

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

До кваліфікаційної роботи магістра

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу

Виконав: студент VI курсу, групи 602-ММВ

напряму підготовки (спеціальності)

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Решетняк Віталій Сергійович

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н. професор. Фролов Є.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Молчанов П.О.

(прізвище та ініціали)

Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу

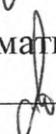
Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 МР

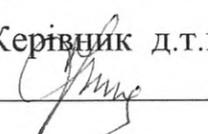
Технологічний контроль к.т.н., доц.

О.С. Васильєв
„29” 08 2024р.

Нормативний контроль к.т.н., доц.

О.С. Васильєв
„29” 08 2024р.

Розробив студент групи 602-ММв

Решетняк В. С.
„23” 08 2024р.

Керівник д.т.н., професор.

Фролов Є.А.
„23” 08 2024р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
галузевого машинобудування та мехатроніки
к.т.н., доц.


О.В. Орисенко

Гарант ОП


М.М. Нестеренко

№ рядок.	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			Документація загальна		
3					
4			Вперше розроблена		
5					
6	A4	ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	
7	A4	ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000А	Анотація	3	
8	A4	ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка		
9					
10			Документація наукова		
11					
12			Вперше розроблена		
13					
14	A4	ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000ПМ	Дослідження процесу різання ґрунту		
15			бульдозером з газовим мащенням		
16			відвалу		
17			Презентаційні матеріали	10	
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

					ГМтаМ 602ММв.039--00.00.000ВМ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Решетняк		23.08	Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Фролов		23.08		Н	1	1
Н.контр.		Васильєв		29.08	Відомість кваліфікаційної роботи магістра	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Затв.		Орисенко		29.08				

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра, циклова комісія Кафедра 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

О.В. Орисенко

"20" 03

2024 р.

ЗАВДАННЯ
до кваліфікаційної роботи магістра

Решетняку Віталію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи

«Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу»

керівник д.т.н., професор Фролов Є.А.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____

1. Строк подання студентом роботи _____

2. Вихідні дані до роботи Результати практики, Інформація з науково-практичних періодичних видань України, нормативні документи тощо.

Конструктивні схеми.

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд технологій різання ґрунту бульдозерами та застосування газового мащення відвалу 2. Розроблення конструкції відвала з газовим мащенням

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) «Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу» графічні матеріали (14 листів А4)

5. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 18.03.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз літературних джерел, розрахунки</i>	15.08.2024	
2	<i>Аналітичні та експериментальні дослідження робочого процесу обладнання</i>	15.08.2024	
3	<i>Компонування пояснювальної записки</i>	15.08.2024	
4	<i>Здача готової роботи</i>	15.08.2024	

Студент

(підпис)

Решетняк В.

(П.І.)

Керівник

(підпис)

Фролов Є.

(П.І.)

Гарант

(підпис)

Нестеренко М.

(П.І.)

Анотація

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу»

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування – Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024

Робота складається з двох розділів.

У ході дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу встановлено, що впровадження цієї технології значно покращує ефективність землерийних робіт. Використання газового мащення відвалу сприяє зниженню тертя між ґрунтом і робочою поверхнею бульдозера, що призводить до зменшення енерговитрат і підвищення загальної продуктивності техніки. Це особливо актуально для важких ґрунтів, де традиційні методи змащення виявляються малоефективними.

Зниження сил тертя забезпечує рівномірне ковзання ґрунту по відвалу, що зменшує навантаження на техніку, знижує зношування компонентів бульдозера і подовжує термін його експлуатації. Додатково, зменшення адгезії ґрунту на відвалі знижує ризик залипання ґрунту, що є критичним при роботі з глинистими чи вологими матеріалами, дозволяючи скоротити час простоїв на очищення відвалу і підвищити безперервність робочого процесу.

Дослідження також показало, що газове мащення позитивно впливає на екологічні аспекти виконання робіт. Зниження енергоспоживання призводить до скорочення викидів шкідливих речовин, що робить цю технологію більш екологічно безпечною.

Отримані результати підтверджують, що застосування газового мащення

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 А			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	<i>Анотація</i>	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Решетняк			23.08		Н		
Перев.	Фролов			25.08				
Керівн.								
Н. контр.	Васильєв			29.08				
Зате.	Орисенко			29.08				
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

відвалу бульдозера є перспективним напрямом для підвищення ефективності і стабільності роботи землерийної техніки. Результати роботи можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо вдосконалення конструкцій бульдозерів і оптимізації їх робочих параметрів. Подальші дослідження можуть зосереджуватись на вивченні впливу різних типів газових сумішей на процес різання ґрунту та адаптації цих технологій до специфічних умов експлуатації.

Ключові слова: Газове мащення відвалу, Бульдозер , Зниження тертя, Ефективність землерийних робіт.

Annotation

Master's Qualification Thesis on the Topic: "Study of the soil cutting process by a bulldozer with gas lubrication of the blade"

Master's qualification thesis for obtaining the educational qualification level of Master in the specialty 133 Industrial Engineering – National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk," Poltava, 2024.

The thesis consists of two sections.

The research into the process of soil cutting by a bulldozer with gas lubrication of the blade established that the implementation of this technology significantly enhances the efficiency of earthmoving operations. The use of gas lubrication on the blade reduces friction between the soil and the working surface of the bulldozer, leading to lower energy consumption and increased overall equipment productivity. This is especially relevant for heavy soils where traditional lubrication methods prove to be less effective.

Reducing friction forces ensures more uniform sliding of the soil over the blade, which decreases the load on the equipment, reduces wear on the bulldozer components, and extends its service life. Additionally, reducing soil adhesion on the blade lowers the risk of soil sticking, which is critical when working with clayey or wet materials,

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 А	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

allowing for reduced downtime for blade cleaning and enhancing the continuity of the work process.

The research also demonstrated that gas lubrication positively impacts the environmental aspects of operations. Reduced energy consumption leads to lower emissions of harmful substances, making this technology more environmentally friendly.

The results confirm that the application of gas lubrication for bulldozer blades is a promising direction for improving the efficiency and stability of earthmoving equipment. The findings of the study can be used to develop recommendations for enhancing bulldozer designs and optimizing their operating parameters. Further research could focus on studying the impact of different types of gas mixtures on the soil cutting process and on developing methods for adapting these technologies to specific operating conditions.

Keywords: Gas lubrication of the blade, Bulldozer, Friction reduction, Efficiency of earthmoving operations.

					Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

ГМмаМ 602ММе.039-00.00.000 А

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером
з газовим мащенням відвалу**

Пояснювальна записка

Кваліфікаційної роботи магістра

ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ

Полтава – 2024рік

Зміст

Вступ.....	3
Розділ 1. Огляд технологій різання ґрунту бульдозерами та застосування газового мащення відвалу.....	5
1.1. Основні принципи роботи бульдозерів.....	5
1.2. Сучасні підходи до змащення відвалу бульдозера.....	6
1.3. Принцип дії газового мащення відвалу бульдозера.....	6
1.4. Переваги та обмеження застосування газового мащення.....	7
Розділ 2: Розроблення конструкції відвала з газовим мащенням.....	9
2.1 Теоретичні передумови зниження опору копанню ґрунтів бульдозерним відвалом з газовим мащенням.....	9
2.1.1 Силова взаємодія ґрунту та відвалу при частковому мащенні поверхні тертя.....	9
2.1.2 Параметри повітря, що подається при газовому мащенні.....	13
2.2 Ефективність застосування газового мащення відвалу.....	25
2.3 Визначення оптимальних розмірів робочого обладнання бульдозера та параметрів копання із застосуванням методів математичної статистики.....	33
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	44
Додатки Презентаційні матеріали за темою «Дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу»	

ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Зміст	Лім.	Лист	Листів
Розроб.	Решетняк		<i>[Підпис]</i>	13.08		Н		2
Перев.	Фролов		<i>[Підпис]</i>	13.08				
Керівник			<i>[Підпис]</i>					
Н. контр.	Васильєв		<i>[Підпис]</i>	29.08				
Зате.	Орисенко		<i>[Підпис]</i>	29.08				
						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Вступ

Процес різання ґрунту є одним із ключових етапів у будівництві, сільському господарстві та гірничій промисловості, де бульдозери виконують основну роботу з переміщення та вирівнювання ґрунту. Вдосконалення цього процесу є важливим завданням, яке дозволяє підвищити ефективність та економічність виконання робіт. Одним із перспективних напрямів оптимізації роботи бульдозерів є використання газового мащення відвалу, що зменшує силу тертя між відвалом та ґрунтом, сприяючи зниженню енерговитрат та збільшенню продуктивності.

У сучасних умовах розвитку технологій постає потреба у детальному дослідженні впливу різних параметрів газового мащення на процес різання ґрунту. Використання таких підходів дозволяє не тільки зменшити зношування обладнання, але й покращити якість виконуваних робіт. Це особливо важливо в умовах важких ґрунтів, де стандартні методи змащення виявляються неефективними.

Дана магістерська робота присвячена дослідженню процесу різання ґрунту бульдозером з використанням газового мащення відвалу. У роботі розглянуто методи оптимізації робочих параметрів бульдозера, вивчено вплив газового мащення на ефективність роботи, а також запропоновано рекомендації щодо покращення процесу різання ґрунту. Основною метою дослідження є підвищення продуктивності та зниження енерговитрат при виконанні земляних робіт.

Використання газового мащення відвалу у бульдозерах надає ряд значних переваг, які сприяють оптимізації процесу різання ґрунту та загальної ефективності землерийних робіт. Однією з ключових переваг є значне зниження сили тертя між ґрунтом і відвалом бульдозера. Це дозволяє

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Вступ		
Розроб.	Решетняк		<i>[Signature]</i>	23.08			
Перев.	Фролов		<i>[Signature]</i>	23.08			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв		<i>[Signature]</i>	23.08			
Затв.	Орисенко		<i>[Signature]</i>	23.08			
					Лім.	Лист	Листів
					Н	3	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

зменшити навантаження на робочі органи машини, знижуючи енерговитрати та подовжуючи термін служби обладнання.

Додатково, газове мащення сприяє покращенню якості різання, оскільки забезпечує рівномірне ковзання ґрунту по поверхні відвалу. Це, у свою чергу, підвищує точність виконання робіт і знижує необхідність у повторних проходах, що економить час і ресурси. Також варто відзначити, що зниження тертя зменшує вірогідність утворення залипань ґрунту на відвалі, що часто є проблемою при роботі з вологими або глинистими ґрунтами.

