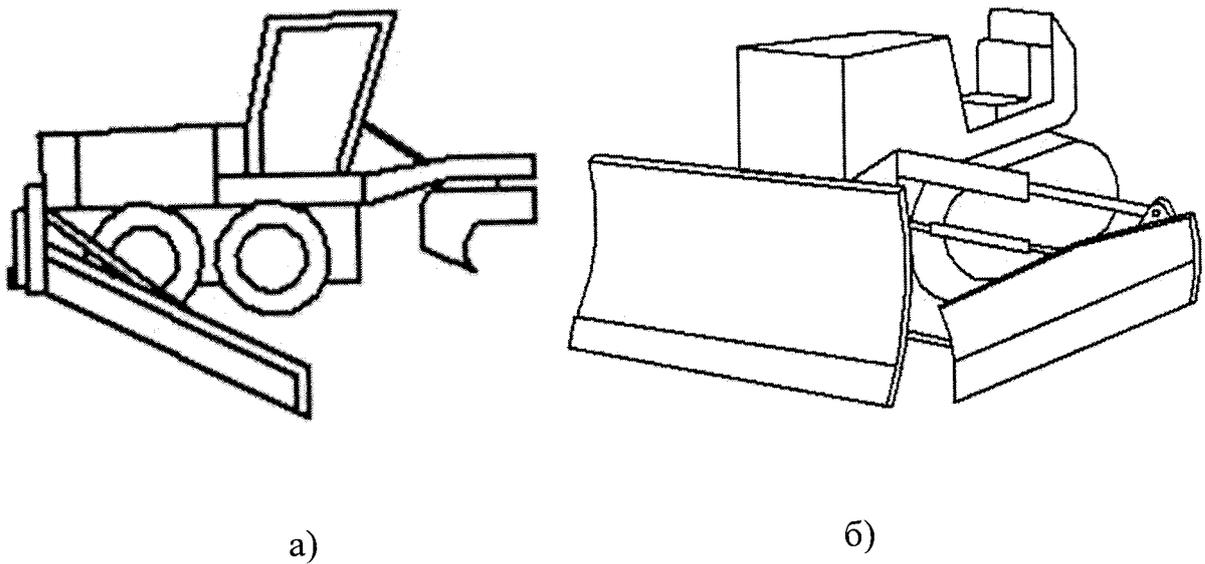
1.2. Обґрунтування доцільності і сфера застосування машин з боковим відвалом

Обсяги будівництва доріг збільшуються, тому мета - здешевлення будівництва доріг. Це завдання актуальне і може бути вирішене шляхом створення нових машин і модернізації існуючих.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		12

Для підвищення якості роботи і збільшення технологічних можливостей основної машини використовуються бічні відвали, які встановлюються на штовхальну планку бульдозера або раму автогрейдера.

Конструктивною відмінністю додаткового бічного відвалу від основного робочого органу бульдозерів і автогрейдерів є його установка збоку, зовні опорної поверхні базової машини і можливість змінювати кут зрізу у вертикальній площині, а також кут захоплення в горизонтальній площині.



а) на рамці автогрейдера; б) на штовхальну планку бульдозера

Рисунок 1.10 - Схема установки бічного краю

Машини з бічними відвалами окрім будівництва доріг, також можуть бути використані для меліорації земель, ландшафтного дизайну та інших земляних робіт.

Планувальна машина підбирається на основі технології роботи та умов ділянки. Слід зазначити, що є легкою колісною машиною і в основному використовується при плануванні підготовлених ділянок, які в свою чергу попередньо підготовлені гусеничними бульдозерами.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

Таким чином, бульдозер з бічним відвалом виконує грубу роботу і готує майданчик до наступного легкового автомобіля - автогрейдера. Якщо використання автогрейдера неможливе або економічно не доцільне, то необхідно використовувати гусеничний бульдозер з додатковим бічним відвалом.

Модернізація машин такого типу передбачає установку багатоваріантного бічного відвалу:

- на штовхаючу планку бульдозера;
- на раму автогрейдера;
- на головний відвал бульдозера.

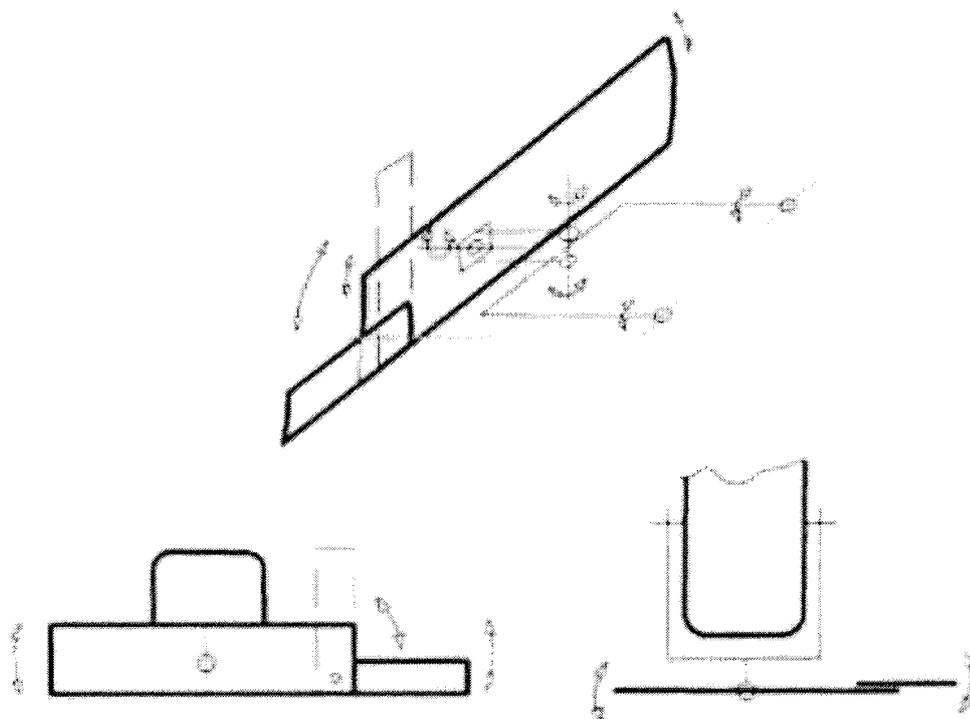


Рисунок 1.11 - Розташування бічного відвалу бульдозера, встановленого на головному відвалі

1.3 Питання зрізання ґрунтів робочими органами землерийно-транспортних машин та обґрунтування подальших досліджень

Якщо необхідно визначити тип руйнування ґрунту, тоді використовують дослідження на основі теорії міцності щодо зв'язку між показниками напруженого стану та властивостями пошкодження. Аналіз теорій механіки міцності показує, що кожна теорія окремо не дає задовільних результатів опису різних видів пошкоджень.

Тому на основі вивчення двох повних типів руйнування – відриву та зсуву, була розроблена комбінована теорія міцності Давиденкова-Фрідмана для матеріалів без внутрішнього тертя [8]. Ґрунт, бетон і будівельні матеріали мають значне внутрішнє тертя, тому це необхідно враховувати при оцінці їх зсуву. Граничне значення дотичного напруження τ є функцією нормального тиску σ_n в площині зсуву і виражається наступним рівнянням згідно із законом Кулона-Мура:

$$\tau = C + \sigma_n \operatorname{tg} \rho, \quad (1.1)$$

де C – зчеплення ґрунту;

ρ – кут внутрішнього тертя.

При створенні єдиної теорії міцності ґрунту необхідно взяти за вихідну другу і четверту теорії міцності [9]. Умову пошкодження в цьому випадку можна записати так:

Зсув:

$$\begin{aligned} \sigma_{np} &< \sigma_p \\ \tau_{\psi} &= C + \sigma_n \operatorname{tg} \rho \end{aligned} \quad (1.2)$$

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Відрив:

$$\begin{aligned} \sigma_{np} &= \sigma_p \\ \tau_{\psi} &< C + \sigma_n \operatorname{tg} \rho \end{aligned} \quad (1.3)$$

Аналіз напруженого стану показує, що коли внутрішнє тертя зменшується під час плоского стиснення, руйнування відбувається в основному через зсув. При збільшенні кута внутрішнього тертя ймовірність відриву ґрунту зростає, а після досягнення певної сили тертя відрив стає домінуючим [8].

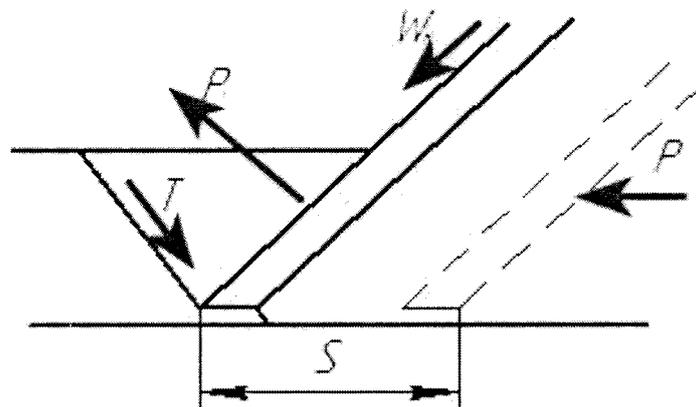


Рисунок 1.12 - Схема взаємодії ножа з ґрунтом

Сила деформації прикладена до сили руйнування, що призводить до зсуву ґрунту між послідовними руйнуваннями (крок зсуву). Дослідження, проведені в Україні [30], виявили ступінь зусилля деформації ґрунту.

$$P_{\text{ДЕФ}} = \frac{C_D B S^2 \sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta - \rho)}{\cos^2 \cos \rho}, \quad (1.4)$$

де, C_D – динамічний коефіцієнт деформації, Н/м³;

S – крок зсуву;

$\alpha, \delta, \rho, \psi$ – кути різання, зовнішнього і внутрішнього тертя, кут зсуву

відповідно.

Зусилля руйнування ґрунту P_{\max} описується залежністю.

$$P_{ДЕФ} = CBh_{cp} \left[\frac{ctg\psi}{tg(\psi + \rho)} \right] + \left[\sin\alpha - \frac{\cos\alpha}{tg(\psi + \rho)} \right] W_n, \quad (1.5)$$

де, C -зчеплення ґрунту;

B і h_{cp} - ширина і середня глибина різання;

W_n - довантаження від опору заповнення робочого органу.

Прирівнявши $P_{ДЕФ}$ і P_{\max} можна визначити крок зсуву S :

$$S = \frac{\cos\delta}{\sin\alpha} \sqrt{\frac{\cos\rho [CBh\cos\psi + W_n\sin(\alpha + \rho + \psi)]}{C_D B \sin^2\alpha \sin(\alpha + \delta - \rho) \sin(\rho + \psi)}} \quad (1.6)$$

В цих залежностях C_D – динамічний коефіцієнт деформації визначається за допомогою щільноміра ДорНДІ [30].

Отримані залежності розкривають спосіб використання гострих ножів для різання ґрунту з пропорційним регулюванням площі затуплення по відношенню до товщини ножа.

Розростання платформи ріжучих органів може спричинити утворення затору, що може призвести до збільшення опору затупленню та, зрештою, призвести до неекономічних витрат на експлуатацію. Це призводить до необхідності заміни ножа.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Проведення масштабних випробувань при зміні конструкції машини є одним із активних засобів підвищення її надійності. Однак поточні випробування на надійність дорожніх і будівельних машин не відповідають технічному прогресу, що призводить до значного зниження морального ресурсу техніки. Як наслідок, скорочення термінів створення нових моделей машин і підвищення якості товарів, які запускаються в незліченну кількість ключових науково-технічних ініціатив. На даний момент ми маємо багатий досвід різноманітних експериментів зі створення та перевірки конструкцій.

Однак кожен тип тесту не пов'язаний між собою і займає лише 10-12% загального часу на створення нового дизайну. Рівень науково-технічної апробації багато в чому визначає терміни впровадження нової конструкції, її випробування і надійність.

Щоб скоротити час доставки та збільшити обсяг і точність отриманої інформації, ми повинні постійно вдосконалювати шляхи та засоби перегляду, обробки та аналізу отриманих даних.

Рішення проблем дослідження, тестування та оцінки надійності в даний час здійснюються двома способами.

Це робиться шляхом вивчення статистичних і ймовірнісних закономірностей виникнення помилок, шляхом розгляду функціональних процесів машин і їх компонентів як випадкових процесів і шляхом їх оцінки. Індекс надійності на основі цього.

Або ж шляхом вивчення фізичних і механічних властивостей і параметрів машин і їх компонентів, робочих процесів і робочих середовищ, а також фізичної природи і механізмів помилок. При цьому стан окремих частин машини описується залежностями, що визначають фізичні закономірності процесу.

У зв'язку з цим на основі виконаного аналізу можемо зробити висновок, що існує потреба у проведенні подальших досліджень із визначення впливу кутів встановлення бокового відвалу землерийно-транспортної машини на опір копанню ґрунту і формування його призми волочіння. Також важливим є питання оцінки

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

курсової стійкості основної машини при встановленні на неї бічного відвалу. Подібні дослідження дозволять розробити методики та алгоритми більш ефективного використання техніки при проведенні робіт з будівництва доріг.

Крім того, можна стверджувати, що встановлення додаткового бічного відвалу на землерийно-транспортну машину на гусеничному рушії дозволить розширити кількість раціональних видів робіт та випадків використання такої техніки із достатньо високим рівнем ефективності виконання операцій. Тому цей напрямок досліджень з обґрунтування параметрів бічного відвала встановленого на будівельних машинах є актуальним і перспективним.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

2 Теоретичне обґрунтування раціонального використання додаткового бічного відвалу на гусеничному бульдозері.

2.1 Визначення об'єму призми волочіння ґрунту на додатковому бічному відвалі.

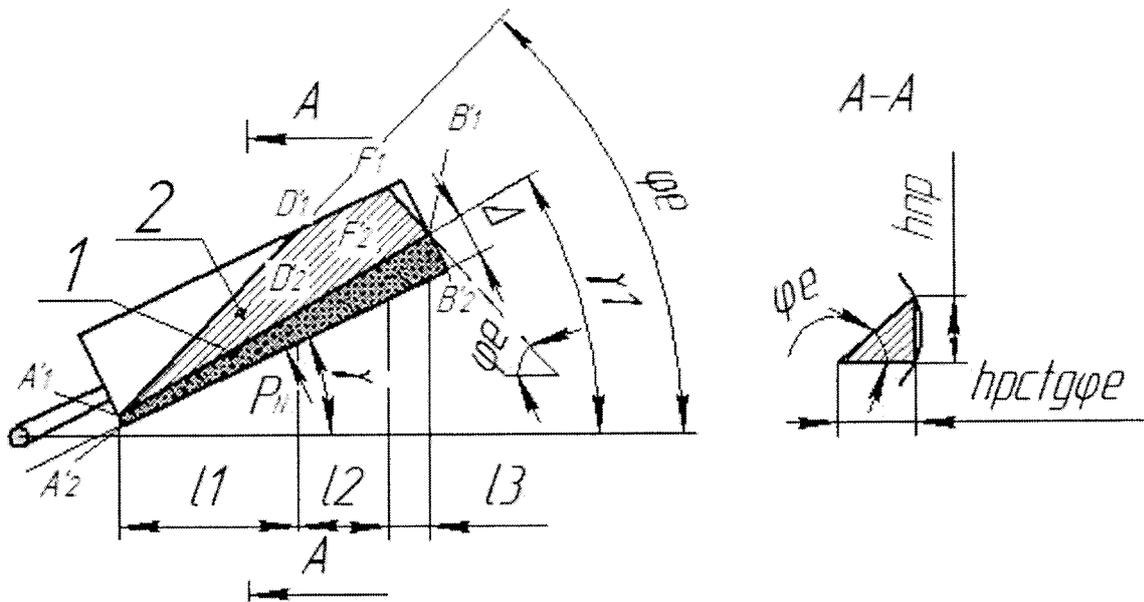
Операції, які можуть бути виконані бічним відвалом бульдозера і сили опору, які прикладаються до бічного відвалу, в залежності від кута нахилу відвалу γ_1 і кута природного нахилу ґрунту φ_B , можна припустити наступним чином (рисунок 2.1):

- 1.Різання землі (різання укосів $\gamma_1 > \varphi_B$)
- 2.Різання і переміщення ґрунту (різання і переміщення ґрунту на схилі $\varphi_B < \gamma_1$)
- 3.Переміщення землі (компонування розрихленого або нерозрихленого ґрунту ,при $\gamma_1 > \varphi_B$):

Теоретичний об'єм призми наземного волочіння на бічному відвалі, $V_{Д.ТЕОР}$, $м^3$, можна обчислити за таким алгоритмом:

1. Визначається проекція теоретичної призми опору на бічному відвалі під кутом захоплення $\beta = 90^\circ$ (відвал перпендикулярний напрямку руху). Проекція обмежена лінією денної поверхні схилу $A_1'B_1'$, оскільки відвал заглиблений під кутом Δ , а проекція обмежена лініями природного схилу землі $A_1'D_1'$ і $F_1'B_1'$ під кутом φ_e ;

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Теоретичне обґрунтування раціонального використання додаткового бічного відвалу на гусеничному бульдозері	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Ладатко		29.12			20	
Перев.		Рогозін		29.12				
Н. конт.		Васильєв		18.01				
Затв.		Орисенко		19.01				
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.		



1-зрізана стружка ґрунту; 2-проекція теоретичної призми волочіння на вертикальну площину бічного відвалу; A_1B_1' - лінія денної поверхні схилу; A_1D_1' - природна лінія схилу ґрунту; γ_1 - кут нахилу поверхні; γ - кут зрізу бокового відвалу; Δ - кут заглиблення відвалу; φ_e - кут природного схилу; P_N - реакція від землі до ріжучого боку бічного відвалу;

h_{np} - висота призми землі на ділянці А-А; l_1, l_2, l_3 - ділянки, на яких розраховані обсяги складових теоретичної призми волочіння ґрунту.

Рисунок 2.1 - Проекція зрізаної стружки і проекція теоретичної призми волочіння на бічному відвалі

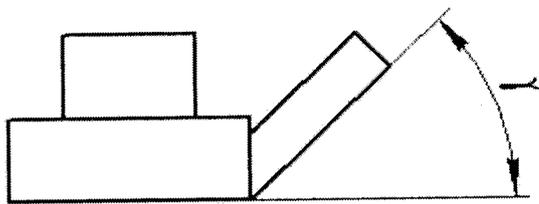
2. Утворюється крива проекції теоретичної призми, в цьому випадку це $A_1D_1'F_1'B_1'$, тоді точки A_1, D_1', F_1', B_1' проектуються на горизонтальну лінію, формуючи відрізки l_1, l_2, l_3 які є граничними умовами для інтегрування та розрахунку об'єму;

3. Визначити довжини відрізків, h_{np} , що проектуються з точок на кривій A_1', D_1', F_1', B_1' на лінію $A_1'B_1'$ по вертикалям графічним або аналітичним способом;

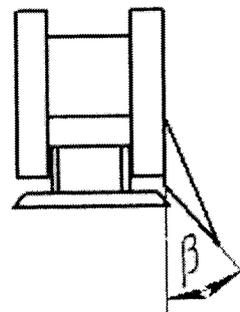
4. Розрахувати теоретичний об'єм призми волочіння методом інтегрування за формулою:

$$V_{Д.ТЕОР} = \int_0^{l_1} \frac{h_{np}^2(l) \cdot ctg \varphi_e}{2} dl + \int_0^{l_2} \frac{h_{np}^2(l) \cdot ctg \varphi_e}{2} dl + \int_0^{l_3} \frac{h_{np}^2(l) \cdot ctg \varphi_e}{2} dl \quad (2.1)$$

На рисунку 2.2 наведені можливі варіанти планування схилу з додатковим бічним відвалом.



а)



б)

а) вигляд спереду; б) вид зверху.

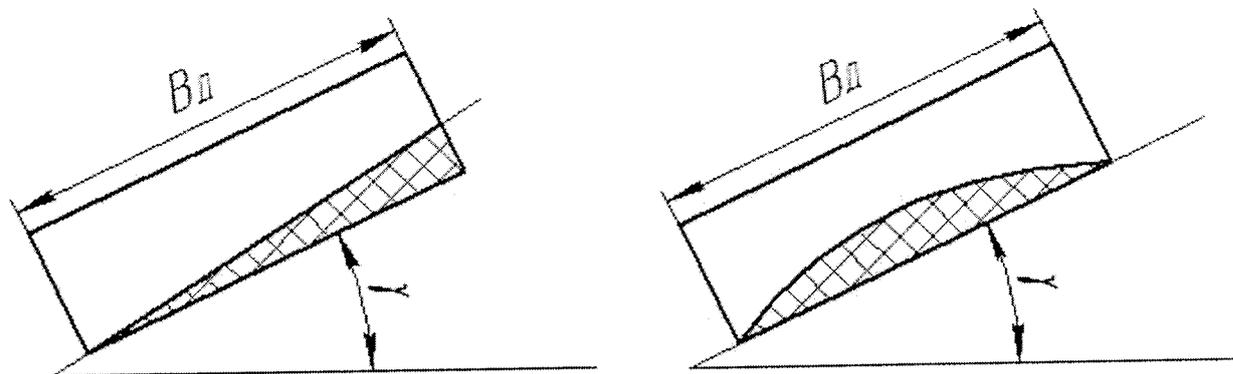
β - кут захоплення, γ - кут зрізу бічним відвалом.

Рисунок 2.2 - Можливі варіанти утворення відкосів бічним відвалом бульдозера під різними кутами різання і захоплення

Кути кріплення головного відвалу: кут зрізу $\gamma_r = 0^\circ$; кут захоплення $\beta_r = 90^\circ$.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		22

Роботу на схилах можна виконати напівблокованим різанням або вільним зрізанням (рисунок 2.3).



а)

б)

а – напівблокований зріз; б – вільний зріз.

