

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Транспортна інженерія»

(назва факультету)

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: **Розробка просторової ножової системи з комбінованим розміщенням ножів для неповоротного відвала бульдозера за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання»**

зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ПМ1811


(підпис студента)

/ Олександр КІТ /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/ Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

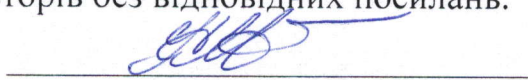
Нормоконтролер:


(підпис)

/ Олександр ПОСМІТЮХА /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Transport Engineering

(faculty)

Department of Applied Mechanics and Materials Science

(department)

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic:

Development of a spatial knife system with combined placement of knives for a non-rotating bulldozer blade

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road, reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

(speciality and its code)

Done by the student of the group: ПІМ1811



Alexander KIT /

(name, surname)

Scientific Supervisor:



/ Kazimir HLAVATSKYI /

(position, name, surname)

Normative controller :



/ Oleksandr POSMITIUKHA /

(position, name, surname)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Transport Engineering

(faculty)

Department of Applied Mechanics and Materials Science

(department)

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic:

Development of a spatial knife system with combined placement of knives for a non-rotating bulldozer blade

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road, reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

(speciality and its code)

Done by the student of the group: IIM1811

/ Alexander KIT /
(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ Kazimir HLAVATSKYI /
(position, name, surname)

Normative controller :

/ Oleksandr POSMITIUKHA /
(position, name, surname)

Dnipro – 2022

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія

Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

_____ **Сергій РАКША**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
(ступінь вищої освіти)

студенту Кіт Олександр Вадимович

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: **Розробка просторової ножової системи з комбінованим розміщенням ножів для неповоротного відвала бульдозера**

Керівник роботи: Главацький Казимир Цезарович, к. т. н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

"10" 11 2022 р. № 16ст

2. Строк подання студентом роботи: 20.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Тип бульдозера – гусеничний; тяговий клас – 25 тс;

тип бульдозерного відвала - неповоротний;- ширина відвала – 4600 мм;

тип ножової системи – просторова комбінована; категорія ґрунту -I - IV.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: огляд і аналіз існуючих технічних рішень бульдозерного обладнання.

4.2 Основна частина: проектний розрахунок ножової системи робочого обладнання.

4.3 Науково-дослідна частина: математичне та фізичне моделювання процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом з ПНС.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Загальний вигляд бульдозера; складальне креслення робочого обладнання;

результати науково-дослідної частини; розрахункові схеми; графіки; технічні рішення; деталювання; технологія виконання робіт; інші графічні матеріали.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд і аналіз існуючих технічних рішень бульдозерного обладнання	06.03.2022	
2	Проектний розрахунок ножової системи і робочого обладнання	24.04.2022	
3	Обґрунтування раціональних параметрів ножової системи	20.05.2022	
4	Підготовка графічної частини роботи	10.06.2022	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.06.2022	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	21.06.2022	

Студент

_____ (підпис)

Олександр КІТ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В пояснювальній записці всього 126 сторінок

Найменування роботи: Розробка просторової ножової системи з комбінованим розміщенням ножів для неповоротного відвала бульдозера.

Ілюстрації: схем 20, рисунків 13;

графіків 58, фотографій 19;

таблиць 37.

Ключові слова: бульдозер, ґрунт, відвал, ножова система, сила, продуктивність, безпечність, технологічність, дослідження, інтенсифікація.

Текст реферату:

Мета кваліфікаційної роботи - підвищення енергоефективності та продуктивності бульдозера з неповоротним відвалом шляхом застосування на ньому просторової ножової системи з комбінованим розміщенням ножів.

У кваліфікаційній роботі на основі огляду та всебічного аналізу відомих технічних рішень аналогів обґрунтовано і розроблено початковий варіант конструкції багатофункціональної просторової ножової системи бульдозера з неповоротним відвалом, для якої виконаний параметричний розрахунок, визначені сили та основні конструктивні розміри, запропоновані технологічні схеми ведення земляних робіт при копанні ґрунту та створенні ґрунтових споруд. Це дозволить підвищити енергоефективність та продуктивність бульдозера з неповоротним відвалом. Виконані пошукові дослідження варіантів просторової ножової системи з комбінованим розміщенням ножів.

ЗМІСТ

ВСТУП	- 6
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ І НОЖОВОЇ СТЕМИ	- 7
1.1 Призначення бульдозерів	- 7
1.2 Класифікація бульдозерних відвалів	- 9
1.3 Загальна конструкція БО з поворотним відвалом традиційного типу	- 12
1.4 Принцип роботи бульдозера з поворотним відвалом	- 14
1.5 Різновиди НС для неповоротних відвалів	- 15
2 ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА СХЕМ ПНС	- 18
2.1 Обґрунтування створення ПНС	- 18
2.2 Запропонована ПНС бульдозера	- 19
2.3 Конструктивний аналіз ПНС бульдозера	- 20
2.4 Сутність процесу різання і копання ґрунту відвалом з ПНС	- 22
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОПАННЯ ҐРУНТУ БУЛЬДОЗЕРНИМ ВІДВАЛОМ З ПНС	- 25
3.1 Обґрунтування розробки математичної моделі	- 25
3.2 Визначення дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву	- 30
3.3 Визначення параметрів процесу копання ґрунту поворотним відвалом	- 57
3.4 Обґрунтування і розрахунок питомого коефіцієнта опору копанню відвалом з ПНС	- 64
3.5 Визначення довжини ріжучої частини ножів для криволінійних профілів ПНС	- 73
4 ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОПАННЯ ҐРУНТУ БУЛЬДОЗЕРНИМ ВІДВАЛОМ З ПНС	- 80
4.1 Фізичні моделі ПНС для лабораторних досліджень	- 80
4.2 Опис стендового устаткування	- 81

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка просторової ножової системи з комбінованим розміщенням ножів для неповоротного відвала	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Кіт						
Перевір.		Главацький					4	126
Реценз.						УДУНТ, гр. ПМ1811		
Н. Контр.		Посмітюха						
Затверд.		Ракша						

5 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	- 98
5.1 Умови моделювання процесів взаємодії з ґрунтом робочих органів землерийних машин	- 98
5.2 Лабораторне дослідження процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом і запропонованою ПНС	- 109
6 ТЕХНІЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЩОДО БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПНС	- 113
6.1 Технічні рішення бульдозерного обладнання з ПНС	- 113
6.2 Область та технологічні схеми використання бульдозерного обладнання з ПНС	- 114
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	- 121
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	- 123

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Зміна	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Робота має на меті удосконалення та розробку ефективної конструкції просторової ножової системи для неповоротного бульдозерного відвала на основі застосування косоного різання.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення робочого обладнання (РО) землерійно-транспортних машин (ЗТМ) та розробки просторової ножової системи бульдозерів з неповоротним відвалом, які повинні призвести до спільного результату – зниження енергоємності процесу копання ґрунту та зменшення коефіцієнта питомого опору копання.

Землерійно-транспортними називають машини з ножовим РО, що виконують одночасно пошарове відділення від масиву й переміщення ґрунту до місця укладання при своєму поступальному русі. Особливістю робочого процесу цих машин є те, що копання ґрунту відбувається внаслідок переміщення самої машини під дією тягового зусилля, що розвиває її рушієм. До цієї групи машин відносяться: бульдозери, скрепери, автогрейдери, грейдери й грейдери-елеватори. ЗТМ прості за конструкцією й високопродуктивні.

Бульдозерним обладнанням оснащують ЗТМ (бульдозери, автогрейдери), у яких це обладнання є основним. Бульдозери оснащуються традиційними конструкціями бульдозерного обладнання з неповоротним чи поворотним відвалом.

Основним недоліком роботи бульдозерного обладнання з неповоротним відвалом є підвищена енергоємність копання і втрати ґрунту обабіч відвала через його конструктивні особливості. Використання бульдозерного обладнання з поворотним відвалом дає змогу використовувати косоге різання, що дає змогу зменшити опір копанню та різанню.

Актуальність роботи обумовлена тим, що просторова ножова система (ПНС) направлена на зниження енергоємності копання ґрунту за рахунок поліпшення нагромадження і переміщення ґрунту по відвалу і зменшення втрат ґрунту у бічні валики.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Зміна	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ І НОЖОВИХ СИСТЕМ

1.1 Призначення бульдозерів

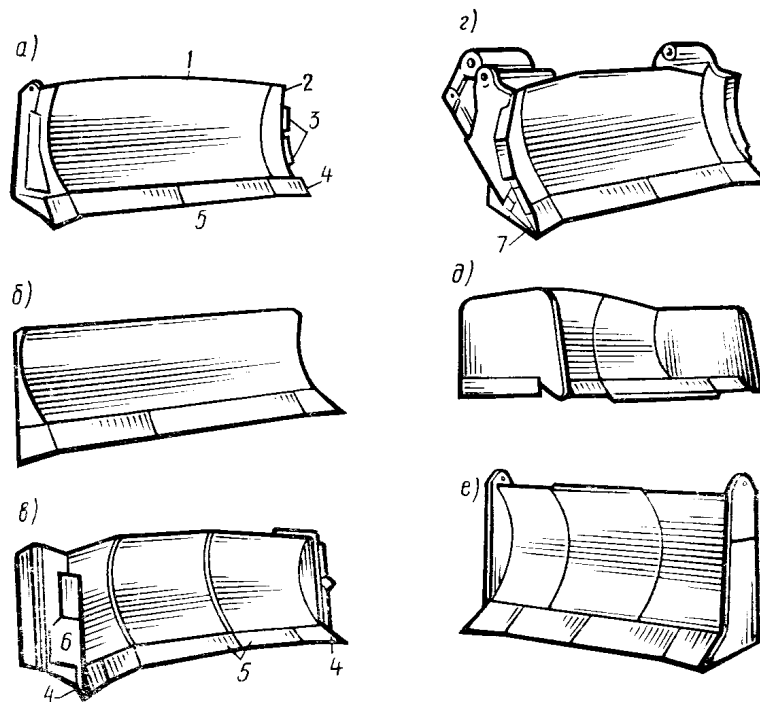
Бульдозер з неповоротним відвалом являє собою базовий тягач, оснащений ножовим навісним робочим обладнанням для пошарового зрізання, переміщення та розрівнювання ґрунту, у яке входить відвал 7 з ножами 6, штовхаючі бруси 4, підкоси 5 і гідроциліндри 9 (рис. 1.1). Разом з тим простота конструкції, твердість робочого органу, низька вартість і значні тягові зусилля, що розвивають бульдозером, визначили його широке застосування як для земляних робіт, так і для різноманітних допоміжних робіт з розчищення площадок від валунів, пнів, для валки дерев і т.д. Відвал виготовляють у вигляді коробчастої звареної конструкції з накладками міцності, привареними до тильної сторони. Штовхаючі коробчасті бруси 4 передніми кінцями шарнірно з'єднують з кронштейнами на тильній стороні відвала, а задніми – із упряжними шарнірами 3, плити яких приварені до балок гусеничних візків трактора. Підкоси з'єднують верхню частину відвала з кронштейнами штовхаючих брусів. Перестановкою підкосів можна змінювати кут різання у межах 45...60°. Внаслідок працемісткості операцій по перестановці підкосів їх замінюють гідроциліндрами. У цьому випадку положення відвала можна змінювати в процесі роботи машин. При незалежному регулюванні довжини кожного з розкосів і універсальності шарнірів, що зв'язують поздовжні бруси з базовою машиною, кут нахилу відвала може змінюватися в поздовжній і поперечній вертикальних площинах, [1, 16].

Бульдозерним обладнанням (БО) іноді оснащують інші землерийно-транспортні машини (автогрейдери, екскаватори, навантажувачі), у яких це обладнання є допоміжним. Бульдозери можуть розробляти талі й мерзлі попередньо розпушені ґрунти. Як базові машини для бульдозерів найчастіше використовують гусеничні трактори потужністю від 55 до 850 кВт, рідше колісні трактори або тягачі потужністю 75...200 кВт, [1, 3].

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Зміна	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1.2 Класифікація бульдозерних відвалів

Залежно від умов роботи застосовують різні відвали бульдозерів (рис. 1.2).



а – прямий; б – універсальний; в – сферичний; г – з бічними розпушувальними зубами; д – совковий для збирання; е – короткий прямий відвал;
1 – лобовий лист разом з козирком; 2 – бічні щитки; 3 – бічні ножі;
4 – кутові; 5 – середні ножі; 6 – відкрилки; 7 – висувні зуби;

Рис. 1.2. Форми відвалів бульдозера

У прямого простого відвала (рис. 1.2, а) є пряма твірна, невеликі вигнуті бічні щитки й ножі для зменшення зношування щитків. Ножі відвала звичайно складаються із двох частин і включають виступаючі вперед змінні кутові ножі. Такими відвалами розробляють міцні ґрунти, [1].

Універсальний відвал (рис. 1.2, б) використовують для планувальних робіт у ґрунтах з порушеною структурою.

Сферичний відвал (рис. 1.2, в) застосовують для розробки м'яких й середньої міцності ґрунтів. Вигнута в плані форма відвала передбачена для косоного різання ґрунтів, при якому зменшується опір різанню й можна збільшити на 10-12% довжину відвала. За рахунок виступаючих уперед кінців відвала обсяг переміщеного ґрунту збільшується на 20...25% у порівнянні із прямим відвалом, [1].

						ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			9

Відвал з бічними розпушуючими зубами (рис. 1.2, г) використовують для розробки міцних кам'янистих ґрунтів бульдозерами великої потужності. Зубці висуваються гідроциліндрами нижче ножів на 20...30 см.

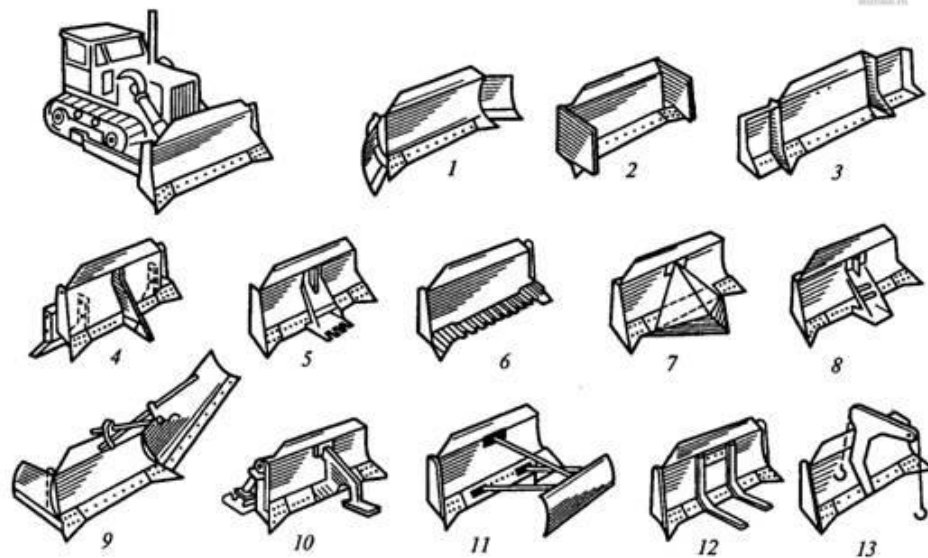
Совковий відвал (рис. 1.2, д) має бічні щитки, що знижують втрати ґрунту при переміщенні й виступаючу вперед частину ножа для кращого врізання в ґрунт. Застосовують його для розробки мало зв'язних ґрунтів у випадку переміщенні їх на великі відстані, [1].

Короткі прямі відвали (рис. 1.2, е) мають амортизатори, призначаються для бульдозерів-штовхачів, що штовхають при роботі землерийно-транспортні машини для одержання більшого тягового зусилля. Штовхаючі бруси таких відвалів установлюють з внутрішньої сторони гусеничних візків.

Крім зазначених типів відвалів впроваджують у виробництво додаткові види змінного робочого обладнання для обробки відкосів насипів, розпушування ґрунту, видалення чагарнику й ін. Використання їх значно підвищує універсальність бульдозерів.

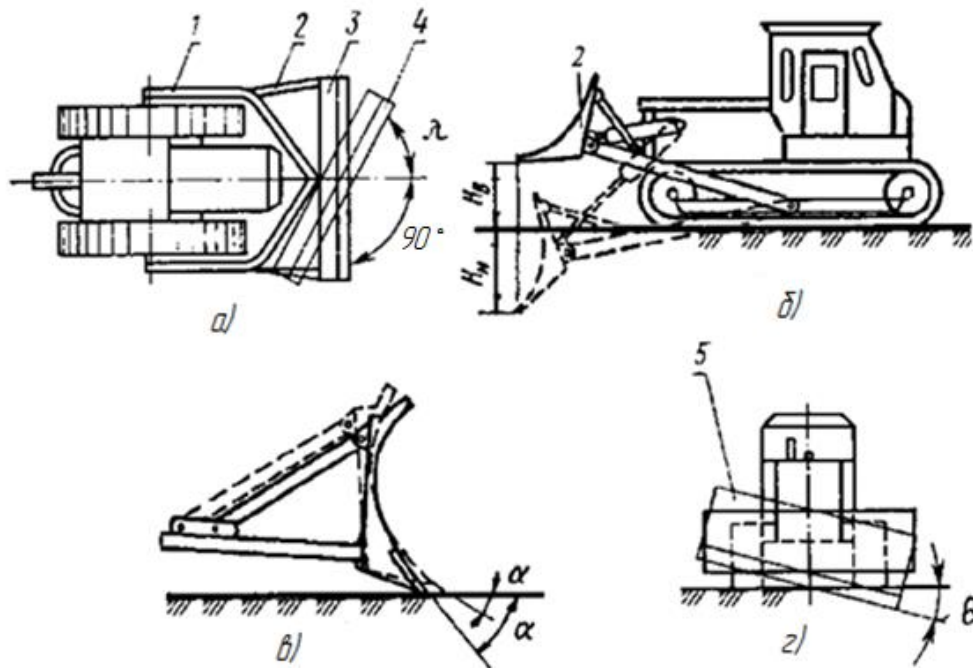
За способом установки відвала бульдозери розділяють на машини з неповоротними й поворотними відвалами й універсальні. До першого відносять бульдозери, у яких у процесі роботи змінюється тільки кут різання, інші ж встановлювані кути залишаються постійними. Найбільш широку галузь застосування мають бульдозери з неповоротним відвалом напівсферичного типу (рис. 1.3) , які забезпечують високі питомі показники по тязі й заглибленню при роботах на високозв'язаних ґрунтах. Внаслідок більших навантажень на передні ковзанки ходової частини трактора й зниження річної експлуатаційної продуктивності обмежене застосування бульдозерів зі сферичним відвалом. У бульдозерів з поворотними відвалами змінюються кути різання й захвату, в універсальних – всі встановлювані кути. Діапазони зміни кутів установки відвалів показані на рис. 1.4 і наведені в табл. 1.1, [7].