Крім того, газове мащення дозволяє підвищити екологічну ефективність робіт, оскільки зменшується витрата пального і знижуються викиди шкідливих речовин в атмосферу. Це особливо актуально в умовах сучасних вимог до екологічної безпеки будівельних та гірничих процесів.

Завдяки зазначеним перевагам, впровадження технології газового мащення відвалу бульдозера може значно підвищити продуктивність землерийних робіт, знизити витрати на експлуатацію техніки та забезпечити більш стабільні та передбачувані результати при роботі з різними типами ґрунтів.

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Розділ 1. Огляд технологій різання ґрунту бульдозерами та застосування газового мащення відвалу

1.1. Основні принципи роботи бульдозерів

Бульдозери є одними з найпоширеніших землерийних машин, які застосовуються в будівництві, гірничій промисловості та сільському господарстві (рисунок 1.1). Основна функція бульдозера полягає у різанні, переміщенні та розрівнюванні ґрунту за допомогою відвалу. Конструкція відвалу і його робочі параметри визначають ефективність різання ґрунту. Робота бульдозера характеризується високими навантаженнями на відвал, особливо при роботі з важкими і щільними ґрунтами.

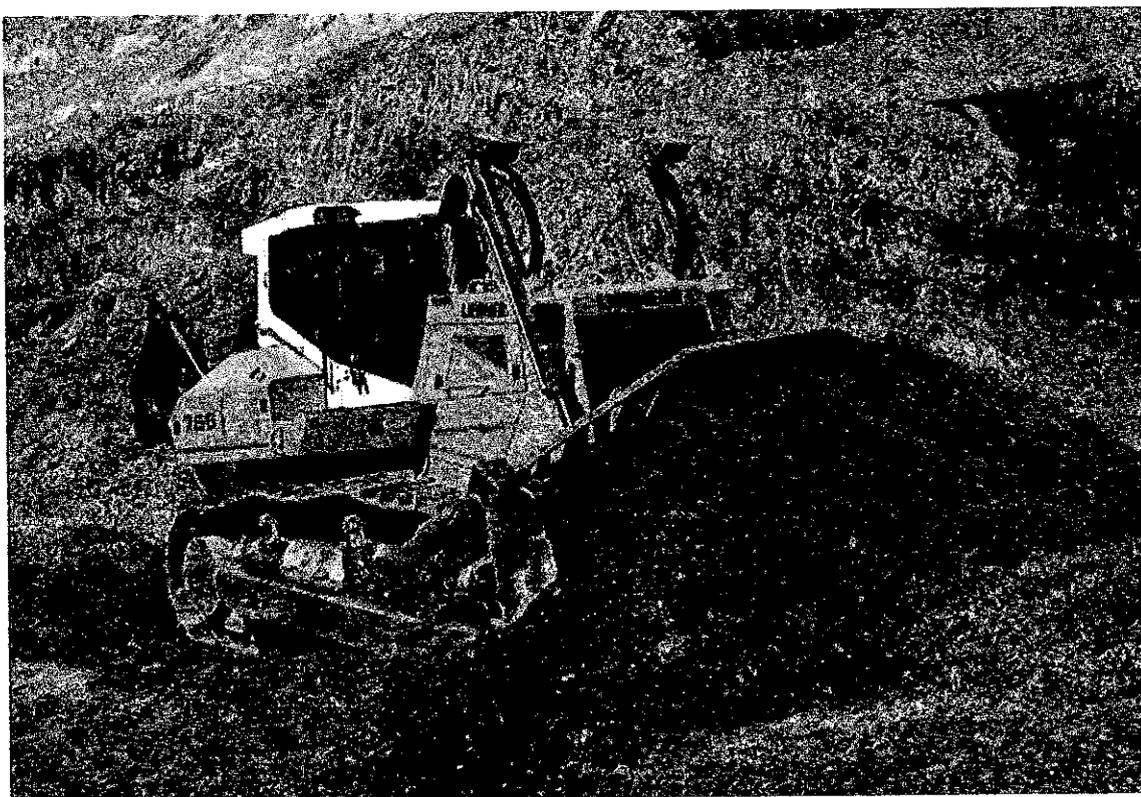


Рисунок 1.1 – Різання ґрунту, переміщенні та розрівнюванні ґрунту за допомогою відвалу

					ГМтаМ 601ММв.039-00.00.000 ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Огляд технологій різання ґрунту бульдозерами та застосування газового мащення відвалу					
Розроб.	Решетняк			13.08				Літ.	Лист	Листів
Перев.	Фролов			23.08				Н	5	
Керівник								Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.	Васильєв			29.08						
Затв.	Орисенко			29.08						

Основні фактори, що впливають на процес різання ґрунту бульдозером, включають тип ґрунту, його вологість, щільність, а також кути нахилу відвалу і швидкість переміщення машини. Зниження тертя між відвалом і ґрунтом є важливим для підвищення продуктивності робіт і зменшення зносу обладнання.

1.2. Сучасні підходи до змащення відвалу бульдозера

Традиційні методи змащення відвалу включають застосування рідинних мастильних матеріалів, які наносяться на робочу поверхню відвалу. Проте ці методи мають обмежену ефективність, особливо при роботі з вологими або липкими ґрунтами, де мастило швидко змивається або втрачає свої властивості.

Сучасним підходом до зменшення сили тертя є використання газового мащення, яке базується на створенні тонкого шару газу між відвалом і ґрунтом. Це забезпечує ефект ковзання, знижуючи силу тертя і підвищуючи ефективність процесу різання. Газове мащення може виконуватись за допомогою різних газових сумішей, які підбираються залежно від типу ґрунту і умов експлуатації.

1.3. Принцип дії газового мащення відвалу бульдозера

Газове мащення відвалу здійснюється через систему подачі газу, яка забезпечує рівномірний розподіл газу по поверхні відвалу. Основна мета — створити газовий шар, який зменшує контакт між відвалом і ґрунтом. Це

					ГМтаМ 601ММв.039-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		6

призводить до зниження сил тертя, зменшення навантаження на бульдозер і підвищення загальної продуктивності.

Використання газового мащення дозволяє значно зменшити енергоспоживання бульдозера та підвищити ефективність його роботи, особливо при виконанні складних робіт з ущільненими або вологими ґрунтами.

1.4. Переваги та обмеження застосування газового мащення

Переваги газового мащення включають підвищення продуктивності, зменшення енергоспоживання, зниження зносу обладнання і підвищення екологічності робіт. Одним із важливих аспектів є зниження кількості простоїв на очищення відвалу від залипань ґрунту, що особливо важливо в умовах інтенсивної експлуатації техніки.

Однак, застосування газового мащення також має свої обмеження, такі як необхідність додаткового обладнання для подачі газу та забезпечення його стабільної роботи в різних умовах експлуатації. Вибір типу газу та налаштування системи мащення також є критичними факторами, які можуть впливати на ефективність процесу.

					ГМтаМ 601ММв.039-00.00.000 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Розділ 2: Розроблення конструкції відвала з газовим мащенням

2.1 Теоретичні передумови зниження опору копанню ґрунтів бульдозерним відвалом з газовим мащенням

2.1.1 Силова взаємодія ґрунту та відвалу при частковому мащенні поверхні тертя

Як зазначалося раніше, в роботі [2] розглянуто процес капання ґрунту бульдозерним відвалом з газовим мащенням, коли вище щілини для виходу повітря відбувається повне розділення поверхонь відвалу і стружки шаром газового мастила.

У ряді випадків, коли немає достатнього надлишку потужності двигуна або параметри компресора не відповідають необхідним, повного поділу поверхонь тертя не відбувається. Скориставшись наведеною в роботі [7] методикою, розглянемо вплив подаваного повітря на опір копанню в тому випадку, коли витрата повітря, що подається в кількості недостатній для повного відділення поверхонь стружки відвалу. Будемо вважати в першому наближенні, що утворився в цьому випадку між відвалом і ґрунтом шар мастила також має постійну товщину, але розмір ділянки l_x , на якому утворився цей шар, менше за відстані від верху відвалу до місця виходу повітря. Товщина шару газової змазки може і не бути постійною, вона може змінитися мало. Вважаємо, також, що відвал плоский і нахилений під кутом різання.

				ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Решетняк			23.08	Н	9	
Перев.	Фролов			23.08	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			23.08			
Затв.	Орисенко			23.08			

Оскільки подача повітря безпосередньо у лезі ножа викликає труднощі, приймемо, що в нижній частині ножа є ділянка, на яку не потрапляє газове мастило.

Діючі сили N_1 , N_3 – позначають відповідно рівнодіючу нормальних тисків, що діють на частини поверхні ножа і на частини поверхні відвалу, де має місце зовнішнє тертя ґрунту; N_2 – рівнодіюча нормальних тисків, що діють на частини поверхні відвалу, де зовнішнє тертя відсутнє.

Зусилля копання, залежно від цих сил, визначається співвідношенням:

$$D_{\varphi} = N_2 \cdot \sin \alpha + (N_1 + N_3) \cdot (\sin \alpha + \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \alpha) = N_2 \cdot \sin \alpha + (N_1 + N_3) \cdot \sin(\alpha + \varphi) \cdot \frac{1}{\cos \varphi}, \quad (2.1)$$

Зусилля копання за відсутності газового мащення може бути, згідно багаьлуктнику сил виражено залежністю

$$P = \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin(\alpha + \psi + \rho + \varphi)} \cdot [G'_{i\delta} \cdot \sin(\varphi + \rho) + 0,5 \cdot T \cdot \cos \rho + G_{m\delta} \cdot \sin(\psi + \rho)], \quad (2.2)$$

Нормальну до поверхні відвалу силу N_2 можна визначити з виразу:

$$N_2 = \frac{1}{\sin(\alpha + \psi + \rho)} \cdot [G'_{i\delta} \cdot \sin(\varphi + \rho) + 0,5 \cdot T \cdot \cos \rho + G_{m\delta} \cdot \sin(\psi + \rho)] - \frac{\sin(\alpha + \psi + \rho + \varphi)}{\sin(\alpha + \psi + \rho) \cdot \cos \varphi} \cdot (N_1 + N_3), \quad (2.3)$$

де $G_{гр}$ – вага рухомої частини призми.

P_{φ} – можна записати у вигляді

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		10

$$P_{\varphi} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi + \rho)} \left[G'_{ад} \cdot \sin(\psi + \rho) + G_{ад} \cdot \sin(\psi + \rho) + 0,5 \cdot \text{ch } \beta \cdot \frac{\cos \rho}{\sin \psi} \right] + (N_1 + N_3) \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi) \cdot \sin(\alpha + \varphi + \rho) - \sin(\alpha + \psi + \rho + \varphi) \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi + \rho) \cdot \cos \varphi} \quad (2.4)$$

Перша складова у наведеній рівності визначає величину зусилля копання для випадку, коли зовнішнє тертя ґрунту відсутнє по всій поверхні контакту його з робочим органом.