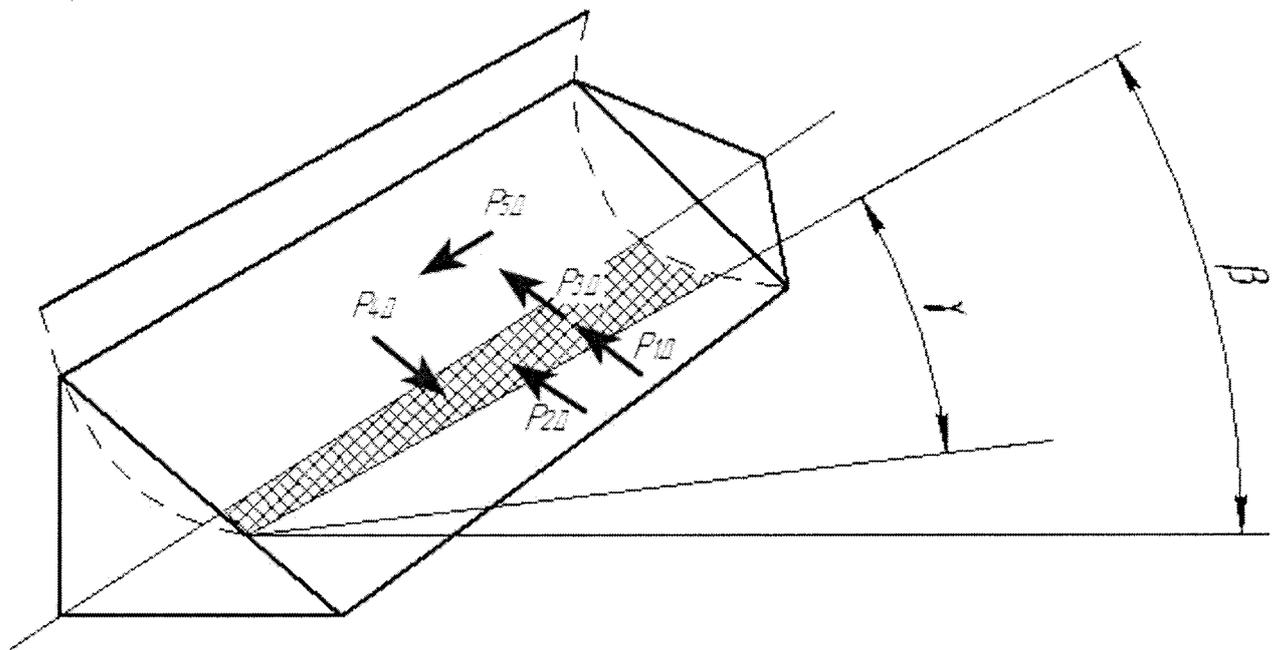
V_d - ширина бічного відвала, γ - кут зрізу бічного відвала

Рисунок 2.3 - Зрізання стружки при плануванні схилів

Відповідно до схеми, представленої на рисунку 2.4 показані сили, що діють на бічний відвал бульдозера. В такому випадку умовно назвемо ближньою ріжучою частиною додаткового відвалу, яка знаходиться в безпосередній близькості від основного відвалу, а дальньою – ту, яка знаходиться по інший бік від ближньої.

Загальний опір всіх сил, що діють на додатковий бічний відвал $P_{д,Н}$, під час робочої операції, може бути представлений за допомогою формули (рисунок 2.4)

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



P_{1D} - сила опору землі до різання бічним відвалом; P_{2D} - сила опору тертя землі на краю леза відвалу; P_{3D} - сила опору від руху призми волочіння землі; P_{4D} - сила опору, яка утворюється шляхом переміщення землі вгору по відвалу; P_{5D} - сила опору, викликана переміщенням землі повздовж відвалу; β - кут захоплення; γ - кутник різання бічного відвалу.

Рисунок 2.4 - Сили опору, що діють на бічний відвал

$$P_D = P_{1D} + P_{2D} + P_{3D} + P_{4D} + P_{5D}, \quad (2.2)$$

де, P_{1D} - опір до різання ґрунту бічного відвалу, Н;

Опір ґрунту різанню бічним відвалом P_{1D} , Н можна розрахувати за формулою:

$$P_{1Д} = kS', \quad (2.3)$$

де, k - коефіцієнт опору землі різанню, Па;

S' - площа проекції зрізаного ґрунту, m^2 ;

β - кут захвату відвалу (виміряється в градусах);

Опір тертя землі на краю леза відвалу $P_{2Д}$, Н, розрахуємо за формулою:

$$P_{2Д} = P_N \mu_1, \quad (2.4)$$

де, P_N - реакція землі на ріжучу частину бічного відвалу (рисунок 2.4), Н;

μ_1 - коефіцієнт тертя леза по землі.

Опір від переміщення призми волочіння $P_{3Д}$ залежить від кута поверхні нахилу γ_1 , що впливає на об'єм призми волочіння (рисунок 2.4) та на величину реакції опори, розроблюваної поверхні, кута зчеплення, що впливає на проекцію призми волочіння на бічний відвал.

Тоді, опір від переміщення призми волочіння $P_{3Д}$, Н, обчислюється за формулою, де додається змінна $\cos \gamma_1$,

де, γ_1 - кут денної поверхні відкосу, для урахування реакції з денної поверхні (опорної поверхні):

$$P_{3Д} = \mu_2 V_D \rho g \cos \gamma_1 \sin \beta, \quad (2.5)$$

де, μ_2 - коефіцієнт тертя ґрунту на землі;

V_D - об'єм призми волочіння на бічному відвалі, м³;

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

ρ -об'ємна маса розрихленого ґрунта призми волочіння, кг/м³;

g - прискорення вільного падіння, $g=9,81$ м/с²;

γ_1 - кут денної поверхні схилу, (визначається в градусах)

Сила опору, викликана від переміщенням ґрунту в гору по відвалу, $P_{4Д}$, Н:

$$P_{4Д} = \mu_1 V_{Д} \rho g \cos^2 \alpha \sin \beta, \quad (2.6)$$

де, α - кут різання, (визначається в градусах).

Сила опору, викликана переміщенням ґрунту вздовж відвалу $P_{5Д}$, Н:

$$P_{5Д} = \mu_1 \mu_2 V_{Д} \rho g \cos \beta \quad (2.7)$$

Таким чином, ми можемо відмітити, що визначені складові сил опору різанню і переміщенню землі на додатковому бічному відвалі гусеничного бульдозера; визначено вплив кутів захоплення і різання бічного відвалу на опір різання і переміщення землі; визначено вплив технології здійснюючих робіт бічним відвалом на величину суми сил; розроблено алгоритм розрахунку об'єму призми волочіння для бічного відвалу, що є важливим рішенням для даного дослідження.

Отримані залежності дозволяють спроектувати бічний додатковий відвал в залежності від параметрів базової машини і характеристик ґрунту.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

2.2. Проведення моделювання визначення геометричних параметрів зрізаного ґрунту

Для визначення раціональних параметрів бічного відвалу в залежності від тягової сили у проведенні моделювання повинні бути прийняті наступні припущення:

Бульдозер рухається по горизонтальній ділянці, бічний відвал і головний відвал знаходяться горизонтально, щоб розрахувати максимально можливу кількість ґрунту на бічному відвалі, коефіцієнт щеплення гусениць бульдозера з ґрунтом максимальний, боковий та основний відвал встановлені під прямим кутом до напрямку руху.

Таким чином, кути кріплення основного відвалу: кут врізання $\gamma_r = 0^\circ$; кут захвату $\beta_r = 90^\circ$; кути кріплення бічного відвалу: кут врізання $\gamma = 0^\circ$; кут захвату $\beta = 90^\circ$.

Бульдозер зрізає схил бічним відвалом, а товщину зрізаної стружки поступово збільшується. Форма стружки - трапецієподібна, але ми вважаємо, що вона прямокутна, щоб забезпечити максимальний опір до різання. Головний відвал не зрізає землю, а лише переміщує землю від бічного відвалу;

Об'єм призми волочіння на бічному відвалі буде визначатися сумою об'ємів двох тіл : циліндричного сегмента і трикутної призми з кутом природного нахилу землі φ_e .

Сила опору від переміщення призми волочіння на бічному відвалі прикладена до середини бічного відвалу, а для головного відвалу на відстані 1/4 довжини головного відвалу від ближнього краю бічного відвалу.

Розглянемо схему сил, що діють на модернізований бульдозер, як показано на рисунку 2.5.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		27

Об'єм призми волочіння на бічному відвалі $V'_{Д.ТЕОР}$, $м^3$, визначається за формулою:

$$V'_{Д.ТЕОР} = B_{Д} \left(0,57 \frac{H_{Д}^2}{2} - 0,29h^2 + \frac{(H_{Д} - h)^2}{2k_{np}} \right), \quad (2.8)$$

де, $B_{Д}$ - ширина бічного відвалу, м;

$H_{Д}$ - висота бічного відвалу, м;

h - товщина зрізаного шару землі, м;

k_{np} - коефіцієнт для визначення об'єму призми волочіння.

Об'єм ґрунту перед головним відвалом $V'_{Г.ТЕОР}$, $м^3$:

$$V'_{Г.ТЕОР} = 0,5V'_{Д.ТЕОР} \quad (2.9)$$

Бульдозер з бічним відвалом підтримуватиме стійкість при умові:

$$M_{снец} \geq M, \quad (2.10)$$

де, $M_{снец}$ - момент сил, що утримують бульдозер від повороту при роботі з бічним відвалом від маси бульдозера,

M - момент сил опору риття, що повертають бульдозер.

Момент сил, що утримують бульдозер від повороту при роботі з бічним відвалом від маси бульдозера:

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		29

$$M_{\text{снец}} = TK, \quad (2.11)$$

де, T - сила зчеплення на одній гусениці від ваги бульдозера. Маса бульдозера з бічним відвалом ;

K - колія бульдозера, м

$$M = \frac{(m_{\delta} + m'_{\delta 0})g(\varphi'_{\text{сц}} - f_1)}{2}, \quad (2.12)$$

де, m_{δ} - маса бульдозера, кг;

$m'_{\delta 0}$ - вага бічного відвалу, кг, $m'_{\delta 0} = 0,35m_{\delta}$;

$\varphi'_{\text{сц}}$ - коефіцієнт зчеплення гусениць з ґруном, приймаємо $\varphi'_{\text{сц}} = 1$;

f_1 - коефіцієнт стійкості до руху бульдозера, приймаємо $f_1 = 0,1$.

Умова, при якій бульдозер з боковим відвалом зробить процес риття землі бічним відвалом, визначається з виразу:

$$M_{\text{ТЯГ}j} \geq M, \quad (2.13)$$

де, $M_{\text{ТЯГ}j}$ - момент сил, що утримують бульдозер від повороту при роботі бічним відвалом від тягової сили бульдозера при передачі j :

$$M_{\text{ТЯГ}j} = \frac{P_{kj}}{2} K, \quad (2.14)$$

де, P_{kj} - тягове зусилля, що утворюється бульдозером при j передачі,

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		30

K -колія бульдозера.

Геометричні параметри (рисунок 2.5) визначають такі формули:

$$\begin{aligned}y' &= \frac{B_{\Gamma} - K}{2} + 0,5B_{\text{Д}}, \\y'_{N_x} &= \frac{K}{2} + \frac{B_{\Gamma}}{4}.\end{aligned}\tag{2.15}$$

Момент опору копанню, відносно осі симетрії гусениці 2:

$$M = P'_x(K + y') + N'_x y'_{N_x},\tag{2.16}$$

де, P'_x - опір на бічному відвалі, що відповідає максимальному об'єму призми ґрунту перед відвалом, Н;

N'_x - сила опору від руху призми волочіння на головному відвалі.

Стійкість до риття бічним відвалом :

$$P'_x = kB_{\text{Д}}h + V'_{\text{Д.ТЕОР}} \rho g (\mu_2 + \mu_1 \cos^2 \alpha),\tag{2.17}$$

де, k - коефіцієнт опору ґрунту до різання, Па;

h - товщина зрізу;

ρ - об'ємна маса розрихленого ґрунту призми волочіння, кг/м³;

μ_2 - коефіцієнт тертя ґрунту об землю;

μ_1 - коефіцієнт тертя металу об ґрунт ;

α - кут зрізу бічним відвалом бульдозера.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		31

Головний відвал переміщує ґрунт від бічного відвалу, але не зрізає його.

Сила опору від переміщення призми волочіння ґрунту на головному відвалі визначається формулою:

$$N'_x = V'_{Г.ТЕОР} \rho g (\mu_2 + \mu_1 \cos^2 \alpha). \quad (2.18)$$

Наприклад, розглянемо розрахунок товщини зрізаного ґрунту в залежності від моменту стійкості до риття для типового зразка бульдозерної техніки.

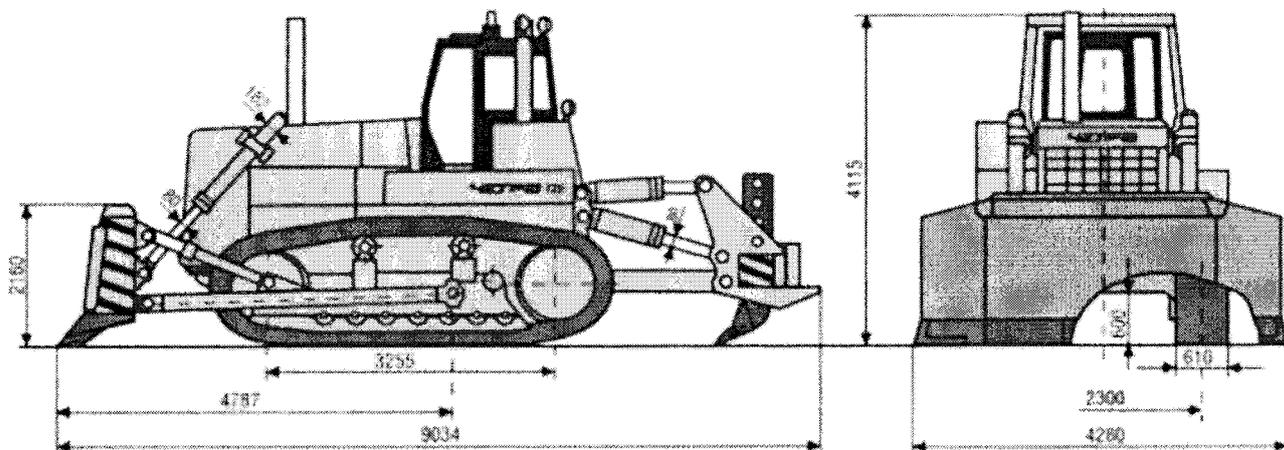


Рисунок 2.6 – Типова конструкція бульдозера на прикладі моделі Т9.01

Параметри бульдозера Т9.01 наведені в таблиці 2.1 і параметри ґрунту наведені в таблиці 2.2.

Залежність моменту опору (M) копанню від товщини зрізаної стружки (h) знайдемо за формулою для y'_{Nx} .

В розгорнутому вигляді для бічних відвалів (таблиця 2.3) з різним співвідношенням висоти H_d до ширини B_d бічного відвалу:

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики бульдозера Т9.01

Маса бульдозера, m_b	20220кг	
Тип відвалу	прямий	
Ширина відвалу, B_r	4,185 м	
Висота відвалу, H_r	1,002 м	
Колія бульдозера, K	1,78 м	
Двигун(потужність), $N_{дв}$	ЯМЗ-236НБ-2(100 кВт)	
ККД трансмісії, $\eta_{ккд}$	0,75	
Швидкість руху та тяга на 1-ій передачі	v_1	1,05 м/с
	P_{k1}	71,4 кН
Швидкість руху та тяга на 2-ій передачі	v_2	1,92 м/с
	P_{k2}	39,1 кН
Швидкість руху та тяга на 3-ій передачі	v_3	3,08 м/с
	P_{k3}	24,4 кН
Кут роботи відвалу, α_r	55°	
Кут зрізання головного відвалу, γ_r	0°	
Кут захвату головного відвалу, β_r	90°	

Таблиця 2.2 - Параметри ґрунту

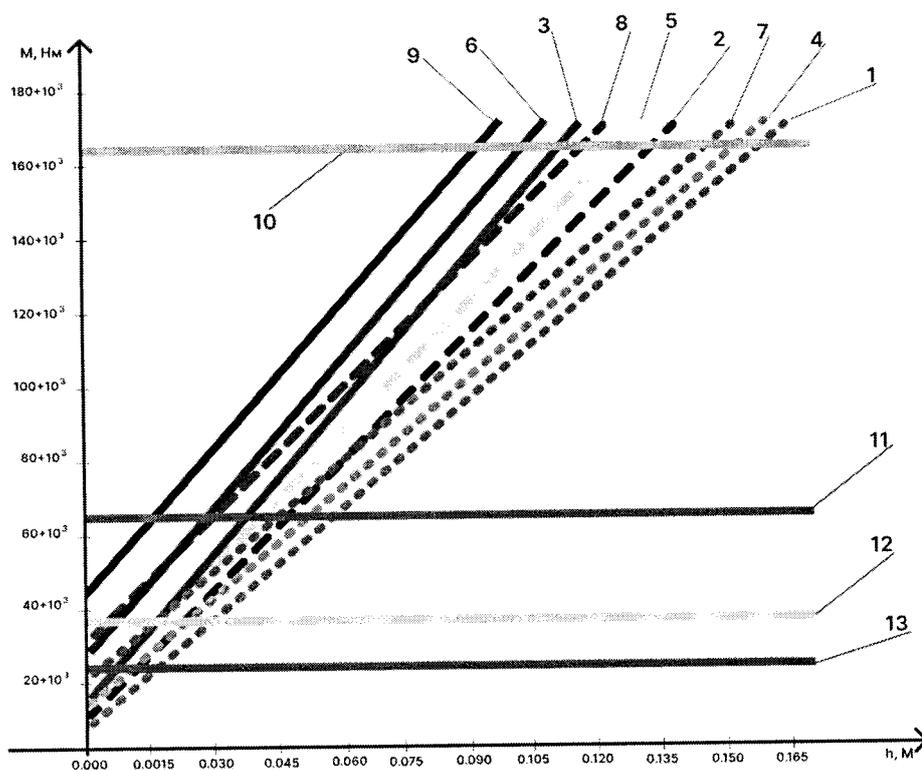
Ґрунт	Суглинок
Категорія ґрунту	IV
Коефіцієнт опору ґрунту різанню, k	200000 Па
Об'ємна маса розрихленого ґрунту призми волочіння, ρ	1600 кг/м ³
Коефіцієнт тертя ґрунту, μ_2	0,7
Коефіцієнт тертя металу, μ_1	0,5
Кут природнього нахилу ґрунту, φ_e	50°
Коефіцієнт для визначення об'єму призми волочіння, k_{np}	1,5
Коефіцієнт початкового розрихлення ґрунту, k_{np}	1,15

$$M_i(h) = \left[k B_{Di} h + V'_{Д.ТЕОР} \rho g (\mu_2 + \mu_1 \cos^2 \alpha) \right] (K + y') + V'_{Г.ТЕОР} \rho g (\mu_2 + \mu_1 \cos^2 \alpha) y'_{Nx} \quad (2.19)$$

Таблиця 2.3 - Бічні відвали

№ бокового відвалу	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_{дi}, м$	0,35	0,4	0,45	0,49	0,56	0,63	0,63	0,72	0,81
$B_{дi}, м$	1,4	1,6	1,8	1,4	1,6	1,8	1,4	1,6	1,8
$H_{дi} / B_{дi}$	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45

Якщо провести розрахунок за наведеними у таблицях даними, то отримаємо графік залежностей моменту опору від товщини зрізаної стружки $M_i(h)$ для бічних відвалів (таблиця 2.3), який показано на рисунку 2.7.



$M_i(h)$ для бічних відвалів $i:1-9$ – графіки залежностей $M, (h)$ для відвалів $i=1...9$ відповідно; 10 – горизонталь $M_{СПЕЦ}$, 11 та 13 –горизонталі $M_{ТЯГ}$ для передач $i=1...3$, відповідно.

Рисунок 2.7 - Графік залежностей моменту опору від товщини зрізаної стружки

Момент $M_i(h)$ не дорівнює нулю при $h=0$ м, оскільки вважаємо, що на бічному відвалі вже є об'єм призми волочіння ґрунту. Горизонталь $M_{СПЕЦ}$ обмежує зону стійкості бульдозера з бічним відвалом i ($M_i(h) \leq M_{СПЕЦ}$).

Горизонталі $M_{ТЯГj}$ обмежують площу, на якій це можливо виконати процес риття ґрунту боковим відвалом бульдозера при передачі j ($M_i(h) \leq M_{ТЯГj}$).

На перетині графіків $M_i(h)$ і $M_{ТЯГj}$ знаходимо максимальне значення h , при якому можливий процес праці бічним відвалом на зазначеній передачі j .

Для того, щоб аналітично визначити максимальну товщину стружки зрізу h , необхідно $M_i(h)$ прирівняти $M_{ТЯГj}$ і підставити всі відомі значення параметрів, щоб знайти розв'язок рівняння:

$$M_i(c_{\max}) - M_{ТЯГj} = 0. \quad (2.20)$$

Бічні відвали з найменшим співвідношенням висоти до ширини (0,25; 0,35) є кращими в роботі. Вибір розміру бічного відвалу для експлуатації залежить від товщини зрізаної стружки h або об'єму призми волочіння $V'_{Д.ТЕОР}$. Чим менше h , тим більше $V'_{Д.ТЕОР}$ і навпаки.

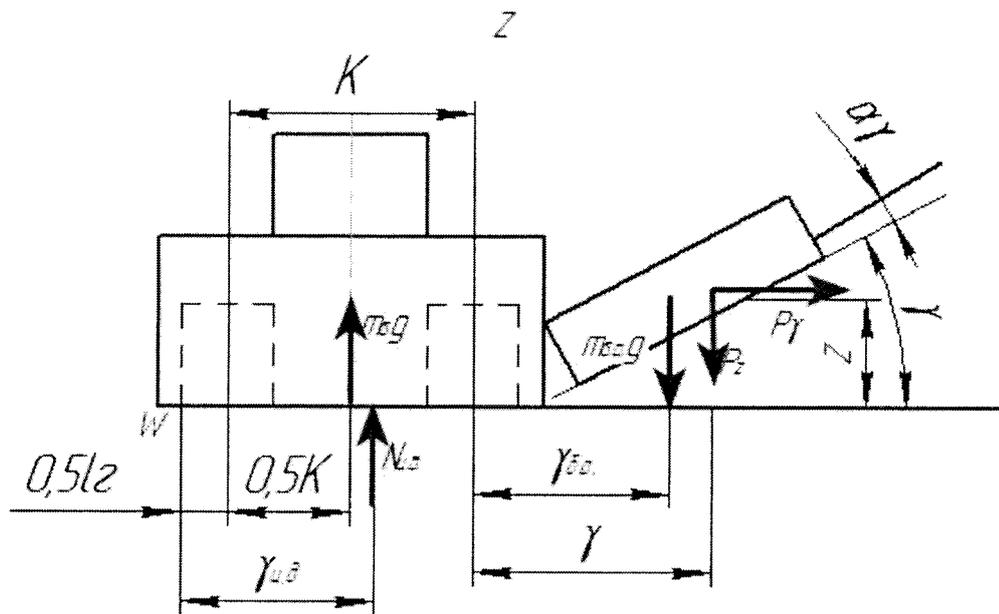
2.3. Визначення впливу бічного відвалу на процес взаємодії з ґрунтом гусеничного ходового обладнання бульдозера

Основними факторами, що впливають на процес утворення схилів за допомогою додаткового бічного відвалу, встановленого на гусеничному

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

бульдозері, ϵ кут установки робочого органу: α - кут різання; β - кут захвату; γ - кут заглиблення.

Визначення центру тиску гусениць на бульдозерів з бічним відвалом на опорній поверхні. Щоб визначити координату $\gamma_{ц.д.}$, використаєм схему проектування (рисунок 2.8) і прирівняєм суму моментів відносно точки W до нуля.