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



1-закріплені жорстко або гідрокеровані поширювачі; 2-відкрилки; 3-подовжувачі; 4-передні й задні розпушувальні зуби; 5 — кирка для виламування асфальтобетонного покриття; 6-ножі для мерзлих ґрунтів; 7-кущорізна наставка; 8-закріплена жорстко канавна наставка або гідрокерований виступаючий ніж; 9-укісник кріплення або гідрокерований укісник-планувальник; 10-передні й задні лижі; 11-відвальна приставка для роботи від стінки; 12- вантажні вила; 13-піднімальний гак;

Рис. 1.3. Схеми основних видів додаткового змінного устаткування до бульдозерів з неповоротним відвалом



а – в горизонтальній площині; б – у верхньому і нижньому положеннях; в – зміна кута різання; г – у вертикальній площині; 1 – штовхаюча рама; 2 – бічний штовхач відвала; 3 – відвал; 4 – відвал, повернений у плані; 5 – відвал, повернений у вертикальній площині;

Рис. 1.4. Схема установки відвала бульдозера

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кути установки відвала бульдозера

Тип бульдозера	Кути установки відвала, град		
	захоплення λ	зрізання θ	різання α
З неповоротним відвалом	90	0	50...60
З поворотним відвалом	60...90	0	0
Універсальний	60...90	3...8	50...60

Зі зміною встановлюваних кутів змінюється характер руху й висота підйому ґрунту по відвалу.

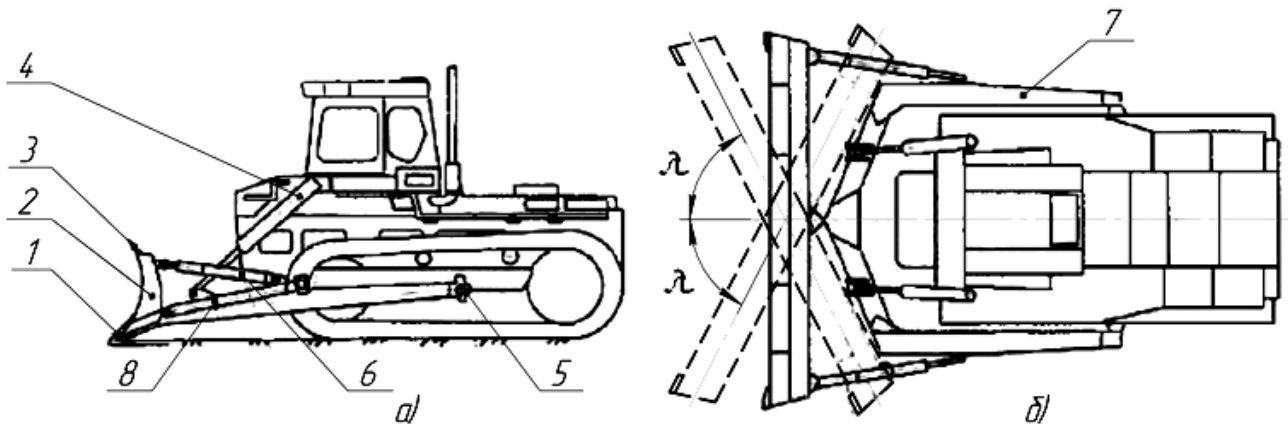
Бульдозери з неповоротними відвалами використовують для розробки зв'язних ґрунтів з непорушеною структурою, а з поворотними відвалами та універсальні – для розробки незв'язних ґрунтів, виконання планувальних і снігоприбиральних робіт, засипання траншей, ровів, котловин й інших виїмок.

1.3 Загальна конструкція БО з поворотним відвалом традиційного типу

На базі гусеничних тракторів серійно випускають бульдозери з поворотним відвалом. У бульдозера цього типу замість штовхаючих брусів встановлена аркова рама, до вершини якої шарнірно приєднаний відвал (рис. 1.5). Штовхаючим пристроєм служить універсальна рама 7. Вона являє собою зварену підковоподібну конструкцію. До передньої частини рами приварена кульова п'ята, яка з'єднана з підп'ятником, встановленим на відвалі. Утворений в результаті цього кульовий шарнір дозволяє повертати відвал в плані. Підкоси 6 служать для кріплення відвалу до рами. Переміщаючи точки кріплення розкосів і підкосів, змінюють положення відвалу. Краї відвала утримують штовхачі, з'єднані повзунами з бічними напрямними рами. Остання з'єднана з кронштейнами рами трактора. Відвал повертають у плані гідроциліндрами. Повзуни штовхачів при цьому змінюють положення на направляючих рами і фіксуються закладними штирями. Задні вушка штовхачів можна переставляти по висоті щодо повзунів, змінюючи у такий спосіб кут різання. Опускаючи вушко одного штовхача і піднімаючи вушко іншого, можна

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

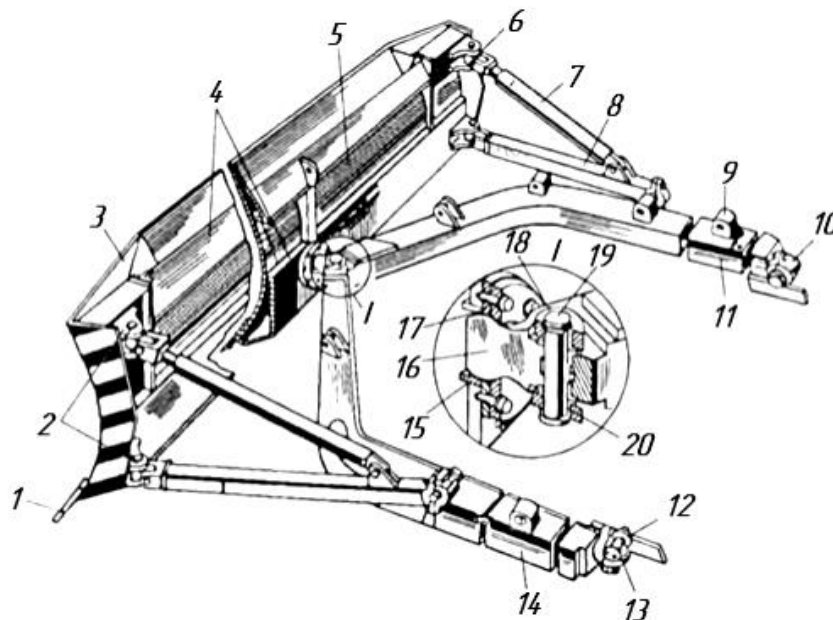
одержати поперечний перекіс відвала. Керують відвалом за допомогою гідророзподільника, [16].



а – вид збоку; б – вид зверху; 1 – ножі; 2 – відвал; 3 – козирок; 4 – гідроциліндри підйому і опускання відвала; 5 – опорний шарнір; 6 – гідроциліндри перекосу відвала (гідророзкіс); 7 – універсальна рама; 8 – штовхальник відвалів встановлюють з внутрішньої сторони гусеничних візків;

Рис. 1.5. Бульдозер з поворотним відвалом (вид збоку і зверху)

Найчастіше поворотні відвали кріпляться на універсальну штовхаючу раму, на яку може бути встановлено і інше обладнання. Відвал з'єднується з рамою за допомогою двох бічних штовхачів і одного центрального шарніра, що забезпечує можливість повороту відвала в площині горизонту (рис. 1.6), [1, 6].



1 – ніж; 2, 9 – кронштейни; 3 – козирок; 4 – пояси жорсткості; 5 – відвал; 6 – хрестовина; 7 – розкіс; 8 – штовхач; 10 – запряжний шарнір; 11, 14 – піврами; 12, 16 – опори; 13, 18 – кришки; 15 – гніздо; 17 – болт; 19 – палець; 20 – змінна втулка;

Рис. 1.6. Рама бульдозера з поворотним відвалом

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.4 Принцип роботи бульдозера з поворотним відвалом

Бульдозери з поворотним відвалом, що виконують планувальні роботи, а також очищення поверхонь від будівельного сміття, снігу і т. п., працюють у безперервному режимі. Бульдозери з поворотним відвалом мають відвал більшої довжини порівняно з машинами із неповоротним відвалом. Це пояснюється тим, що відвал у повернутому положенні має перекривати поперечні габарити базової машини. Умови роботи поворотного відвала потребують іншого обрису його торців і не допускають встановлення щік. Такий відвал є жорсткою коробчатою металоконструкцією, що складається з вигнутого по колу листа, посиленого ребрами. З тильного боку відвала посередині приварений підп'ятник, у який входить кульова п'ята штовхальної рами. Кінці відвала з'єднуються зі штовхальною рамою розкосами. Керують відвалом за допомогою канатної чи гідравлічної системи. Відокремлений від масиву ґрунт (або інші матеріали) переміщається по відвалу вгору і в бік його нахилу в плані по гвинтових траєкторіях 1 (рис. 1.7, 1.8, б). При цьому призма волочіння, що захоплюється потоками ґрунту, безперервно переміщується в бік нахилу відвала (напрямок 2) за його край і укладається у вигляді валика паралельно з напрямком руху машини. Така взаємодія робочого органу з ґрунтом, яке приводить до зрушення ґрунту вздовж ріжучої кромки, називають косим різанням. При косому різанні виникають додаткові опори переміщенню ґрунту вздовж відвала, [1, 8, 22].

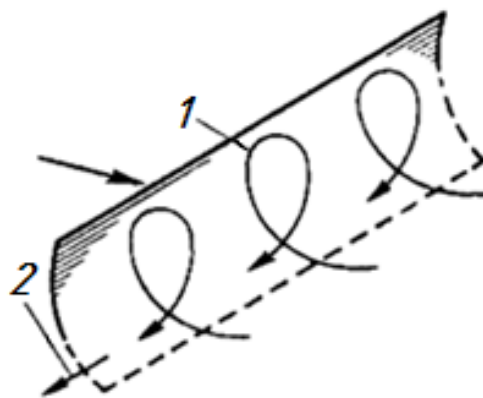
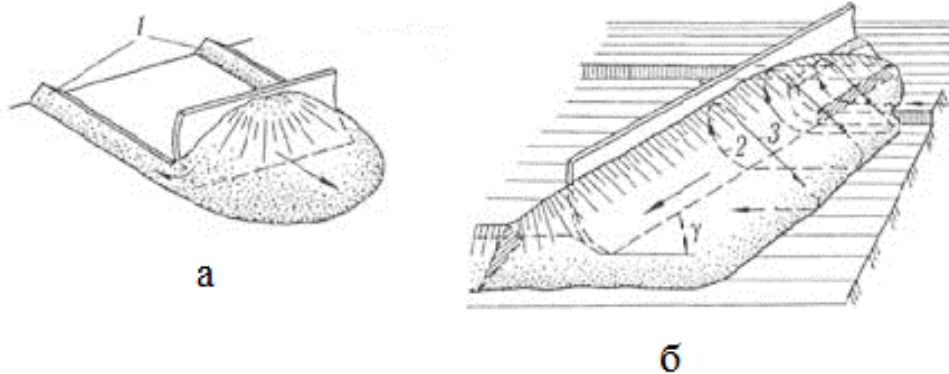


Рис. 1.7. Схема формування призми волочіння на поворотному у плані відвалі

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

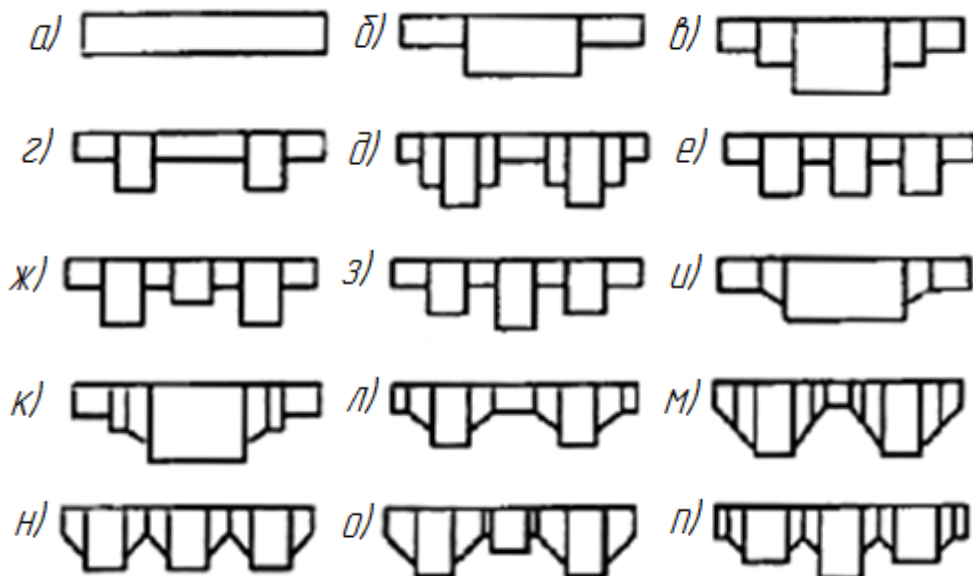


а – з відвалом, розміщеним під прямим кутом до напрямку руху (неповоротний відвал);
 б – похило розміщеним відвалом (поворотний відвал); 1 – бічні валики; 2 – висхідна вітка траєкторії часточок ґрунту; 3 – спадна вітка; λ – кут захоплення (чорною стрілкою показано напрямок руху машин, сірою – напрямком переміщення ґрунту);

Рис. 1.8. Схема роботи бульдозера

1.5 Різновиди ножових систем (НС) для неповоротних відвалів

Ефективність БО підвищується при використанні накопичувальних відкритків (некеровані та керовані), створенні відповідної форми відвалів у плані (сферична і напівсферична), застосуванні адаптованого відвала, що забезпечує зміну кутів різання, перекидання, кривизни, конфігурації ріжучого ножа (рис. 1.9) та ін.

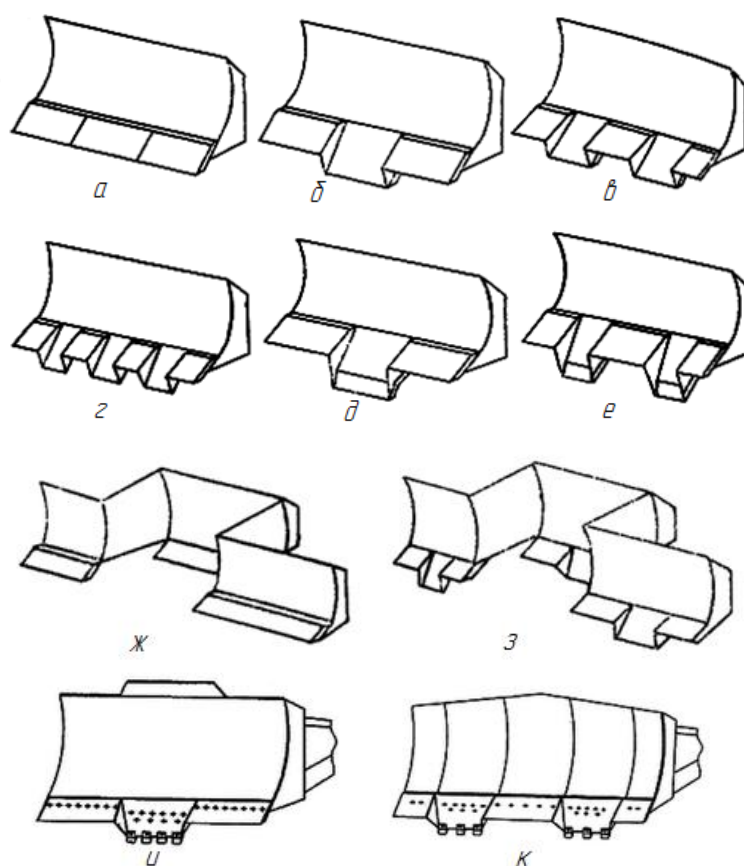


а – плоский ніж; б, в – з одним виступаючим ножом; г, д – з двома виступаючими ножами;
 е, ж, з – з трьома виступаючими ножами; и, к – з виступаючим ножом та бічними косинками;
 л, м – з двома виступаючими ножами та бічними косинками; н, о, п – з трьома виступаючими ножами та бічними косинками;

Рис. 1.9. Форми ножових систем

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Відомі різні дослідження і конструктивні рішення плоских НС: традиційного типу із розміщенням ріжучих країв ножів на одній лінії; з виступаючим середнім ножем; з виступаючими ножами і бічними косинками, а також просторових НС з розміщенням ножових пластин по прямокутному профілю, а також НС з ножовими пластинами трапецієподібної форми, [1]. Одним з резервів підвищення продуктивності бульдозерних відвалів є зміна їх геометричних параметрів і форми. В результаті пошуку та оптимізації конструкцій відвалів бульдозерів сформовані різні варіантні рішення (рис. 1.9), особливістю яких є використання виступаючого середнього ножа, [37, 38, 39]. У порівнянні з відвалом традиційної конструкції розроблені відвали забезпечені в середній частині відповідно одним, двома і трьома виступаючими ножами (рис. 1.10).



а – традиційне виконання; б – один виступаючий ніж; в – два виступаючих ножів;
 г – три виступаючих ножів; д, е – один, два і т. д. виступаючих ножів зі змінним кутом різання;
 ж – багатосекційний відвал; з – багатосекційний відвал з виступаючими ножами;
 и – один трапецієподібний виступаючий ніж; к – секційний відвал з двома трапецієподібними виступаючими ножами;

Рис. 1.10. Відвали бульдозерів підвищеної ефективності

Причому, кути різання виступаючих ріжучих ножів більше, ніж у основного ножа. Це забезпечує краще заглиблення їх у більш міцні ґрунти. При цьому досягається підвищення продуктивності бульдозерів при зниженні матеріаломісткості та енергоємності процесів.

Висновки по розділу. Огляд технічних рішень проводиться для того, щоб обґрунтувати доцільність і перспективу досліджень обумовлених на попередніх дослідженнях, тобто синтезувати РО, довести, що цей синтез являється гіпотезою: очікується зниження енергоємності копання ґрунту за рахунок поліпшення нагромадження і переміщення ґрунту по відвалу і зменшення втрат ґрунту в бокові валики.

					ДІПТ. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2 ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА СХЕМИ ПНС

2.1 Обґрунтування створення ПНС

З метою виявлення взаємного впливу параметрів робочого обладнання (РО) експериментальні дослідження мають проводитися на підставі теорії планування експериментів, а результати оброблятися методами теорії ймовірності та математичної статистики із застосуванням обчислювальної техніки.

Теоретичні і експериментальні дослідження процесу взаємодії робочих органів (РО) бульдозерів з ґрунтом повинні призвести до спільного результату – на зниження енергоємності копання ґрунту за рахунок поліпшення нагромадження і переміщення ґрунту по відвалу і зменшення втрат ґрунту в бокові валики.