Згідно [3] зменшення опору ґрунту копанню може бути ставленням зусилля копання ґрунту відвалом традиційного виконання до зусилля копання ґрунту відвалом, у якого зовнішнє тертя ґрунту на частині поверхні відвалу відсутнє.

$$m_1 = \frac{1}{(1 - \lambda) \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin(\alpha + \rho + \varphi + \psi)}{\sin(\alpha + \rho + \varphi) \cdot \sin(\alpha + \varphi)} + \lambda} \quad (2.5)$$

Де

$$\lambda = \frac{1}{N} \cdot (N_1 + N_3) \quad (2.6)$$

Величина нормальної сили N , що діє на відвал традиційного виконання, визначається рівністю:

$$N = \frac{P \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha + \varphi)} \quad (2.7)$$

Величину нормальної сили N_1 , N_3 , діючої на частину поверхні відвалу, на якій має місце тертя ґрунту, визначимо підсумовуванням нормальних тисків ґрунту по цій поверхні.

Згідно з даними робіт [11], [12] еюра нормального тиску ґрунту на відвал наближається до лінійної. Відповідно до цього приймемо, що розподіл нормальних тисків по висоті відвалу, розгорнутого в площину, підпорядковується лінійному закону. При цьому в роботі [2] величина нормального тиску може бути виражена залежністю

$$G = \frac{\sigma_0}{\omega} \cdot (\omega - \beta). \quad (2.8)$$

Відповідно до цього, величина нормальної сили, що діє на відвал за відсутності газового мащення, визначиться виразом

$$N = 0,5 \cdot \sigma_0 \cdot \omega \cdot \tau \cdot B, \quad (2.9)$$

де B – ширина відвалу.

На незмащену поверхню ножа буде діяти сила

$$N_1 = \left[\frac{\sigma_0 \cdot (\omega - \Theta)}{\omega} + \sigma_0 \right] \cdot 0,5 \cdot \Theta \cdot \tau \cdot B, \quad (2.10)$$

де

$$\Theta = \frac{l_1}{\tau}; \quad (2.11)$$

на незмащену поверхню відвалу буде діяти сила

$$N_3 = \frac{\sigma_0 \cdot (\omega - \Theta_1 - \Theta_2)}{2 \cdot \omega} \cdot (\omega - \Theta_1 - \Theta_2) \cdot 2 \cdot B; \quad (2.12)$$

де

$$\Theta_2 = \frac{lx}{\tau}. \quad (2.13)$$

Підставляючи формули (2.10), (2.11), і (2.12) в залежність (2.6) отримаємо вираз для визначення коефіцієнта λ .

$$\lambda = \frac{(\omega - \Theta_2)^2 + 2 \cdot \Theta_1 \cdot \Theta_2}{\omega^2}. \quad (2.14)$$

Залежність m_1 від кута зовнішнього тертя ґрунту при різних значеннях коефіцієнту λ отримуємо криві з яких робимо наступні висновки. Зі збільшенням кута зовнішнього тертя ґрунту ефективність застосування газового мащення коефіцієнт m_1 збільшується, причому інтенсивність росту коефіцієнту m_1 збільшується зі зменшенням величини λ .

λ отже, найбільшого зниження опору копання слід очікувати при копанні суглинистих і глинистих ґрунтів, тому у цих ґрунтів вище коефіцієнт зовнішнього тертя, а також при мащенні всієї відвальної поверхні.

При залежності величини m_1 від кута різання і при різних значеннях коефіцієнту λ одержуємо, що зі зменшенням кута різання значення m_1 збільшується.

2.1.2 Параметри повітря, що подається при газовому мащенні

У роботі [7] було отримане рівняння, що описує розподіл тисків в газовому шарі

$$\frac{d}{dx} P \cdot \frac{dP}{dx} \cdot t^2 + \frac{d}{dy} P \cdot \frac{dP}{dy} \cdot t^2 = \frac{6k \cdot (P^2 - P_0^2)}{t \cdot L_0}, \quad (2.15)$$

де P – абсолютний тиск газу;

P_0 – атмосферний тиск;

t – товщина шару повітряного мастила прийнята постійною;

k – коефіцієнт проникнення;

L_0 – шлях фільтрації повітря від поверхні відвалу крізь стружку і призму ґрунту.

У даному випадку, прийmemo, що шлях фільтрації дорівнює найкоротшій відстані від лобового листа до даної поверхні перед ним.

$$L_0 = (H' - x) \cdot \cos \rho, \quad (2.16)$$

де H – відстань від щілини для виходу повітря до верху відвалу.

Враховуючи викладене вище і приймаючи $P_* = P^2$, рівняння можна записати в вигляді

$$\frac{d^2 P}{dy^2} + \frac{d^2 P_*}{dx^2} - P_* \cdot \frac{12k}{t^3 \cdot (H' - x) \cdot \cos \rho} = - \frac{12k \cdot P_0^2}{t^3 \cdot (H' - x) \cdot \cos \rho}, \quad (2.17)$$

відповідно для двовимірного руху газу

$$\frac{d^2 P_*}{dx^2} - P_* \cdot \frac{12k}{t^3 \cdot (H' - x) \cdot \cos \rho} = - \frac{12k}{t^3 \cdot (H' - x) \cdot \cos \rho} \cdot P_0^2. \quad (2.18)$$

Спростимо останнє рівняння, замінивши змінну величину відстані від поверхні відвалу до даної поверхні призми ґрунту перед ним її середнім

значенням. Введену при цьому похибку оцінимо, надалі, порівнянням з експериментом.

$$L_{\text{но}} = \left(H' - \frac{l_x}{2} \right) \cdot \cos \rho, \quad (2.19)$$

$$\frac{d^2 P_*}{dx^2} - P_* \cdot \frac{12k}{l^3 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho} = \frac{-12k \cdot P_0^2}{l^3 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho}. \quad (2.20)$$

Це рівняння легко інтегрується

$$P_* = P^2 = c_1 \cdot l^{\lambda \cdot x} + c_2 \cdot l^{-\lambda \cdot x} + P_0^2, \quad (2.21)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{12k}{l^3 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho}}, \quad (2.22)$$

Постійні інтегрування визначимо, вважаючи, що при $x = 0$, $P = P_1$ – тиск газу на виході на щілини при $x = l_x$, $P = P_0$ – тиск газу в кінці зони мащення дорівнює атмосферному.

На цій підставі отримаємо

$$c_1 = \frac{P_1^2 - P_0^2}{l^{2\lambda \cdot l_x}}, \quad (2.23)$$

$$c_2 = \frac{l^{2\lambda \cdot l_x}}{1 - l^{2\lambda \cdot l_x}} \cdot (P_1^2 - P_0^2), \quad (2.24)$$

$$P = \sqrt{\frac{P_1^2 - P_0^2}{l^{2\lambda \cdot l_x} - 1} \cdot [l^{(2l_x - x)\lambda} - l^{\lambda \cdot l_x}] + P_0^2}. \quad (2.25)$$

Звідси

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{x=0} = -\frac{P_1^2 - P_0^2}{2P_1} \cdot \sqrt{\frac{12k}{t^3 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho}} \quad (2.26)$$

Згідно роботи [7], при постійній товщині газового потоку, витрата газу в місці подачі буде

$$Q = -\frac{t^3 \cdot B}{12 \cdot \mu} \cdot \left(\frac{dP}{dx}\right)_{x=0}, \quad (2.27)$$

де μ_1 – в'язкість повітря (газу) $\mu_{\text{пов}} = 1,9 \cdot 10^6$,

Звідси

$$Q_1 = \frac{(P_1^2 - P_0^2) \cdot t^3 \cdot B}{24 \cdot P_1 \cdot \mu} \cdot \sqrt{\frac{12k}{t^3 \cdot \cos \rho \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x)}} \quad (2.28)$$

Відповідно потрібна витрата газу при атмосферному тиску

$$Q = \frac{(P_1^2 - P_0^2) \cdot t^3 \cdot B}{24 \cdot P_1 \cdot \mu} \cdot \sqrt{\frac{12k}{t^3 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho}}, \quad (2.29)$$

Або

$$Q = 2,5 \frac{(P_1^2 - P_0^2)}{P_0 \cdot \mu} \cdot t^3 \cdot B \cdot \sqrt{\frac{12k}{t^3 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho}} \quad (2.30)$$

Потрібна витрата газу суттєво залежить від коефіцієнту проникності ґрунту. Як зазначалося раніше, коефіцієнт проникності різний для стружки і

призми ґрунту. Тому в розрахунках необхідно користуватися еквівалентною величиною проникності ґрунту, яка визначається з умови рівності фільтраційної витрати газу через еквівалентний ґрунт, витраті газу через стружку і призму ґрунту.

$$K = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot L_{\text{гн}}}{k_1 \cdot l_2 + k_2 \cdot l_c}, \quad (2.31)$$

де k_1, k_2 – відповідно коефіцієнт проникності для стружки і розпушеного ґрунту;

$l_2 = L_{\text{ср}} - l_c$ – шлях фільтрації газу наскрізь розпушеного ґрунту;

l_c – товщина стружки ґрунту.

Стосовно до розглянутого випадку

$$K = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho \cdot \sin \psi}{[(H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho \cdot \sin \psi - h] \cdot k_1 + h \cdot k_2}, \quad (2.32)$$

або

$$K = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho}{\left[(H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho - \frac{h}{\sin \psi} \right] \cdot k_1 + \frac{h}{\sin \psi} \cdot k_2}, \quad (2.33)$$

де h – глибина копання;

ψ – кут зсуву ґрунту.

Рівнодіюча тисків газу в шарі мастила, що приходить на одиницю довжини відвалу, визначається виразом

$$W = \int_0^{l_x} (P - P_0) \cdot dx = \int_0^{l_x} \left\{ \sqrt{\frac{P_1^2 - P_0^2}{l^{2\lambda - 4} - 1}} \cdot [l^{(2\lambda - x)\lambda} - l^{\lambda \cdot x}] + P_0 - P_0 \right\} dx. \quad (2.34)$$

З іншого боку, рівнодіюча тиску газу в шарі мастила, яка припадає на одиницю довжини відвалу, повинна дорівнювати рівнодіючій нормальних тисків на частині поверхні, де зовнішнє тертя відсутнє. Для відвалу одиничної довжини.

$$W = \frac{N_2}{B_c}, \quad (2.35)$$

де B_c – довжина щілини для виходу повітря. Вона може дорівнюватись довжині відвалу, або може бути менше її.