$N_{ц.д.}$ - вертикальна сила реакції від землі;

$m_b.g$, $m_{б.о}.g$ - вага бульдозера і бічного відвалу;

P_γ , P_z - сили опору копанню;

$\gamma_{б.о.}$ - координата центру ваги бічного відвалу;

γ , z - координати точки застосування сили опору при копанні

Рисунок 2.8 - Розрахункова схема для визначення координат $\gamma_{ц.д.}$

Виразуємо координату $\gamma_{ц.д.}$ за формулою:

$$\gamma_{ц.д.} = \frac{m_{\sigma} g \left(\frac{l_2 + K}{2}\right) m_{\sigma.o.} g \left(\frac{l_2}{2} + K + \gamma_{\sigma.o.}\right) + P_z \left(\frac{l_2}{2} + K + \gamma\right) + P_{\gamma z}}{N_{ц.д.}} \quad (2.21)$$

Знайдемо $N_{ц.д.}$, за умови, що сума сил на осі Z дорівнює нулю:

$$N_{ц.д.} = m_{\sigma} g + m_{\sigma.o.} g + P_z, \quad (2.22)$$

де, $m_{\sigma.o.}$ - вага бічного відвалу, кг, яка визначається за формулою:

$$m_{\sigma.o.} = 0,04 m_{\sigma} \quad (2.23)$$

Для визначення координат $x_{ц.д.}$ розглянемо схему розрахунку (рисунок 2.9) і прирівняємо суму моментів відносно точки W до нуля.

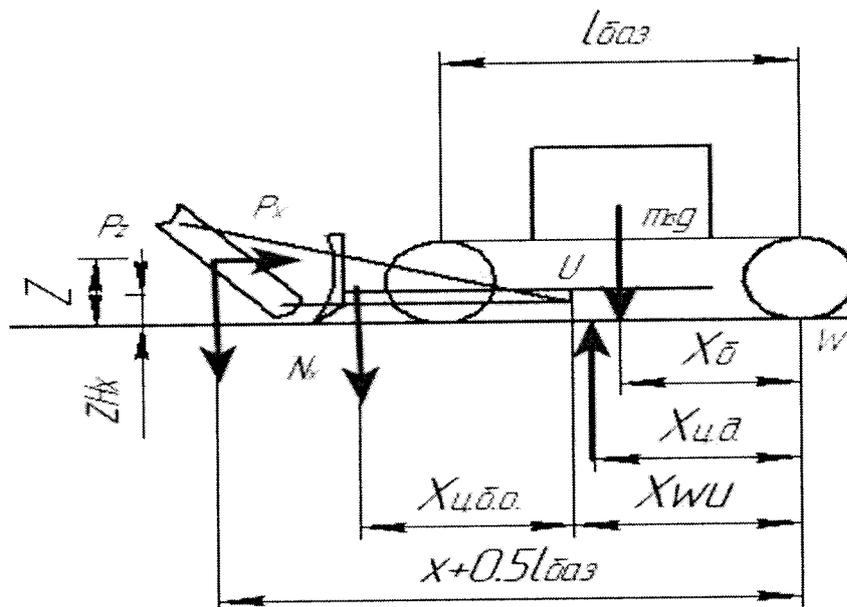
Визначимо координату $x_{ц.д.}$ за формулою:

$$x_{ц.д.} = \frac{P_z(x + 0,5l_{\sigma.аз}) - P_x z - N_x z_{N_x} + m_{\sigma.o.} g(x_{ц.б.о.} + x_{wu}) + m_{\sigma} g x_{\sigma}}{N_{ц.д.}} \quad (2.24)$$

Розрахуємо зусилля, прикладені до додаткового бічному відвалі P_z, P_x, P_y .

Для визначення сил P_z, P_x, P_y необхідно спроектувати компоненти сили опору риття, які діють відносно осей бічного відвалу в напрямку P_D , в бічному напрямку $P_{бок}$ та у вертикальному напрямку $P_{верт}$ на вісі x_p, y_p, z_p .

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		37



N_x - сила опору від призми волочіння на головному відвалі;

$N_{ц.д.}$ - результуюча вертикальної сили реакції від землі;

$m_{б.г}g$, $m_{б.о.г}g$ - вага бульдозера і бічного відвалу;

P_z , P_x - це сили опору копанню;

z - координата застосування сили P_z , P_x ;

z_{N_x} - координата точки прикладання сили N_x ;

$x_{б}$ - координата центру ваги бульдозера;

$x_{ц.б.о.}$ - координата центру ваги бічного відвалу;

x_{WU} - відстань від точки W до точки U (шарнір бічного відвалу).

Рисунок 2.9 - Розрахункова схема для визначення координат $x_{ц.д.}$

Значення сил P_z, P_x, P_y визначаємо за формулами:

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

$$\begin{aligned}
 P_x &= |P_D|, \\
 P_y &= |P_{бок} \cos \gamma + P_{верт} \sin \gamma|, \\
 P_z &= |P_{бок} \sin \gamma - P_{верт} \cos \gamma|,
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

де, P_D - компонент сили опору копання в фронтальному напрямку;

$P_{бок}$ та $P_{верт}$ - бічна і вертикальна складова сили опору до риття в бічного відвалу.

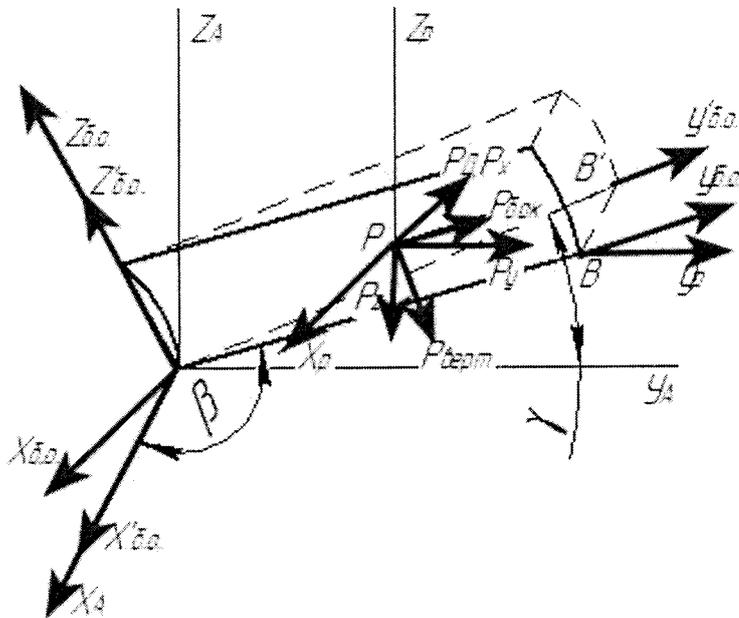


Рисунок 2.10 - Складові сили опору копанню, які діють відносно осей бічного відвалу в фронтальному напрямку P_D , в бічному напрямку $P_{бок}$; у вертикальному напрямку $P_{верт}$

$$P_{бок} = (P_{1Д} + P_{4Д} + P_{5Д}) \sin \beta \cos \beta, \quad (2.26)$$

$$P_{верт} = (P_{1Д} + P_{4Д} + P_{5Д}) \sin \alpha \cos \alpha - P_N,$$

де, $P_{1Д}, P_{4Д}, P_{5Д}$ є складовими силами $P_{Д}$.

Сила опору від переміщення землі по головному відвалу в фронтальному напрямку:

$$N_x = V_{Г} (\mu_2 \rho g \sin \beta_{Г} + \mu_1 \rho g (\cos \alpha_{Г})^2 \sin \beta_{Г} + \mu_1 \mu_2 \rho g \cos \beta_{Г}), \quad (2.27)$$

$V_{Г}$ - об'єму призми волочіння ґрунту на головному відвалі, m^3

$\beta_{Г}$ та $\alpha_{Г}$ - кут захвату і кут різання головного відвалу.

Кути встановлення головного відвалу:

кут різання $\gamma_{Г} = 0^\circ$;

кут захоплення $\beta_{Г} = 90^\circ$.

Координати результуючої сили опору копанню, для математичної моделі бульдозера з бічним відвалом:

$$\begin{aligned} x &= A_{маш} + x_{\rho}, \\ y &= B_{маш} + y_{\rho}, \\ z &= Z_{крін} + z_{\rho}, \end{aligned} \quad (2.28)$$

де, $A_{маш}, B_{маш}, Z_{крін}$ - геометричні (конструктивні) параметри, які відомі.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		40

Координати точок для визначення положення ближньої ріжучої кромки бічного відвалу(точки А) знаходяться в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Координати точок для визначення положення ближньої ріжучої кромки бічного відвалу(точки А)

Бульдозер	Амаш, м	Вмаш, м	Зкріп, м	Хпов0, м	Упов0, м	Зпов0,м	Хпов0 А,м	Упов0А, м	Зпов0А, м
T25.01	2,516	0,774	0,543	1,710	0,787	-0,204	0,507	-0,543	-0,339

Для визначення координат центру ваги бічного відвалу($x_{ц.б.о.}$, $y_{ц.б.о.}$) застосуємо схему на рисунку 2.11.

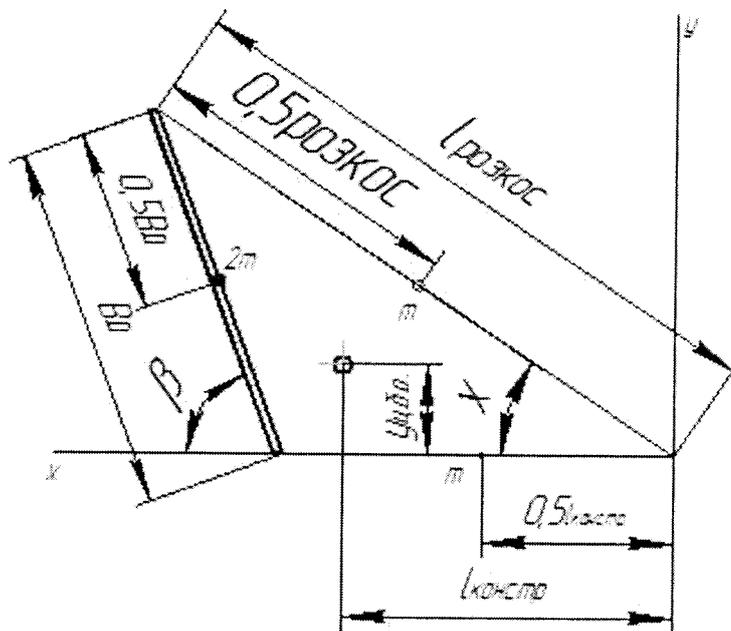


Рисунок 2.11 - Схема визначення координат центру ваги бічного відвалу

Визначимо координати $x_{ц.б.о.}$, $y_{ц.б.о.}$ з урахуванням схеми (рисунок 2.11) за наступними формулами:

$$x_{ц.б.о.} = \frac{2(0,5B_D \cos \beta + l_{констр} + 0,5l_{розконстр} \cos \chi)}{4}, \quad (2.29)$$

$$y_{ц.б.о.} = \frac{B_D \sin \beta + 0,5l_{розконстр} \cos \chi}{4},$$

де,

$$l_{розконстр} = \sqrt{(B_D \cos \beta + l_{констр})^2 + (B_D \sin \beta)^2}, \quad (2.30)$$

$$\chi = \arctg \left(\frac{B_D \sin \beta}{B_D \cos \beta + l_{констр}} \right).$$

Центр ваги бічного відвалу бульдозера відносно осі лівої гусениці $y_{б.о.}$:

$$y_{б.о.} = B_{маш} + y_{ц.б.о.} \cdot \cos \gamma. \quad (2.31)$$

Параметр $l_{констр}$ для визначення координат центру ваги бічного відвалу представлено в таблиці 2.5. Координати центру ваги бульдозера наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.5 - Параметр $l_{констр}$ для визначення координат центру ваги бічного відвалу

Бульдозер	T25.01
$l_{констр}$, м	4,15

Таблиця 2.6 - Центр ваги бульдозера

Бульдозер	T25.01
X _{WU} , м	1,7

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		42

Схема визначення координат центру ваги призми волочіння ґрунту на головному відвалі представлення на рисунку 2.12.

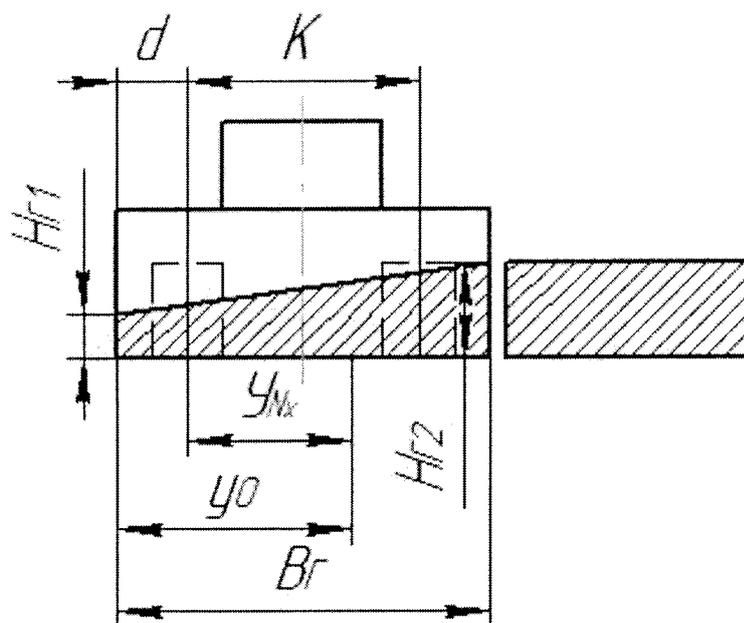


Рисунок 2.12 - Схема визначення координат центру ваги призми волочіння ґрунту на головному відвалі

Визначимо координати центру ваги призми волочіння на головному відвалі за формулами:

$$\begin{aligned}
 y_{Nx} &= y_0 - d, \\
 y_0 &= \frac{B_{\Gamma}}{3} \cdot \frac{2H_{\Gamma 2} + H_{\Gamma 1}}{H_{\Gamma 1} + H_{\Gamma 2}}, \\
 H_{\Gamma 2} &= H_{Д1}, \\
 d &= \frac{B_{\Gamma} - K}{2}, \\
 Z_{Nx} &= \frac{1}{3} \left(H_{\Gamma 1} + \frac{H_{\Gamma 2} + H_{\Gamma 1}}{B_{\Gamma}} \cdot y_0 \right)
 \end{aligned}
 \tag{2.31}$$

Для того щоб визначити вплив тисків на гусениці бульдозера з бічним відвалом, необхідно знати значення сил реакції R_A, R_B, R_C, R_D від сторони гусениць на опорну поверхню.

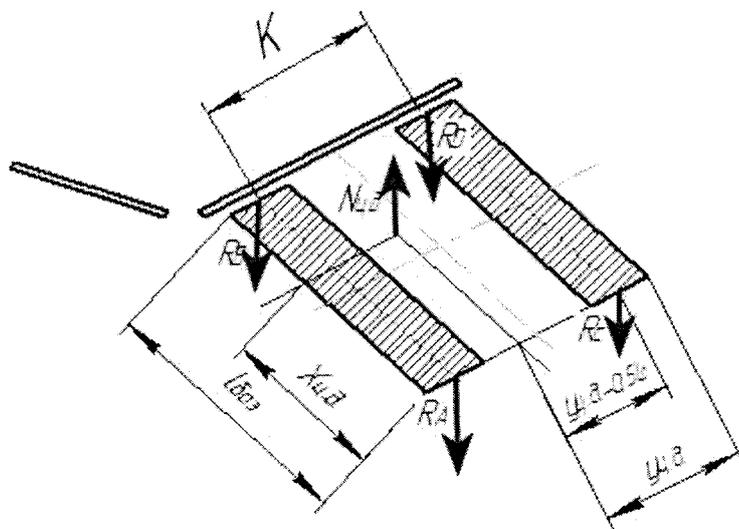


Рисунок 2.13 - Сили, що діють на опорну поверхню бульдозера з бічним відвалом.

Визначимо суми реакцій на кожній гусениці в залежності від $N_{y.d.}$ та координати $y_{y.d.}$ зі схеми на рисунку 2.14.

Щоб визначити R_A, R_B , розглянемо суму моментів відносно прямої CD і прирівняємо її до нуля. Щоб визначити R_C, R_D , розглянемо суму моментів відносно прямої AB , яку також прирівняємо до нуля.

Формули для визначення суми реакцій на кожній гусениці:

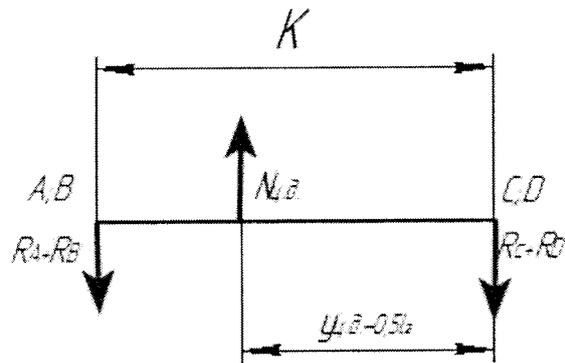


Рисунок 2.14 - Схема визначення суми реакцій на кожній гусениці в залежності від $N_{ц.д.}$ та координати $y_{ц.д.}$.

$$R_A + R_B = \frac{N_{ц.д.} \left(y_{ц.д.} - \frac{l_{\Gamma}}{2} \right)}{K}, \quad (2.32)$$

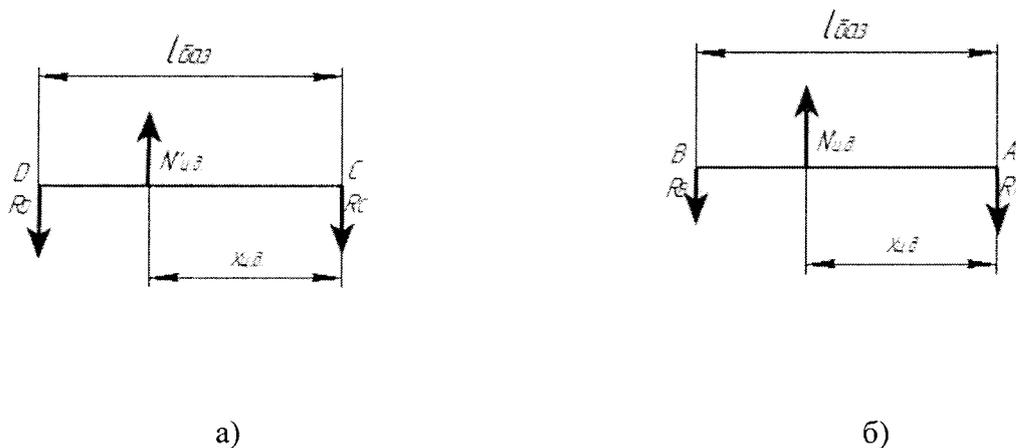
$$R_C + R_D = \frac{N_{ц.д.} \left(K - y_{ц.д.} + \frac{l_{\Gamma}}{2} \right)}{K}$$

Отримана вертикальна сила, яка діє на ліву гусеницю $N'_{ц.д.}$, і отримана вертикальна сила, яка діє на праву гусеницю $N''_{ц.д.}$, визначимо за формулами:

$$N'_{ц.д.} = R_A + R_B, \quad (2.33)$$

$$N''_{ц.д.} = R_C + R_D.$$

Для визначення реакцій, R_A, R_B, R_C, R_D візьмемо схему на рисунку 2.15.



а) діють на ліву гусеницю; б) діють на праву гусеницю

Рисунок 2.15 - Схема визначення реакцій R_A, R_B, R_C, R_D

Розглядаючи суми моментів відносно точок А, В, С, D (рисунок 2.15) і прирівнюючи їх до нуля отримуємо формули для визначення реакцій R_A, R_B, R_C, R_D :

$$\begin{aligned}
 R_A &= \frac{N'_{ц.д.} (l_{баз} - x_{ц.д.})}{l_{баз}}, \\
 R_B &= \frac{N'_{ц.д.} \cdot x_{ц.д.}}{l_{баз}}, \\
 R_C &= \frac{N''_{ц.д.} (l_{баз} - x_{ц.д.})}{l_{баз}}, \\
 R_D &= \frac{N''_{ц.д.} \cdot x_{ц.д.}}{l_{баз}}.
 \end{aligned}
 \tag{2.34}$$

Поздовжня і поперечна стійкість підтримується, коли гусениці стикаються з землею в точках А, В, С, D. Тоді для підтримки контакту між гусеницями і землею повинні бути дотримані наступні умови:

$$\begin{aligned}
 &1) (R_A = 0; R_B = 0; R_C > 0; R_D > 0), \\
 &(R_A > 0; R_B > 0; R_C > 0; R_D > 0), \\
 &(R_A > 0; R_B > 0; R_C = 0; R_D = 0).
 \end{aligned}
 \tag{2.35}$$

$$\begin{aligned}
 &2) (R_A = 0; R_C = 0; R_B > 0; R_D > 0), \\
 &(R_A > 0; R_B > 0; R_C > 0; R_D > 0), \\
 &(R_B = 0; R_D = 0; R_A = 0; R_C = 0).
 \end{aligned}
 \tag{2.36}$$

Питомий тиск, що діє на поверхню гусениці, прямо пропорційний діючій силі. Визначимо для першої гусениці максимальний і мінімальний питомий тиск, $g_{\max 1}$ та $g_{\min 1}$.

Нехай сила R_B буде максимальною силою, а сила R_A - мінімальна.

Тоді запишемо пропорції:

$$\begin{aligned}
 \frac{R_B}{\frac{R_A + R_B}{2}} &= \frac{g_{\max 1}}{g_{cp1}}, \\
 \frac{R_A}{\frac{R_A + R_B}{2}} &= \frac{g_{\min 1}}{g_{cp1}},
 \end{aligned}
 \tag{2.37}$$

де,

$$g_{cp1} = \frac{R_A + R_B}{l_{\text{баз}} \cdot l_{\Gamma}}
 \tag{2.38}$$

Запишемо формули для обчислення $g_{\max 1}$ та $g_{\min 1}$:

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$g_{\max 1} = g_{cp1} \cdot \frac{2R_B}{R_A + R_B},$$

$$g_{\min 1} = g_{cp1} \cdot \frac{2R_A}{R_A + R_B}$$
(2.39)

Визначимо для другої гусениці максимальний і мінімальний питомий тиск відповідно $g_{\max 2}$ та $g_{\min 2}$.

Нехай сила R_D буде максимальною силою, а сила R_C - мінімальна.