Для підвищення ефективності і зниження енергоємності копання ґрунту неповоротним відвалом бульдозера запропонована принципово нова конструкція ПНС, яка ґрунтується на реалізації косоного різання і копання ґрунту ножами, попарно розміщеними в межах традиційної ножової системи неповоротного відвала бульдозера.

Від використання розроблених ПНС очікується зниження коефіцієнта питомого опору ґрунту копанню та підвищення продуктивності процесу копання різання для бульдозерів з неповоротним відвалом за рахунок використання косоного різання та зменшення втрат ґрунту у бічні валики.

ПНС має забезпечувати зниження енергоємності копання ґрунту бульдозерним відвалом, поліпшення нагромадження та переміщення ґрунту по відвалу і зменшення втрат ґрунту в бокові валики – за рахунок одночасності використання виключно косоного копання ґрунту, створення умов спрямування відділеної від масиву ґрунтової стружки всередину призми ґрунту перед відвалом, заміна блокованого копання ґрунту напіввільним чи вільним і утворення плоскої чи неплоскої поверхні ґрунту після проходження бульдозерного відвала.

Технічна задача, що вирішується ПНС, спрямована на зниження енергоємності копання ґрунту бульдозерним відвалом, поліпшення нагромадження

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

та переміщення ґрунту по відвалу і зменшення втрат ґрунту в бокові валики – вирішується шляхом використання виключно косоґо копання ґрунту, створення умов спрямування відділеної від масиву ґрунтової стружки всередину призми ґрунту перед відвалом, заміни блокованого копання ґрунту напіввільним чи вільним і утворення плоскої чи неплоскої поверхні ґрунту бульдозерним відвалом.

2.2 Запропонована ПНС бульдозера

В основі вдосконалення НС бульдозера є комбіноване застосування косоґо різання у межах ширини відвала. Важливе значення ПНС полягає в тому, що відвал бульдозера містить традиційний неповоротний відвал і ріжучі ножі. При цьому передбачається симетричне (відносно подовжньої вертикальної площини симетрії бульдозерного відвала) виконання НС з окремих складових частин, кожна з яких уявляє собою тригранну призму і може бути закріплена на відвалі як самостійно, так і в поєднанні з іншими. При цьому запропонована комбінована НС розміщена відносно відвала по висоті в межах максимальної глибини копання даного виду традиційної НС, [31, 32, 33].

Бульдозерний відвал з традиційною НС і з ПНС конструктивно відрізняються лише НС, закріпленою на базі неповоротного відвала. Отже конструкція базового елемента не потребує змін і цим забезпечується мінімізація витрат на модернізацію робочого органа бульдозера.

ПНС може бути виконана секційною і суцільною, в залежності від розмірів відвала. Особливістю її виконання є потрібна форма ножів та виконання пластин, що закривають підножові технологічні порожнини металоконструкцій.

Рекомендується перспективне виготовлення ПНС з окремих секцій, що попарно виконуватимуть косе зустрічне копання ґрунту.

Відвал бульдозера з ПНС (рис. 2.1) включає традиційний неповоротний відвал 1, ріжучі ножі 2 з ріжучими краями 3 та бічні косинки 4. Ріжучі ножі 2 виконані з окремих пластин і з'єднані між собою попарно і з відвалом 1 [34, 35, 36]. Ріжучі краї 3, відрізки яких позначені точками *A*, *B*, *C*, ножів 2, можуть знаходитися

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

в одній чи в різних площинах, розташовані симетрично відносно подовжньої вертикальної площини симетрії відвала 1 під заданим кутом між собою у фронтальній і вертикальній проекції, можуть бути прямолінійними чи криволінійними, кількість пар може бути задана, а кут нахилу пластин ножів 2 до горизонталі задається розміщенням ножевої системи в межах глибини копання традиційного ножа, або дорівнює його раціональному значенню для бульдозерів.

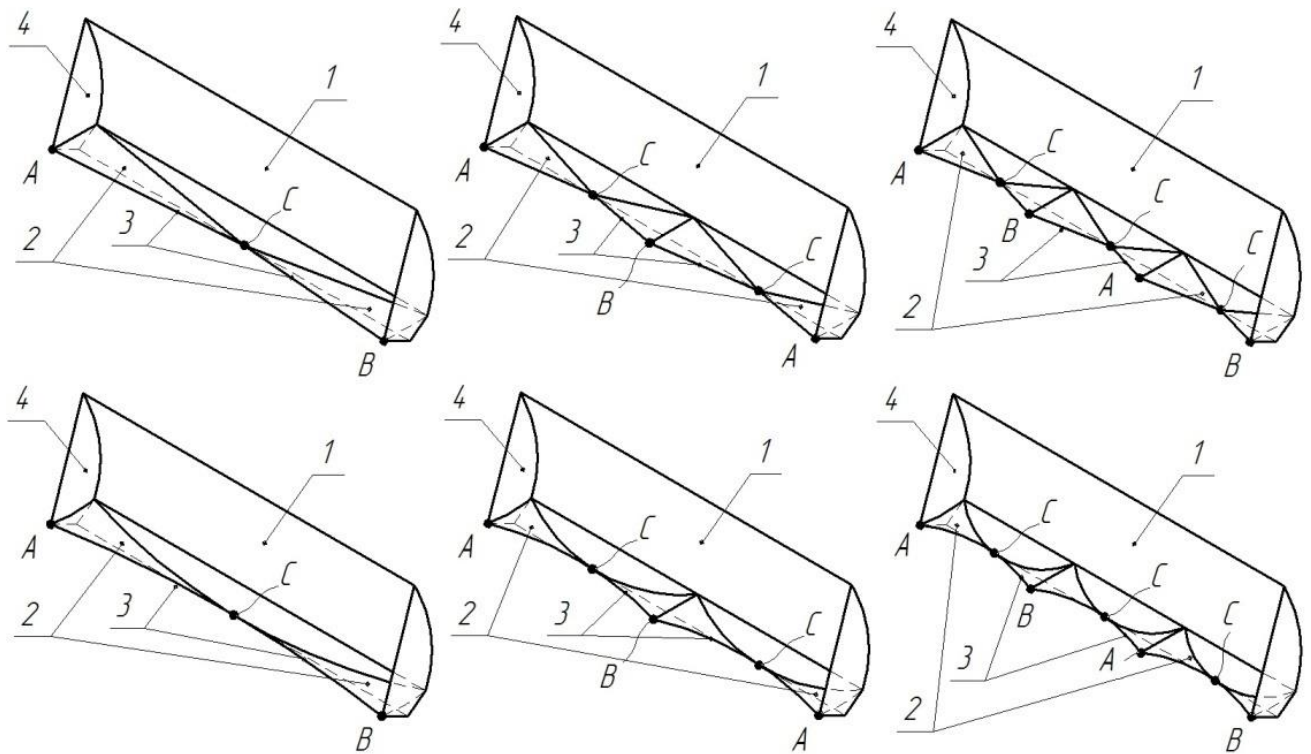


Рис. 2.1. Відвали бульдозера з ПНС

2.3 Конструктивний аналіз ПНС бульдозера

Конструктивно ПНС можна розмістити з боку лобової площини відвала бульдозера, що характеризується висотою відвала H_B , не враховуючи висоту козирка H_K (рис. 2.2).

При цьому розміщення ПНС з боку лобової площини відвала бульдозера характеризується розмірами H_1, H_2, H_3 .

Розміри H_1 і H_2 характеризують пропорційний розподіл загальної товщини стружки $H_{кон}$, вирізаної виступаючими точками A і B вперед на величину L і вище

						ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			20

на величину H_2 точки C ріжучого краю ПНС. Розмір H_3 характеризує розміщення точок A і B попереду і нижче точки C .

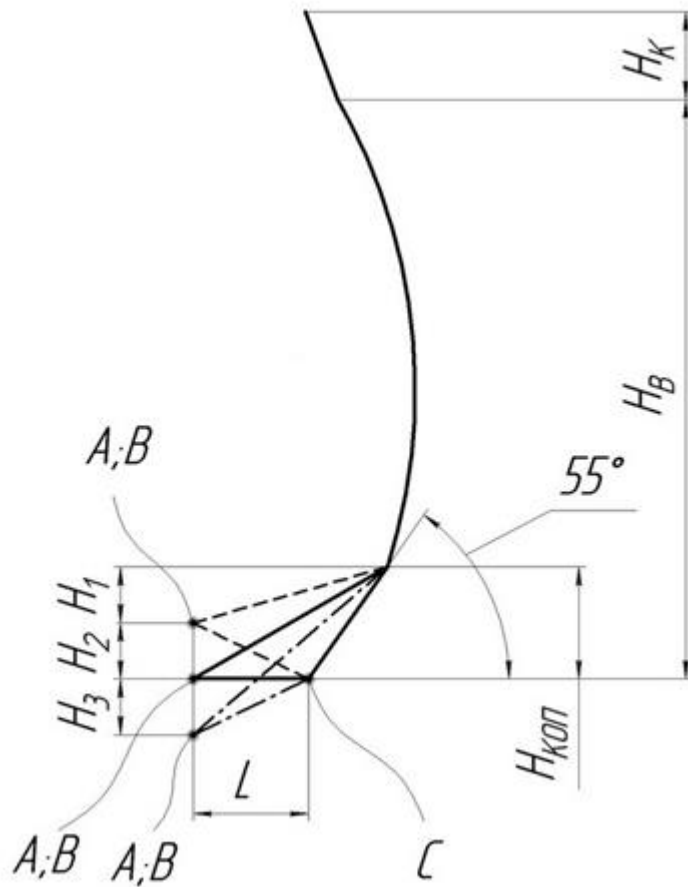


Рис. 2.2. Конструктивна схема відвала з ПНС

Відвал бульдозера з ПНС, що включає традиційний неповоротний відвал і ріжучі ножі, відрізняється тим, що ріжучі ножі виконані з окремих пластин і з'єднані між собою попарно і з відвалом так, що ріжучі краї можуть знаходитися в одній чи в різних площинах, розташовані симетрично відносно подовжньої вертикальної площини симетрії відвала під заданим кутом між собою у фронтальній і вертикальній проекції, можуть бути прямими, ламаними чи криволінійними, кількість пар може бути задана, а кут нахилу пластин ножів до горизонталі задається розміщенням ножевої системи в межах максимальної глибини копання традиційного ножа, або дорівнює його раціональному значенню для бульдозерів.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

2.4 Сутність процесу різання і копання ґрунту відвалом з ПНС

При необхідності копання ґрунту з утворенням плоскої поверхні після проходу відвала бульдозера (рис. 2.5, а) можна застосовувати його комплектацію ПНС по рис. 2.1, та рис. 2.3. Тобто, точки A , B , C , що характеризують ріжучий край, розміщені в одній горизонтальній площині, [33].

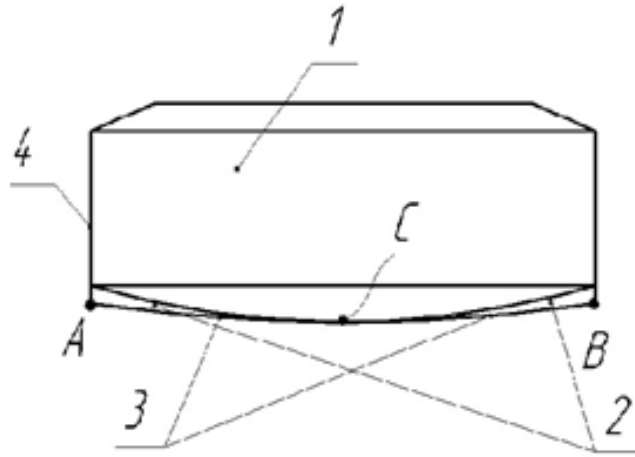


Рис. 2.3. Відвал з ПНС (вид спереду)

При необхідності копання ґрунту з утворенням профільної поверхні після проходу відвала бульдозера (рис. 2.5, б) можна застосовувати його комплектацію ПНС по рис. 2.4. Залежно від типу ліній ріжучого краю ПНС відвала бульдозера розділені на ті, в яких він являє собою ламану лінію, що складається з прямолінійних ділянок, та з криволінійним ріжучим краєм у вигляді дуг кола певного радіуса. У даному випадку тип лінії ріжучого краю впливатиме на енергоємність процесу копання ґрунту. Очікується відносно менша енергоємність копання ґрунту ОНС з криволінійним ріжучим краєм.

При цьому, подовжня відстань L між точками A , B і точкою C згідно (рис. 2.2) вибирається за умови заміни блокованого копання напіввільним чи вільним.

При необхідності створити профільну поверхню ґрунту після проходу відвала бульдозера з ПНС, в якій точки A , B і C розміщені в одній горизонтальній площині, нахилом відвала вперед чи назад можна створити їх вертикальне зміщення, відповідно H_3 і H_2 . Аналогічно вказаному, при необхідності створити плоску поверхню ґрунту після проходу відвала бульдозера з ПНС, в якій точки A ,

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

B і C мають вертикальне зміщення H_2 і H_3 , нахилом відвала відповідно вперед чи назад можна їх розмістити в одній площині. Також регулюванням кута нахилу відвала вперед чи назад, тобто зміною кута копання можна регулювати висоту профілю ґрунту після проходу відвала бульдозера.

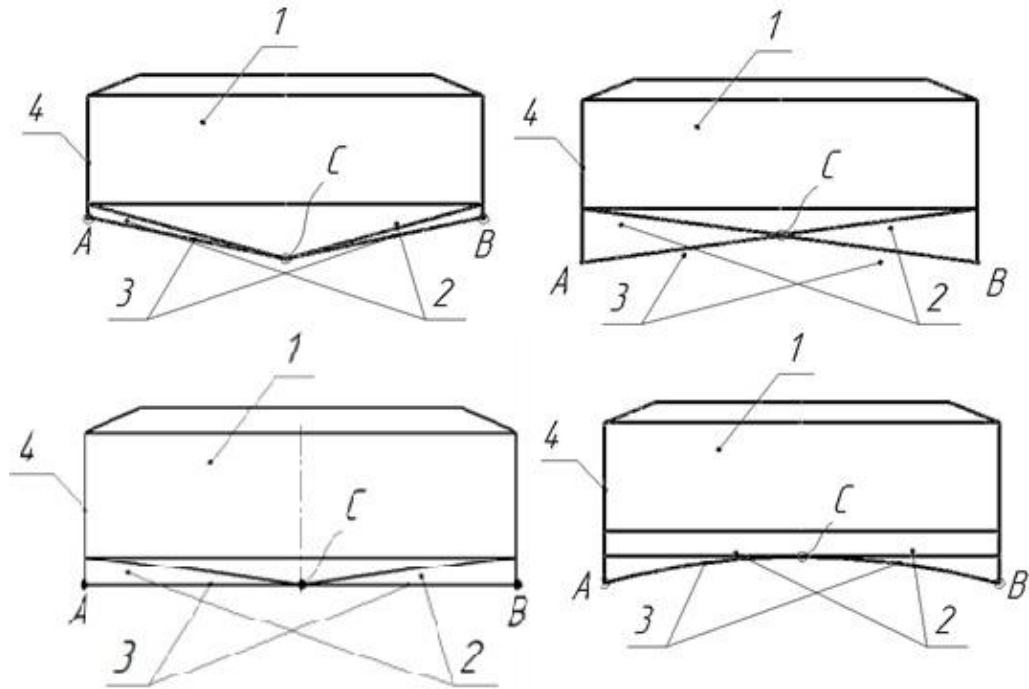
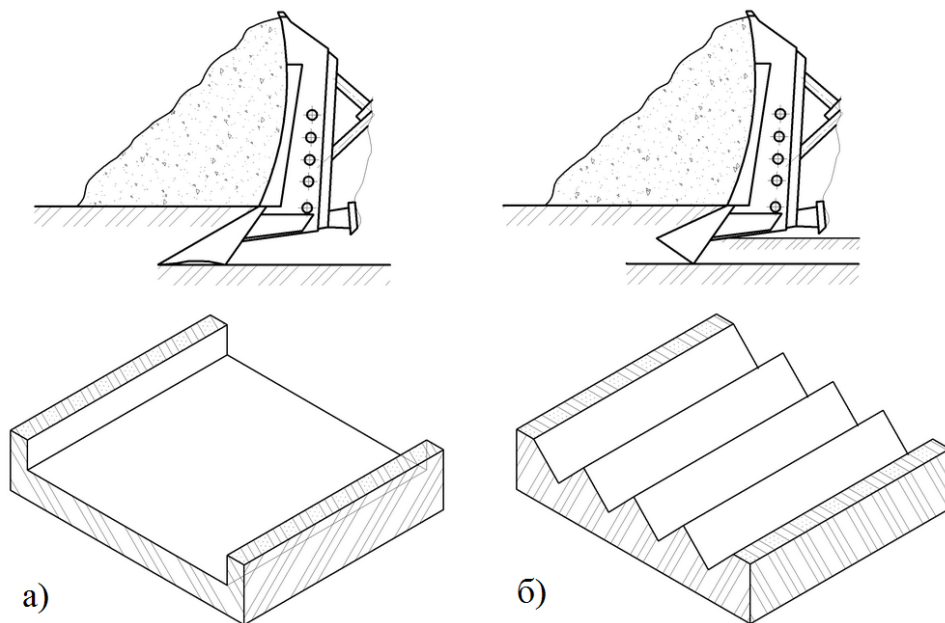


Рис. 2.4. Відвали з ПНС (вид спереду)



а)

б)

а – плоский; б – рельєфний;

Рис. 2.5. Профілі ґрунту після проходу бульдозерним відвалом з ПНС

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Висновки по розділу. Оцінюючи вищезгадані пропозиції можна сказати, що бульдозери з неповоротним відвалом, в яких застосовуються розглянуті ножові системи, матимуть значну перевагу порівняно з традиційними машинами, в яких різання ґрунтів виконується плоским ножем. ПНС має забезпечувати зниження енергоємності копання ґрунту бульдозерним відвалом, поліпшення нагромадження та переміщення ґрунту по відвалу і зменшення втрат ґрунту в бокові валики – за рахунок одночасності використання виключно косоного копання ґрунту, створення умов спрямування відділеної від масиву ґрунтової стружки всередину призми ґрунту перед відвалом, заміна блокованого копання ґрунту напіввільним чи вільним і утворення суцільної чи профільної поверхні ґрунту після проходження бульдозерного відвала.

Запропонована конструкція ПНС запатентована, [37].

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОПАННЯ ГРУНТУ БУЛЬДОЗЕРНИМ ВІДВАЛОМ З ПНС

3.1 Обґрунтування розробки математичної моделі

З наукової точки зору створення математичних моделей взаємодії бульдозерних неповоротних відвалів з ПНС з ґрунтом може доповнити теоретичну базу щодо розрахунку і оцінки даного процесу.