Величину N_2 можна визначити за формулою (2.3). Порівнюючи вирази (2.3) і (2.2) з урахуванням залежності (2.35) можна записати

$$W = \frac{P}{B_c} \cdot \frac{\sin(\alpha + \psi + \rho + \varphi)}{\sin(\alpha + \varphi) \cdot \sin(\alpha + \psi + \rho)} - \frac{\sin(\alpha + \varphi + \rho + \psi)}{B_c \cdot \sin(\alpha + \psi + \rho) \cdot \cos \varphi} \cdot (N_1 + N_3). \quad (2.36)$$

Підставивши вираз (2.11) і (2.12) отримаємо

$$W = \frac{P}{B_c} \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi + \rho + \psi)}{\sin(\alpha + \psi + \rho)} \cdot \left(\frac{1}{\sin(\alpha + \varphi)} - \frac{N_1 + N_3}{N \cdot \sin(\alpha + \varphi)} \right). \quad (2.37)$$

Останні вирази з урахуванням формули (2.6) можна записати у наступному вигляді

$$W = \frac{P}{B_c} \cdot \frac{\sin(\alpha + \psi + \rho + \varphi)}{\sin(\alpha + \psi + \rho) \cdot \sin(\alpha + \varphi)} \cdot (1 - \lambda_1). \quad (2.38)$$

Оскільки інтегрування виразу (2.34) в загальному вигляді викликає труднощі, він його можна виконати із застосуванням ПК для характерного

діапазону змінюваних величин: $P_1 = 1,2 - 3,0 \text{ кг/см}^2$; $l_x = 10 - 20 \text{ см}$; $\lambda_1 = 0,1 - 0,3 \text{ 1/см}$.

З отриманих результатів можна зробити наступні висновки.

Рівнодіюча тисків газу в шарі мащення при постійному значенні коефіцієнту λ_1 може бути наближено прийнята постійною і не залежить від довжини мастильного шару, починаючи від деякого значення останнього. Якщо довжина шару мастила більше 20 см, при найбільш типових значеннях коефіцієнту $\lambda_1 = 0,15 - 0,20$, похибка у визначенні величини W не перевищує 10 %. З урахуванням цього допущення можна сказати що зі збільшенням тиску на виході на щілини P_1 , рівнодіюча тисків газового шару W збільшується по залежності, що наближається до прямолінійної.

Для визначення параметрів газового мащення необхідно вирішити спільно наступні рівняння:

$$K = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho \cdot \sin \psi}{[(H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho \cdot \sin \psi - h] \cdot k_1 + h \cdot k_2}, \quad (2.39)$$

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{12k}{t^3 \cdot (H' - 0,5 \cdot l_x) \cdot \cos \rho}}, \quad (2.40)$$

$$\lambda = \frac{\left(\omega - \frac{l_x}{H}\right)^2 + 2 \cdot \frac{l_1}{H} \cdot \frac{l_x}{H}}{\omega^2}, \quad (2.41)$$

$$W = \int_0^{l_x} \left\{ \sqrt{\frac{P_1^2 - P_0^2}{l^{2\lambda_1 x} - 1}} \cdot [l^{(2l_x - x)\lambda_1} - l^{\lambda_1 x}] + P_0 - P_0 \right\} dx, \quad (2.42)$$

$$W = \frac{P \cdot \sin(\alpha + \psi + \rho + \varphi)}{B_c \cdot \sin(\alpha + \psi + \rho) \cdot \sin(\alpha + \varphi)} \cdot (1 - \lambda). \quad (2.43)$$

З функції $P_1 = \frac{P}{B_c}$, Н визначаємо величини: λ_1 , W, l_x .

Зазвичай, витрата повітря, що всмоктується компресором, є постійною величиною. Тоді як тиск на виході з компресора залежить від системи, яка споживає повітря. За формулою (2.28), визначаємо тиск P_1 , залежно від величини коефіцієнту λ_1 і питомої витрати повітря $\frac{Q}{B_c}$.

Визначивши довжину шару мащення l_x , можна за формулою (2.14) визначити величину коефіцієнта λ , а потім за формулою (2.5) величину зменшення опору копанню – коефіцієнт m_1 .

Слід зазначити, що величина коефіцієнта λ_1 , визначає співвідношення між витратою газу, що проходить через розглянутий переріз і втратами його з шару мастила за рахунок фільтрації крізь ґрунт, що переміщується відвалом. Чим більше величина λ_1 тим більша частина газу втрачається за рахунок фільтрації з мастильного шару W коефіцієнта λ_1 , при різних витратах повітря, яке подається. З формул (2.28), (2.31) видно, що зі збільшенням коефіцієнта λ_1 сила тиску газового струменя, що утворює мастильний шар, зменшується. При збільшенні коефіцієнта λ_1 , від 0,10 до 0,30 1/см сила тиску газового шару зменшується в 7–14 разів залежно від витрати повітря, що подається.

Аналіз формули (2.20) показує, що при зменшенні проникності ґрунту і при збільшенні висоти відвалу і призми ґрунту перед ним величина коефіцієнта λ_1 , зменшується. З аналізу формули (2.30) видно, що еквівалентний коефіцієнт проникності зменшується при збільшенні товщини зрізаємої стружки.

Отже, рівнодіюча тисків мастильного шару, при інших рівних умовах збільшується зі зменшенням проникності ґрунту і збільшенням товщини зрізаємої стружки, висоти відвалу і призми ґрунту перед ним.

В залежності W від $\frac{Q}{B_c}$ для відвалів різної висоти підтверджують, що величина W , при тій же витраті повітря, що подається і інших рівних умовах, збільшується з ростом розмірів відвалу. При зміні висоти відвалу від 1 м до 2 м, рівнодіюча тисків газового шару збільшується на 40 – 45%. При підвищенні витрати повітря, що подається рівнодіюча тисків мастильного шару збільшується, проте, інтенсивність росту з підвищенням витрати зменшується.

Із залежності довжини шару мастила l_x від витрати повітря, що подається для відвалів різної висоти, було прийнято, що відвалу висотою H , що дорівнює 1 м відповідає погонне навантаження $\frac{P}{B_c} = 20$ кг/см, при $H = 1,2$ м, $\frac{P}{B_c} = 25$ кг/см; при $H = 1,4$ м, $\frac{P}{B_c} = 30$ кг/см; при $H = 1,6$ м, $\frac{P}{B_c} = 40$ кг/см; при $H = 1,8$ м, $\frac{P}{B_c} = 45$ кг/см; при $H = 2$ м, $\frac{P}{B_c} = 50$ кг/см.

Такі співвідношення між погонним навантаженням на відвал і його висотою близькі до величин, які мають місце у бульдозерів складних конструкцій. Як показують практичні розрахунки, при цьому довжина шару мастила практично не залежить від висоти відвалу і визначається величиною витрати повітря. Останнє можна пояснити наступним чином.

З ростом висоти відвалу і призми ґрунту перед ним і при постійній витраті подається повітря за рахунок зменшення втрат газу з шару мастила за допомогою фільтрації рівнодіюча тиску газового шару збільшується. При відповідному збільшенні нормальних тисків ґрунту на відвал осі тиску і тиску газу врівноважуються на ділянці меншої довжини. Це призводить до того, що довжина газового шару залишається практично постійною. З збільшенням витрати довжина газового шару повітря збільшується по залежності, що наближається до лінійної. Згідно наведеними вище вихідними даними, за формулами були визначені значення коефіцієнта за якими видно, що зі збільшенням витрати повітря, що подається коефіцієнт m_4 зростає по

залежностях, що наближається до лінійних при різних висотах відвалу. При однакових витратах повітря, що подається і збільшенні висоти відвалу значення коефіцієнта m_4 зменшується, для досягнення однакового зменшення опору копання рівних значень коефіцієнта m_4 при збільшенні висоти відвалу від 1 і до 2 м необхідно витрату повітря, що подається збільшувати в 2,5 – 1,75 рази.

Витрата потужності на привід компресора і на подолання опору копанню залежить від подаваної витрати повітря. Витрати потужності на привід компресорів можуть бути визначені в залежності, наведеної роботи [7].

$$N_k = 2,21 \cdot \frac{Q}{\eta} \cdot \ln \frac{P_k}{P_0} \quad (2.44)$$

Оскільки всі розрахунки продуктивності для величин, віднесених до довжини щілини для подачі повітря, формула набуває такого вигляду:

$$\frac{N_k}{B_c} = 2,21 \cdot \frac{Q}{B_c \cdot \eta} \cdot \ln \frac{P_k}{P_0}, \quad (2.45)$$

де $\eta = 0,6$ ККД компресора;

$P_0 = 1 \text{ кг/см}^2$ – атмосферний тиск.

Тиск на виході з компресора

$$P_k = \zeta_1 \cdot (P_1 - P_0) + P_0; \quad (2.46)$$

де $\zeta_1 = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує опір по шляху руху газу.

Витрати потужності на подолання опору копання, віднесені до довжини B_c , визначилися за формулою

$$\frac{N_{\text{аіі}}}{B_c} = \frac{P_{\varphi} \cdot v}{B_c \cdot 75 \cdot \eta}, \quad (2.47)$$

де $\eta = 0,7$ – ККД трактора;

$v = 1 \text{ м/сек}$ – швидкість копання;

P_{φ} – опір копанню при газовому мастилі, визначається за формулою

$$P_{\varphi} = \frac{P_k}{m_1}, \quad (2.48)$$

Сума витрат потужності

$$N = N_e + N_{\text{аіі}}. \quad (2.49)$$

При витраті повітря $\frac{Q}{B_c} = 2,5\text{--}3,6 \text{ м}^3/\text{хв}$ сумарна витрата потужності має мінімальне значення, яке на 7–8 % менше витрат потужності при копанні відвалом традиційного використання.

При цьому опір копання зменшується на 16 – 14 % що дозволяє відповідно підвищити продуктивність бульдозера при збереженні колишнього тягового зусилля.