Як і з першою гусеницею, формули для розрахунку $g_{\max 2}$ та $g_{\min 2}$:

$$g_{\max 2} = g_{cp2} \cdot \frac{2R_D}{R_C + R_D},$$

$$g_{\min 2} = g_{cp2} \cdot \frac{2R_C}{R_C + R_D}$$
(2.40)

де, g_{cp2} - середній питомий тиск на другій (правій) гусениці:

$$g_{cp2} = \frac{R_C + R_D}{l_{\text{баз}} \cdot l_{\Gamma}}$$
(2.41)

Для подальших розрахунків і визначення питомих тисків гусениць звернемо увагу на залежність питомого тиску g від координат $\eta (0 \leq \eta \leq l_{\text{баз}})$ для кожної гусениці:

$$g_1(\eta) = g_{\min 1} + \frac{g_{\max 1} - g_{\min 1}}{l_{\text{баз}}} \cdot \eta,$$

$$g_2(\eta) = g_{\min 2} + \frac{g_{\max 2} - g_{\min 2}}{l_{\text{баз}}} \cdot \eta.$$
(2.42)

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		48

Визначення коефіцієнтів поздовжнього та поперечного зчеплення для гусениць бульдозера з бічним відвалом. Максимальне тягове зусилля (поздовжнє зусилля зчеплення) для кожної гусениці з урахуванням вертикального зусилля визначається рівняннями:

$$\begin{aligned} T_{b1\max} &= K_1 + (K_2 + K_3) \cdot (R_A + R_B), \\ T_{b2\max} &= K_1 + (K_2 + K_3) \cdot (R_C + R_D), \end{aligned} \quad (2.43)$$

де,

$$K_1 = l_{\Gamma} C_{зр.о} \left(l_{баз} \left(1 + 2 \frac{h_{\Gamma}}{l_{\Gamma}} \right) - 1,3 i_{\Gamma} w_{\Gamma} \right). \quad (2.44)$$

l_{Γ} - ширина гусениці, м;

$C_{зр.о}$ - зчеплення ґрунту опорної поверхні, Па;

$l_{баз}$ - база бульдозера (довжина опорної поверхності), м;

h_{Γ} - висота зчеплення з ґрунтом, м;

i_{Γ} - кількість зчеплень з землею в контактї з опорною поверхнею:

$$i_{\Gamma} = \frac{l_{баз}}{t_{\Gamma}} \quad (2.45)$$

w_{Γ} - товщина вершини зчеплення з ґрунтом, м:

$$w_{\Gamma} = 0,25 h_{\Gamma}. \quad (2.46)$$

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_2 = \left(\left(1 - i_{\Gamma} \cdot \frac{w_{\Gamma}}{l_{\text{баз}}} \right) + 0,64 \left(1 - \frac{i_{\Gamma} S_{\text{б.н.}}}{l_{\text{баз}} h_{\Gamma}} \right) \cdot \frac{h_{\Gamma}}{l_{\Gamma}} \cdot \text{arcctg} \left(\frac{h_{\Gamma}}{l_{\Gamma}} \right) \right) \cdot \text{tg}(\varphi_{\text{зр.о.}}) \quad (2.47)$$

$S_{\text{б.н.}}$ - площа бічної поверхні зчеплення з землею; м²:

$$S_{\text{б.н.}} = h_{\Gamma} \cdot w_{\Gamma}$$

μ_1 - коефіцієнт тертя металу по ґрунту.

Поздовжні коефіцієнти зчеплення визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \varphi_{b1\text{max}} &= \frac{T_{b1\text{max}}}{R_A + R_B}, \\ \varphi_{b2\text{max}} &= \frac{T_{b2\text{max}}}{R_C + R_D} \end{aligned} \quad (2.48)$$

Силу бічного зчеплення гусениць з землею визначається за формулами:

$$\begin{aligned} T_{\alpha 1\text{max}} &= P_{\text{р.б.н.}} \cdot i_{\Gamma} + \mu_1 \cdot (R_A + R_B), \\ T_{\alpha 2\text{max}} &= P_{\text{р.б.н.}} \cdot i_{\Gamma} + \mu_1 \cdot (R_C + R_D). \end{aligned} \quad (2.49)$$

де, $P_{\text{р.б.н.}}$ - сила різання ґрунту бічним профілем ґрунтозацепу визначаємо за допомогою формул:

$$P_{\text{р.б.н.}} = C_{\text{уд.г}} \cdot (h_{\Gamma} \cdot 10^3)^{1,35} \cdot \left(1 + 0,1 \cdot (w_2 \cdot 10^3) \right) \cdot \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha_{23}}{180^\circ} \right) \cdot \beta_0, \quad (2.50)$$

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		50

$C_{уд.г}$ - кількість ударів ударника (грунт опорної поверхні);

$C_{уд.г} = C_{уд.н}$, $C_{уд.н}$ - кількість ударів ударника(грунт на схилі);

$\alpha_{гз}$ - кут різання ґрунтозацепу, $\alpha_{гз} = 90^\circ$;

β_0 - коефіцієнт, який враховує кут загострення бічного профілю(при: 180° , $\beta_0 = 1$).

Поперечні коефіцієнти зчеплення визначаються за формулами:

$$\begin{aligned}\varphi_{\alpha 1 \max} &= \frac{T_{\alpha 1 \max}}{R_A + R_B}, \\ \varphi_{\alpha 2 \max} &= \frac{T_{\alpha 2 \max}}{R_C + R_D}.\end{aligned}\tag{2.51}$$

Необхідно визначити максимальну силу P , прикладену на бічний відвал, під впливом якого відбувається пасивне розвертання бульдозера, з урахуванням сил опору руху (P_{f1}, P_{f2}) і сила опору з призми волочіня на головному відвалі N_x .

Для побудови схеми дії сили і визначення максимальної сили P були враховані:

- 1) Сили тертя T_a і T_b та момент тертя M , які залежать від координат центру ковзання (a, b);
- 2) Система рівнянь рівноваги для гусеничного бульдозера при прикладанні сили до краю головного відвалу.

Схема визначення максимальної сили P , прикладеної до бічного відвалу, під дією якого відбувається пасивний поворот бульдозера, представлена на рисунку 2.16.

Утворимо рівності рівноваги бульдозера з бічним відвалом:

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		51

$$\begin{aligned} P_{f1} &= f(R_A + R_B), \\ P_{f2} &= f(R_C + R_D), \end{aligned} \quad (2.54)$$

f - коефіцієнт опору руху бульдозера, приймаємо $f = 0,07$.

$$\begin{aligned} a_p &= y - \frac{l_{\Gamma}}{2}, \\ b_p &= x + \frac{l_{\delta a3}}{2}, \\ a_{Nx} &= (K - y_{Nx}) + \frac{l_{\Gamma}}{2}, \end{aligned} \quad (2.55)$$

$$\begin{aligned} T_{b1} &= \int_0^{l_{\delta a3}} \int_0^{l_{\Gamma}} g_1(\eta) \cdot \varphi_{b1\max} \cdot \frac{a - \xi}{\sqrt{(a - \xi)^2 + (b - \eta)^2}} d\xi d\eta, \\ T_{b2} &= \int_0^{l_{\delta a3}} \int_0^{K+l_{\Gamma}} g_2(\eta) \cdot \varphi_{b2\max} \cdot \frac{a - \xi}{\sqrt{(a - \xi)^2 + (b - \eta)^2}} d\xi d\eta, \end{aligned} \quad (2.56)$$

$$\begin{aligned} M_1 &= \int_0^{l_{\delta a3}} \int_0^{l_{\Gamma}} g_1(\eta) \cdot \varphi_{a1\max} \cdot \frac{(b - \eta)^2}{\sqrt{(a - \xi)^2 + (b - \eta)^2}} d\xi d\eta + \int_0^{l_{\delta a3}} \int_0^{l_{\Gamma}} g_1(\eta) \cdot \varphi_{b1\max} \cdot \frac{(a - \xi)^2}{\sqrt{(a - \xi)^2 + (b - \eta)^2}} d\xi d\eta, \\ M_2 &= \int_0^{l_{\delta a3}} \int_0^{K+l_{\Gamma}} g_2(\eta) \cdot \varphi_{a2\max} \cdot \frac{(b - \eta)^2}{\sqrt{(a - \xi)^2 + (b - \eta)^2}} d\xi d\eta + \int_0^{l_{\delta a3}} \int_0^{K+l_{\Gamma}} g_2(\eta) \cdot \varphi_{b2\max} \cdot \frac{(a - \xi)^2}{\sqrt{(a - \xi)^2 + (b - \eta)^2}} d\xi d\eta. \end{aligned} \quad (2.57)$$

В загальному вигляді математична модель процесу роботи гусеничного бульдозера з додатковим бічним відвалом представлена на рисунку 2.17

У системі рівнянь сила P і координати центру ковзання (a, b) невідомі. Важливо відзначити, що для сили P , при заданому напрямку її дії (кут α_1) відповідає тільки один центр ковзання (a, b) . Для визначення сили P необхідно розв'язати систему рівнянь за відомими параметрами і заданим кутом α_1 відносно координат a, b і сили P .

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		53

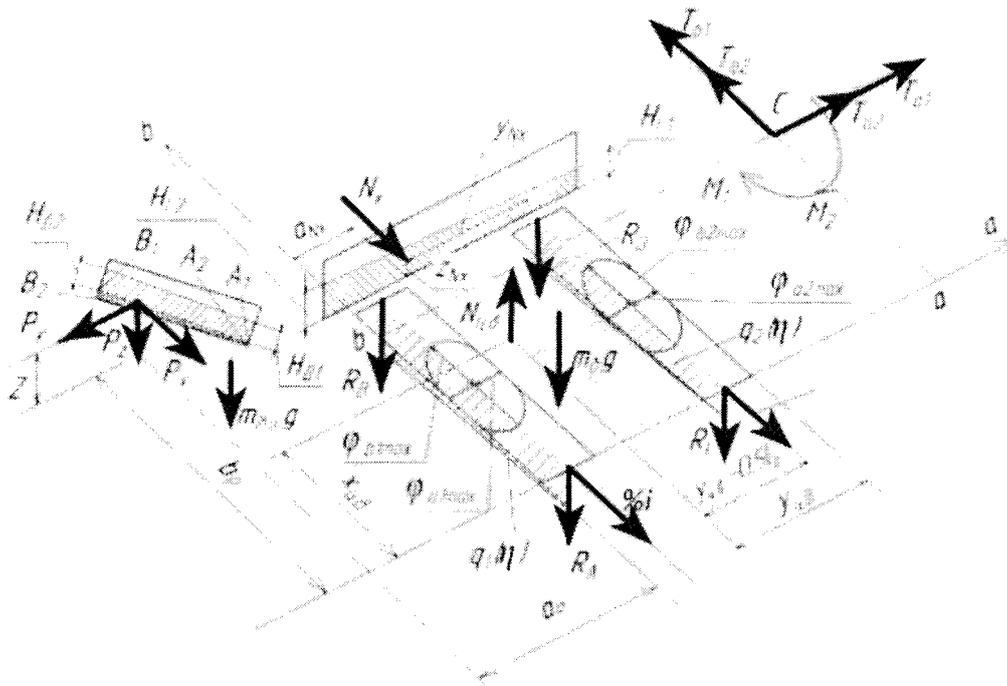


Рисунок 2.17 - Математична модель процесу роботи бульдозера з додатковим бічним відвалом

Розв'язок системи рівнянь відносно координат a , b і сили P здійснюється чисельно за допомогою прикладних програмних продуктів, наприклад, MathCad.

Визначення межі P_x та P_y на межі тяги гусениць з землею. З формул визначаємо $P \cos \alpha_1$ та $P \sin \alpha_1$:

$$\begin{aligned} P \cos \alpha_1 &= T_{a1} + T_{a2}, \\ P \sin \alpha_1 &= T_{b1} + T_{b2} - N_x - P_{f1} - P_{f2}. \end{aligned} \quad (2.58)$$

Значення P_x та P_y на межі зчеплення повинні задовольняти наступним нерівностям:

$$\begin{aligned} P &\leq P \sin \alpha_1, \\ P_y &\leq P \cos \alpha_1. \end{aligned} \quad (2.59)$$

Тоді отримаємо:

$$\begin{aligned} P_x &\leq T_{b1} + T_{b2} - N_x - P_{f1} - P_{f2}, \\ P_y &\leq T_{a1} + T_{a2}. \end{aligned} \quad (2.60)$$

Наступні умови також необхідні для підтримки стабільності курсу:

$$\begin{aligned} T_{a1} &\leq T_{a1\max}, \\ T_{a2} &\leq T_{a2\max}, \\ T_{b1} &\leq T_{b1\max}, \\ T_{b2} &\leq T_{b2\max}. \end{aligned} \quad (2.61)$$

Для того щоб відбувався процес риття бічним відвалом бульдозера, необхідно, щоб тяга, яку утворює бульдозер на 1-ій передачі, була більшою або рівною сумі зовнішніх сил опору:

$$P_x + N_x + P_{f1} + P_{f2} \leq P_{k1}, \quad (2.62)$$

де, P_{k1} - тягова сила, яку утворює бульдозер на 1-ій передачі.

$$P_{k1} = \frac{\eta_{\text{ккд}} N_{\text{дв}}}{v_1} \cdot (1 - k_{\text{зан}}), \quad (2.63)$$

$\eta_{\text{ккд}}$ - ККД трансмісії ($\eta_{\text{ккд}} = 0,75$);

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		55

$N_{\text{дв}}$ - потужність двигуна;

v_1 - швидкість бульдозера на 1-й передачі, м/с;

$k_{\text{зан}}$ - коефіцієнт запасу сили тертя для врахування неточності даних, які були отримані на моделі перерахунку на оригінал (склав не більше 10-15%; $k_{\text{зан}} = 0,2$).

З урахуванням вище зазначених формул, визначимо межу величини P_x на вільній силі тяги бульдозера в 1-й передачі:

$$P_x \leq P_{k1} - N_x - P_{f1} - P_{f2}.$$
$$\frac{\varphi_b^2}{\varphi_{b\text{max}}^2} + \frac{\varphi_a^2}{\varphi_{a\text{max}}^2} = 1 \quad (\varphi_{b\text{max}} > \varphi_{a\text{max}}) \quad (2.64)$$

Канонічне рівняння еліпса тертя,

де φ_b - поточне значення коефіцієнта поздовжнього зчеплення;

$\varphi_{b\text{max}}$ - максимальне значення поздовжнього зчеплення, при застосуванні поздовжнього зусилля до центру тиску машини;

φ_a - поточне значення коефіцієнта поперечної адгезії;

$\varphi_{a\text{max}}$ - максимальне значення поперечної адгезії при нанесенні поперечної сили в центрі тиску машини.

Стійкість бульдозера з бічним відвалом буде підтримуватися при дотриманні умов, наведених у формулах (2.58-2.64).

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		56

2.4 Визначення граничної сили

Для визначення значень $P(\alpha_1)$ підставляємо вихідні дані в систему рівнянь, а потім вирішуємо цю систему рівнянь.

Побудуємо максимальну силу P , яку можна нанести на бічний відвал, з наступними припущеннями:

1) Годограф $P(\alpha_1)$ без урахування впливу P на питомий розподіл тиску на гусениці і коефіцієнтів зчеплення (враховується тільки вага і геометрія бульдозера з бічним відвалом);

2) Годограф $P'(\alpha_1)$ з урахуванням впливу P'_x, P'_y, P'_z , вагових і геометричних параметрів бульдозера з бічним відвалом на розподіл питомого тиску на гусениці і на коефіцієнти зчеплення.

Значення P'_x, P'_y, P'_z обчислюються за такими формулами:

$$\begin{aligned} P'_x &= P \sin \alpha_1, \\ P'_y &= P \cos \alpha_1, \\ 0^\circ &\leq \alpha_1 \leq 180^\circ \\ P'_z &= P \sin \alpha_1 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha, \\ 180^\circ &< \alpha_1 < 360^\circ, \\ P'_z &= 0. \end{aligned} \tag{2.65}$$

В результаті розрахунків виконаних за допомогою програмного продукту MathCad були побудовані годографи максимальної межі сили P (рисунок 2.18).

Основні дані для побудови годографів:

- гусеничний бульдозер Т9.01;
- $N_{дв} = 110000$ Вт;

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		57

- $v_1 = 1.05$ м/с;

- $P_{k1} = 63$ кН;

- ширина основного відвала $B_r = 3,16$ М;

- ширина гусениці, $l_r = 0,56$ М;

- база гусениці, $l_{\text{баз}} = 2,47$ М;

- крок ланки гусениці, $t_1 = 0,19$ М;

- висота ґрунтозчеплення, $h_1 = 0,055$ М;

- $B_d = 1,334$ М;

- $H_d = 0,467$ М;

- $\beta = 90^\circ$;

- $\gamma = 0^\circ$;

- $N_x = 0H$

- координати прикладання сили P на бічному відвалі $a_p = 1,191$ М, $b_p = 4,98$ М;

- ґрунт суглинок;

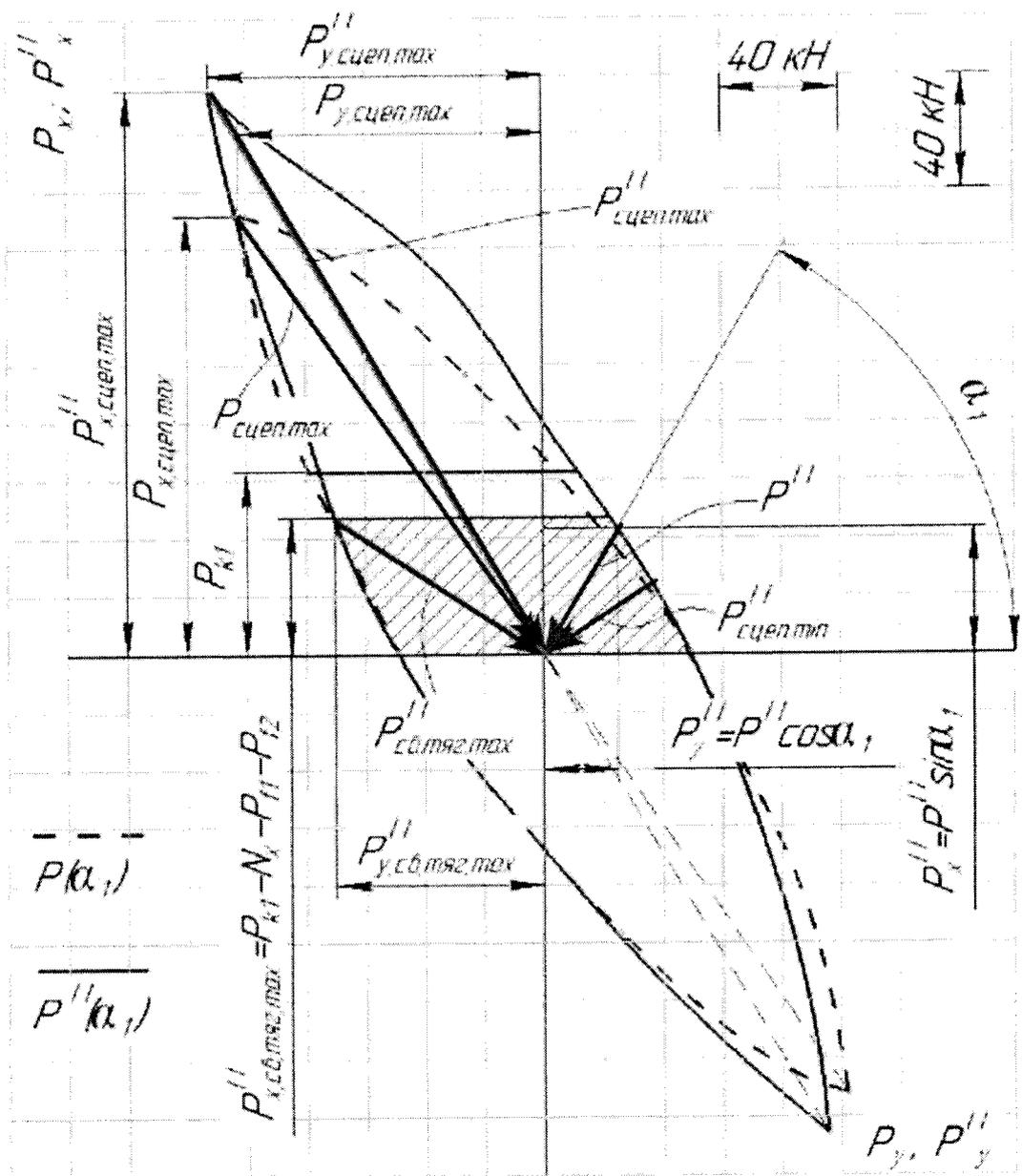
- $C_{\text{уд}} = 7$;

- зчеплення $C_{\text{зр.о.}} = 30000$ Па;

- кут внутрішнього тертя 25 градусів.

За допомогою годографа, такого як $P'(\alpha_1)$ можна графічно визначити величину граничних сил P'_x, P'_y з урахуванням обмеження вільної тяги бульдозера. Зі збільшенням кута α_1 від 0° до 120° відношення P'/P досягає максимуму (при $\alpha_1 = 0^\circ, P'/P \approx 1$; при $\alpha_1 = 120^\circ, P'/P \approx 1,34$) і далі зменшується до мінімуму при $\alpha_1 = 180^\circ$ (при $\alpha_1 = 180^\circ, P'/P \approx 1$). Це пов'язано з тим, що в годографі $P'(\alpha_1)$ враховується зміна питомого тиску на гусениці. Коли питомий тиск на гусениці збільшується - міцність зчеплення збільшується. Максимальне і мінімальне значення максимальної сили, прикладеної до боковий відвал при $0^\circ \leq \alpha_1 \leq 180^\circ$:

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						58
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		



Сила P , яка діє на бічний відвал бульдозера, $P_{сцеп, max}$, $P'_{сцеп, max}$ - максимальна сила для умови зчеплення, відповідно, для P і P' ; $P_{св.сцеп, max}$ - максимальне граничне зусилля, обмежене величиною вільної сили тяги бульдозера; $P'_{сцеп, min}$ - мінімальна сила умови зчеплення для P'

Рисунок 2.18 - Годографи максимальної сили P

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ

Лист

59

$$P_{сней.маx}(124^\circ) = 182кН; P_{сней.маx}''(120^\circ) = 225кН; P_{сней.мин}(34^\circ) = 44кН;$$

$$P_{сней.мин}''(34^\circ) = 42кН.$$

$$N = \omega \rho g \sin(\alpha_{ВД} - \alpha_{ВХ}) \left[s \sin \lambda \frac{(R^3 - c^3)}{3} \left(1 + \frac{1}{2} \sin 2\lambda \right) + w \sin \alpha \frac{c^3}{3} \left(1 + \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) \right] -$$

$$- k \omega \rho g \cos(\alpha_{ВД} - \alpha_{ВХ}) \left[s \sin \lambda \frac{(R^3 - Rc^2 + c^3)}{2} + w \sin \theta \frac{(cR^2 + Rc^2 - c^3)}{2} \right] +$$

$$+ \left[k \rho \omega^3 \left(s \sin \lambda \frac{(R^4 - Rc^3)}{3} + w \sin \theta \frac{Rc^3}{3} \right) + ((R^2 - c^2)r_1 + (c^2 - R_g^2)r_2 + \right.$$

$$\left. + (c^2 - cR_g)(s \sin \lambda - w \sin \theta) \right) \omega \tau] (\alpha_{ВД} - \alpha_{ВХ}). \quad (2.66)$$

При порівнянні вільної тяги бульдозера ($P_{х.св.тяг.мин}''$) і кінцевої сили ($P''(90^\circ)$), було визначено, що у зчепленні використовується 60% тяги (є запас на величину сили зчеплення), тому можливе збільшення тягового зусилля бульдозера.