Можливість руху бульдозера формулюється так: динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням $T_{зчД}$ повинна бути не меншою за силу тяги бульдозера за двигуном T_N , яка, в свою чергу, повинна бути не меншою за сумарний опір руху машини $\sum_{i=1}^n P_i$ у навантаженому робочому стані, [16, 24]. Умова руху описується нерівністю:

$$T_{зчД} \geq T_N \geq \sum_{i=1}^n P_i. \quad (3.1)$$

Динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зчД} = T_{зч} k_{\delta}, \text{ Н}, \quad (3.2)$$

де $T_{зч}$ – статична сила тяги бульдозера за зчепленням, Н;

k_{δ} – коефіцієнт динамічності процесу копання (рекомендується в межах 2...4).

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \varphi_{зч}, \text{ Н}, \quad (3.3)$$

де $G_{зч}$ – зчїпна вага бульдозера, що припадає на опорно-ходове обладнання, Н; $\varphi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення опорно-ходового обладнання бульдозера з ґрунтом (рекомендується для гусеничного ходового обладнання в межах 0,8...0,9).

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

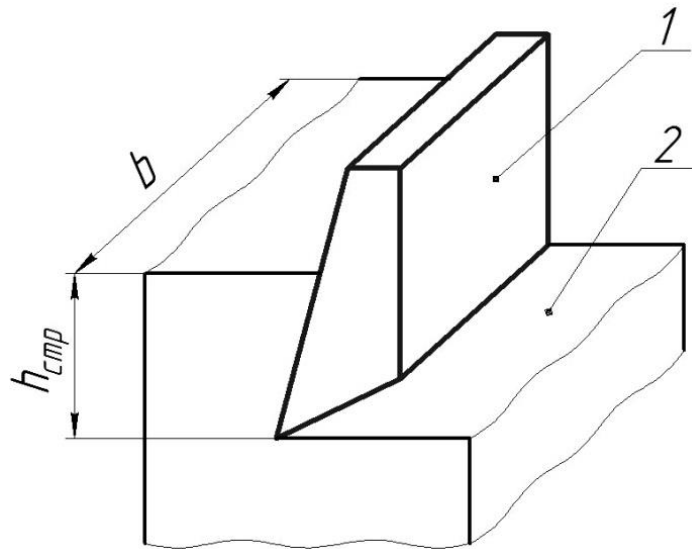
відвалу і ножової системи по ґрунту; $P_{зат}$ – опір від площадки затуплення в зоні ріжучого краю ножа, Н.

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{01} = k_{nut} A_{cnp}, \text{ Н}, \quad (3.7)$$

де k_{nut} – питомий коефіцієнт опору ґрунту різанню, Па; A_{cnp} – площа поперечного перерізу вирізаної стружки, м².

Площа поперечного перерізу вирізаної стружки визначається в залежності від схеми ножової системи, її розташування у ґрунті та з врахуванням глибини копання. Для традиційної ножової системи з прямокутним зіставним ножом всю площу поперечного перерізу вирізаної стружки можна представити у вигляді прямокутника, [27].



1 – ніж відвала; 2 – зрізана поверхня ґрунту;

Рис. 3.2. Схема поперечного перерізу вирізаної стружки

Користуючись умовними позначеннями рис. 3.2, визначимо площу поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{cnp} = bh_{cnp}, \text{ м}^2, \quad (3.8)$$

де b і h_{cnp} – відповідно ширина ножа і товщина стружки, мм.

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву:

$$P_{02} = (0,1...0,2)P_{01} = [\sigma_{3M}] A_{3M}, \text{ Н}, \quad (3.9)$$

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

де $[\sigma_{3M}]$ – межа міцності ґрунту на зминання, Па; A_{3M} – площа проекції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину, м².

Так як нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву непаралельна дотичній складовій, виключаємо її з розрахунку.

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$P_{\text{ТТР}} = \mu_1 G_{\text{Г}} \cos \alpha_{\text{НЗ}}, \text{ Н}, \quad (3.10)$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту (рекомендується для піску, гравію, рослинного шару – 0,7...0,75; для сухої глини – 0,9...1,0); $G_{\text{Г}}$ – вага призми волочіння ґрунту, Н; $\alpha_{\text{НЗ}}$ – кут нахилу забою до горизонту, град.

Вага призми волочіння ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{\text{Г}} = V_{\text{ПР}} \gamma_{\text{ГР}} g, \text{ Н}, \quad (3.11)$$

де $\gamma_{\text{ГР}}$ – об’ємна щільність ґрунту, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; $V_{\text{ПР}}$ – об’єм призми волочіння ґрунту.

$$V_{\text{ПР}} = bH^2 / 2k, \text{ м}^3; \quad (3.12)$$

де b і H – відповідно, ширина ножа і висота відвала, м; k – коефіцієнт, що залежить від співвідношення H/b (див. табл. 3.1).

Таблиця 3.1

H/b	K	
	Для незв’язних ґрунтів	Для зв’язних ґрунтів
0,15	1,10	0,70
0,30	1,15	0,80
0,35	1,20	0,85
0,40	1,30	0,90
0,45	1,50	0,95

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$P_{\text{ТТВ}} = \mu_2 (G_{\text{ГН}} + F_{\text{ТН}}), \text{ Н}, \quad (3.13)$$

де μ_2 – коефіцієнт тертя ґрунту по сталі (рекомендується для піску, гравію, рослинного шару – 0,4...0,5; для сухої глини – 0,3...0,4); $G_{\text{ГН}}$ – нормальна до

площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочіння ґрунту, Н;
 F_{TH} – нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя
 призми волочіння по поверхні ґрунту, Н.

$$G_{TH} = G_{\Gamma} \cos(\alpha_H - \alpha), \text{ Н}, \quad (3.14)$$

$$F_{TH} = P_{THP} \sin \alpha_H, \text{ Н}. \quad (3.15)$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$P_{THP} = \mu_{GM} P_{02}, \text{ Н}. \quad (3.16)$$

Опір від площадки затуплення в зоні ріжучого краю ножа:

$$P_{3AT} = [\sigma_{3M}] A_{3AT} = [\sigma_{3M}] ba, \text{ Н}, \quad (3.17)$$

де A_{3AT} – площа площадки затуплення ножа, м²; a – довжина площадки затуплення ножа, м.

Опір руху трактора:

$$P_T = P_{KOC} + P_B, \text{ Н}, \quad (3.18)$$

де P_{KOC} , P_B – відповідно опори коченню ходового обладнання трактора і від вітрового навантаження, Н.

$$P_{KOC} = G_M (f \pm i), \text{ Н}, \quad (3.19)$$

$$P_B = p_B A_B = p_B H_M B_M = p_B H_M (0,6 \dots 0,7) B, \text{ Н}, \quad (3.20)$$

де f – коефіцієнт опору коченню (рекомендований в межах 0,1...0,3); i – ухил місцевості, виражений в долях і залежний від кута α_{yx} ; p_B – питомий тиск вітру, Па; A_B – підвітряна площа бульдозера, м², H_M , B_M , B – відповідно висота, ширина і ширина колії машини.

3.2 Визначення дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву

У результаті проведеного аналізу параметрів опорів руху машини від бульдозерного обладнання при його роботі можливо виконати теоретичний розрахунок дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву P_{01} для

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

запропонованої ПНС. При цьому враховуючи, що ріжучі краї ножів можуть знаходитися в одній чи в різних площинах.

Отримаємо формулу для визначення дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву для ПНС:

$$P_{01} = k_{\text{пит}} \cdot b_1 \cdot h_{\text{стр}}, \text{ Н}, \quad (3.21)$$

де b_1 – довжина ріжучої частини ножів, залежна від кількості пар ножів $n_{\text{пар}}$.

Питомий коефіцієнт опору ґрунту різанню $k_{\text{пит}} = 0,1$ МПа.

Товщину стружки для розрахунку приймаємо $h_{\text{стр}} = 10; 15; 20; 25; 30$ мм.

В першому випадку проведемо розрахунок для положення ПНС в горизонтальній площині, тобто при зміні подовжньої відстані між точками А-В-С (табл. 4.1). Розрахунки зведені до табл. 3.2.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 3.2

К-ть пар ножів	x_1 , мм	b_1 , мм	$h_{стр}$, мм	P_{01} , Н	К-ть пар ножів	x_1 , мм	b_1 , мм	$h_{стр}$, мм	P_{01} , Н	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	30	458	10	458	4	60	576	25	1365	
			15	687				30	1638	
			20	916				10	576	
			25	1145				15	864	
			30	1374				20	1152	
	40	460	10	460				25	1440	
			15	690				30	1728	
			20	920				10	618	
			25	1150				15	927	
	50	464	30	1380				20	1236	
			10	464		25	1545			
			15	696		30	1854			
	60	470	20	928		30	512	10	512	
			25	1160				15	768	
			30	1392				20	1024	
			10	470				25	1280	
	70	476	15	705				30	1536	
			20	940				10	552	
			25	1175				15	828	
	40	476	30	1410				20	1104	
			10	476				25	1380	
			15	714				30	1656	
			20	952		10	608			
	50	476	25	1190		15	912			
			30	1428		20	1216			
			10	468		25	1520			
	2	30	468	15		702	60	664	30	1824
				20		936			10	664
				25		1170			15	996
				30		1404			20	1328
		40	480	10		480			25	1660
				15		720			30	1992
				20		960			10	720
				25		1200			15	1080
		30	1440	20		1140			70	720

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	50	496	10	496	5	30	540	25	1800
			15	744				30	2160
			20	992				10	540
			25	1240				15	810
			30	1488				20	1080
			10	512				25	1350
	60	512	15	768				30	1620
			20	1024				10	610
			25	1280				15	915
			30	1536				20	1220
			10	532				25	1525
			15	798				30	1830
	70	532	20	1064				10	680
			25	1330				15	1020
			30	1596				20	1360
			10	486				25	1700
			15	729				30	2040
			20	972				10	750
	30	486	25	1215				15	1125
			30	1458				20	1500
			10	516				25	1875
			15	774				30	2250
			20	1032				10	830
			25	1290				15	1245
40	516	30	1548	20	1660				
		10	546	25	2075				
		15	819	30	2490				
		20	1092						

За розрахованими параметрами побудовані графіки залежності (рис.3.3 – 3.7) дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву.

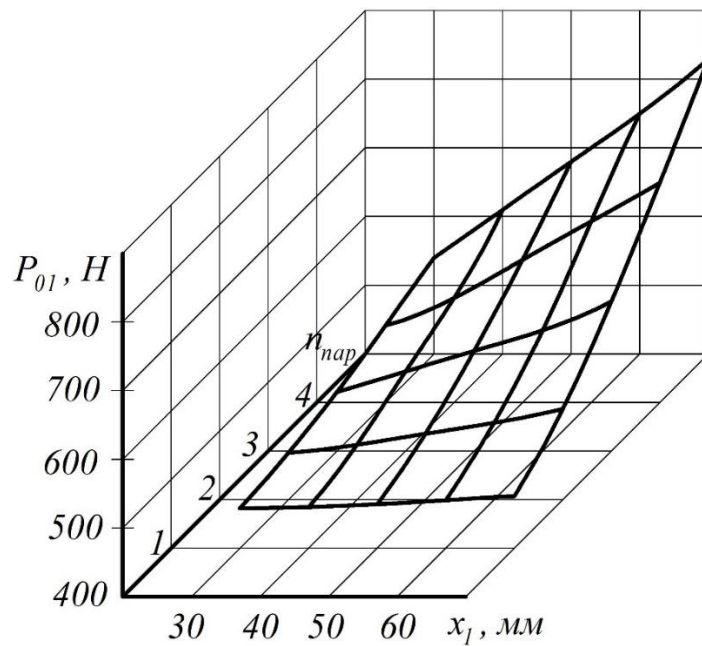


Рис. 3.3. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від кількості пар ножів і подовжньої відстані між краями їх лез при $h_{стр} = 10$ мм

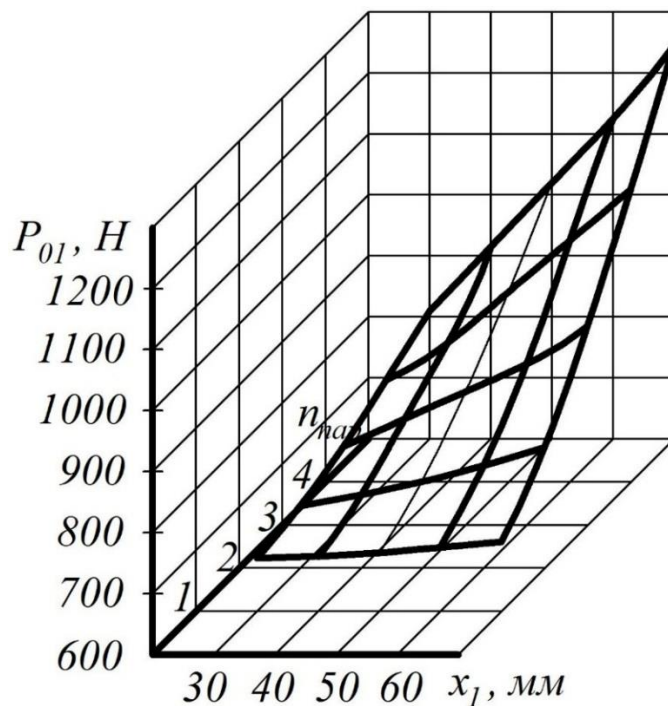


Рис. 3.4. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від кількості пар ножів і подовжньої відстані між краями їх лез при $h_{стр} = 15$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

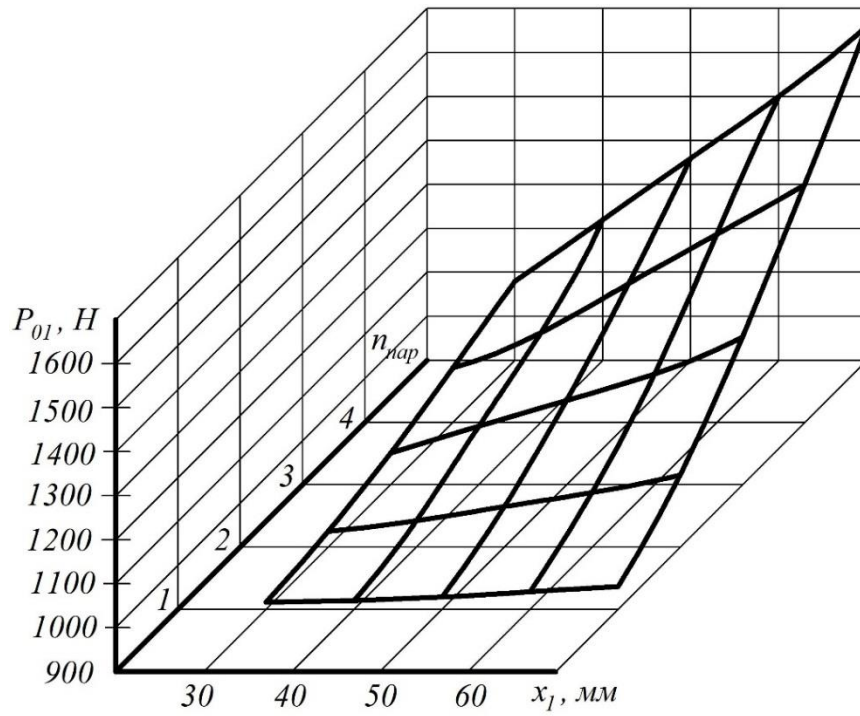


Рис. 3.5. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від кількості пар ножів і подовжньої відстані між краями їх лез при $h_{\text{стр}} = 20$ мм

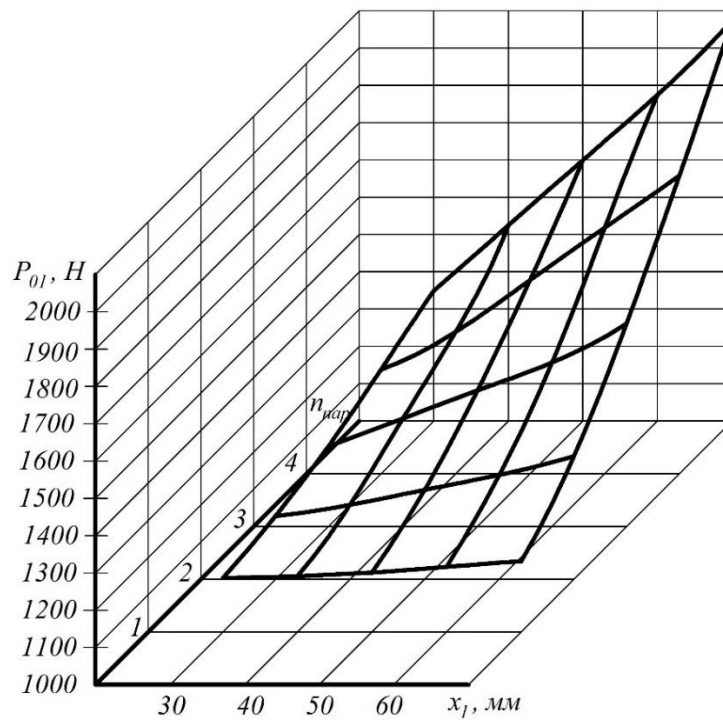


Рис. 3.6. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від кількості пар ножів і подовжньої відстані між краями їх лез при $h_{\text{стр}} = 25$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

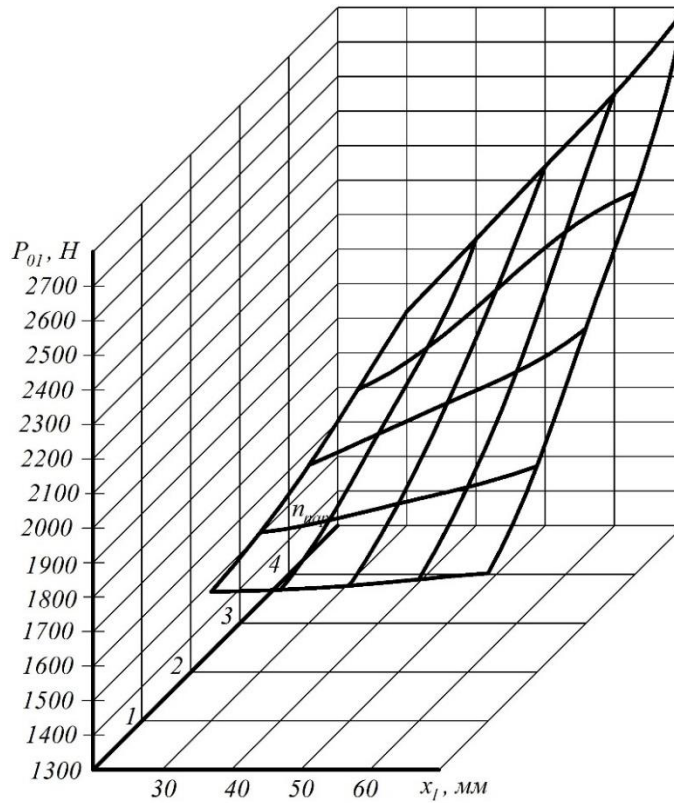


Рис. 3.7. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від кількості пар ножів і подовжньої відстані між краями їх лез при $h_{\text{стр}} = 30$ мм

Для другого випадку проведемо розрахунок для положення ПНС вище або нижче горизонталі, тобто при зміні подовжньої відстані між точками А-В-С значення x_1 (табл. 4.1) та вертикальної відстані між точками А-В-С значення x_2 (табл. 4.1). Розрахунки зведені до табл. 3.3.