За даними роботи [6] зміна робочої швидкості практично не впливає на зниження опору копанню при постійних витратах повітря, що подається і швидкостях копання до 1,5 м/с. У той же час при зниженні робочої швидкості витрати потужності на подолання опору копанню зменшуються. Внаслідок цього змінюється характер залежності потужності від подавальної витрати повітря. Сума потужності на подолання опору копання для відвалів висотою 1 і 2 м при швидкості копання 0,65 м/с. видно, що з копанням швидкості мінімум

сумарних витрат потужності зміщується в бік менших значень витрат повітря. При швидкості копання 0,65 м/с він відповідає витратам повітря 1,75 – 2,0 м³/хв на метр довжини для відвалів заввишки 1 – 2 м.

Висновки по теоретичним дослідженням:

1) При роботі бульдозера з газовим мащення частина нормального навантаження від ґрунту на відвал передається через шар змащення і сили тертя практично не створює. Зазначена частина нормального навантаження врівноважується тисками газу в шарі мастила. З ростом величини рівнодіючого тиску газу в цьому шарі збільшується його довжина і ставлення

$$m_1 = \frac{P}{P_\phi},$$

де P – опір копанню ґрунту відвалом традиційної дії,

P_ϕ – опір копанню при наявності газового мастила;

2) При копанні має місце фільтрація газу крізь ґрунт, переміщуваний відвалом. Ці втрати збільшуються з ростом проникності ґрунту, із зменшенням товщини стружки і розмірів призми волочіння. Чим менше втрата газу за рахунок фільтрації, тим більше рівнодіюча тисків газу в шарі мастила.

При однакових витратах повітря з ростом висоти відвалу від 1 до 2 м рівнодіюча тисків газового шару за рахунок зменшення втрат на фільтрацію збільшується на 40–45%;

3) З збільшенням витрати повітря, що подається відношення опору копанню відвалом традиційної дії до опору копанню відвалом з газовим мастилом зростає по залежностях, близьким до лінійних.

4) Найбільше зниження опору копанню застосування газового мащення можна отримати при копанні суглинних і глинистих ґрунтів, так як у них вищий коефіцієнт зовнішнього тертя. Максимальне зниження опору копанню досягається при мастилі всієї робочої поверхні копання;

5) З ростом витрат повітря, що подається від 0 до 2,5 – 3,5 м³/хв на 1 м довжини для відвалів висотою від 1 до 2 м при швидкості копання 1 м/с,

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		24

сумарні витрати потужності на подолання опору копанню і привід компресорів зменшуються на 7 – 8 %.

При цьому опір копанню зменшується на 16 – 14%, що дозволяє відповідно підвищити продуктивність бульдозера при збереженні колишнього тягового зусилля.

Отже, при швидкостях копання, близьких до 1 м/с можливе отримання ефекту від застосування газового мастила на бульдозерах, що не мають запасу потужності двигуна.

При підвищенні витрати повітря вище зазначених меж сумарні витрати потужності зростають.

Зі зменшенням швидкості копання характер залежності сумарних витрат потужності від витрати повітря залишається колишнім. Однак, мінімум потужності зміщується в бік менших значень витрат повітря. При швидкості копання 0,65 м/с мінімальні значення сумарних витрат потужності відповідають витрати 1,75 – 2,2 м³/хв на метр довжини, відповідно, для відвалів висотою від 1 до 2 м.

Отже, зі збільшенням швидкості копання ефективність застосування газового мащення підвищується.

2.2 Ефективність застосування газового мащення відвалу

З метою підвищення продуктивності бульдозера на базі промислового трактора Т – 130 застосовуємо робоче обладнання з газовим мащенням поверхні відвалу. Застосування такого обладнання призводить до наступних наслідків:

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

– опір пересування ґрунту по поверхні відвалу при копанні зменшується, а отже зменшується і загальний опір лобовому різанню та транспортуванню ґрунту, що дозволить ту частину потужності машини, яка до цього витрачалась на подолання вказаного опору використати для транспортування більшої призми волочіння;

– нове обладнання потребує встановлення на трактор компресора, який приводиться в дію від двигуна базового трактора, а отже частина потужності двигуна буде витрачатись на привід компресора, що призведе до зменшення тягової потужності трактора;

– збільшиться вага самої машини у порівнянні з базовим варіантом, що підвищить тягово-зчіпні характеристики машини, та збільшить опір пересуванню бульдозера.

Враховуючи те, що бульдозер на базі трактора Т – 130 може комплектуватись відвалами різної ширини (від 2,48 до 3,2 м), а встановлення нового обладнання може відобразитись на продуктивності машини неоднозначно, є необхідним провести дослідження зміни продуктивності бульдозера залежно від вказаних факторів при різному їх сполученні з метою вибору оптимального варіанту як параметрів самої машини так і технології проведення землерийних робіт.

Продуктивність бульдозерів визначають для випадку виконання планувальних робіт та здійснення копання та переміщення ґрунту. В даній роботі дослідження проведені для випадку коли бульдозер здійснює копання та переміщення ґрунту.

Технічну продуктивність бульдозера при копанні та переміщенні ґрунту визначають за формулою

$$П = \frac{3600 \cdot V_{\phi} \cdot k_a \cdot K_{укл}}{T_{ч}}, \quad (2.50)$$

де V_{ϕ} – фактичний об'єм призми волочіння, м³;

k_b – коефіцієнт використання бульдозера за часом;

$T_{ц}$ – тривалість циклу, с;

$K_{укл}$ – коефіцієнт, який враховує роботу бульдозера під уклон чи на підйом.

При проведенні досліджень приймемо такі припущення:

– коефіцієнт використання бульдозера за часом k_b для базової машини та модернізованої приймаємо однаковим. За довідковими даними [5] $k_b = 0,8$;

– коефіцієнт, який враховує роботу бульдозера під уклон чи на підйом рекомендується приймати в межах $K_{укл} = 0,8 - 1,2$. Для проведення дослідження приймаємо $K_{укл} = 1$, тобто вважаємо, що копання здійснюється на горизонтальній ділянці;

– тривалість циклу $T_{ц}$, с, для базової машини та модернізованої теж приймаємо однаковою і розраховуємо за формулою

$$T_{ц} = \frac{l_p}{V_p} + \frac{l_n}{V_n} + \frac{l_o}{V_o} + t_c + t_o + 2t_n, \quad (2.51)$$

де l_p, l_n, l_o – відстані які проходить машина відповідно при різанні, переміщенні ґрунту та зворотньому ході; приймаємо $l_p = 6$ м, $l_n = 40$ м, $l_o = 50$ м [4];

V_p, V_n, V_o – швидкості трактора при різанні, переміщенні ґрунту та зворотньому ході, м/с; приймаємо $V_p = 1,06$ м/с, $V_n = 1,47$ м/с, $V_o = 2,4$ м/с;

t_c – час на перемикання передач; приймаємо $t_c = 5$ с [3];

t_o – час на опускання відвалу; приймаємо $t_o = 2$ с [3];

t_n – час на поворот трактора; приймаємо $t_n = 10$ с [3].

Підставивши дані у формулу (2.2) отримаємо

$$T_{ц} = \frac{6}{1,06} + \frac{40}{1,47} + \frac{50}{2,4} + 5 + 2 + 2 \cdot 10 = 81. \quad (2.52)$$

У такому випадку формула (2.50) набуде вигляду

$$P = \frac{3600 \cdot V_{\phi} \cdot 0,8}{81} = 35,6 \cdot V_{\phi}. \quad (2.53)$$

Умова руху бульдозера без буксування записується у вигляді

$$T_{нб} \geq T_T \geq \sum W, \quad (2.54)$$

де $T_{нб}$ – номінальне тягове зусилля по зчепленню, кН;

T_m – тягове зусилля трактора, кН;

$\sum W$ – сума опорів руху, кН.

Суму опорів, що виникають у випадку лобового різання та транспортування ґрунту відвалом бульдозера запишемо у вигляді

$$\sum W = W_{\phi} + W_p + W_{пр} + W_b, \quad (2.55)$$

де W_{ϕ} – опір переміщення бульдозера, кН;

W_p – опір ґрунту різанню, кН;

$W_{пр}$ – опір переміщення призми ґрунту попереду відвала, кН;

W_b – опір тертя ґрунту по відвалу, кН.

Опір руху бульдозера описується залежністю

$$W_{\phi} = G_{бм} \cdot f, \quad (2.56)$$

де $G_{бм}$ – вага бульдозера, кг;

f – коефіцієнт опору переміщення, для гусеничних машин $f = 0,10 \dots 0,12$ [].

Опір ґрунту різанню W_p визначають за формулою

$$W_p = L \cdot h_1 \cdot k_p, \quad (2.55)$$

де L – ширина відвалу, м;

h_1 – глибина різання, м; приймають $h_1 = 0,1 \dots 0,4$ м [4];

k_p – питомий опір різанню; приймаємо, що бульдозер працює з суглинком для якого $k_p = 100$ кПа.

Опір волочіння ґрунту попереду відвалу $W_{\text{гр}}$ описується залежністю

$$W_{\text{гр}} = V_{\phi} \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_1, \quad (2.57)$$

де V_{ϕ} – фактичний об'єм призми волочіння, м³;

Фактичний об'єм призми волочіння визначають за формулою

$$V_{\phi} = \frac{L \cdot H^2}{2 \cdot k_1} \quad (2.58)$$

де L – ширина відвалу, м;

H – висота відвалу, м;

k_1 – коефіцієнт, який залежить від відношення H/L ; оскільки геометричні розміри відвалу при застосуванні газового мащення не змінюються то k_1 для обох варіантів буде однаковим;

ρ – щільність ґрунту, для суглинків $\rho = 1,6$ т/м³

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

μ_1 – коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту; приймаємо $\mu_1 = 0,8$.

Опір ґрунту по відвалу

$$W_a = V_\phi \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha, \quad (2.59)$$

де α – кут різання, град; прийнемо для обох варіантів однаковим $\alpha = 55^\circ$;

μ_2 – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі, прийнемо для базової машини $\mu_{26} = 0,9$; для бульдозера з газовим мащенням μ_2 прийнемо меншим на 40% тобто

$$\mu_{2i} = 0,9 \cdot 0,4 = 0,36. \quad (2.60)$$

Підставимо вирази для окремих опорів у формулу та отримаємо

$$\sum W = G_{\text{бм}} \cdot f + L \cdot h \cdot k_p + V_\phi \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_1 + V_\phi \cdot \rho \cdot g \cdot \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha \quad (2.61)$$

Проведемо наступні математичні перетворення

$$\sum W = G_{\text{бм}} \cdot f + L \cdot h \cdot k_p + V_\phi \cdot \rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha). \quad (2.62)$$

Виразимо з даної формули V_ϕ

$$V_\phi \cdot \rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha) = \sum W - (G_{\text{бм}} \cdot f + L \cdot h \cdot k_p), \quad (2.63)$$

$$V_\phi = \frac{\sum W - (G_{\text{бм}} \cdot f + L \cdot h \cdot k_p)}{\rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha)}. \quad (2.64)$$

Враховавши, що згідно з формулою (2.54) $T_T \geq \Sigma W$, тобто можливості машини реалізуються повністю при максимальному наближенні сумарного опору до тягового зусилля трактора можемо записати

$$V_\phi = \frac{T_m - (G_{\text{бм}} \cdot f + L \cdot h \cdot k_p)}{\rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha)} \quad (2.65)$$

Дане рівняння виражає залежність фактичного об'єму призьми волочіння від ряду факторів, а саме: параметрів бульдозерного обладнання, умов проведення процесу копання та тягових властивостей базової машини.