Отже, у результаті проведеного дослідження для гусеничного бульдозера з додатковим бічним відвалом отримано методику розрахунку призми волочіння ґрунту, з урахуванням основних параметрів робочої частини; обґрунтовано технічне рішення встановлення бічного відвалу і спосіб визначення його трьох складових, що утворилися силою опору копанню на трьох взаємно-перпендикулярних площинах; а також отримано математичні залежності для опису процесу різання ґрунту бічним відвалом та визначення максимальної сили, яка може бути застосована на додатковому бічному відвалі з урахуванням стійкості бульдозера.

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ

Лист

60

3 Спосіб експериментального визначення сили опору копання і точки прикладання на бічний відвал

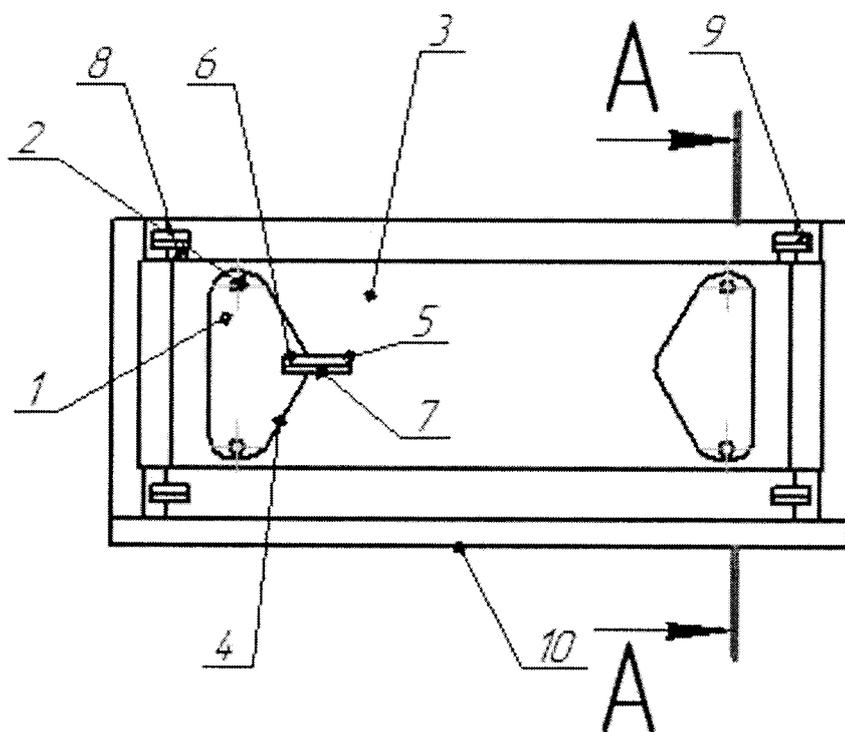
Для визначення величини сили опору копанню і точки її нанесення на бічний відвал необхідно мати експериментальний метод. Тому є потреба у комплексі спеціальних вимірювальних приладів у вигляді групи тензOMETричних датчиків на робочому органі, що дозволяють вимірювати величину опору копання в трьох взаємно перпендикулярних площинах, а також визначати точку застосування отриманого вектора сили в лобовому і вертикальному напрямку.

Технічний результат досягається тим, що тензодатчики, які включають розміщення їх на тягах для передачі горизонтальних, вертикальних і бічних сил, направляючі профілі, натяжні ланки для запису сил, мають чотири стрижні для передачі горизонтальних сил копання з'єднані на одному кінці з робочим органом через люверси, і на іншому кінці з'єднуються з натяжними ланками для запису горизонтальних сил. У свою чергу, деформаційні ланки для запису горизонтальних сил будуть з'єднані з двома вертикальними тягами. Ці дві тяги для передачі вертикальних сил копання на кінцях містять горизонтальні тяги з направляючими профілями для запису горизонтальних сил. Вертикальні напрямні тяги встановлюються з вертикальними тягами коаксіально і між верхніми і нижніми горизонтальними тягами, для вимірювання вертикальних сил копання деформаційної ланки з'єднуються одним кінцем з вертикальними стрижнями, а іншим кінцем з вертикальними направляючими профілями. Це необхідно для запису бокової сили опору копання двох вертикальних напрямних профілів, з'єднаних з бічною тягою, який містить бічний направляючий профіль. А деформаційна ланка для запису бічної сили копання з'єднана одним кінцем з бічною тягою.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Рекомендації як зберегти стійкість бульдозера при додатковому бічному відвалі в реалізації робочі операції.	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Ладатко			29.12			61	
Перев.	Рогозін			29.12				
Н. конт.	Васильєв			18.01				
Затв.	Орисенко			19.01	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.			

На іншому кінці до бічного направляючого профілю, через отвори для кріплення встановлюються тензодатчики до рами машини на бічному профілі, а також на бічних отворах тяги. Тензодатчики мають відмінність у тому, що направляючі профілі обмежують ступені свободи тяг, дозволяючи тільки рух вперед, за допомогою установки стрижнів в напрямні профілі. Тензодатчики по суті кріпляться до стрижнів і напрямних профілів через спеціальні вушка.

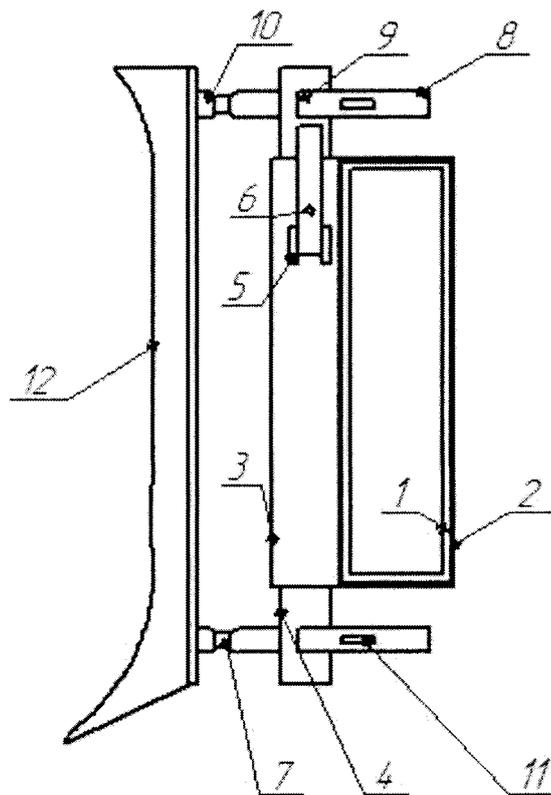
На рисунку 3.1 показано схему розташування тензодатчиків, на рисунку 3.2 вид у розрізі А-А; на рисунку 3.3 вид у розрізі Б-Б; на рисунку 3.4 схема сил, що діють на робочий елемент в горизонтальному (лобовому) напрямку; на рисунку 3.5 діаграма сил, що діють на робочий елемент у вертикальному напрямку; а на рисунку 3.6, діаграма сил, що діють з боків на робочий орган.



1 - направляючий профіль; 2 - кріплення отворів до рами машини; 3 - бічна тяга;
4 - слоти; 5, 6, 8 – виступи з отворами; 7, 9 - тензодатчики; 10 - робоча частина

Рисунок 3.1 – Схема розміщення тензодатчиків

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		62

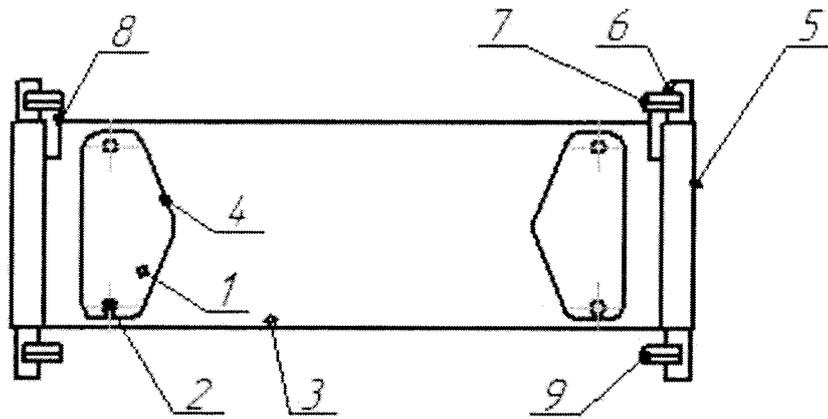


1, 3, 8 - направляючі профілі; 2 - бічна тяга; 4 - вертикальна тяга; 5, 9, 10 - виступи з отворами; 6, 11 - тензодатчики; 7 - горизонтальна тяга; 12 - робочий орган

Рисунок 3.2 - Схема розміщення тензодатчиків у розрізі А – А

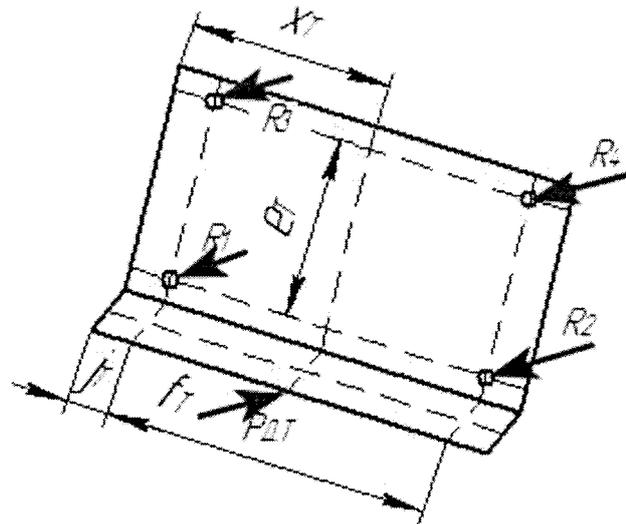
Група розміщення тензодатчиків складається з направляючого профілю 1 з отворами 2, для кріплення до рами машини, бокової тяги 3, зі слотами-прорізами 4 і виступи з отворами 5, 6, 8. Бічний стрижень 3 кріпиться на направляючий профіль 1, (рисунок 3.1) потім виступи з отворами 6 жорстко з'єднується з направляючим профілем 1. Далі згідно з рисунком 3.2 виступи з отворами 5 з'єднують тягою 7, напрямні профілів 8, які жорстко з'єднуються з бічним стрижнем 2, і вертикальні стрижні 4, які кріпляться на напрямні профілі 8, з виступами з отворами 9, 10.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		63



1 - направляючий профіль; 2 - отвори для кріплення до рами машини; 3 - бічна тяга; 4 - слоти; 5 - направляючий профіль; 6 - вертикальні тяги; 7 - виступи з отворами; 8 – тензодатчики

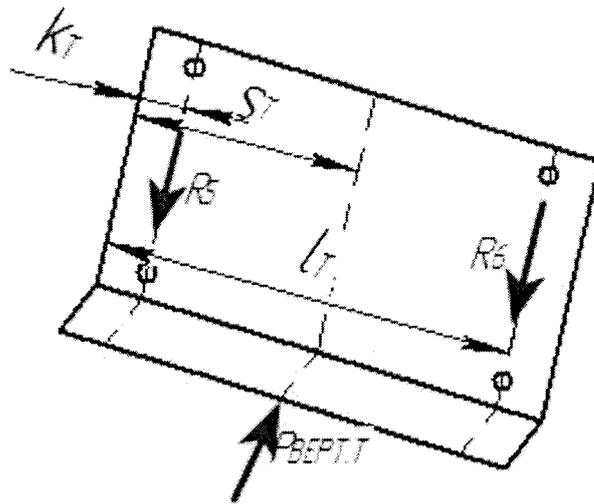
Рисунок 3.3 - Схема розміщення тензодатчиків у розрізі Б – Б



R_1, R_2, R_3, R_4 - сили реагування на тензодатчиках 1, 2, 3, 4 відповідно;
 $R_{дт}$ - компонент опору риття в лобовому напрямку

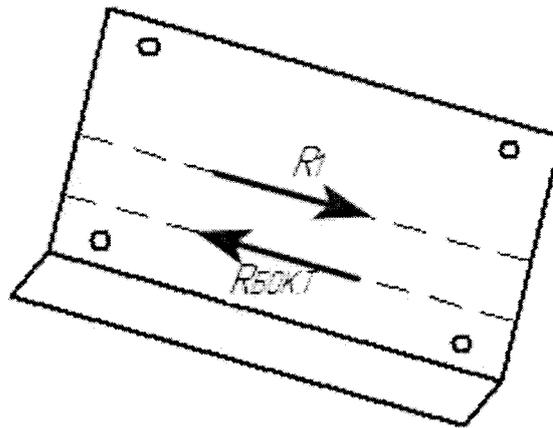
Рисунок 3.4 - Діаграма сил, що діють на робочий орган в горизонтальному (лобовому) напрямку

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		64



R_5 , R_6 - сили реагування на тензодатчиках 5, 6 відповідно; P_{vert} -компонент сили опору вертикального зрізання

Рисунок 3.5 - Діаграма сил, що діють на робочий елемент у вертикальному напрямку



R_7 - сила реакції на тензодатчик 7; $R_{боцк}$ - складова сили опору бічного зрізання

Рисунок 3.6 - Діаграма сил, що діють з боків на робочий елемент

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лис
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		65

Виступи з отворами 9, 10 потім жорстко з'єднуються з вертикальними прутами 4. Виступи з отворами 5 з'єднують з тензодатчиками 6, направляючі профілі 1, 3, які проходять через вертикальні пруты 4, жорстко з'єднуються з ними, горизонтальні пруты 7 з виступами з отворами 9. Виступи з отворами 5 жорстко з'єднуються з вертикальними прутами 4 і горизонтальні пруты 7 кріпляться на направляючі профілі 1, 3 з боку бічної тяги 2. Тензодатчик 11 направляючий профіль 8 із виступом з отворами 10. Горизонтальні тяги 7 з'єднані через виступи з отворами 10 з робочим органом 12 (рисунок 3.2).

Наведена система працює наступним чином: до початку проведення експериментальних досліджень вимірюються всі сили, які виникають в тензодатчиках від ваги важільної системи і робочого органа (нульові значення). Робоча частина встановлюється на необхідну глибину з необхідними кутами встановлення. Після цього можна проводити експерименти.

У такому випадку із показів тензодатчиків необхідно буде відняти ці нульові значення при використанні їх у теоретичній системі залежностей для визначення складових результуючого опору копанню і координати його точки дії на робочий орган.

Спосіб визначення величини сили опору зрізання ґрунту і точки її прикладання на бічний відвал полягає у тому, що величина і напрямок реакції деформації зв'язується з компонентами результуючої сили опору копанню R , яку можна отримати експериментально. Тоді, якщо ланка із тензодатчиком розтягується, то значення реакції ланки буде додатнім, якщо ланка із тензодатчиком стискається, то значення реакції ланки буде від'ємним. Після цього відповідні значення зі врахуванням знаку підставляються в рівняння.

Компонент отриманої сили опору зрізання ґрунту в лобовому напрямку x і його точка прикладання до робочого органа в лобовому напрямку становитиме (рисунок 3.4):

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лис
						66
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\begin{aligned}
 x_T &= \frac{(R_1 + R_3) \cdot j_T + (R_2 + R_4) \cdot (j_T + f_T)}{P_{Д.Т}}, \\
 y_T &= \frac{(R_1 + R_2) \cdot g_T + (R_3 + R_4) \cdot (e_T + g_T)}{P_{Д.Т}}, \\
 P_{Д.Т} &= R_1 + R_2 + R_3 + R_4.
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Компонент, що утворюється силою опору копанню у вертикальному напрямку, і його точка прикладання до робочого органа у вертикальному напрямку (рисунок 3.5):

$$\begin{aligned}
 s_T &= \frac{R_5 \cdot k_T + R_6 \cdot l_T}{P_{ВЕРТ.Т}}, \\
 P_{ВЕРТ.Т} &= R_5 + R_6.
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

Компонент результуючої сили опору зрізанню ґрунту в бічному напрямку (рисунок 3.6) становитиме:

$$P_{бок.т} = R_7.
 \tag{3.3}$$

Таким чином, розглянута схема розміщення тензодатчиків та необхідних елементів конструкції у вигляді системи ланок і метод розрахункової оцінки зусиль дозволяють визначити всі складові результуючої сили опору зрізанню ґрунту робочим органом, а також визначити точки дії результуючого вектора сили опору в лобовому і вертикальному напрямках.

Це дозволить отримати експериментальне підтвердження теоретичної моделі взаємодії робочого органа у вигляді бічного відвалу землерийно-транспортної машини із середовищем, з якого буде відбуватися зрізання шару ґрунту.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		67

4 Методики збереження стійкості бульдозера із додатковим бічним відвалом при його роботі

Якщо розглядати стійкість ходу бульдозера, то для її підвищення необхідно застосовувати ґрунтозацепи з кращими характеристиками зчеплення, також необхідно застосовувати систему активної стабілізації шляхом зміни швидкості руху гусениць, проти напрямку втрати траєкторії переміщення.

Для того, щоб бульдозер не зсувало вбік відповідно до дії зусилля P_y (рисунок 2.8) необхідно застосовувати додаткові поздовжні ґрунтозацепи і ланцюги для збільшення сили зчеплення на гусеницях 1, 2 ($T_{\alpha 1 \max}$, $T_{\alpha 2 \max}$). Ці варіанти збільшення стабільності руху відносяться до пасивних і активних.

Оскільки результуюча сила опору копання на бічному відвалі впливає на стійкість бульдозера. То коли момент перевищує силу вище моменту зчеплення гусениць з землею (момент пари сил), траєкторія руху бульдозера проти траєкторії заданої оператором машини змінюється. Силу, котра прикладена до бічного відвалу, необхідно визначати за умови, коли момент від сили опору зрізання ґрунту бічним відвалом рівний моменту сил зчеплення.

Щоб уникнути втрати курсової стабільності, важливо створити супротивний момент з пари сил зчеплення, щоб протистояти силі від копання бічним відвалом або зменшити вплив цього фактора. Супротивний момент пари сил зчеплення гусениць з землею створюється таким чином, щоб протиставити момент отриманої сили опору зрізання бічним відвалом. Наприклад, якщо отримана сила опору зрізання на бічному відвалі обертає бульдозер відносно вертикальної осі за годинниковою стрілкою, якщо дивитися згори, то доріжки

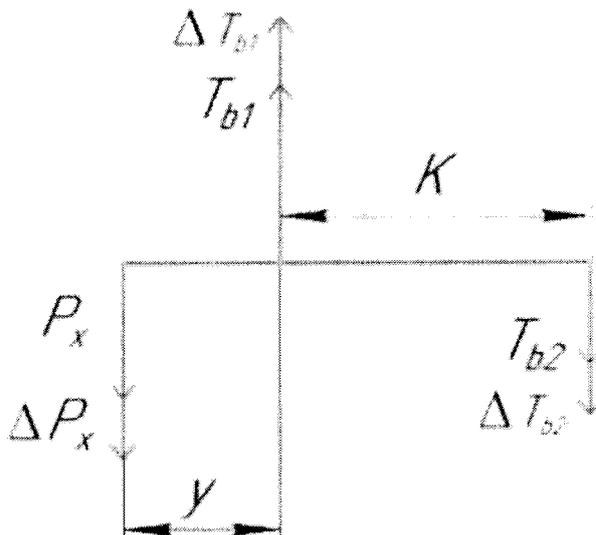
					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Рекомендації як зберегти стійкість бульдозера при додатковому бічному відвалі в реалізації робочі операції.	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Ладатко		29.12			68	
Перев.		Рогозін		29.12.				
Н. конт.		Васильєв		18.01				
Затв.		Орисенко		19.01				
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.		

гусениць обертають бульдозер проти годинникової стрілки (доріжки обертаються в різні боки).

Також можна створити супротивний момент, якщо гусениця, яка знаходиться далеко від бічного відвалу, уповільнює рух, а гусениця поруч з бічним відвалом рухається з постійною швидкістю. Якщо ці методи не допомагають, то потрібно зменшити кількість стійкості до зрізання бічного відвалу, для цього потрібно підняти бічний відвал, щоб зменшити товщину стружки або обсяг призми волочіння. З метою підвищення стійкості бульдозера слід використовувати поздовжні ґрунтозацепи для збільшення сил зчеплення в поперечному напрямку до руху.

З метою підвищення стійкості бульдозера з додатковим бічним відвалом можна використовувати наступні варіанти.

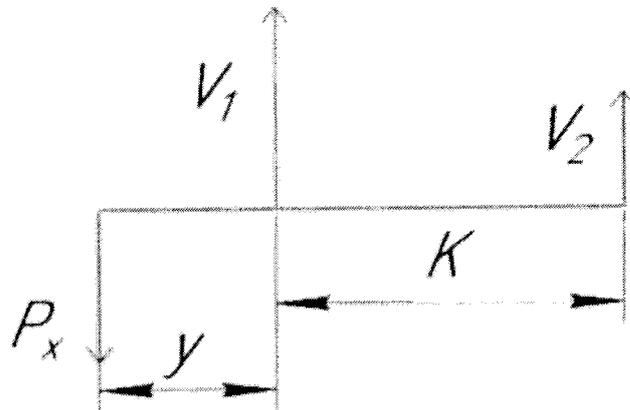
Перший випадок. Збільшення коефіцієнта зчеплення гусениці (рисунок 4.1).



ΔT_{b1} - зростання сили на першій гусениці; ΔT_{b2} - зростання сили на другій гусениці, посилення сили; ΔT_x - зростання сили опору копанню на бічному відвалі

Рисунок 4.1 - Збільшення коефіцієнта зчеплення або зчіпної ваги на гусениці

Другий випадок. Збільшення швидкості руху на першій гусениці (рисунок 4.2).



V_1 - швидкість першої гусениці, V_2 - швидкість руху другої гусениці

Рисунок 4.2 - Збільшення швидкості руху на першій гусениці

Третій випадок. Створити додаткові зусилля $T_{доd}$ для подолання сили P_x (рисунок 4.3).