Таблиця 3.3

К-ть пар ножів	x_1 , мм	b_1 , мм	x_2 , мм	$h_{стр}, мм$				
				10	15	20	25	30
				P_{01}, H				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	30	227	5	454	681	908	1135	1362
		225	10	450	675	900	1125	1350
		223	15	446	669	892	1115	1338
		222	20	444	666	888	1110	1332
		220	25	440	660	880	1100	1320
	40	229	5	458	687	916	1145	1374
		227	10	454	681	908	1135	1362
		226	15	452	678	904	1130	1356
		224	20	448	672	896	1120	1344
		223	25	446	669	892	1115	1338
	50	231	5	462	693	924	1155	1386
		230	10	460	690	920	1150	1380
		228	15	456	684	912	1140	1368
		227	20	454	681	908	1135	1362
		226	25	452	678	904	1130	1356
	60	234	5	468	702	936	1170	1404
		232	10	464	696	928	1160	1392
		231	15	462	693	924	1155	1386
		230	20	460	690	920	1150	1380
		229	25	458	687	916	1145	1374
70	237	5	474	711	948	1185	1422	
	236	10	472	708	944	1180	1416	
	235	15	470	705	940	1175	1410	
	234	20	468	702	936	1170	1404	
	233	25	466	699	932	1165	1398	
2	30	116	5	464	696	928	1160	1392
		115	10	460	690	920	1150	1380
		114	15	456	684	912	1140	1368
		114	20	456	684	912	1140	1368
		113	25	452	678	904	1130	1356
	40	120	5	480	720	960	1200	1440
		119	10	476	714	952	1190	1428
		118	15	472	708	944	1180	1416
		118	20	472	708	944	1180	1416
		117	25	468	702	936	1170	1404

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	50	125	5	494	742	988	1236	1483	
		124	10	492	738	984	1230	1476	
		123	15	493	740	986	1233	1480	
		123	20	494	741	988	1235	1482	
		124	25	496	743	991	1239	1487	
	60	127	5	512	768	1024	1280	1536	
		128	10	514	771	1027	1284	1540	
		129	15	516	774	1032	1290	1548	
		130	20	519	778	1038	1297	1556	
		131	25	522	783	1044	1305	1566	
	70	133	5	534	802	1068	1336	1603	
		134	10	536	804	1072	1340	1608	
		135	15	538	808	1077	1346	1615	
		136	20	541	812	1083	1354	1625	
		137	25	546	818	1091	1364	1637	
	3	30	81	5	485	727	970	1212	1454
			80	10	483	725	966	1208	1449
			80	15	484	725	967	1209	1451
			81	20	485	727	970	1212	1454
			82	25	490	734	979	1224	1469
40		84	5	513	770	1026	1283	1539	
		85	10	515	772	1030	1287	1544	
		86	15	518	777	1036	1295	1553	
		87	20	523	784	1045	1307	1568	
		88	25	530	795	1060	1325	1589	
50		91	5	547	820	1093	1367	1640	
		92	10	551	826	1102	1377	1652	
		93	15	557	835	1114	1392	1670	
		94	20	564	846	1128	1410	1692	
		96	25	573	860	1146	1433	1719	
60		97	5	583	874	1165	1457	1748	
		99	10	591	887	1182	1478	1773	
		100	15	598	896	1195	1494	1793	
		101	20	607	910	1213	1517	1820	
		103	25	619	929	1238	1548	1858	

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	70	104	5	626	939	1252	1565	1877
		106	10	634	951	1268	1586	1903
		107	15	644	967	1289	1611	1933
		109	20	656	984	1312	1640	1967
		111	25	668	1002	1336	1670	2003
4	30	63	5	514	770	1027	1284	1541
		64	10	517	775	1034	1292	1550
		65	15	523	785	1046	1308	1570
		67	20	532	798	1064	1330	1596
		68	25	544	816	1088	1360	1632
	40	70	5	560	840	1120	1400	1680
		71	10	568	852	1136	1420	1704
		72	15	578	868	1156	1446	1735
		74	20	591	887	1182	1478	1774
		76	25	607	911	1214	1518	1822
	50	77	5	614	922	1229	1536	1843
		78	10	626	938	1251	1564	1877
		80	15	639	959	1278	1598	1918
		82	20	656	984	1312	1640	1968
		84	25	674	1010	1347	1684	2021
	60	84	5	672	1008	1344	1680	2016
		86	10	688	1032	1376	1720	2064
		88	15	704	1056	1408	1760	2112
		90	20	723	1085	1446	1808	2107
		93	25	744	1116	1488	1860	2232
	70	92	5	784	1176	1568	1960	2352
		94	10	752	1128	1504	1880	2256
		97	15	772	1158	1544	1930	2316
		99	20	792	1188	1584	1980	2376
		102	25	816	1224	1632	2040	2448
5	30	55	5	550	825	1100	1375	1650
		56	10	560	840	1120	1400	1680
		57	15	570	855	1140	1425	1710
		59	20	590	885	1180	1475	1770
		61	25	612	918	1224	1530	1836

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	40	62	5	617	926	1234	1543	1851
		63	10	632	948	1264	1580	1896
		65	15	650	975	1300	1625	1950
		67	20	670	1005	1340	1675	2010
		70	25	699	1049	1398	1748	2097
	50	69	5	690	1035	1380	1725	2070
		71	10	712	1068	1424	1780	2136
		73	15	735	1103	1470	1838	2205
		76	20	760	1140	1520	1900	2280
		78	25	788	1182	1576	1970	2364
	60	77	5	773	1160	1546	1933	2319
		80	10	796	1194	1592	1990	2388
		82	15	822	1233	1644	2055	2466
		85	20	850	1275	1700	2125	2550
		88	25	880	1320	1760	2200	2640
	70	86	5	858	1287	1716	2145	2574
		88	10	884	1326	1768	2210	2652
		91	15	912	1368	1824	2280	2736
		94	20	942	1413	1884	2355	2826
		97	25	974	1461	1948	2435	2922

За розрахованими параметрами побудовані графіки залежності (3.8 – 3.32) дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

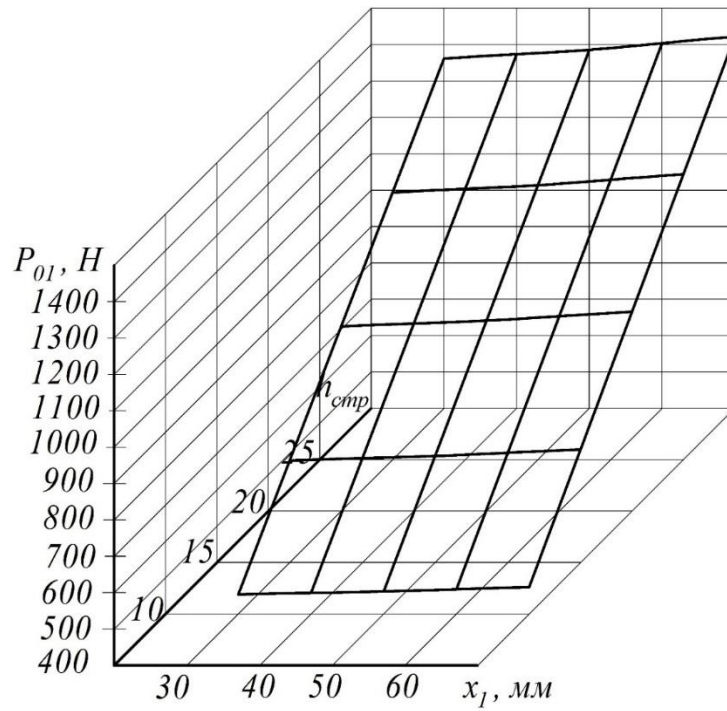


Рис. 3.8. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 1$, $x_2 = 5$ мм

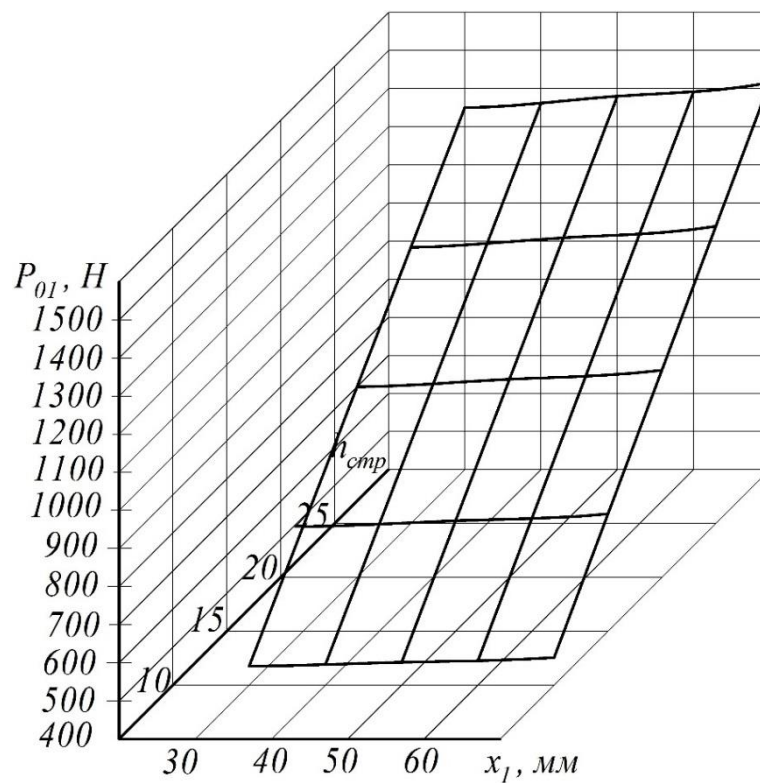


Рис. 3.9. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 1$, $x_2 = 10$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

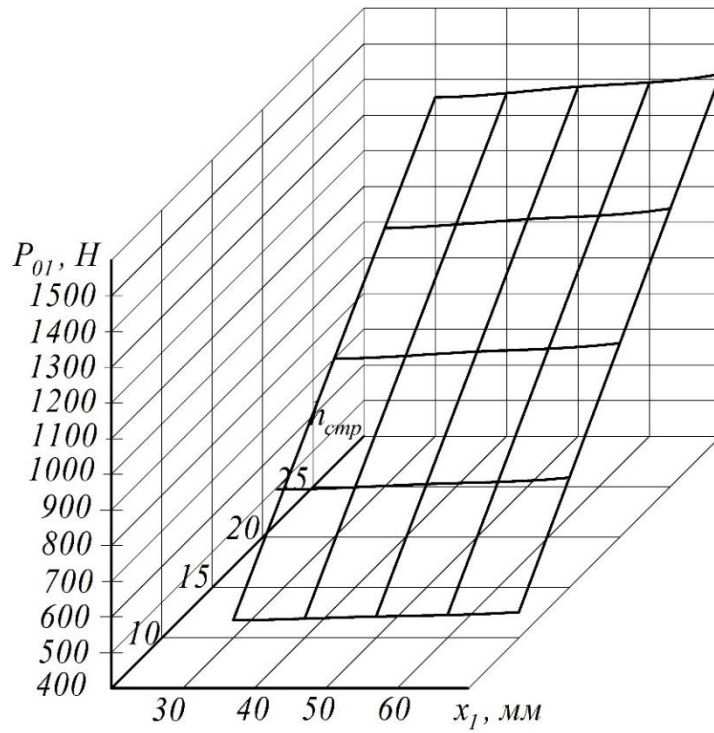


Рис. 3.10. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 1$, $x_2 = 15$ мм

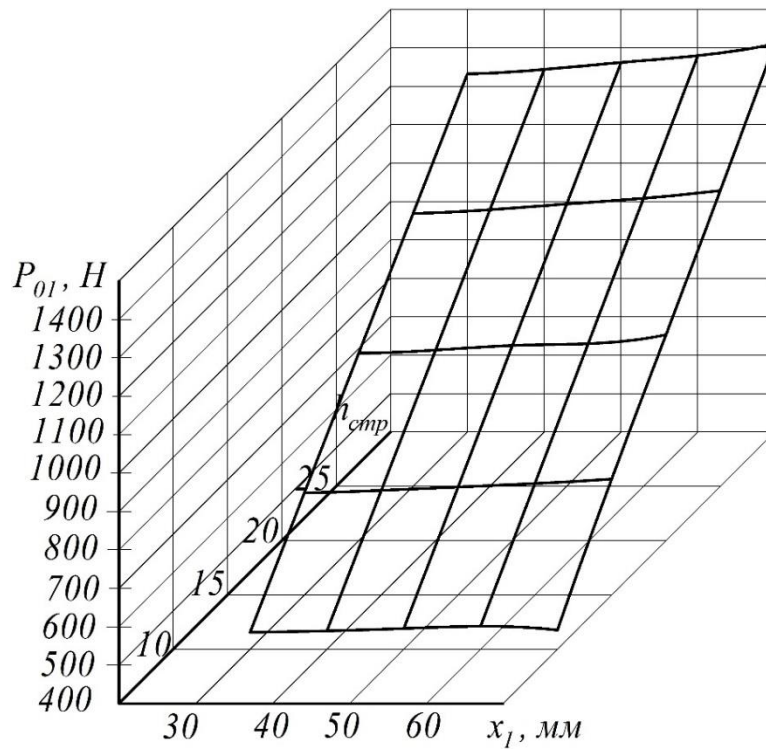


Рис. 3.11. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 1$, $x_2 = 20$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

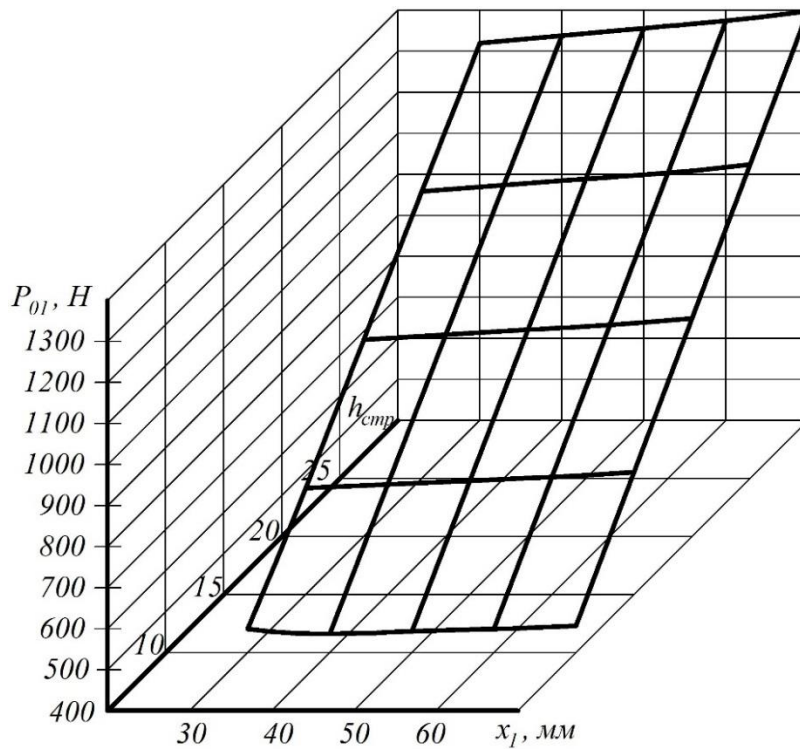


Рис. 3.12. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 1$, $x_2 = 25$ мм

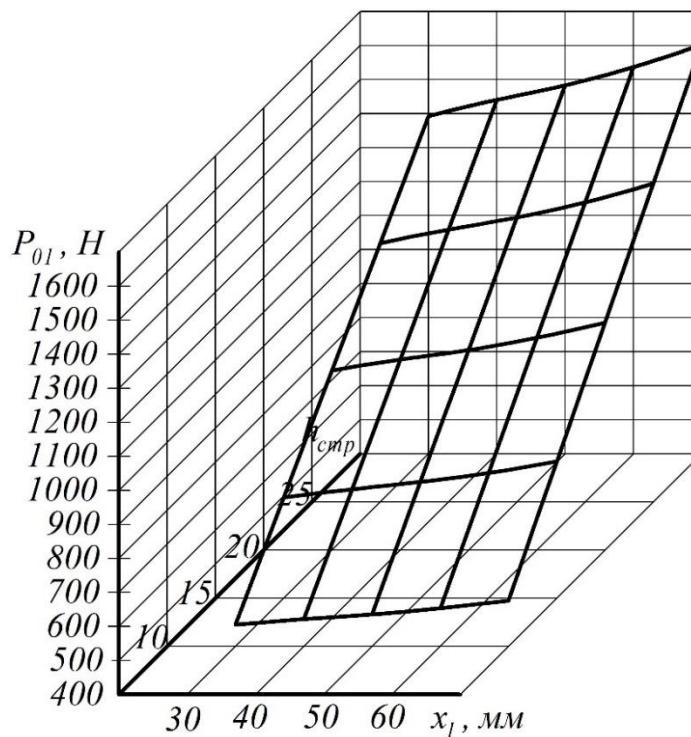


Рис. 3.13. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 2$, $x_2 = 5$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