Враховуючи, що величина $G_{\text{бм}} \cdot f$ залежить лише від базової машини, а не від робочого обладнання запишемо 2.65 у вигляді

$$V_\phi = \frac{(T_m - G_{\text{бм}} \cdot f) - L \cdot h \cdot k_p}{\rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha)} \quad (2.66)$$

Аналізуючи рівняння 2.66 приходимо до висновку, що максимального значення V_ϕ набуває за умови

$$L \cdot h \cdot k_p = 0, \quad (2.67)$$

Або

$$V_\phi = \frac{T_m - G_{\text{бм}} \cdot f}{\rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha)} \quad (2.68)$$

Мінімального значення V_ϕ набуває у випадку

$$(T_m - G_{\text{см}} \cdot f) - L \cdot h \cdot k_p = 0, \quad (2.69)$$

тобто у випадку, коли розміри відвалу, а відповідно і розміри призми волочіння стають такими, що опір копанню перевищує тягові можливості трактора.

У випадку

$$(T_m - G_{\text{см}} \cdot f) - L \cdot h \cdot k_p < 0, \quad (2.70)$$

V_ϕ набуває від'ємних значень, що створює протиріччя логічному змісту.

Враховуючи наведені міркування можемо записати

$$V_\phi = \frac{(T_m - G_{\text{см}} \cdot f)}{\rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha)} - \frac{(T_m - G_{\text{см}} \cdot f) - L \cdot h \cdot k_p}{\rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha)}. \quad (2.71)$$

Рівняння (2.71) відображає зміну V_ϕ залежно від розмірів робочого органу, умов копання та сил тертя, що виникають між відвалом та ґрунтом.

Провівши математичні перетворення та врахувавши (2.50) та (2.70) запишемо систему для визначення технічної продуктивності бульдозера, яка враховує розміри робочого органу, умови копання та сили тертя, що виникають між відвалом та ґрунтом

$$P_m = \frac{3600 \cdot L \cdot h \cdot k_p}{\rho \cdot g \cdot (\mu_1 + \mu_2 \cdot \cos^2 \alpha) \cdot T_u} \quad (2.72)$$

$$(T_m - G_{\text{см}} \cdot f) - L \cdot h \cdot k_p < 0$$

2.3 Визначення оптимальних розмірів робочого обладнання бульдозера та параметрів копання із застосуванням методів математичної статистики

З метою отримання максимуму інформації при мінімальних витратах на обчислення застосовуємо методи математичної статистики. Обчислення проводимо як при плануванні експерименту використовуючи нелінійний план при числі факторів $k = 3$.

У випадку використання останнього методу фактори найчастіше варіюють на двох рівнях, тому кожний з них повинний мати два значення: верхнє (+); нижнє (-) і нульову точку (0). Результати дослідів з комбінацією факторів записують у виді таблиці (стандартної матриці), яка є однаковою для всіх досліджень.

Щоб скористатися стандартною матрицею, значення (рівні) факторів кодують так

$$X_i = \frac{X_i' - X_i^0}{I_i}, \quad (2.68)$$

де X_i – кодоване значення фактора (-1, 0, +1);

X_i' – натуральне значення фактора на вибраному рівні;

X_i^0 – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

I_i – інтервал варіювання фактора (у натуральному виді).

Після цього складений план-матрицю реалізують, тобто досліді роблять за планом, а результати у виді параметра заносять у ту ж таблицю.

Складаємо таблицю значень технічної продуктивності використовуючи матрицю, що наведена в таблиці 2.1. При цьому рівні варіювання факторів

приймаємо яку показано в таблиці 2.2. Значення продуктивності для різних поєднань факторів обчислюємо за формулою (2.66).

Таблиця 2.1 – Нелінійний план при числі факторів $k = 3$

№ розрахунку	X_1	X_2	X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	$X_1 * X_2$	$X_1 * X_3$	$X_2 * X_3$	Y
N ₁	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	
	3	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	
	4	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	
	5	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	
	6	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	
	7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	
	8	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	
	9	1	0	0	1	0	0	0	0	
	10	-1	0	0	1	0	0	0	0	
	11	0	1	0	0	1	0	0	0	
	12	0	-1	0	0	1	0	0	0	
	13	0	0	1	0	0	1	0	0	
	14	0	0	-1	0	0	1	0	0	
n ₀	15	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	

Таблиця 2.2 – Значення інтервалів варіювання факторів

Код	Значення коду	Значення факторів		
		X ₁	X ₂	X ₃
Основний рівень	0	0,25	0,44	2,84
Інтервал варіювання	ΔX _i	0,15	0,14	0,36
Верхній рівень	+	0,4	0,57	3,2
Нижній рівень	-	0,1	0,3	2,48

Коефіцієнти, що визначають ступінь впливу факторів на параметр оптимізації, розраховують за формулою

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n y_i x_{ij}}{n}, \quad (2.69)$$

де b_i – коефіцієнт регресії i -го фактора;

y_i – значення параметра оптимізації в i -му досліді;

x_{ij} – кодоване значення i -го фактора в j -му досліді;

n – кількість дослідів у матриці.

Після цього розраховують середньоквадратичну похибку S_{on} і коефіцієнт регресії S_{bi}

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_{on}^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{nm_1(m-1)}}, \quad (2.70)$$

де n – кількість повторень.

Помилку обчислень експерименту знаходять з умови підсумовування середньозважених значень дисперсій

$$S_{\text{оп}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y})^2 (m_i - 1)}{n_1 \sum_{i=1}^m (m_i - 1)}, \quad (2.71)$$

Визначають довірчий інтервал

$$\Delta b = \pm S_{b_i} t \approx 2S_{b_i}, \quad (2.72)$$

де t – критерій Стьюдента.

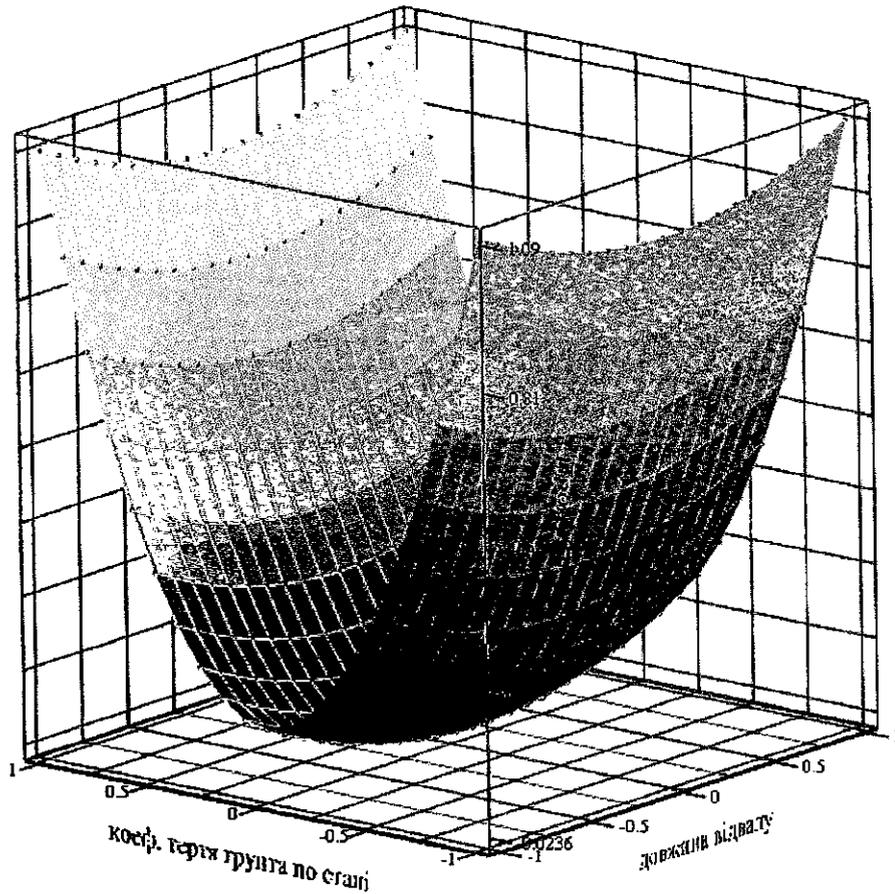
Фактори, що незначно впливають на параметр оптимізації, мають коефіцієнти регресії менше довірчого інтервалу.

Якщо $|b_i| \leq |\Delta b_i|$, то коефіцієнт не значимий, а відповідний йому фактор істотно не впливає на параметр оптимізації, такий фактор повинен бути виключений (відкинутий) чи зафіксований на визначеному рівні.

Якщо за даними експериментів і розрахунків серед відсіяних факторів виявилися такі, котрі по логіці повинні залишитися, то цілком імовірно, що інтервали варіювання обрані неправильно. Для цих факторів інтервали варіювання рекомендується збільшити і поставити нову серію експериментів по тому ж плану.

Поліноміальний опис процесу здійснюється за допомогою рівняння регресії, що являє собою поліном, наприклад відрізок ряду Тейлора. При цьому постановки дослідів і визначення параметрів оптимізації по кожному з дослідів обчислюють по (2.69) коефіцієнти регресії і підставляють їх у поліном загального виду

Використовуючи дане рівняння будуюмо графіки залежності продуктивності від прийнятих факторів.