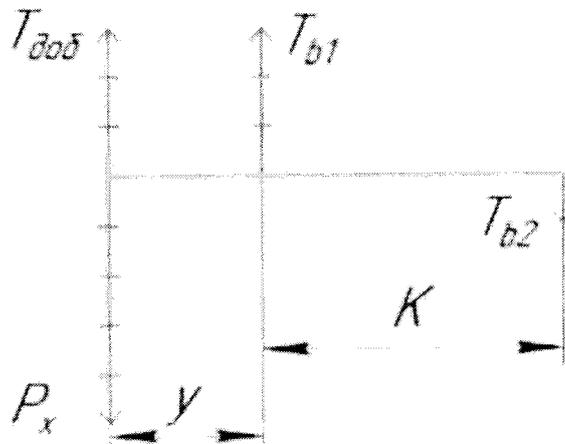
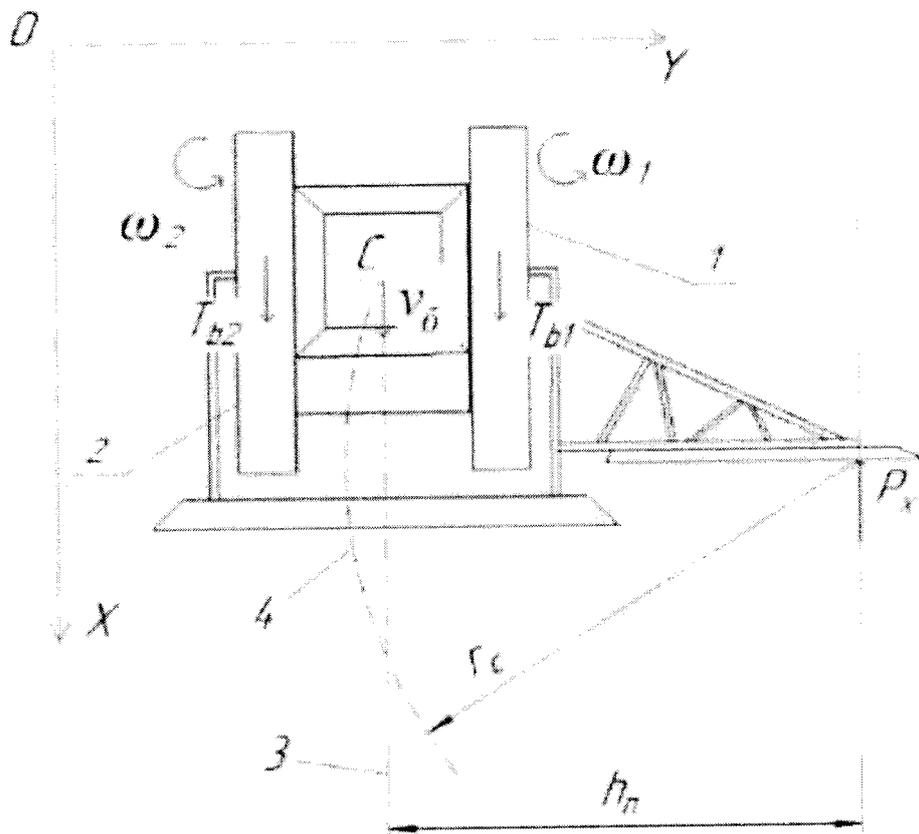


Рисунок 4.3 - Створення додаткових зусиль $T_{доd}$ для подолання сили P_x

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Ли
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		70

І в підсумку, завдяки результатам досліджень, можна реалізувати метод автоматичного збереження стабільності руху бульдозера з бічним відвалом, який показано на рисунку 4.4.



1, 2 - перша і друга гусениці відповідно; P_x - сила опору при копанні з бічним відвалом бульдозера, сила зчеплення T_{b1} і T_{b2} - перша і друга гусениця відповідно та їх сили зчеплення; v_b - швидкість бічного відвала бульдозера; ω_1 і ω_2 кутові швидкості на осях гусениць; 3 - пряма колія точки С при збереженні стійкості; 4 - викривлена траєкторія точки С при втраті стійкості; h_n - відстань від точки прикладання сили P_x до лінії траєкторії 1; r_c - радіус повороту точки С на криволінійній траєкторії 2.

Рисунок 4.4 - Діаграма автоматичної підтримки стійкості бульдозера з бічним відвалом

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ

Ль
7

Бульдозер з бічним відвалом здійснює рух по прямій за умов, коли $\omega_1 = \omega_2, T_{b1} + T_{b2} - P_x = 0$, де ω_1 і ω_2 кутові швидкості на осях гусениць 1 і 2 відповідно, T_{b1} і T_{b2} - тягові зусилля на гусеницях 1 і 2 відповідно.

Бульдозер з бічним відвалом здійснює криволінійний рух при умові якщо: $\omega_1 \neq \omega_2$ або $T_{b1} + T_{b2} - P_x \neq 0$.

Приклад методики збереження курсу і стійкості бульдозера з бічним відвалом при плануванні (зрізанні) схилів може мати наступний характер. Оператор машини контролює рух бульдозера, а контролер, встановлений на машині, за допомогою датчиків вимірює наступні параметри $\omega_1, \omega_2, T_{b1}, T_{b2}$.

Оскільки T_{b1}, T_{b2} можемо знайти за формулами:

$$\begin{aligned} T_{b1} &= \frac{M_1}{r_3} \\ T_{b2} &= \frac{M_2}{r_3} \end{aligned} \quad (4.1)$$

де, M_1 і M_2 крутний момент на гусеницях 1 і 2, відповідно,
 r - радіус зірочки.

Тоді реактивний крутний момент від сили опору копання бокового відвалу отримаємо за формулою:

$$M(h_n; P_x) = hP_x \quad (4.2)$$

де, значення h_n і P_x визначаються за допомогою методології та технічного рішення, розглянутого у попередній главі 3. Контролер автоматично обробляє показання тензодатчиків, а саме значення моменту від сил T_{b1}, T_{b2} щодо точки С:

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		72

$$M_{c1} = T_{b1} \frac{K}{2}$$

$$M_{c2} = T_{b2} \frac{K}{2}$$
(4.3)

де, M_{c1}, M_{c2} - крутний момент від сил T_{b1}, T_{b2} до точки С,
 К - колія бульдозера.

Курсова стійкість бульдозера з бічним відвалом при копанні схилів підтримується при виконанні однієї з умов:

1) $\omega_1 = \omega_2$ і $M(h_n; P_x) + M_{c1} + M_{c2} = 0$ у випадку зрізання схилів бічним відвалом по прямій;

2) $\omega_1 \neq \omega_2$ і $M(h_n; P_x) + M_{c1} + M_{c1} = 0$ у випадку зрізання схилів бічним відвалом по викривленій траєкторії.

Якщо одна з цих умов не виконується, контролер здійснює керуючий вплив на привод бульдозера, щоб зберегти його стабільність руху і надає попереджувальний сигнал оператору машини.

Таким чином проведені теоретичні та експериментальні дослідження можуть набути практичного використання з метою підвищення ефективності роботи землерийно-транспортних машин із встановленим на них додатковим бічним відвалом.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Ли
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		73

Висновки

Аналіз літературних джерел показав, що ситуація із станом дорожніх інфраструктурних об'єктів в Україні потребує збільшення продуктивності землерійно-транспортних машин, які мають бути задіяні для майбутніх будівельних відновлювальних дорожніх робіт.

Бульдозер із додатковим бічним відвалом має гарні перспективи із якісного підвищення продуктивності машин подібного типу. Тому така конструкція відвалу потребує досліджень та обґрунтування його параметрів.

У зв'язку з цим у роботі було запропоновано теоретичну методику визначення об'єму призми волочіння ґрунту на додатковому бічному відвалі, за допомогою якої визначені складові сил опору різанню і переміщенню матеріалу на додатковому бічному відвалі гусеничного бульдозера. Також визначено вплив кутів захоплення і різання бічного відвалу на опір різання і переміщення матеріалу. Розроблено систему розрахунку об'єму призми волочіння для бічного відвалу. Ці теоретичні дослідження дозволяють проектувати бічний додатковий відвал в залежності від параметрів базової машини і характеристик ґрунту.

Проведено моделювання визначення геометричних параметрів зрізаного ґрунту, на основі якого встановлено раціональну величину шару зрізання ґрунту, та *раціональне співвідношенням висоти до ширини бічного відвалу, котре при роботі із найпоширенішими типами ґрунту повинно бути на рівні 1:4.*

Знайдено теоретичні залежності умов забезпечення стійкості руху бульдозера із додатковим бічним відвалом. Це дозволяє керувати зміною

параметрів конструкції бічного відвалу, тама чинном, щоб при цьому не втрачена стійкість руху.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Висновки		
Розроб.	Ладатко		29	12			
Перев.	Рогозін		29	12	Літ.	Лист	Листів
Н. конт.	Васильєв		29	12		74	
Затв.	Орисенко		29	12	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.		

Додатково визначено теоретичні залежності для опису процесу різання ґрунту бічним відвалом з розрахунку максимальної сили, яка може бути застосована на додатковому бічному відвалі з урахуванням стійкості бульдозера.

Для експериментального підтвердження даних запропоновано застосування комплексу спеціальних вимірювальних приладів у вигляді групи тензометричних датчиків на робочому органі, що дозволяють вимірювати величину опору копання в трьох взаємно перпендикулярних площинах, а також визначати точку застосування отриманого вектора сили в лобовому і вертикальному напрямку.

З метою впровадження результатів дослідження розглянуто методики збереження курсової стійкості бульдозера із додатковим бічним відвалом при його роботі, на основі аналізу даних про силову взаємодію основних частин робочого органа у вигляді бічного відвала із матеріалом, який зрізається.

А, отже, за рахунок обґрунтування параметрів використання бічного відвалу, можна досягти більш високих і стабільних показників продуктивності роботи землерийно-транспортних машин. У свою чергу це підвищить ефективність їх експлуатації.

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						75
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Список літератури

1. Баладінський В. Л., Назаренко І. І., Онищенко О. Г. Будівельна техніка: підручник. Київ-Полтава: КНУБА-ПолтНТУ, 2002. 463 с.
2. Будівельна техніка: навч. посібник / В. Л. Баладінський, О. М. Лівінський, Л. А. Хмара та ін. Київ: Либідь, 2001. 368 с.
3. Онищенко О. Г., Помазан В. М. Будівельна техніка: навчальний посібник. Київ: Урожай, 1999. 304 с.
4. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: Навчально-методичний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2004.-98 с.
5. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навчальний посібник. – Київ: Вища школа, 1993. – 414 с.
6. Пат. 12473 Україна, МПК(2006) Е 02 F 3/76. Бульдозерний робочий орган / Хмара Л.А., Талалай В.О., Соколов І.А.; заявник і патентовласник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – № u200506756; заявл. 11.07.2005; опубл. 30.01.2006, Бюл. № 2.
7. Пат. 15558 Україна, МПК(2006) Е 02 F 3/76. Бульдозерний відвал / Хмара Л.А., Соколов І.А., Пархомчук Р.Г.; заявник і патентовласник Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. – № u200511751; заявл. 09.12.2005; опубл. 17.07.2006, Бюл. №7.
8. Машина для земляних робіт: навчальний посібник / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Нічке та ін.; за заг. ред. проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. – Рівне–Дніпропетровськ–Харків, 2010. –558 с.
9. Хмара Л.А. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин/ Л.А. Хмара, М.П. Колісник, В.П. Станевський. – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Список літератури	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Ладатко	<i>DL</i>	29.12				
Перев.		Рогозін	<i>DL</i>	29.12			76	
Н. конт.		Васильєв	<i>DL</i>	15.01		Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023р.		
Затв.		Орисенко	<i>DL</i>	19.01				

10. Машины для земляних робіт: Підручник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, М. П. Скоблюк та ін.; за заг. ред. д.т.н., проф. Л. А. Хмари та д.т.н., проф. С. В. Кравця. Х.: ХНАДУ, 2014. 548 с.

11. Машины для земляних робіт: Навчальний посібник / Хмара Л. А., Кравець С. В., Нічке В. В., Назаров Л. В., Скоблюк М. П., Нікітін В. Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л. А. та проф. Кравця С. В. Рівне Дніпропетровськ - Харків. 2010. 557 с.

12. Хмара Л. А., Деревянчук М.І., Крекнін К.А. Аналітичне визначення об'єму призми волочіння трисекційних бульдозерних відвалів в накопичувальному режимі роботи // Сб. науч. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Выпуск 63, 2011. – С. 36 – 42.

13. Хмара Л. А. Теоретичні дослідження форми і об'єму призми волочіння трисекційних відвалів в накопичувальному режимі роботи / Л. А. Хмара, М. І. Деревянчук, М. В. Кульчицький // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Вып. 46. – Дн-ск: ПГАСА, 2008. – С. 39 – 49.

14. Голубченко О. І. Тенденції вдосконалення конструкції відвальних робочих органів для збільшення об'єму призми волочіння / О. І. Голубченко, М. Е. Хожило // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2008. – № 6– 7. – С. 42– 46.

15. Голубченко О. І. Розробка робочого обладнання землерийно-транспортної машини безперервної дії / Голубченко О. І., Хожило М. Е. // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Вып. 51. – 2009. – С. 110– 113.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						77
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

16. Ковальчук Р. В. Дослідження параметрів бульдозерних відвалів / Р. В. Ковальчук, О. В. Макаруч // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2014. – Вип. 1(65). – С. 263-269.

17. Хмара Л.А. Бульдозерний відвал / Л.А. Хмара, В.О. Талалай, І.А. Соколов // Патент на корисну модель UA №11656, E02F3/76 - 2006.

18. Мнухін А.Г. Конструкція бульдозерного устаткування / А.Г. Мнухін, В.А. Мнухін, С.В. Насонов, О.М. Меркулов, В.В. Чередніченко, В.І. Ємельяненко, І.П. Горошко // Патент на винахід UA №38985 E02F3/84, – 2001.

19. Аржаєв Г.О. Бульдозерне обладнання двобічної дії / Г.О. Аржаєв, П.П. Штопенко, С.В. Заноздра, В.М. Смірнов. Патент на корисну модель UA №2377, E02F3/76, – 2004.

20. Хмара Л. А., Кроль Р. М. Наукові основи оптимізації геометричних параметрів інноваційного телескопічного робочого органа бульдозера (на основі загальних теорій взаємодії відвальних робочих органів із середовищем). Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2019. № 4. С. 79–92.

21. Талалай В. О. Інтенсифікація розробки ґрунту бульдозерним відвалом удосконаленням параметрів ножової системи: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт. Дніпропетровськ, 2008.

22. Ракша С. В., Главацький К. Ц., Горбенко Ю. О. Дослідження процесу копання ґрунту фізичною моделлю бульдозерного обладнання з неповоротним відвалом та зміною комбінованою об'ємною ножовою системою. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: збірник наукових праць. Харків. Вип. 88. Т. 2. С. 86–92.

23. Главацький К. Ц., Горбенко Ю. О., Анофрієв П. Г. Дослідження процесу копання ґрунту бульдозерним неповоротним відвалом з об'ємною ножовою системою. Проблеми та перспективи розвитку залізничного

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		78

транспорту: тези 79 Міжнародної науково-практичної конференції. 16-19 травня 2019 р. Дніпро: ДНУЗТ, 2019. С. 228–230.

24. Голубченко О. І., Хожило М. Е. Огляд та пропозиції конструкцій активного робочого обладнання землерийно-транспортних машин безперервної дії. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2011. № 6–7. С. 48–55.

25. Холодов А. М., Руднев В. К., Гарнець В. М. Технічні основи створення машин: підручник. Київ: УМК ВО, 1992. 288 с.

26. Сердюк Л. І. Основи теорії різноманітностей, теорії подібності та математичного моделювання. Полтава: ПолтНТУ, 2002. 98 с.

27. Лівінський О. М. Проблеми і стратегія розвитку будівельної галузі і будівельної науки. Галузеве машинобудування, будівництво: збірник наукових праць. Полтава: ПолтДТУ, 2000. Вип. 6. С. 24–31.

28. Ковальчук Р. В. Дослідження параметрів бульдозерних відвалів / Р. В. Ковальчук, О. В. Макарчук // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2014. – Вип. 1(65). – С. 263-269.

29. Хмара Л. А. Аналітичне визначення об'єму призми волочіння трисекційних бульдозерних відвалів з нахиленими осями шарнірів в накопичувальному режимі роботи / Л. А. Хмара, М. І. Дерев'янчук, К. А. Крекнін- 2014. - Вип. 79. - С. 293-301.

30. Ракша, С. В. Дослідження процесу копання ґрунту фізичною моделлю бульдозерного обладнання з неповоротним відвалом та змінною комбінованою об'ємною ножовою системою / Ракша С. В., Главацький К. Ц., Горбенко Ю. О. // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т ; редкол.: А. Г. Батракова (гол. ред.) та ін. – Харків, 2020. – Вип. 88, т. 2. – С. 86–92.

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						79
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

31. Лютенко В.Є. Шляхи вдосконалення бульдозерного обладнання / Лютенко, О.М. Прокопчук // Тези 73-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (Полтава, 21 квітня – 13 травня 2021 р.). – Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2021. – Т. 1. – С. 189-190.

32. Блохін В.С., Маліч М.Г. Основні параметри технологічних машин. Ма- шини для земляних робіт: У 2 ч.: Навч. посіб. – [Текст] К.: Вища шк., 2009. – Ч. 2. – 455 с.: іл.

33. Electronic Stability Control/ How safe is your car. - Ре М постУна: <http://howsafeisyourcar.com.au/Electronic-Stability- Control/>.

34. Patent Adjustable sloper blade for bulldozers: US patent 4 079 791: MPC E 02f 3/76 / Curt Thomas Yoder. James H. Etem. - № 687241, filed May 17, 1976; published March 21, 1978. — 6 p.: Draw.

35. Patent Combination sloper and tailgrader attachment for vehicles: US patent 5542478, 01.08.1994, Ashley Heiple, Alum Bank, Rockland Inc.

36. Patent Dynamic stabilization and control of earthmoving machine. European Patent Application EP 1630636A2: IPC E02F 9/20 / Applicant: Topcon Positioning Systems, Inc. Inventor: Matrosov Ivan. Date of publication: 01.03.2006. — 16 p.: Draw.

37. Patent Sloper blade for bulldozer: JP patent 5151102A: MPC E 02f 3/76, E 02f 3/815 / Rojaa Eru Supurenkeru / American Tractor Equip. Corp. - № 19740123480, filed October 28, 1974; published May 6, 1976 — 5 p.: Draw.

38. Reversing anti-collision system for full hydraulic bulldozer: Patent CN203713694: IPC B60Q9/00 / Zhu Weiwei; Yang Jihong; Wang Shengbo; Zhang Xuan; Applicant Shantui Constr Mach Co LTD. Publication 16/07/2014.

39. Hlavats'kyu K. Ts. (2019). Doslidzhennya protsesu kopannya hruntu bul'dozernym nepovorotnym vidvalom z ob"yemnoyu nozhovoyu systemoyu

					ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		80

[Investigation of the process of digging soil by bulldozer irreversible blade with bulk knife system] / Hlavatsky K. Ts., Horbenko Yu. O., Anofriyev P. H. / Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu: Tezy 79 Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (Dnipro, 16-17.05.2019 r.) D.: DNUZT, 2019. 476 s. – S. 228-230 [inUkraine].

40. Horbenko Yu. O. (2019) Doslidzhennya protsesu kopannya hruntu bul'dozernym obladdnanniam z nepovorotnym vidvalom ta ob'yemnoyu nozhovoyu systemoyu (ONS) [Investigation of the process of digging of soil by bulldozer equipment with irreversible dump and bulk knife system (ONS)] / Horbenko YU. O., Hlavats'kyu K. TS. // Naukovo-tekhnichnyy prohres na transporti: Tezy dopovidey 79 Vseukrayins'koyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi molodykh vchenykh, mahistrantiv ta studentiv. Sektsiya «Mekhanika» / Dnipro: DNUZT im. akad. V. Lazaryana. 2019. 111 s. S. 9–11.

41. Баладінський В.Л. Будівельні машини. Збірник вправ. К.: 2000. – 123с.

42. Ветров Ю.А. та ін. Будівельні машини: Практичні вправи. –К.: Вища школа, Головне вид-во, 1974.

43. Пат. 81418 Україна, МПК E02F 3/76. Відвал бульдозера з боковими висувними ножами- подовжувачами / В. Є. Лютенко, Р. І. Яки- мець, А. М. Бойко ; власник Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка – № 201301327 ; заявл. 04.02.2013 ; опублік. 25.06.2013, Бюл. № 12.

44. Полтавець, М. А. Підвищення продуктивності роботи бульдозера через інтенсифікацію процесів копання, використовуючи нові підходи та технологічні вдосконалення : дипломна робота ... магістра : 133 Галузеве машинобудування / Полтавець Микита Андрійович. – Харків : ХНАДУ, 2023. – 91 с.

45. Главацький К. Ц. Дослідження і розробка бульдозерного обладнання з неповоротним відвалом та комбінованою об'ємною ножовою системою (КОНС)

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						81
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

/ К. Ц. Главацький, В. М. Проскурня, Ю. О. Горбенко, О. С. Попова // - 2017. - Вип. 97. - С. 137-148.

46. Главацький К.Ц. Дослідження і розробка відвалу бульдозера з комбінованою ножовою системою / К.Ц. Главацький, О.В., Середа // Вестник ХНАДУ - Вип. 65-66, - 2014. – С. 238-241.

47. Міщук Д.О., Воляннюк В.О. Відвал бульдозера з розпушувальними зубцями. Патент на корисну модель UA №125062, - 2018.

48. Дослідження напруженого стану багатоцільового змінного бульдозерно-захватного робочого обладнання / В. І. Пантелеєнко, А. Л. Червоноштан, В. А. Пушенко, С. О. Карпушин // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 4 (35). – С. 70–78.

49. С.О. Карпушин, А.С. Голуб, М.В. Чуйко. Застосування методу формування нових технічних рішень при розробці багатоцільового робочого обладнання бульдозера. Збірник «Наука виробництву - 2011» - Кіровоград, КНТУ, 2011. С.1271-1273.

50. Хмара Л.А., Шипілов О.С., Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П., Пантелесенко В.І., Карпушин С.О., Дорожні машини: навч. посіб. НТУ, 2013. 400 с.

51. Машини для земляних робіт: Підручник / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, М.П. Скоблюк та ін.; за заг. ред. д.т.н., проф. Л.А. Хмари та д.т.н., проф. С.В. Кравця. Х.: ХНАДУ, 2014. 548с.

52. Голубченко О.І., Хожило М.Е., Огляд та пропозиції конструкцій активного робочого обладнання землерийно-транспортних машин безперервної дії. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2011. Вип. 6-7. С. 48-55.

53. Карпушин С.О., Бобров О.С. Формування ріжучих елементів робочих органів землерийних та землерийно-транспортних машин. Проблеми і

					ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
						82
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

перспективи практичної реалізації наукових досліджень: матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., Чернівці, 27-28 лютого 2015р. Київ: Науково-видавничий центр «Лабораторія думки», 2015. С.16-19.

54. Бульдозер: пат. 62211А Україна: МПК E02F 3/76; заявл. 30.01.2003; опубл. 15.12.2003. Бюл. №12.