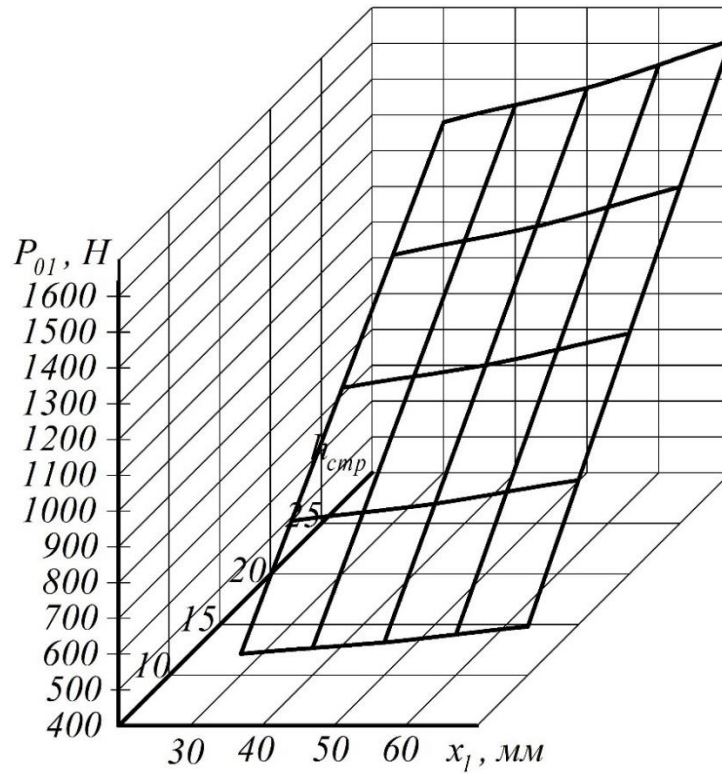


Рис. 3.14. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 2$, $x_2 = 10$ мм

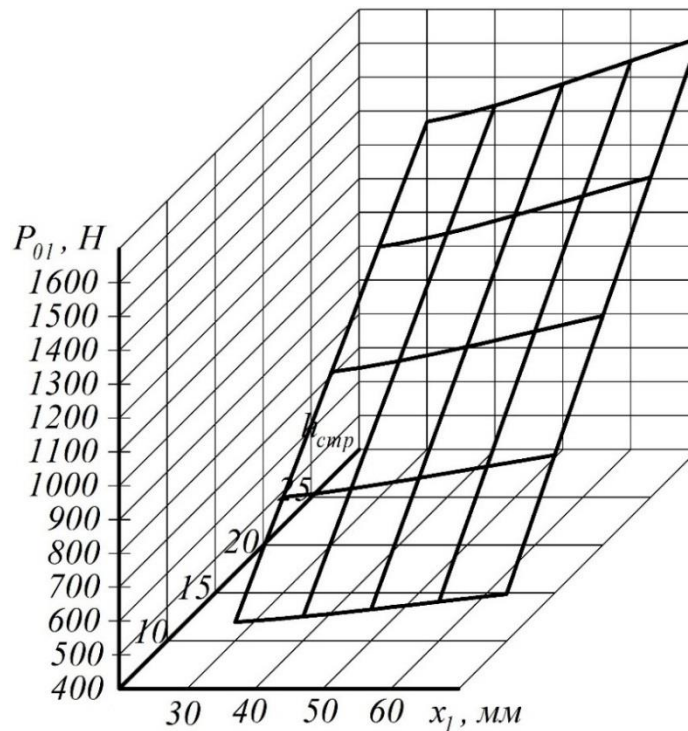


Рис. 3.15. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 2$, $x_2 = 15$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

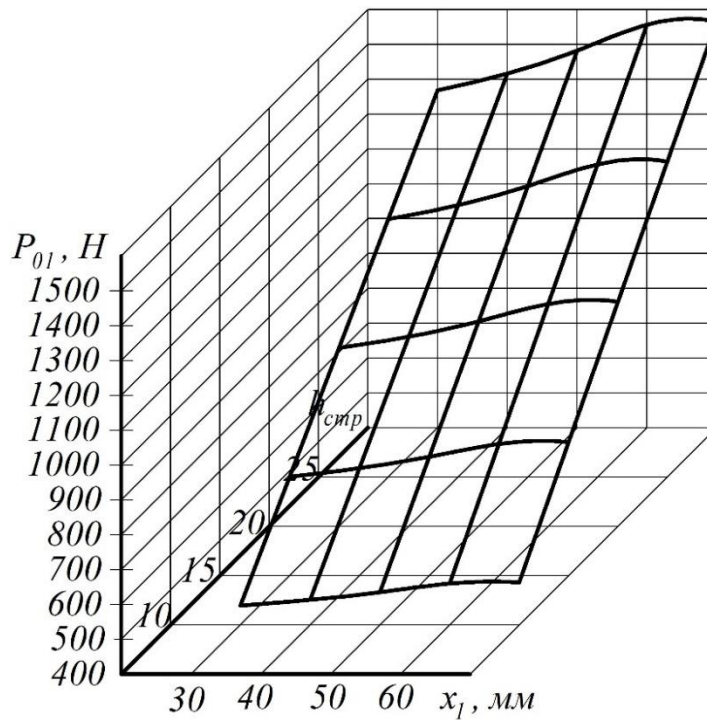


Рис. 3.16. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 2$, $x_2 = 20$ мм

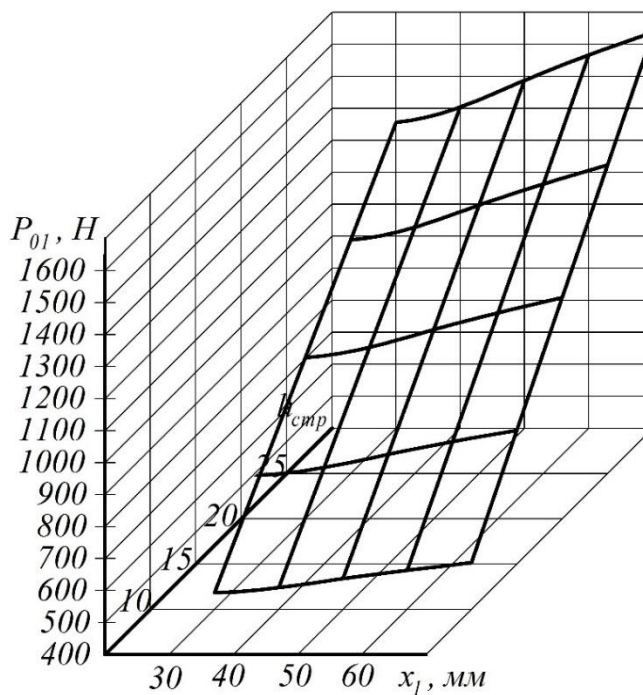


Рис. 3.17. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 2$, $x_2 = 25$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

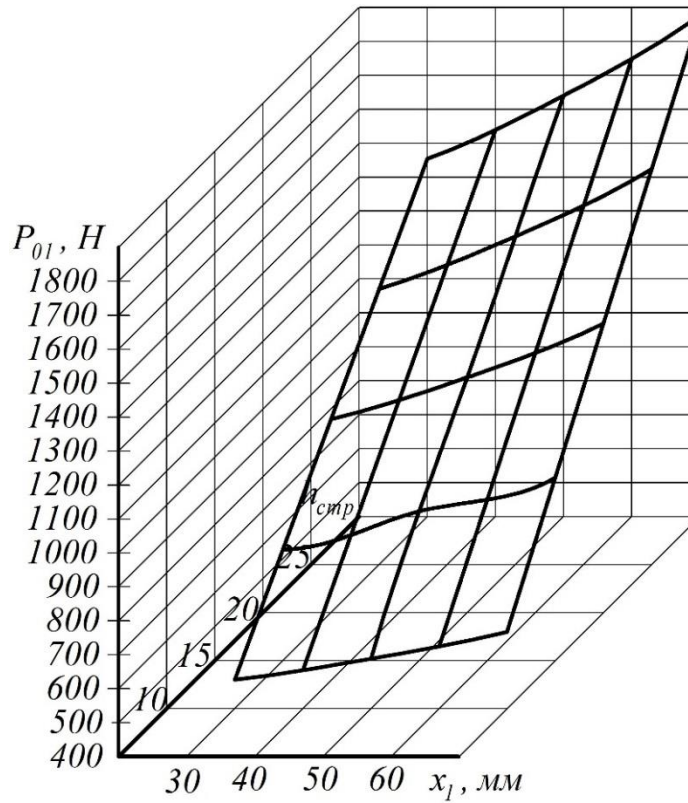


Рис. 3.18. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 3$, $x_2 = 5$ мм

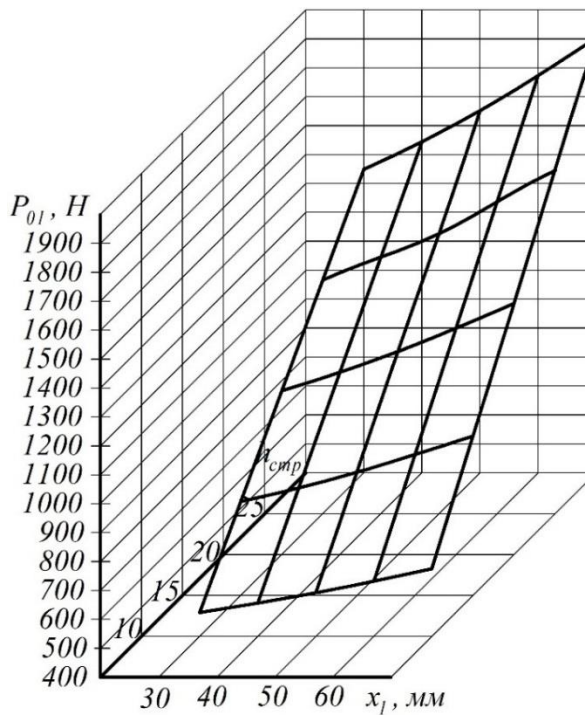


Рис. 3.19. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 3$, $x_2 = 10$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

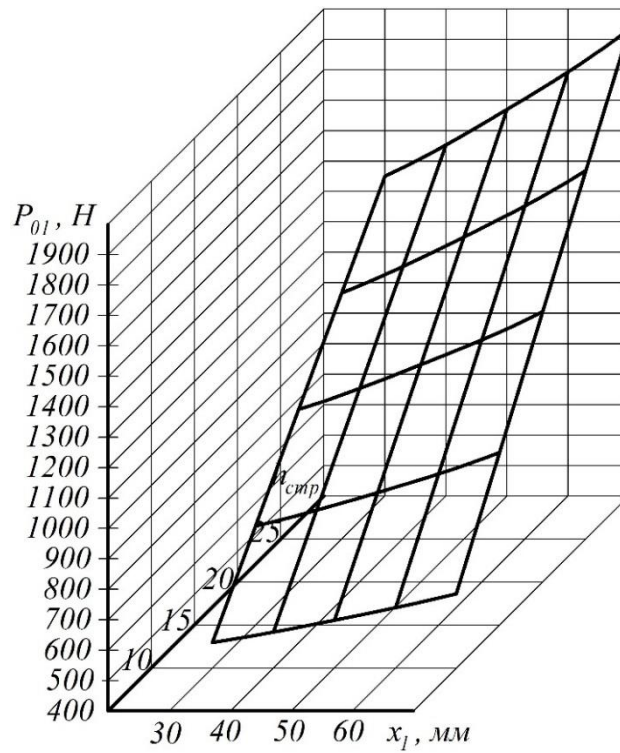


Рис. 3.20. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 3$, $x_2 = 15$ мм

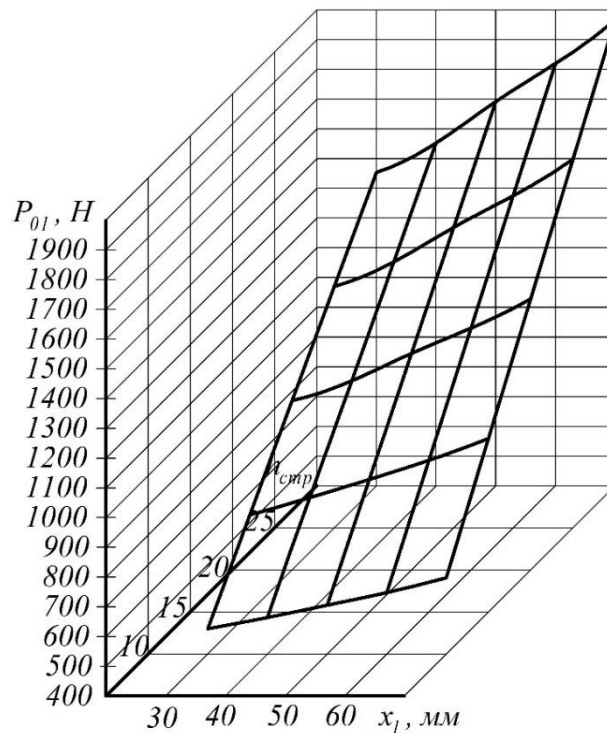


Рис. 3.21. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 3$, $x_2 = 20$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

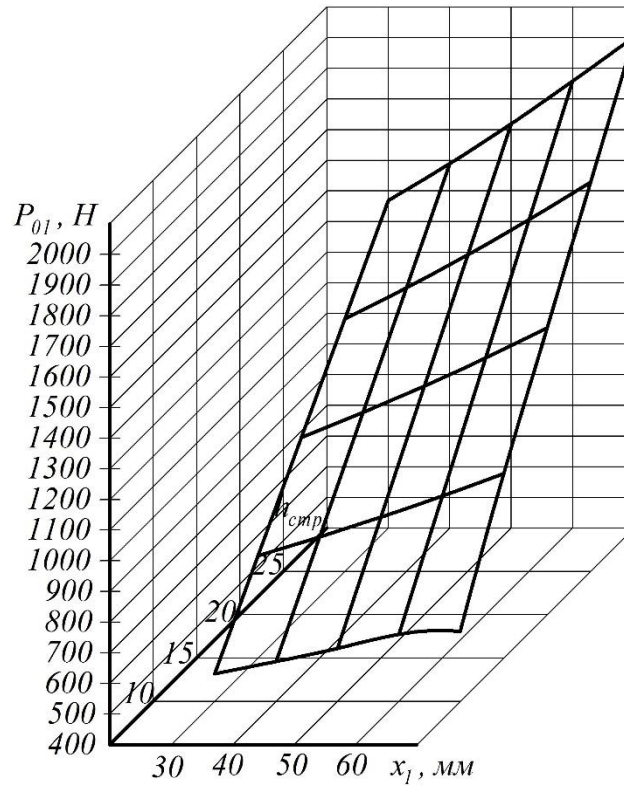


Рис. 3.22. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 3$, $x_2 = 25$ мм

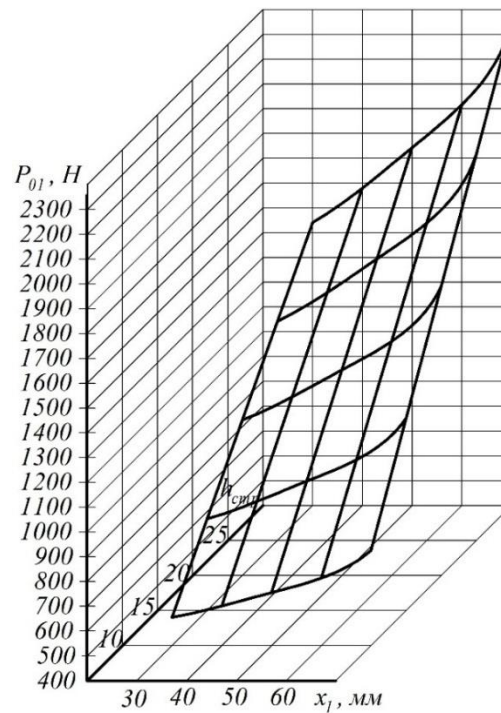


Рис. 3.23. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 4$, $x_2 = 5$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

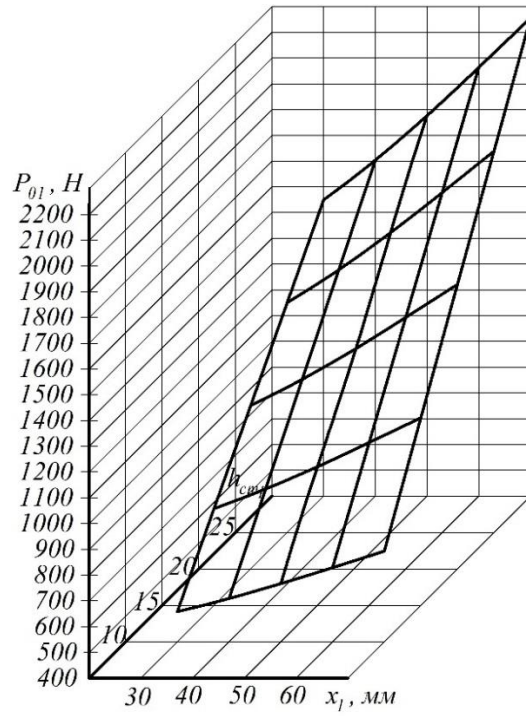


Рис. 3.24. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 4$, $x_2 = 10$ мм

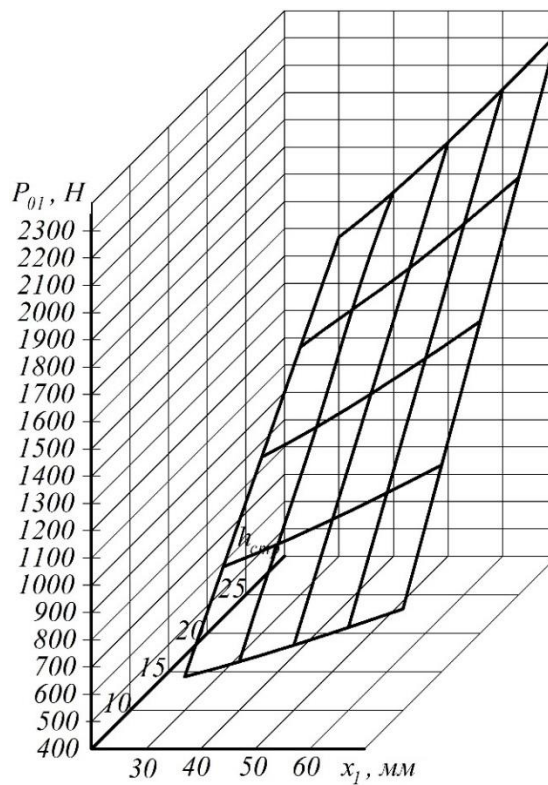


Рис. 3.25. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 4$, $x_2 = 15$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

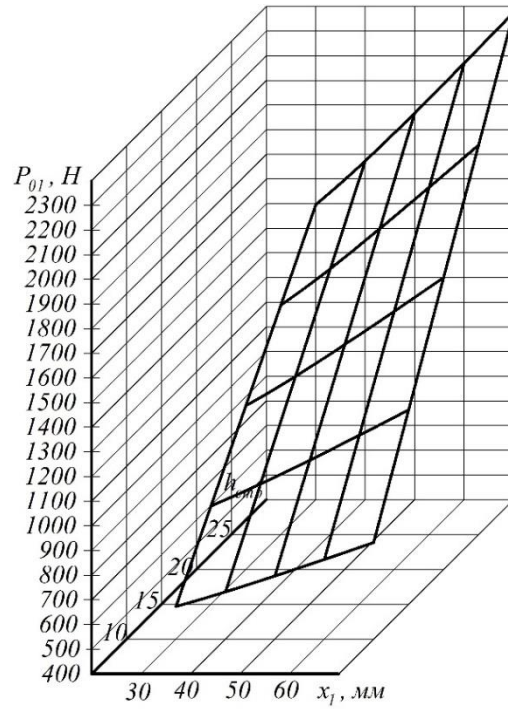


Рис. 3.26. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}}=4$, $x_2 = 20$ мм