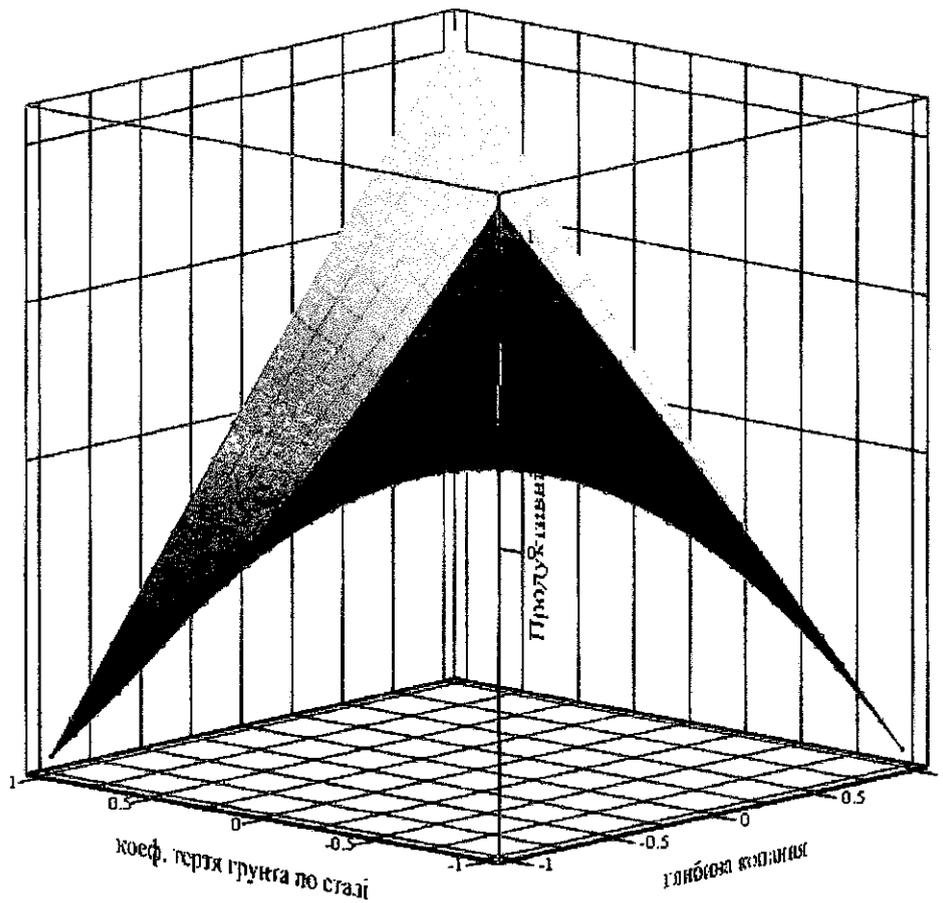


γ

Рисунок 2. 1 – – Залежність продуктивності бульдозера від коефіцієнта тертя ґрунта по сталі та довжини відвалу

Висновок: на графіку видно, що продуктивність зростає при застосуванні газового мащення відвалу та зміні довжини відвалу.

Отже максимальна продуктивність за графіком буде при невеликому відвалу та при застосуванні газового мащення.

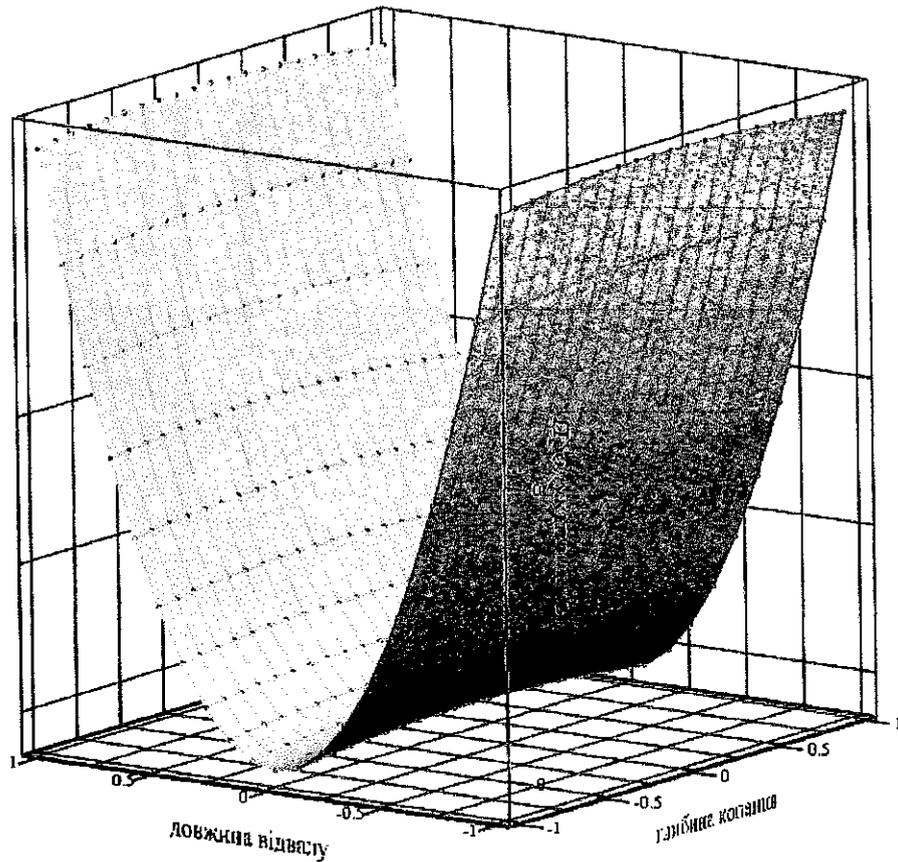


у

Рисунок 2. 2 – – Залежність продуктивності бульдозера від коефіцієнта тертя ґрунту по сталі та глибини копання

Висновок: на графіку видно, що максимальна продуктивність буде без застосування газового мащення і максимальній глибині копання.

Тоді оптимальна продуктивність буде при застосуванні газового мащення і мінімальній глибині копання.



у
 Рисунок 2. 3 – Залежність продуктивності бульдозера від довжини відвалу та глибини копання

Висновок: на графіку видно, що максимальна продуктивність буде при максимальній та мінімальній довжині відвалу та глибині копання.

Аналізуючи зміну продуктивності за отриманим рівнянням приходимо до висновку, що найкращі показники продуктивності машина матиме при таких параметрах

ширина відвалу 2,48 м.

коефіцієнт тертя ґрунту по сталі 0,3.

Глибина копання 0,1 м.

Орієнтуючись на ці дані проектуємо відвал бульдозера.

Висновки

У ході дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу було встановлено, що впровадження цієї технології значно покращує ефективність землерийних робіт. Газове мащення відвалу сприяє суттєвому зниженню тертя між ґрунтом і робочою поверхнею, що не тільки зменшує енерговитрати, але й підвищує загальну продуктивність техніки. Це особливо важливо в умовах важких ґрунтів, де традиційні методи змащення є менш ефективними.

Завдяки зниженню сил тертя відбувається рівномірніше ковзання ґрунту по відвалу, що зменшує навантаження на бульдозер, знижує зношування його компонентів і збільшує термін експлуатації обладнання. Зменшення адгезії ґрунту на відвалі знижує ризик залипання, особливо при роботі з глинистими або вологими ґрунтами, що дозволяє скоротити час простоїв на очищення відвалу і підвищити безперервність робочого процесу.

Також дослідження підтвердило, що газове мащення позитивно впливає на екологічні аспекти виконання робіт. Завдяки зниженню енергоспоживання, бульдозери з газовим мащенням відвалу мають менші викиди шкідливих речовин, що робить цю технологію більш дружньою до довкілля.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що впровадження газового мащення відвалу бульдозера є перспективним напрямом для підвищення ефективності та стабільності роботи землерийної техніки. Результати даної роботи можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо вдосконалення конструкцій бульдозерів і оптимізації їхніх робочих параметрів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на

ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
				23.08
Розроб.	Решетняк			23.08
Перев.	Фролов			
Керівн.				
Н. контр.	Васильєв			24.08
Затв.	Орисенко			24.08

Висновки	Лім.	Лист	Листів
	Н		
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			

вивчення різних типів газових сумішей для мащення, їхнього впливу на різання ґрунту і на розробку методик адаптації цих технологій до конкретних умов експлуатації.

					ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		43

Список літератури

1. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник / В. С. Бондарев та ін. Київ: Вища шк., 2009. 734 с
2. Бондарев В.С., Дубинець О.І., Колісник М. П., Бондарев С. В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В. Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин : підручник. - К. : Вища школа, 2009. - 734 с.
3. Григоров О. В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини : навч. посібник – Харків : НТУ «ХПІ», 2006. – 304 с.
4. Гончарук О.М., Стрілець В.М. Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортерна техніка. посібник. - Рівне, 2006, 344 с.
<https://works.doklad.ru/view/3IF4UrJ8Hmc/all.html>
5. 2. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. Підручник / Ф. К. Іванченко – К: Вища школа, 1993. – 413 с.
6. 3. Любін М. В. Механізація транспортуючих робіт. Частина 2. Транспортуючі машини без тягового органу: Навчальний посібник / М. В. Любін – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. – 228 с.

ГМтаМ 602ММв.039-00.00.000 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат
Розроб.	Решетняк			23.08
Перев.	Фролов			23.08
Керієн.				
Н. контр.	Васильєв			24.08
Затв.	Орисенко			29.08

Список літератури		
Лім.	Лист	Листів
Н		
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Додатки

Презентаційні матеріали за темою:

**«Дослідження процесу різання ґрунту
бульдозером з газовим мащенням відвалу»**

**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки**

Кваліфікаційна робота магістра

на тему:

**Дослідження процесу різання ґрунту
бульдозером з газовим мащенням відвалу**

**Виконав: студент VI курсу, групи 602ММв
133 Галузеве машинобудування
Решетняк Віталій Сергійович
Керівник д.т.н. професор. Фролов Є.А.
Рецензент Молчанов П.О.**