				ГММ.601-МММ.008-00.00.000ПЗ	Лист
Лист	№ докум.	Підп.	Дата		83

Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера

Презентаційні матеріали

ГММ.601-мММ.008-00.00.000ПМ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Студент групи 601-МММ

Ладатко Олексій Сергійович

Магістерська робота
на тему:

«Обґрунтування параметрів бічного відвала бульдозера»

Керівник роботи: к. т. н., доцент Rogozin Іван Анатолійович

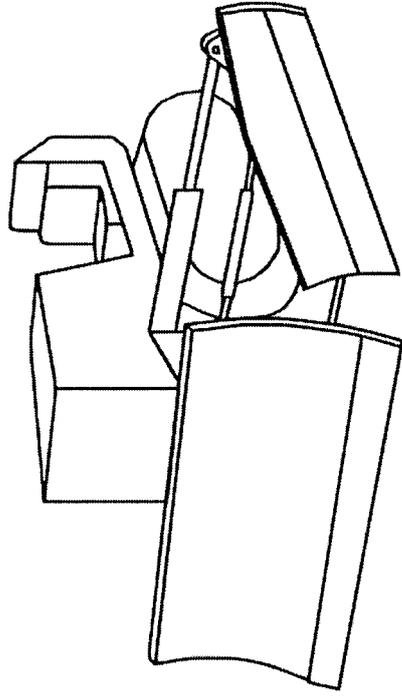
Землерийні машини, що використовуються при плануванні схилів



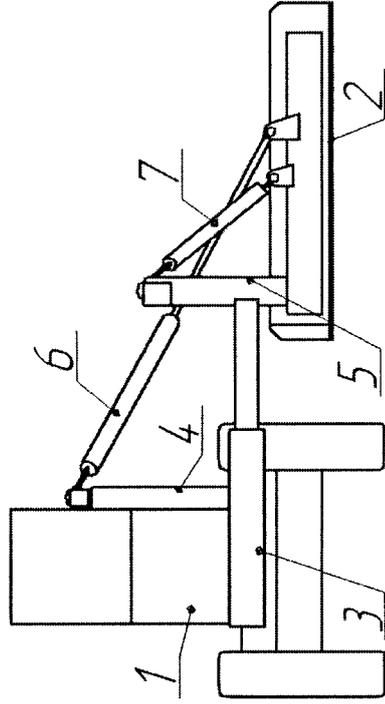
а) - автогрейдер Caterpillar;

б) - экскаватор-планувальник на колісній базі

Приклади встановлення бічного відвалу



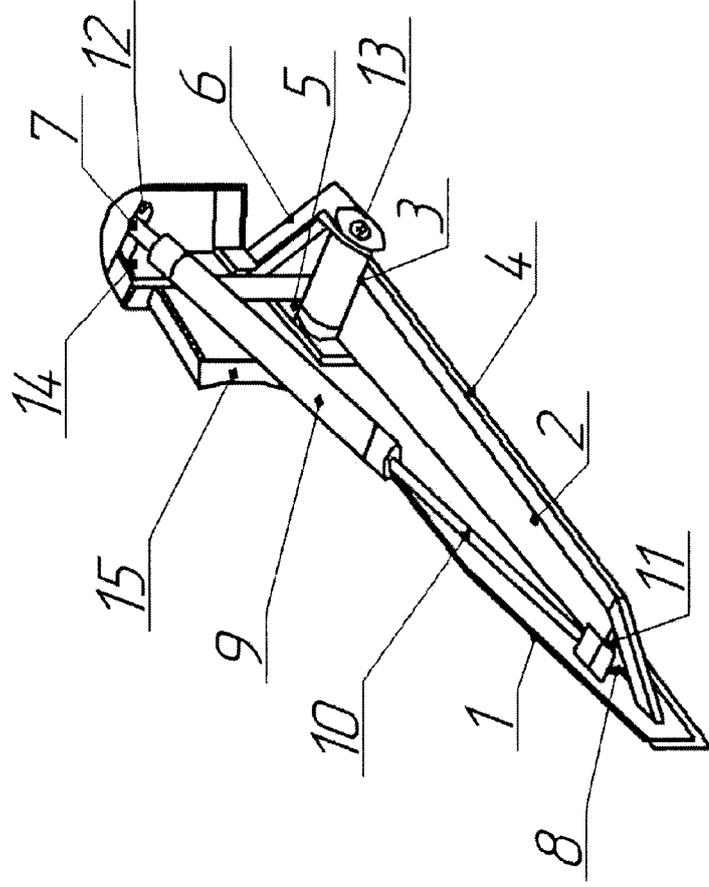
Встановлення бічного відвалу на бульдозер



Встановлення бічного відвалу на грейдер

Бічний відвал бульдозера

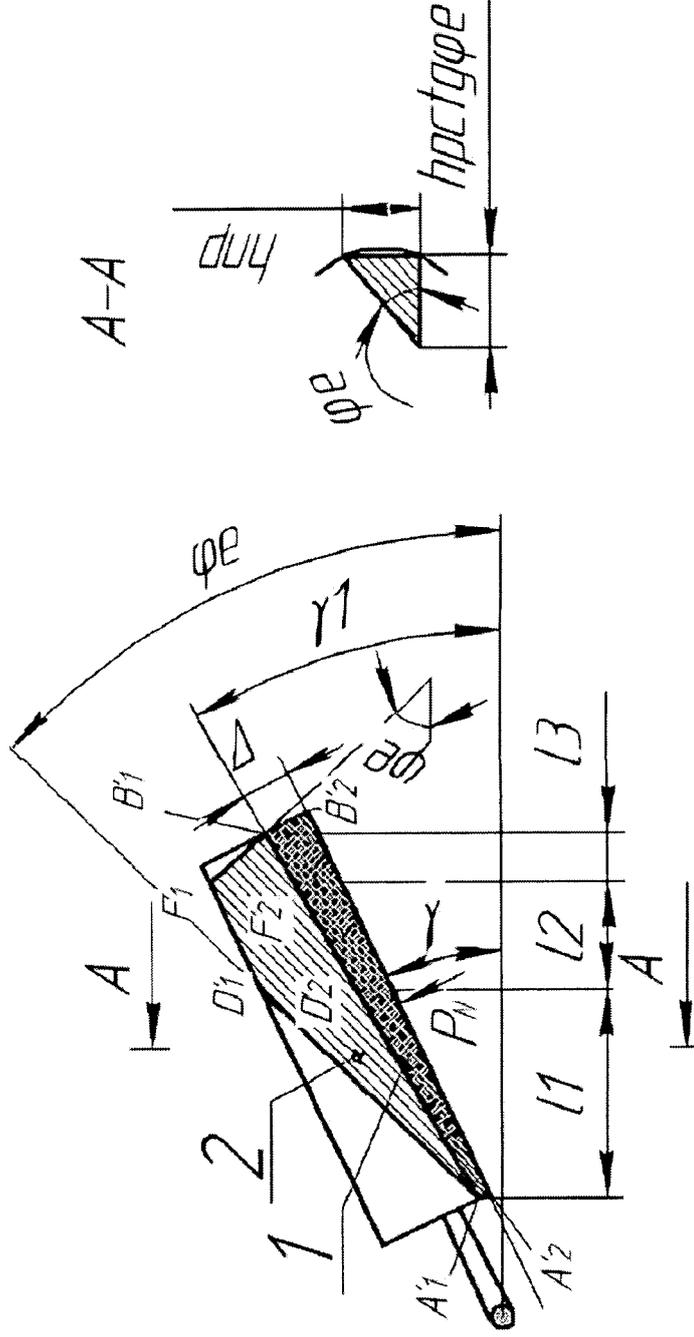
- 1 – бічний відвал;
- 2 – фасонка;
- 3 – шарнірна труба;
- 4 – розпірна труба;
- 5 – монтажна пластина;
- 6 – розпірний елемент;
- 7,8 – циліндричні тримачі;
- 9 – гідроциліндр;
- 10 – стрижень;
- 11,12 – вісі;
- 13 – болт;
- 14 – кронштейн;
- 15 – головний відвал.



Проекція теоретичної призми волочіння на бічному відвалі

Розрахунок теоретичний об'єм призми волочіння методом інтегрування за формулою

$$V_{Д.ТЕОР} = \int_0^{l_1} \frac{h_{np}^2(l) \cdot ctg\varphi_e}{2} dl + \int_0^{l_2} \frac{h_{np}^2(l) \cdot ctg\varphi_e}{2} dl + \int_0^{l_3} \frac{h_{np}^2(l) \cdot ctg\varphi_e}{2} dl$$



1 – зрізана стружка ґрунту;

2 – проекція теоретичної призми волочіння на вертикальну площину відвалу;

$A_1' B_1'$ – лінія поверхні схилу;

$A_1' D_1'$ – природна лінія схилу ґрунту;

γ_1 – кут нахилу поверхні;

γ – кут зрізу бічного відвалу;

Δ – кут заглиблення відвалу;

φ_e – кут природного схилу;

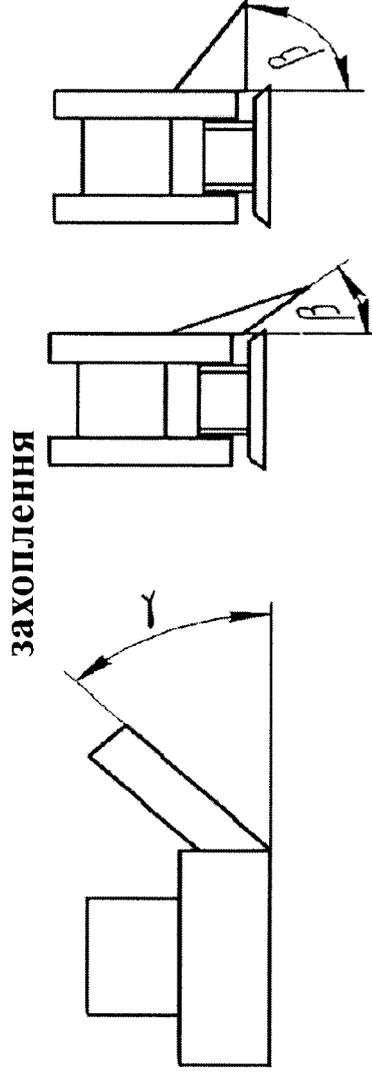
P_N – реакція від землі до ріжучого боку бічного відвалу;

h_{np} – висота призми землі на ділянці A-A;

l_1, l_2, l_3 – ділянки, на яких розраховані обсяги складових призми волочіння ґрунту.

Варіанти планування схилів бічним відвалом

Варіанти утворення відкосів бічним відвалом бульдозера під різними кутами різання і захоплення

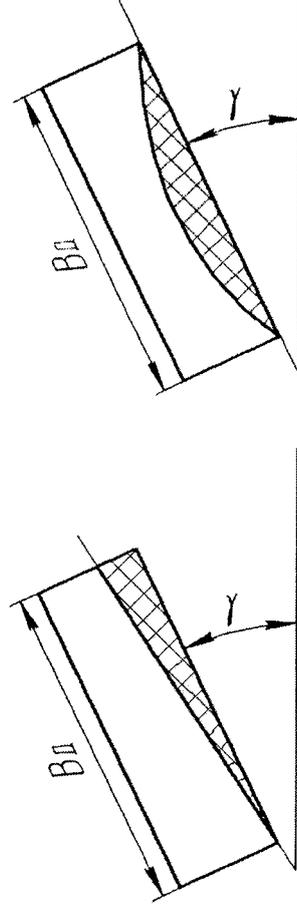


а) вид спереду

б) вид зверху

β – кут захоплення; γ – кут зрізу бічним відвалом

Зрізання стружки при плануванні схилів

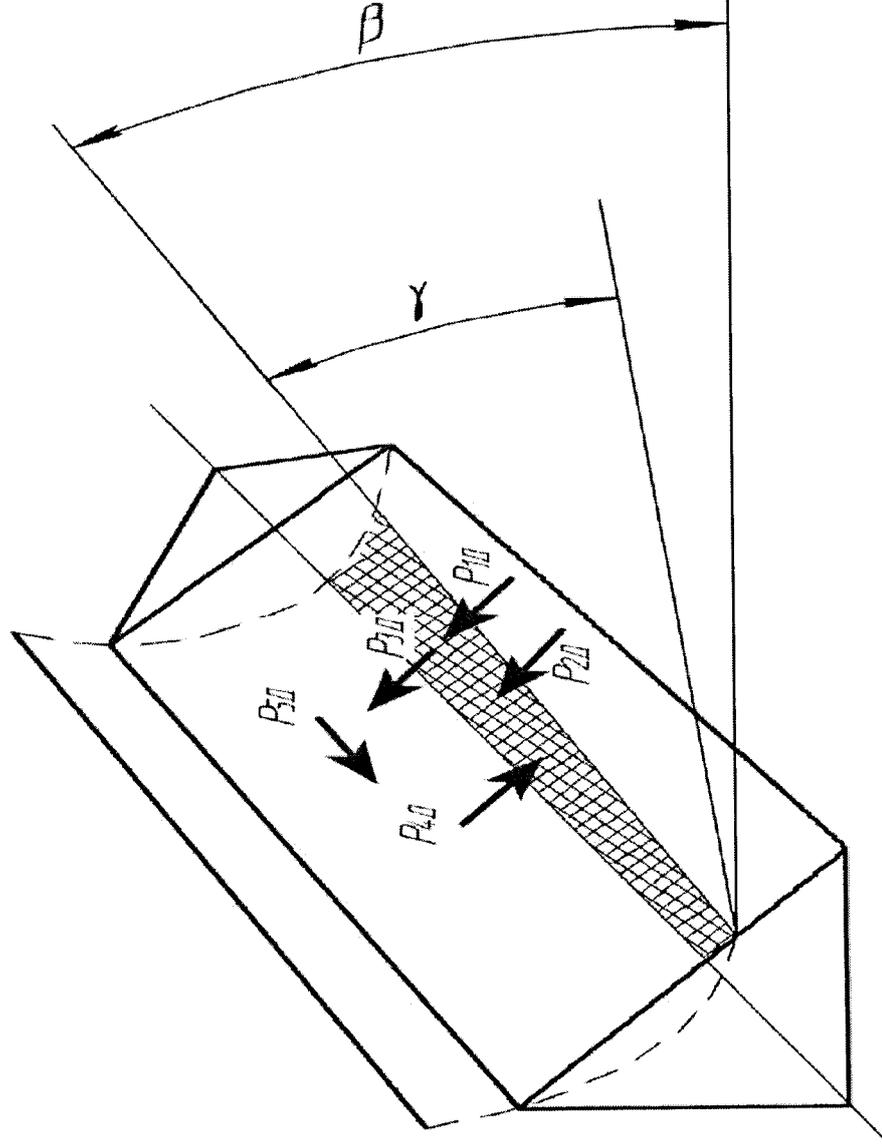


а) напівблокований зріз

б) вільний зріз

B_d – ширина бічного відвалу; γ – кут зрізу бічного відвалу

Сили опору, що діють на бічний відвал



$$P_D = P_{1D} + P_{2D} + P_{3D} + P_{4D} + P_{5D}$$

- P_{1D} — сила опору землі до різання бічним відвалом;
- P_{2D} — сила опору тертя землі на краю леза відвалу;
- P_{3D} — сила опору від руху призми волочіння землі;
- P_{4D} — сила опору, яка утворюється шляхом переміщення землі вгору по відвалу;
- P_{5D} — сила опору, викликана переміщенням землі повздовж відвалу;
- β — кут захоплення;
- γ — кут різання бічного відвалу.

Моделювання визначення геометричних параметрів зрізаного ґрунту

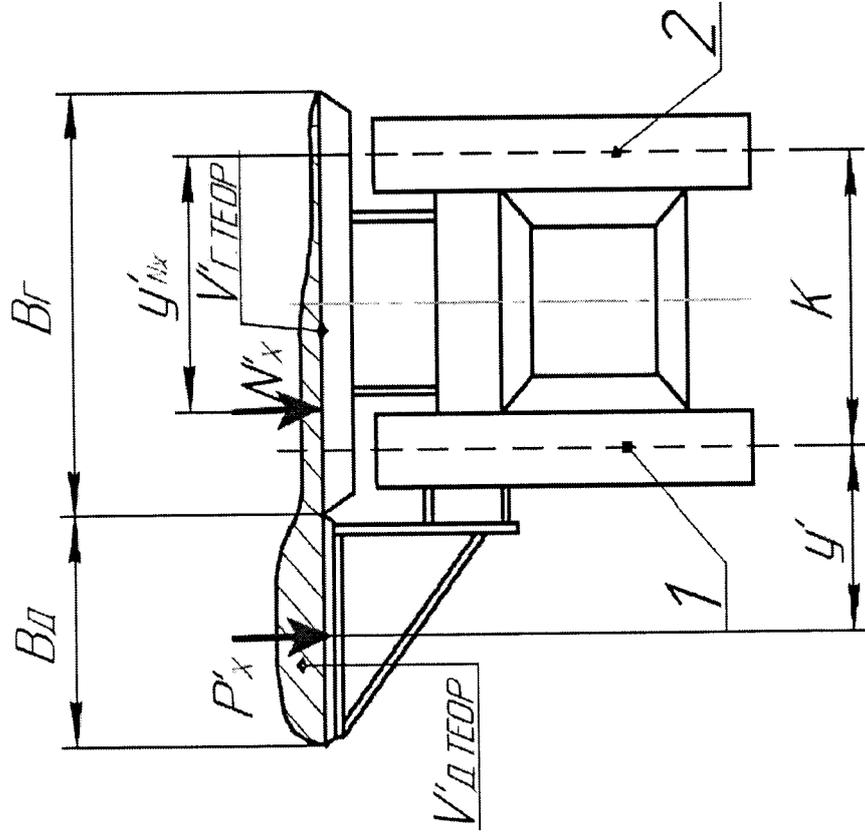


Схема сил, що діють на бульдозер з бічним відвалом

1,2 — перша(ліва) та друга(права) гусениці;

К — колія бульдозера;

$V_{г}$ — довжина основного відвалу;

$V_{д}$ — довжина бічного відвалу;

P'_x — сила опору копанню бічним відвалом;

N'_x — сила опору руху призми волочіння на головному відвалі;

$V'_{г.теор}$ — об'єм ґрунту тяглової призми волочіння на головному відвалі;

$V'_{д.теор}$ — об'єм ґрунту призми волочіння на бічному відвалі.

Залежності умов забезпечення стійкості руху бульдозера з бічним відвалом

Об'єм призми волочіння на бічному відвалі $V'_{Д.ТЕОР}$ Об'єм ґрунту перед головним відвалом $V'_{Г.ТЕОР}$

$$V'_{Д.ТЕОР} = B_{Д} \left(0,57 \frac{H_{Д}^2}{2} - 0,29h^2 + \frac{(H_{Д} - h)^2}{2k_{пр}} \right)$$

$B_{Д}$ – ширина бічного відвалу, м;

$H_{Д}$ – висота бічного відвалу, м;

h – товщина зрізаного шару землі, м;

$k_{пр}$ – коефіцієнт для визначення об'єму призми волочіння.

$$V'_{Г.ТЕОР} = 0,5V'_{Д.ТЕОР}$$

Сила опору призми волочіння ґрунту на головному відвалі:

$$N'_x = V'_{Г.ТЕОР} \rho g (\mu_2 + \mu_1 \cos^2 \alpha).$$

Стійкість до риття бічним відвалом

$$P'_x = k B_{Д} h + V'_{Д.ТЕОР} \rho g (\mu_2 + \mu_1 \cos^2 \alpha)$$

k – коефіцієнт опору ґрунту до різання, Па;

h – товщина зрізу;

ρ – об'ємна маса розрихленого ґрунту призми волочіння, кг/м³;

μ_1 – коефіцієнт тертя металу об ґрунт;

μ_2 – коефіцієнт тертя ґрунту об землю;

α – кут зрізу бічним відвалом бульдозера.

Момент опору копанню, відносно осі симетрії гусениці 2

$$M = P'_x (K + y') + N'_x y_{Nx}$$

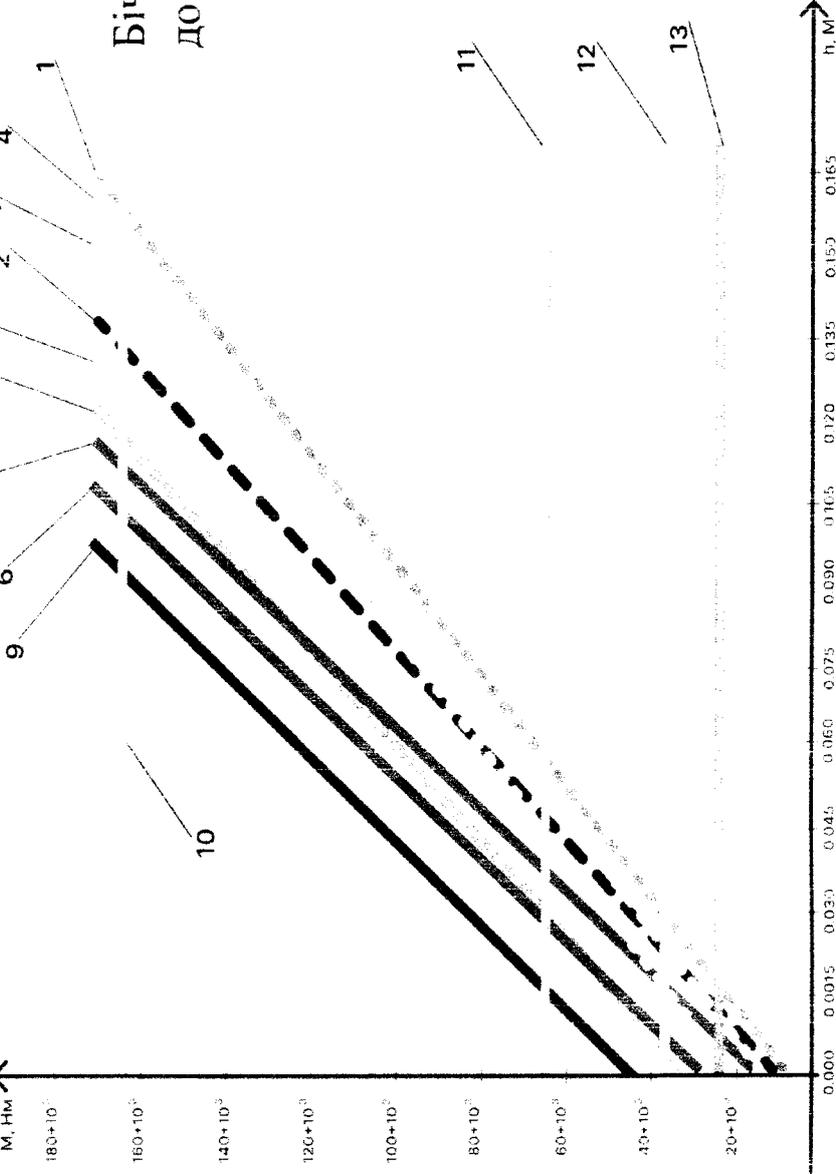
P'_x – опір на бічному відвалі, що відповідає максимальному об'єму призми ґрунту перед відвалом, Н;

N'_x – сили опору від руху призми волочіння на головному відвалі.