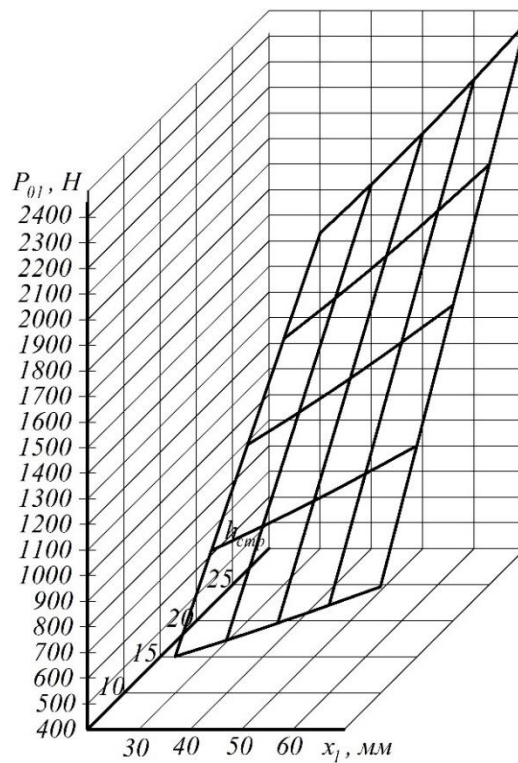


Рис. 3.27. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 4$, $x_2 = 25$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

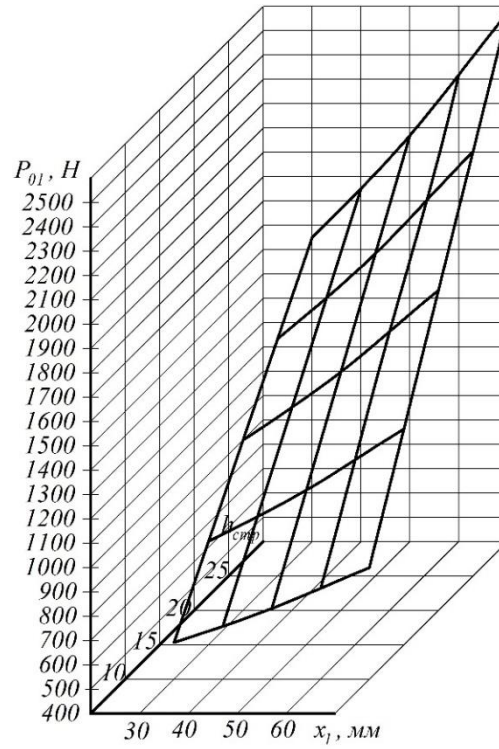


Рис. 3.28. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 5$, $x_2 = 5$ мм

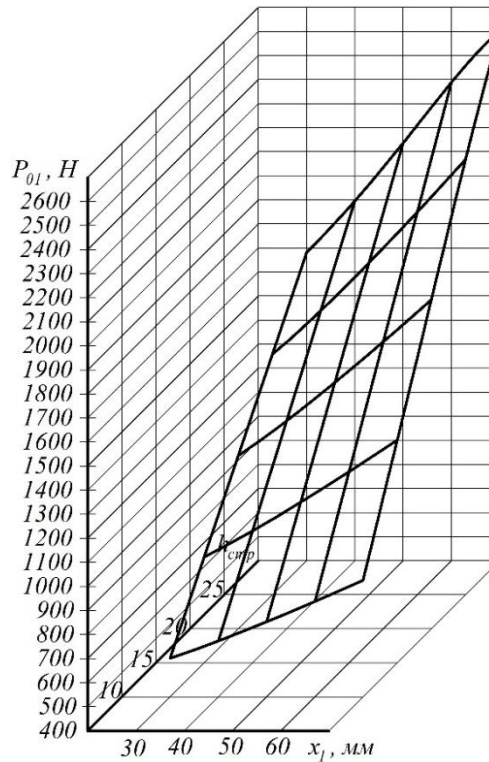


Рис. 3.29. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 5$, $x_2 = 10$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

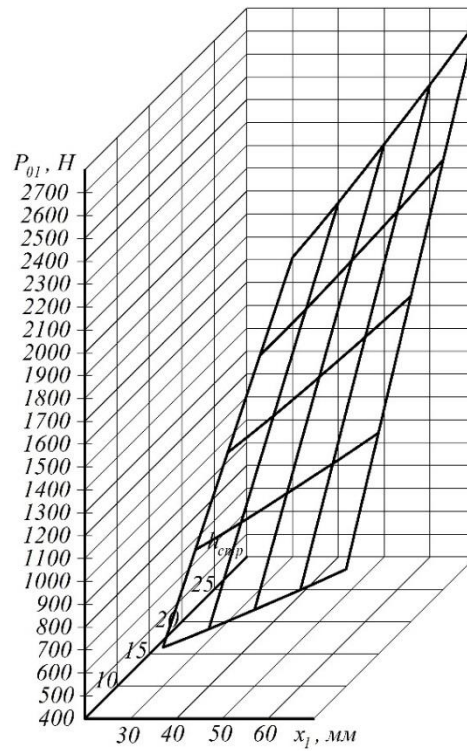


Рис. 3.30. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 5$, $x_2 = 15$ мм

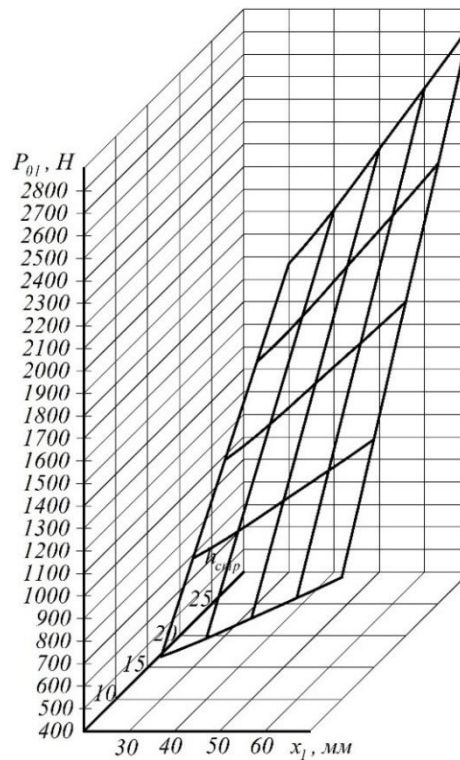


Рис. 3.31. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 5$, $x_2 = 20$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

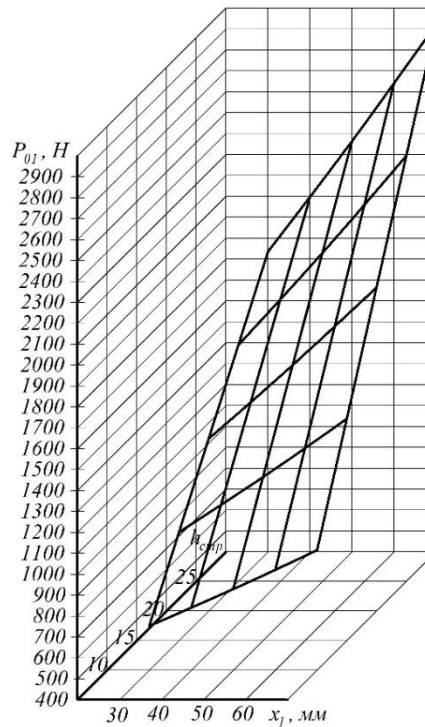


Рис. 3.32. Графік залежності дотичної складової опору ґрунту від товщини стружки та подовжньої відстані між краями їх лез для $n_{\text{пар}} = 5$, $x_2 = 25$ мм

Отримані графіки залежностей між параметрами, що характеризують процес копання ґрунту ПНС бульдозера дозволяють наглядно показати зв'язок між ними, зручно вибирати необхідні параметри для конкретних умов експлуатації та продовжити пошук раціональних і оптимальних параметрів ПНС на основі використання співвідношень, метою отримання їх оптимальних значень. Дану роботу можна рекомендувати як продовження виконання досліджень.

Очевидно, що залежності між вказаними параметрами носять переважно лінійний характер і не дозволяють в такому вигляді встановити їх раціональні чи оптимальні значення, але дозволяють зручно отримати значення залежних між собою параметрів при виборі одного із них.

Вибір бульдозерів для розрахунку ґрунтується на охопленні машин всіх відомих тягових класів 3 тс, 10 тс, 15 тс, 30 тс та 35 тс, [1, 3, 17]. Основними видами обладнання є штатне БО з неповоротним і поворотним відвалом. Серед машин цих класів найчастіше зустрічаються і найбільш розповсюджені бульдозери ДТ-75, Т-170, ДЕТ-250, Т-330 та Т-500. З точки зору наукових досліджень також

враховується модернізація машин на сьогоднішній день, яка дає можливість вибрати альтернативні машини. Марки бульдозерів обиралися з точки зору максимальної сили тяги за зчепленням (див. табл. 3.8, табл. 3.15). Крім того з точки зору наукових робіт, найбільш поширені машини, відносно яких проводяться дослідження навісного РО – це бульдозери ДТ-75, Т-170, ДЕТ-250, Т-330.

Розрахунки для порівняння виконані для машин з БО та з БО разом з розпушувачем. Розрахунки проводилися для однорідного середовища з постійною вологістю, швидкість руху відвала і товщина зрізаної стружки – постійна.

Вихідні дані та розрахунки зведені до табличного вигляду (табл. 3.4 – 3.8).

Таблиця 3.4

Прийняті значення коефіцієнтів і параметрів

$\phi_{зч}$	f	μ_1	μ_2	$\gamma_{ГР},$ кг/м ³	$[\sigma_{зМ}],$ Па	$\rho_B,$ Па
0,85	0,2	0,9	0,4	1800	200000	300

Таблиця 3.5

Вихідні розрахункові дані

Марка бульдозера	$G_B^*,$ т	$G_B^{**},$ т	$b,$ м	$H,$ м	H/b	$h_{СТР},$ м	$H_M,$ м	$B,$ м	$V_{ПР},$ м ³	$G_{Г},$ Н
ДТ-75	7,20	7,60	2,560	1,000	1,3	0,300	2,650	1,330	0,98	17287
Т-170	18,50	20,80	3,420	1,310	1,3	0,440	3,180	1,880	2,26	39866
ДЕТ-250	37,50	41,34	4,540	1,550	1,5	0,450	3,215	2,450	3,64	64210
Т-330	49,43	54,80	4,860	1,820	1,3	0,650	4,230	2,350	6,19	109192
Т-500	50,80	59,50	4,530	2,210	1,5	0,730	4,190	2,400	7,37	130007

* маса бульдозера

** маса бульдозера-розпушувача

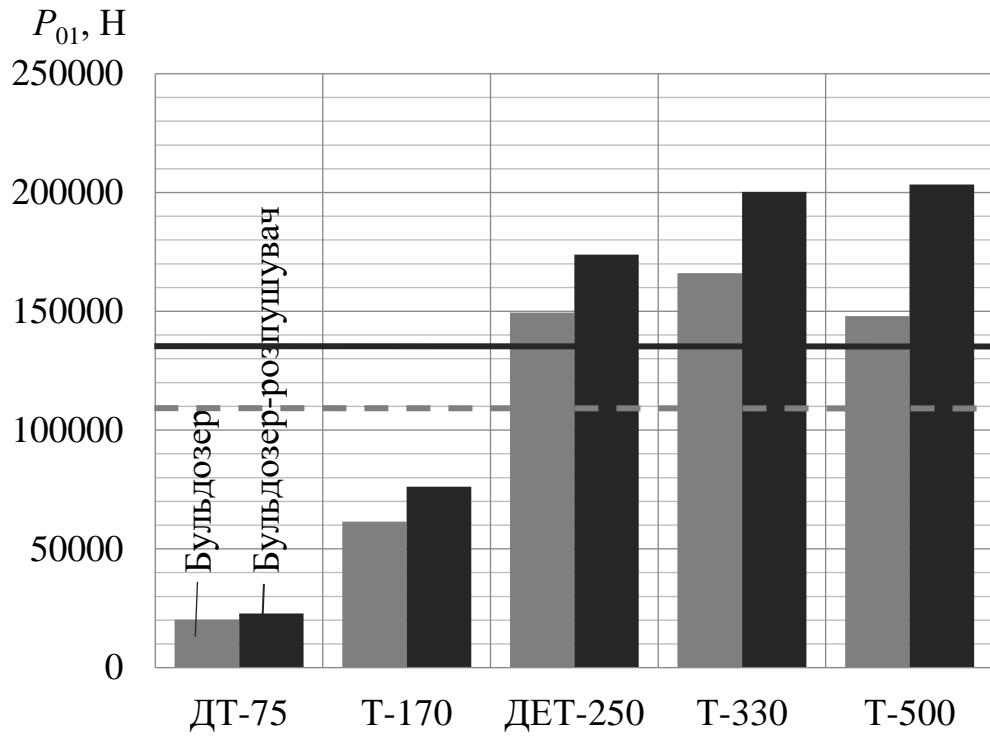


Рис 3.33. Діаграма залежності P_{01} від марки машини

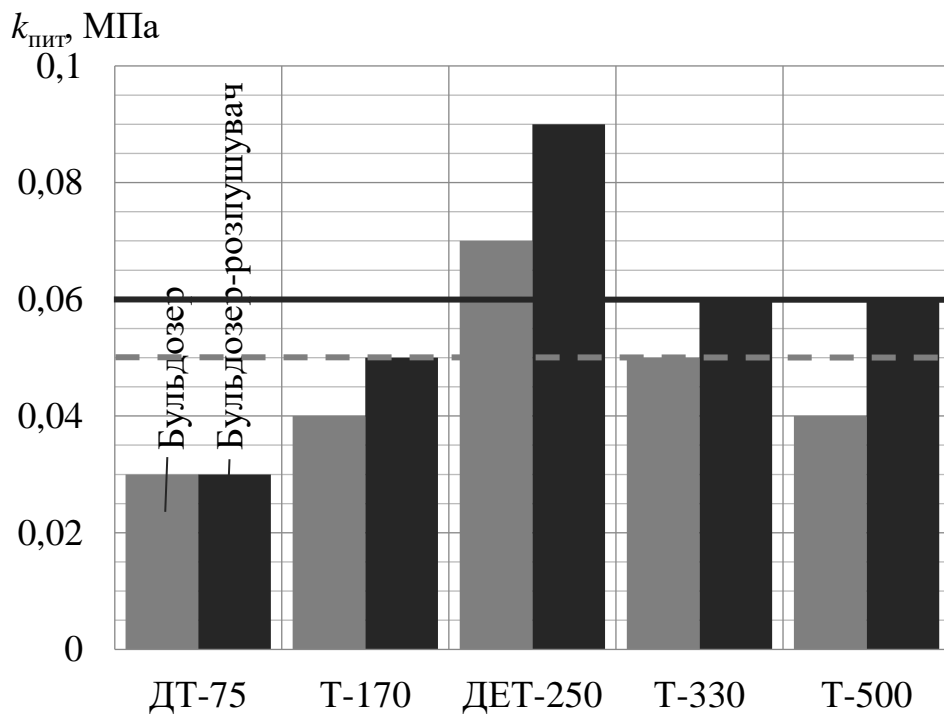


Рис 3.34. Діаграма залежності $k_{пит}$ від марки машини

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

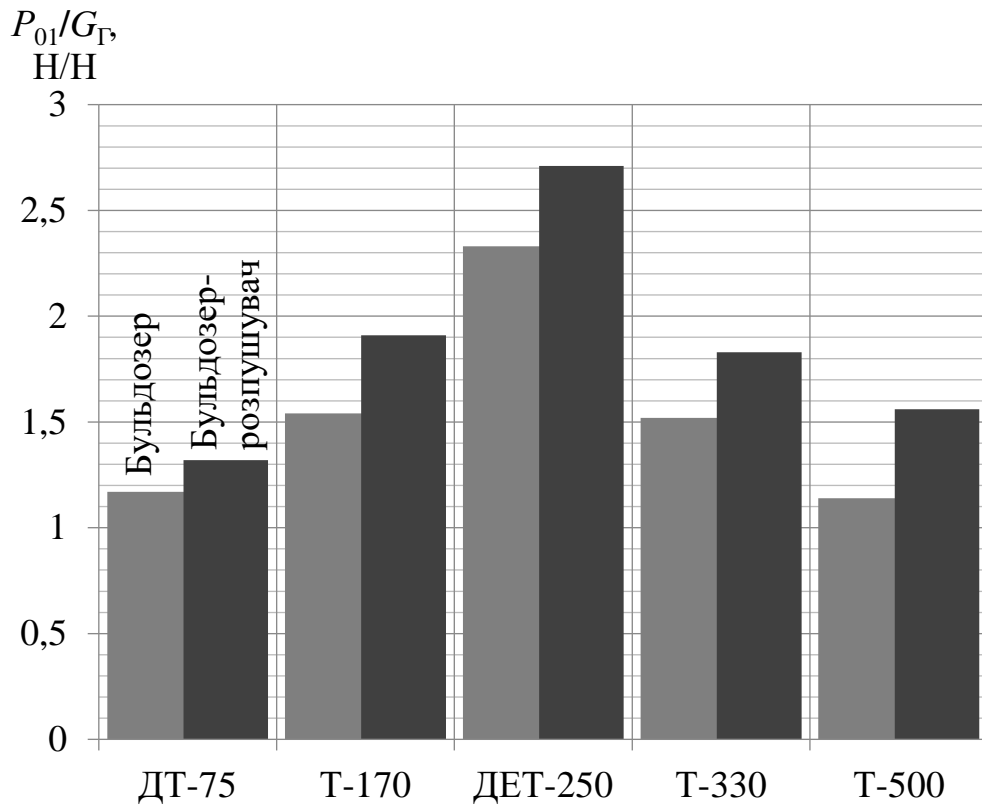


Рис 3.35. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{G_{Г}}$ від марки машини