Полтава 2024

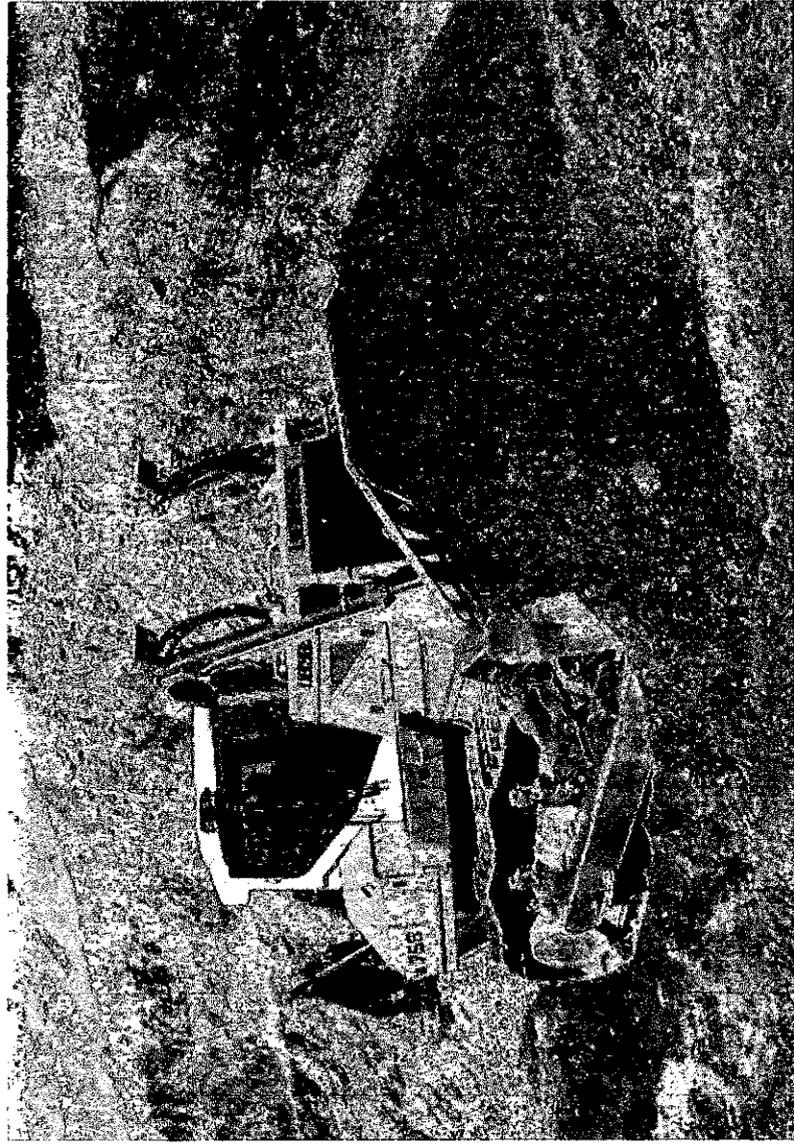
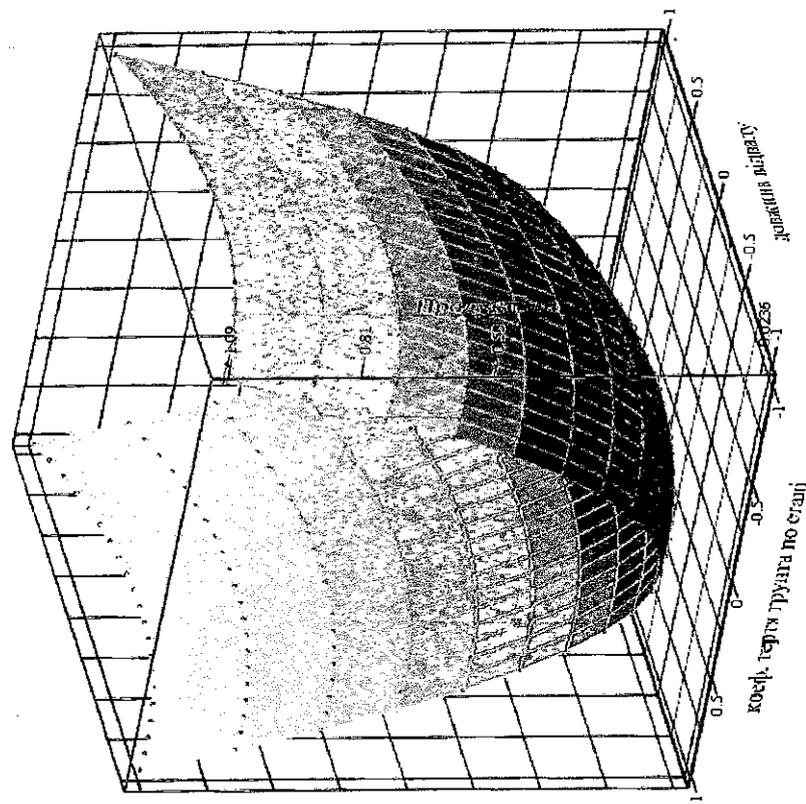


Рисунок – Різання ґрунту, переміщенні та розрівнюванні ґрунту за допомогою відвалу

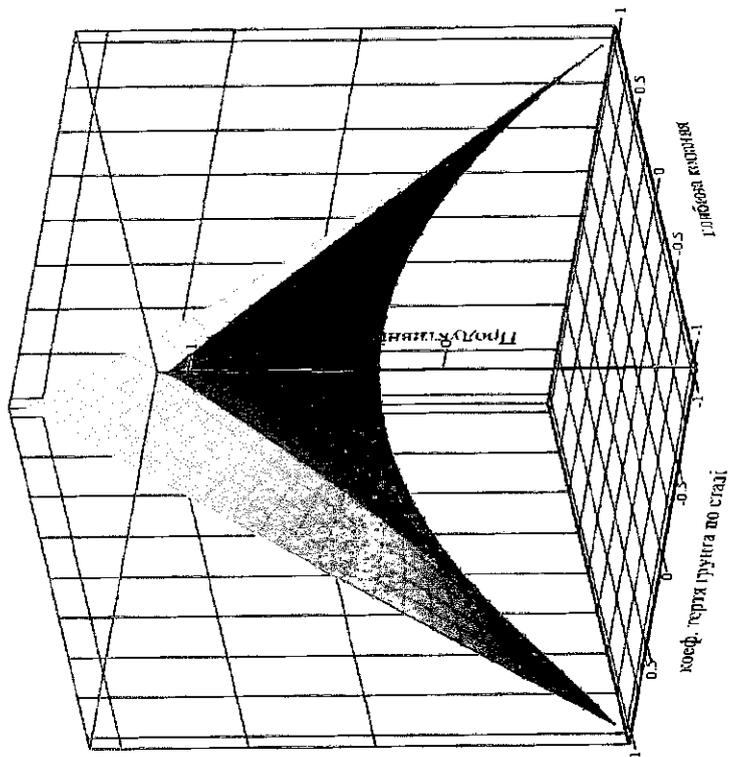
Розроблення конструкторії відвала з газовим мащенням



у

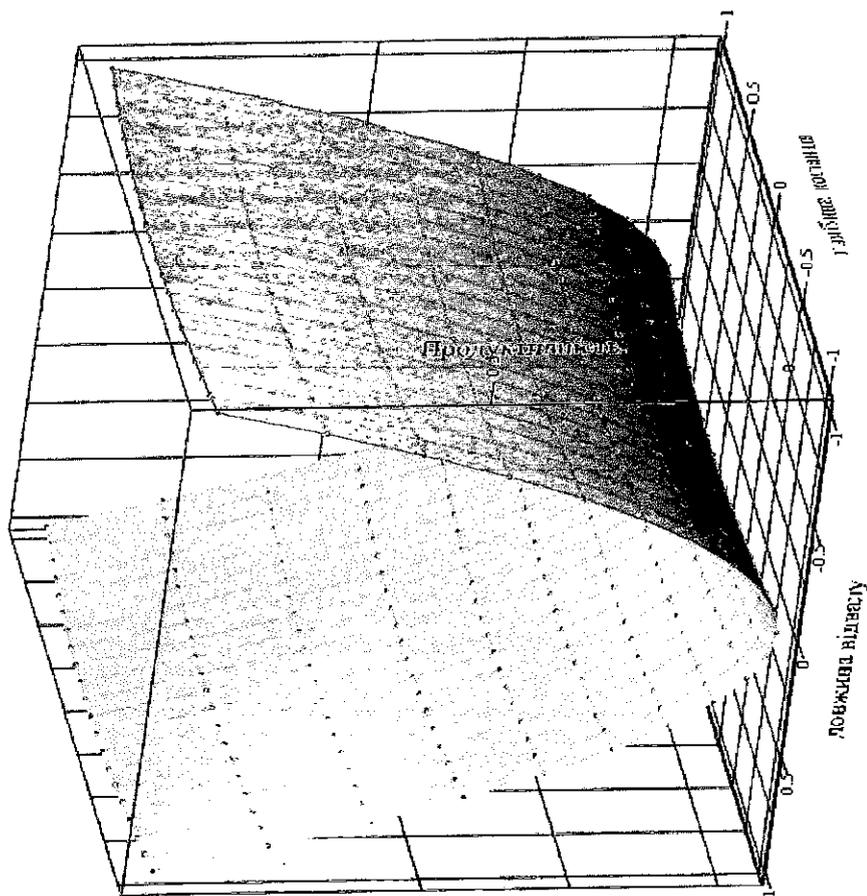
Рисунок 2. 1 – Залежність продуктивності

бульдозера від коефіцієнта тертя ґрунта по сталі та довжини відвалу



у

Рисунок 2. 2 — Залежність продуктивності бульдозера від коефіцієнта тертя ґрунту по сталі та глибини копання



у

Рисунок 2.3 – Залежність продуктивності бульдозера від довжини відвалу та глибини копання

Висновки

У ході дослідження процесу різання ґрунту бульдозером з газовим мащенням відвалу було встановлено, що впровадження цієї технології значно покращує ефективність землерийних робіт. Газове мащення відвалу сприяє суттєвому зниженню тертя між ґрунтом і робочою поверхнею, що не тільки зменшує енерговитрати, але й підвищує загальну продуктивність техніки. Це особливо важливо в умовах важких ґрунтів, де традиційні методи змащення є менш ефективними.

Завдяки зниженню сил тертя відбувається рівномірніше ковзання ґрунту по відвалу, що зменшує навантаження на бульдозер, знижує зношування його компонентів і збільшує термін експлуатації обладнання. Зменшення адгезії ґрунту на відвалі знижує ризик залипання, особливо при роботі з глинистими або вологими ґрунтами, що дозволяє скоротити час простоїв на очищення відвалу і підвищити безперервність робочого процесу.

Також дослідження підтвердило, що газове мащення позитивно впливає на екологічні аспекти виконання робіт. Завдяки зниженню енергоспоживання, бульдозери з газовим мащенням відвалу мають менші викиди шкідливих речовин, що робить цю технологію більш дружньою до довкілля.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що впровадження газового мащення відвалу бульдозера є перспективним напрямом для підвищення ефективності та стабільності роботи землерийної техніки. Результати даної роботи можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо вдосконалення конструкцій бульдозерів і оптимізації їхніх робочих параметрів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вивчення різних типів газових сумішей для мащення, їхнього впливу на різання ґрунту і на розробку методик адаптації цих технологій до конкретних умов експлуатації.