Графік залежностей моменту опору від товщини зрізаної стружки

Види бічних відвалів

№ об'єкта з/в	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_{\text{вд}}$	0,35	0,4	0,45	0,49	0,5	0,63	0,66	0,72	0,81
$V_{\text{вд}}$	1,4	1,5	1,8	2,2	2,6	3,8	4,2	4,8	5,8
$H_{\text{вд}}/V_{\text{вд}}$	0,25	0,27	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14



$H_{\text{вд}}$ – висота відвалу; $V_{\text{вд}}$ – ширина відвалу.

Бічні відвали з найменшим співвідношенням висоти до ширини (0,25; 0,35) є кращими в роботі.

$M_i(h)$ – для бічних відвалів $i: 1-9$ – графіки залежностей M ;

(h) – для відвалів $i = 1 \dots 3$ відповідно;
10 – горизонталь $M_{\text{спец}}$;

11 та 12 – горизонталь $M_{\text{тяги}}$ для передач 1...3 відповідно.

Модель процесу роботи бульдозера з бічним

відвалом



$$T_{a1} \leq T_{a1\max},$$

$$T_{a2} \leq T_{a2\max},$$

$$T_{b1} \leq T_{b1\max},$$

$$T_{b2} \leq T_{b2\max}.$$

Умови стабільності руху бульдозера

$$P_x \leq T_{b1} + T_{b2} - N_x - P_{f1} - P_{f2},$$

$$P_y \leq T_{a1} + T_{a2}.$$

$$P_x \leq P_{k1} - N_x - P_{f1} - P_{f2}.$$

$$\frac{\varphi_b^2}{\varphi_{b\max}^2} + \frac{\varphi_a^2}{\varphi_{a\max}^2} = 1 \quad (\varphi_{b\max} > \varphi_{a\max})$$

$$P_{k1} = \frac{\eta_{\text{ккд}} N_{\text{дв}}}{v_1} \cdot (1 - k_{\text{зан}})$$

$\eta_{\text{ккд}}$ – ККД трансмісії ($\eta_{\text{ккд}} = 0,75$);

$N_{\text{дв}}$ – потужність двигуна;

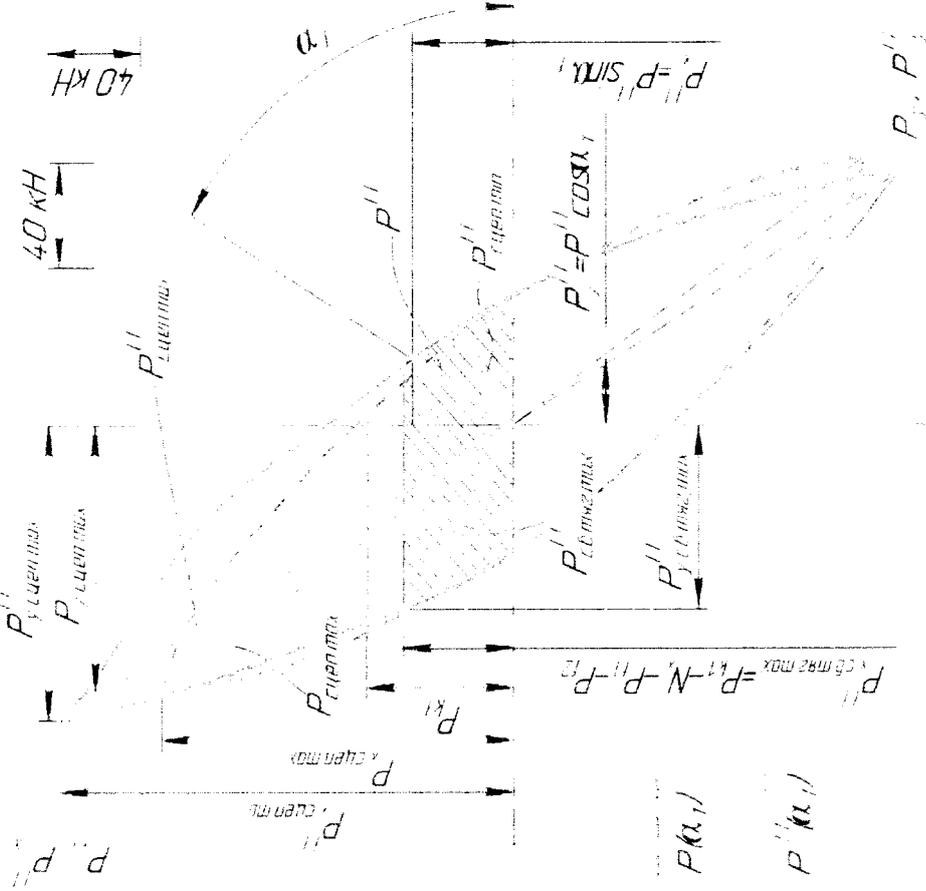
v_1 – швидкість бульдозера на 1-ій передачі, м/с;

$k_{\text{зан}}$ – коефіцієнт запасу сили тертя для врахування неточності даних, які були отримані на моделі перерахунку на оригінал(склав не більше 10-15%; $k_{\text{зан}} = 0,2$).

$$P_x + N_x + P_{f1} + P_{f2} \leq P_{k1},$$

P_{k1} - тягова сила, яку утворює бульдозер на 1-ій передачі

Годограф максимальної сили, яка може бути застосована на бічний відвал



За допомогою годографа $P(\alpha_1)$ можна графічно визначити величину граничних сил P''_x, P''_y з урахуванням обмеження вільної тяги бульдозера.

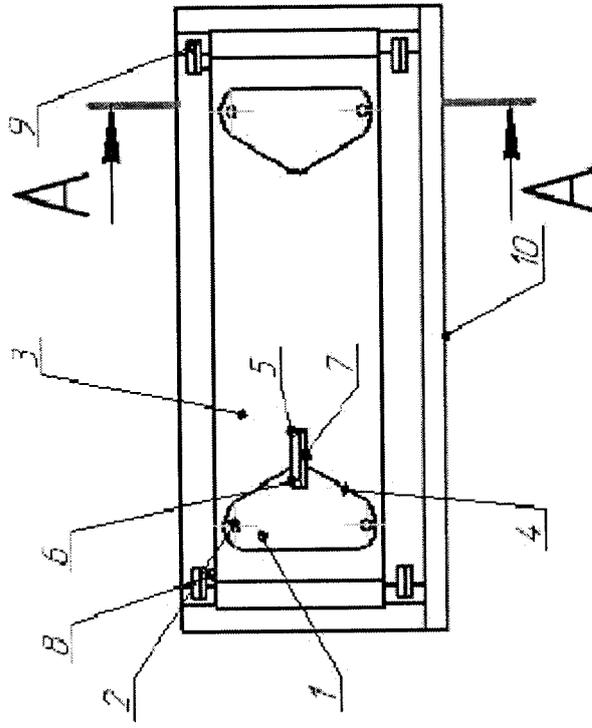
P – без урахування сил опору копання на питомий тиск на гусениці;
 P'' – з урахуванням сил опору копання на питомий тиск на гусениці.

$$P_{слец. макс}(124^\circ) = 182 \text{ кН} \quad P''_{слец. макс}(120^\circ) = 225 \text{ кН}$$

$$P_{слец. мин}(34^\circ) = 44 \text{ кН} \quad P''_{слец. мин}(34^\circ) = 42 \text{ кН}$$

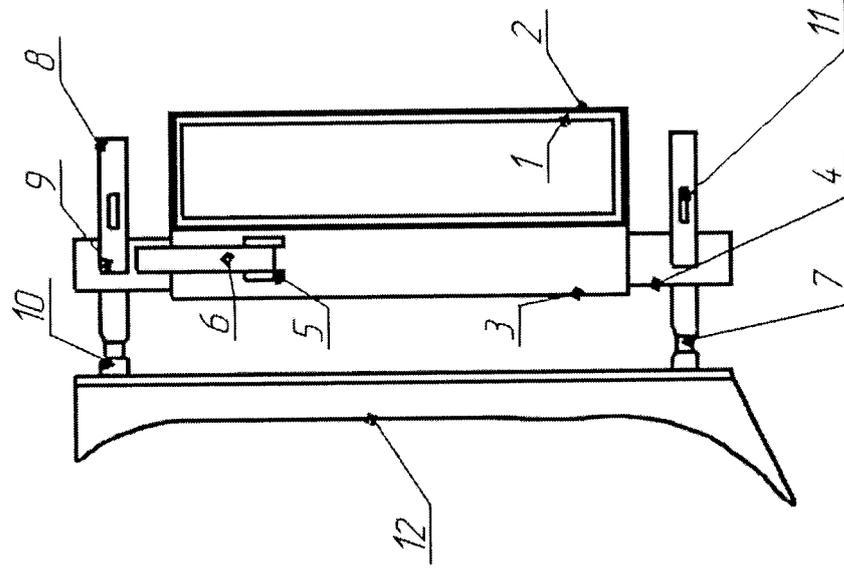
Схеми розміщення тензодатчиків на бічному відвалі

Схеми розміщення тензодатчиків



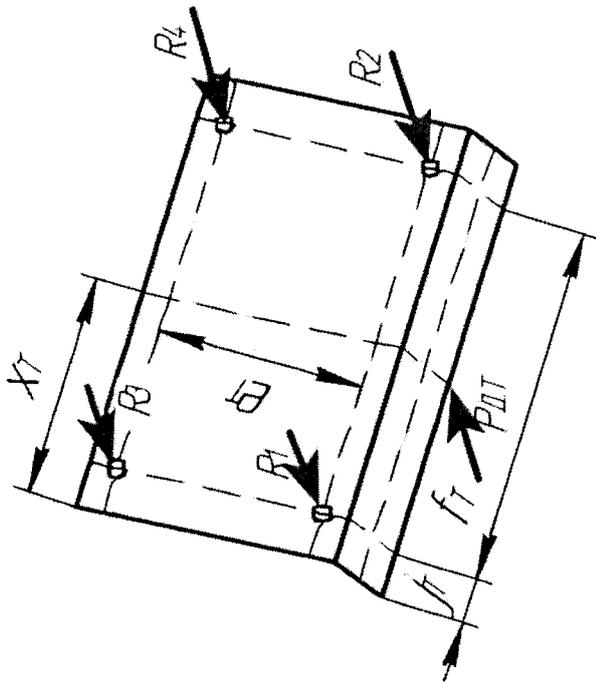
- 1 – направляючий профіль;
- 2 – кріплення отворів до рами машини;
- 3 – бічна тяга;
- 4 – слоти;
- 5, 6, 8 – виступи з отворами;
- 7, 9 – тензодатчики;
- 10 – робоча частина

Схеми розміщення тензодатчиків у розрізі А – А



- 1, 3, 8 – направляючі профілі;
- 2 – бічна тяга;
- 4 – вертикальна тяга;
- 5, 9, 10 – виступи з отворами;
- 6, 11 – тензодатчики;
- 7 – горизонтальна тяга;
- 12 – робочий орган

Діаграми сил, що діють на бічний відвал

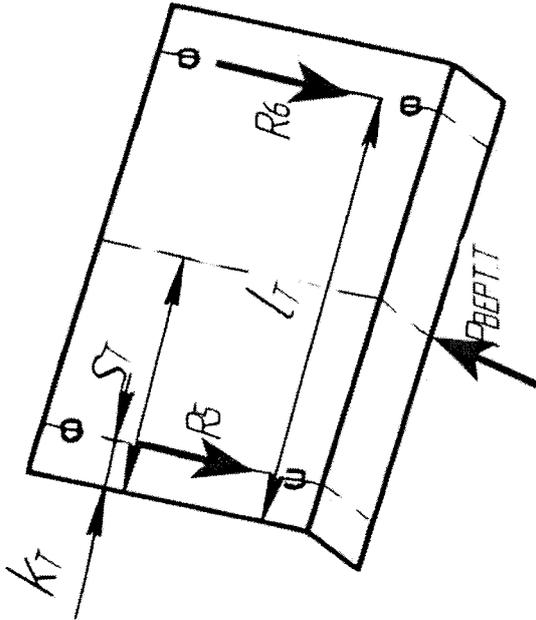


Діаграма сил, що діють на відвал в горизонтальному (лобовому) напрямку

$$x_T = \frac{(R_1 + R_3) \cdot j_T + (R_2 + R_4) \cdot (j_T + f_T)}{P_{Д.Т}}$$

$$y_T = \frac{(R_1 + R_2) \cdot g_T + (R_3 + R_4) \cdot (e_T + g_T)}{P_{Д.Т}}$$

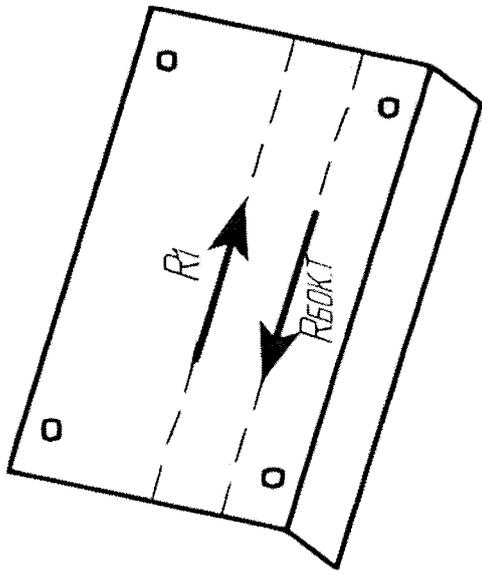
$$P_{Д.Т} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4.$$



Діаграма сил, що діють на відвал у вертикальному напрямку

$$S_T = \frac{R_5 \cdot k_T + R_6 \cdot l_T}{P_{ВЕРТ.Т}}$$

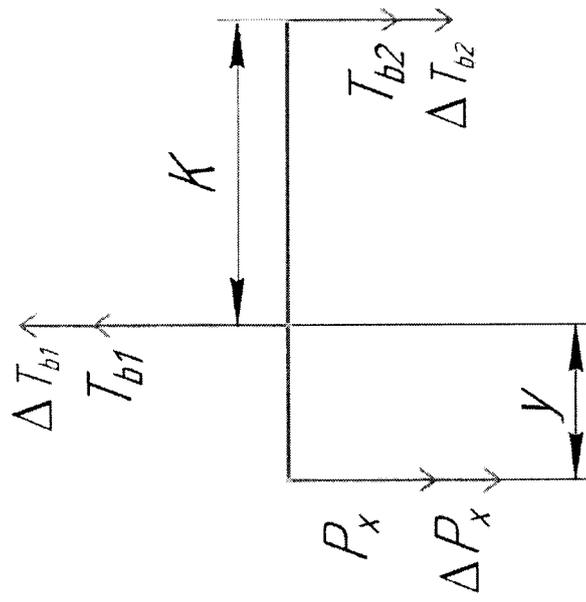
$$P_{ВЕРТ.Т} = R_5 + R_6.$$



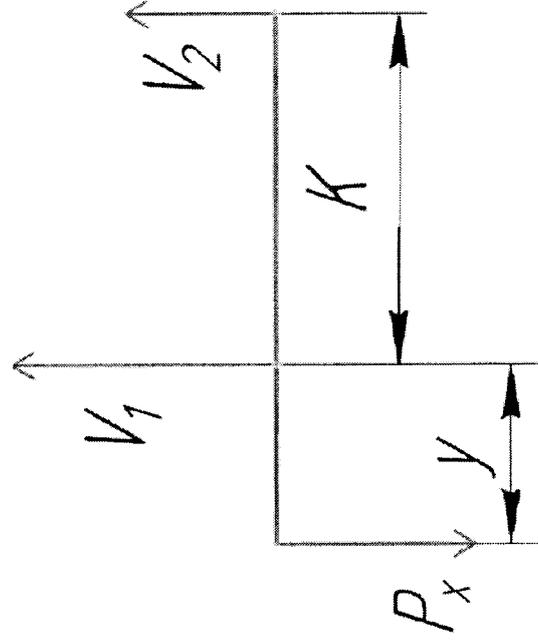
Діаграма сил, що діють з боків на відвал

$$P_{БОК.Т} = R_7$$

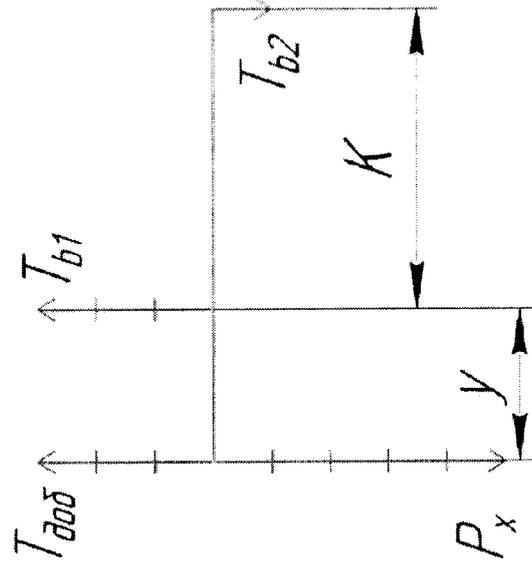
Методи забезпечення стійкості бульдозера з бічним відвалом під час роботи



Збільшення коефіцієнта зчеплення гусениці

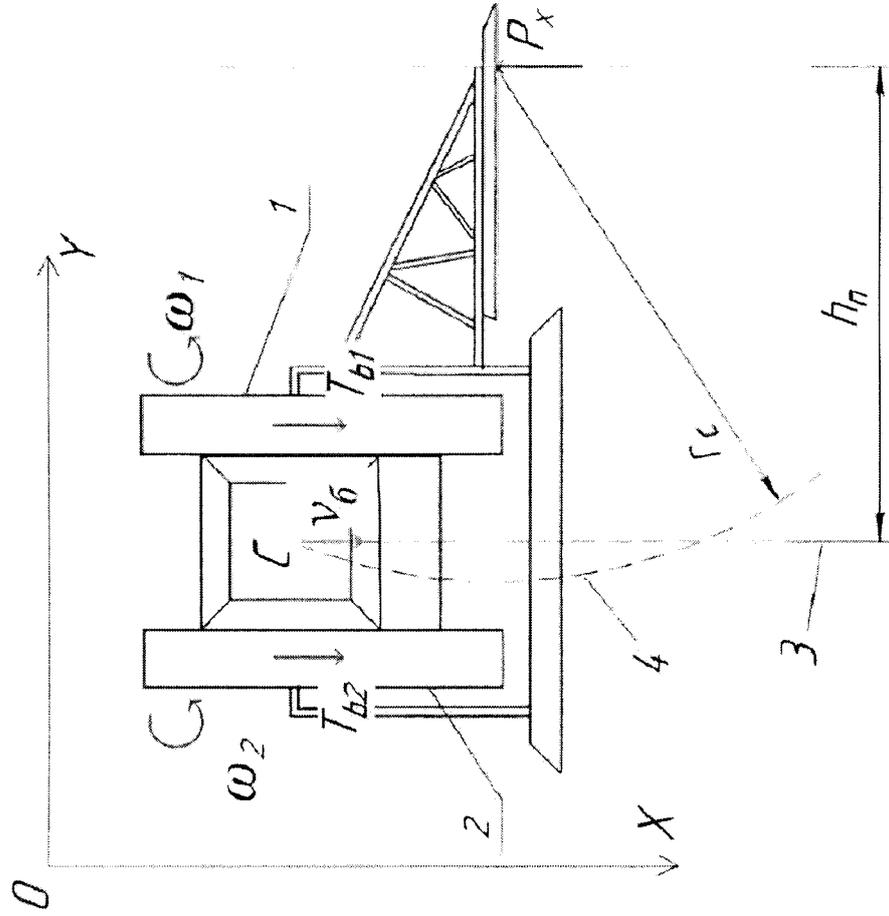


Збільшення швидкості руху на першій гусениці



Створення додаткових зусиль $T_{\text{доб}}$ для подолання сил P_x

Діаграма автоматичної підтримки стійкості бульдозера з бічним відвалом



1,2 — перша і друга гусениці;

P_x — сила опору при копанні з бічним відвалом бульдозера, сила тертя;

T_{b1} і T_{b2} — перша і друга гусениця відповідно та значення їх сил;

v_6 — швидкість бічного відвалу бульдозера;

ω_1 і ω_2 — кутові швидкості на осях гусениць;

3 — пряма колія точки С при збереженні стійкості;

4 — викривлена траєкторія точки С при втрагті стійкості;

h_n — відстань від точки прикладання сили P_x до лінії траєкторії 3;

r_c — радіус повороту точки С на криволінійній траєкторії 4.

Висновки

Аналіз літературних джерел показав, що ситуація із станом дорожніх інфраструктурних об'єктів в Україні потребує збільшення продуктивності землерійно-транспортних машин, які мають бути задіяні для майбутніх будівельних відновлювальних дорожніх робіт.

Бульдозер із додатковим бічним відвалом має гарні перспективи із якісного підвищення продуктивності машин подібного типу. Тому така конструкція відвалу потребує досліджень та обґрунтування його параметрів.

У зв'язку з цим у роботі було запропоновано теоретичну методику визначення об'єму призми волочіння ґрунту на додатковому бічному відвалі, за допомогою якої визначені складові сил опору різанню і переміщенню матеріалу на додатковому бічному відвалі гусеничного бульдозера. Також визначено вплив кутів захоплення і різання бічного відвалу на опір різання і переміщення матеріалу. Розроблено систему розрахунку об'єму призми волочіння для бічного відвалу. Ці теоретичні дослідження дозволяють проектувати бічний додатковий відвал в залежності від параметрів базової машини і характеристик ґрунту.

Проведено моделювання визначення геометричних параметрів зрізаного ґрунту, на основі якого встановлено раціональну величину шару зрізання ґрунту, та раціональне співвідношенням висоти до ширини бічного відвалу, котре при роботі із найпоширенішими типами ґрунту повинно бути на рівні 1:4.

Знайдено теоретичні залежності умов забезпечення стійкості руху бульдозера із додатковим бічним відвалом. Це дозволяє керувати зміною параметрів вистановки кутів бічного відвалу таким чином, щоб при цьому не була втрачена стійкість руху.

Додатково визначено теоретичні залежності для опису процесу різання ґрунту бічним відвалом з розрахунку максимальної сили, яка може бути застосована на додатковому бічному відвалі з урахуванням стійкості бульдозера.

Для експериментального підтвердження даних запропоновано застосування комплексу спеціальних вимірювальних приладів у вигляді групи тензометричних датчиків на робочому органі, що дозволяють вимірювати величину опору копання в трьох взаємно перпендикулярних площинах, а також визначати точку застосування отриманого вектору сили в лобовому і вертикальному напрямку.

З метою впровадження результатів дослідження розглянуто методики збереження курсової стійкості бульдозера із додатковим бічним відвалом при його роботі, на основі аналізу даних про силу взаємодію основних частин робочого органу у вигляді бічного відвала із матеріалом, який зрізається.

А, отже, за рахунок обґрунтування параметрів використання бічного відвалу, можна досягти більш високих і стабільних показників продуктивності роботи землерійно-транспортних машин. У свою чергу це підвищить ефективність їх експлуатації.