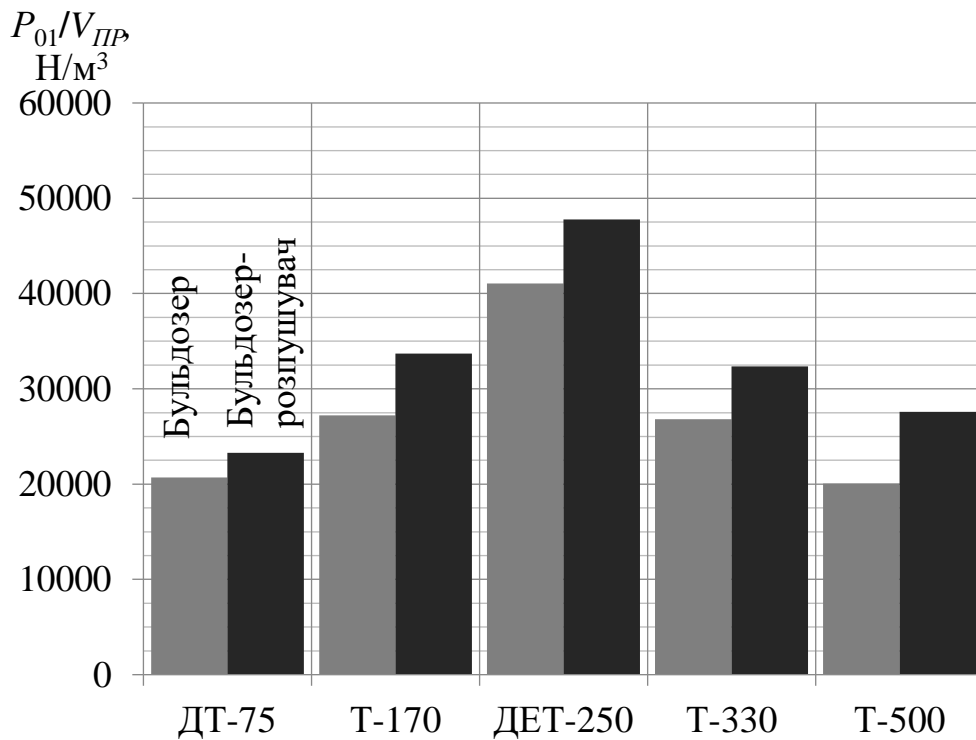
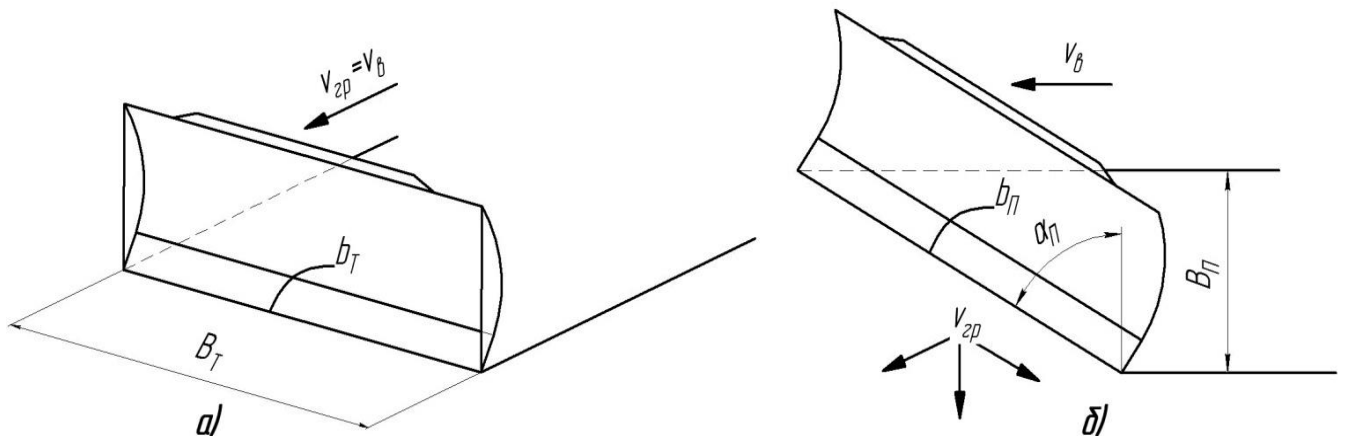


Рис 3.36. Діаграма залежності $\frac{P_{01}}{V_{ГР}}$ від марки машини

Середнє значення P_{01} машин цього класу становить для бульдозерів $P_{01} = 110$ кН, для бульдозерів-розпушувачів $P_{01} = 135$ кН (рис. 3.3, суцільна і штрихова лінії відповідно), а середнє значення $k_{num} = 0,05$ МПа для бульдозерів та $k_{num} = 0,06$ МПа для бульдозерів-розпушувачів (рис. 3.34, суцільна і штрихова лінії відповідно). Дані середні значення підходять для машин типу ДЕТ-250, Т-330 і Т-500, тобто можна розраховувати машини, орієнтуючись на ці значення.

3.3 Визначення параметрів процесу копання ґрунту поворотним відвалом

Для поверхневого зрізання і переміщення ґрунту використовують як неповоротні відвали (традиційного типу) так і поворотні, які дещо відрізняються за будовою. Поворотні відвали не мають бічних косинок, ширші та нижчі порівняно з традиційними. Їх використовують при планувальних роботах. На ці відвали діють однакові за напрямком сили опору копанню (рис. 3.37), але різні за величиною, [1].



а – неповоротний відвал; б – поворотний відвал;

Рис. 3.37. Схеми відвалів бульдозерів

Прирівнявши ширину полоси захоплення ґрунту традиційним B_T і поворотним відвалом B_{Π} бульдозера запишемо:

$$B_T = B_{\Pi}, \quad (3.22)$$

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

При цьому для традиційного відвала швидкість переміщення відвала і призми ґрунту перед ним однакові $v_e = v_{ep}$, а для поворотного відвала – різні тому, що ґрунт переміщується удвох напрямках: уздовж відвала і у напрямку руху машини, тому $v_e \neq v_{ep}$.

Ширина відвалів традиційного b_T і поворотного b_{II} для однієї і тієї ж ширини захоплення ґрунту різні, а саме:

для традиційного
$$B_T = b_T,$$

для поворотного
$$B_{II} = b_{II} \cdot \cos \alpha_{II},$$

де α_{II} – кут повороту відвала в плані.

При використанні поворотного відвала основна суть його роботи полягає в тому, що ріжучий край ножової системи і сам відвал повернуті під кутом α щодо напрямку руху машини. Саме це і забезпечує косе копання ґрунту без його втрат з однієї із сторін поворотного відвала. Використавши цей ефект і реалізувавши його на неповоротному відвалі можна підвищити продуктивність машини і знизити енерговитрати, про що говориться в попередніх розділах роботи.

Зниження питомих втрат на копання ґрунту можливе за рахунок зниження питомого коефіцієнту опору копанню (k_{num}), який входить у формули (3.23) та (3.24) одним із множників:

$$P_{01_T} = k_{num_T} h_{cmp} b_T, \quad (3.23)$$

$$P_{01_{II}} = k_{num_{II}} h_{cmp} b_{II} \cos \alpha_{II}, \quad (3.24)$$

де P_{01_T} і $P_{01_{II}}$ – дотична складова опору копанню ґрунту традиційним та поворотним відвалом відповідно,

k_{num_T} і $k_{num_{II}}$ – питомий коефіцієнт опору копанню для традиційного та поворотного відвала відповідно.

Даний коефіцієнт можна визначити як теоретичним, так і експериментальним шляхом за умови наявності певних вихідних даних.

У нашому випадку дотична складова опору копанню ґрунту поворотним відвалом P_{01r} невідома, але її можна знайти з рівняння тягового балансу бульдозера визначивши інші його складові, по можливості, теоретичним шляхом.

За наведеними вище формулами з використанням довідкових даних розраховані опори, які виникають при копанні ґрунту бульдозером. За допомогою них розраховано P_{01} і k_{nut} як для традиційного, так і для поворотного відвалів.

Розрахунки для порівняння виконані для машин з БО та з БО разом з розпушувачем. Розрахунки проводилися для однорідного середовища з постійною вологістю, швидкість руху відвала постійна, товщина зрізаної стружки постійна.

Вихідні дані та розрахунки зведені до табличного вигляду (табл. 3.9 – 3.11).

Таблиця 3.9

Прийняті значення коефіцієнтів і параметрів

$\varphi_{зч}$	f	μ_1	μ_2	$\gamma_{ГР}$, кг/м ³	$[\sigma_{зм}]$, Па	p_B , Па	α , град
0,85	0,2	0,9	0,4	1800	200000	300	25

Таблиця 3.10

Вихідні розрахункові дані

Марка бульдозера	G_B^* , т	G_B^{**} , т	b , м	H , м	H/b	$h_{СТР}$, м	H_M , м	B , м	$V_{ПР}$, м ³	G_G , Н
ДТ-75	7,45	7,70	2,800	1,000	1,20	0,300	2,650	1,330	0,39	6880
Т-170	19,00	21,50	4,280	1,140	1,15	0,440	3,180	1,880	0,81	14288
ДЕТ-250	38,00	42,00	5,030	1,300	1,15	0,450	3,215	2,450	1,23	21697
Т-330	50,00	55,30	5,300	1,400	1,15	0,650	4,230	2,350	1,51	26636
Т-500	51,30	60,20	5,000	1,800	1,15	0,730	4,190	2,400	2,35	41454

* маса бульдозера

** маса бульдозера розпушувача

Таблиця 3.11

Розраховані значення додаткових опорів при копанні ґрунту бульдозером

Марка бульдозера	$P_{ПП}$, Н	$P_{ТГВ}$, Н	$P_{ЗАТ}$, Н	$P_{КОЧ}$ *, Н	$P_{КОЧ}$ **, Н	P_B , Н
ДТ-75	6192	2752	2240	14602	15092	1057
Т-170	12859	5715	3424	37240	42140	1794
ДЕТ-250	19527	8679	4024	74480	82320	2363
Т-330	23972	10654	4240	98000	108388	2982
Т-500	37309	16582	4000	100548	117992	3017

* $P_{КОЧ}$ бульдозера** $P_{КОЧ}$ бульдозера розпушувача

Таблиця 3.12

Розраховані значення $T_{зч}$, P_{01} , k_{nut}

Марка бульдозера	Бульдозер			Бульдозер-розпушувач		
	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{nut} , МПа	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{nut} , МПа
ДТ-75	62059	35216	0,05	64141	36808	0,05
Т-170	158270	97238	0,06	179095	113163	0,07
ДЕТ-250	316540	207467	0,10	349860	232947	0,11
Т-330	416500	276652	0,09	460649	310413	0,10
Т-500	427329	265873	0,08	501466	322566	0,10

Таблиця 3.13

Енергоємність роботи машини

Марка бульдозера	Бульдозер		Бульдозер-розпушувач	
	$\frac{P_{01}}{G_r}$	$\frac{P_{01}}{V_{PP}}$	$\frac{P_{01}}{G_r}$	$\frac{P_{01}}{V_{PP}}$
ДТ-75	5,12	90297	5,35	94379
Т-170	6,81	120047	7,92	139707
ДЕТ-250	9,56	168672	10,74	189388
Т-330	10,39	183213	11,65	205572
Т-500	6,41	113137	7,78	137262

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 3.14

Сила тяги за зчепленням, дотична складова та питомий коефіцієнт опору копанню для вибраних бульдозерів і бульдозерів-розпушувачів

Марка бульдозера	Неповоротний відвал						Поворотний відвал					
	бульдозер			бульдозер-розпушувач			бульдозер			бульдозер-розпушувач		
	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{num} , МПа	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{num} , МПа	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{num} , МПа	$T_{зч}$, Н	P_{01} , Н	k_{num} , МПа
ДТ-75	59976	20286	0,03	63308	22834	0,03	62059	35216	0,05	64141	36808	0,05
Т-170	154105	61490	0,04	173264	76141	0,05	158270	97238	0,06	179095	113163	0,07
ДЕТ-250	312375	149407	0,07	344362	173868	0,09	316540	207467	0,10	349860	232947	0,11
Т-330	411752	166049	0,05	456484	200256	0,06	416500	276652	0,09	460649	310413	0,10
Т-500	423164	147946	0,04	495635	203365	0,06	427329	265873	0,08	501466	322566	0,10

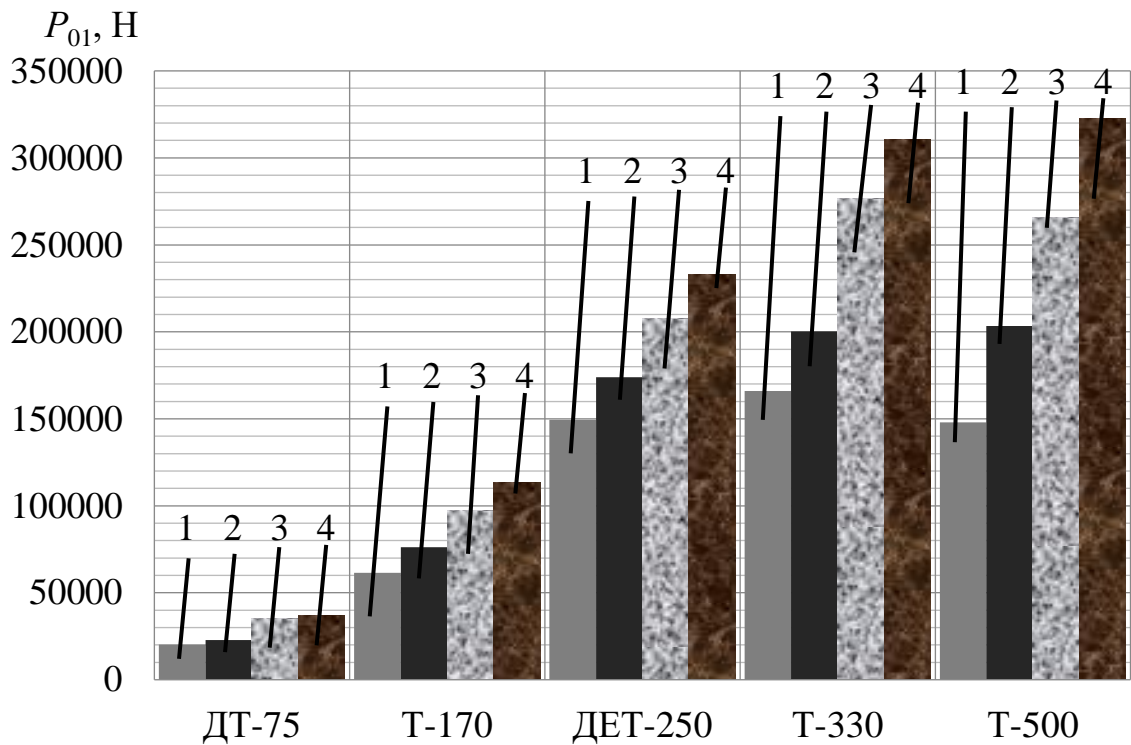
За розрахованими параметрами побудовані діаграми (рис. 3.38 – 3.41).

Дані діаграми найбільш точно відображають сам процес зв'язаний зі зменшенням енергоємності процесу копання. В основу цього закладається зниження k_{num} .

З проведених розрахунків та побудованих діаграм видно, що збільшення $T_{зч}$ впливає на такі показники як P_{01} та k_{num} .

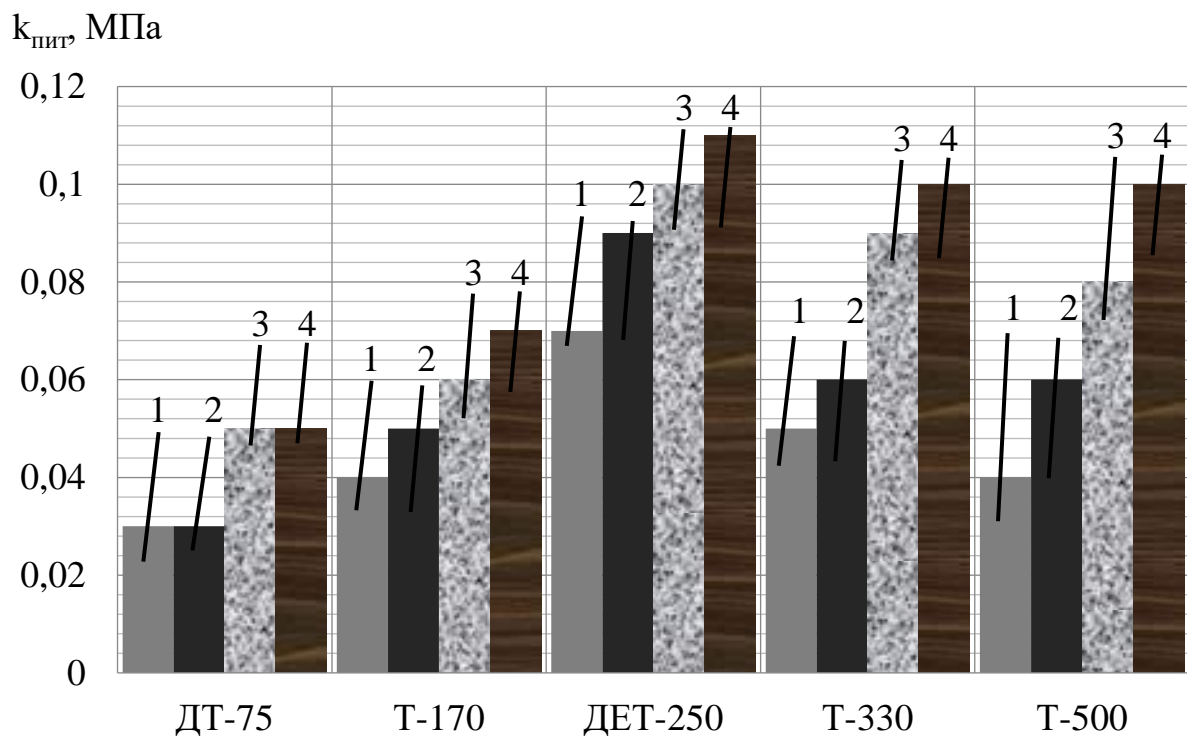
Найменше значення k_{num} зі всіх варіантів машин відповідає бульдозеру та бульдозеру-розпушувачу Д-75 з традиційним відвалом, у якого $k_{num} = 0,03$ МПа при $P_{01} = 20$ кН. Максимальне значення k_{num} зі всіх варіантів машин відповідає бульдозеру та бульдозеру-розпушувачу ДЕТ-250 з поворотним відвалом, у якого $k_{num} = 0,10$ МПа при $P_{01} = 210$ кН для бульдозера та $k_{num} = 0,11$ МПа при $P_{01} = 233$ кН для бульдозера-розпушувача.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61



з традиційним відвалом: 1 – бульдозер; 2 – бульдозер-розпушувач;
з поворотним відвалом: 3 – бульдозер; 4 – бульдозер-розпушувач;

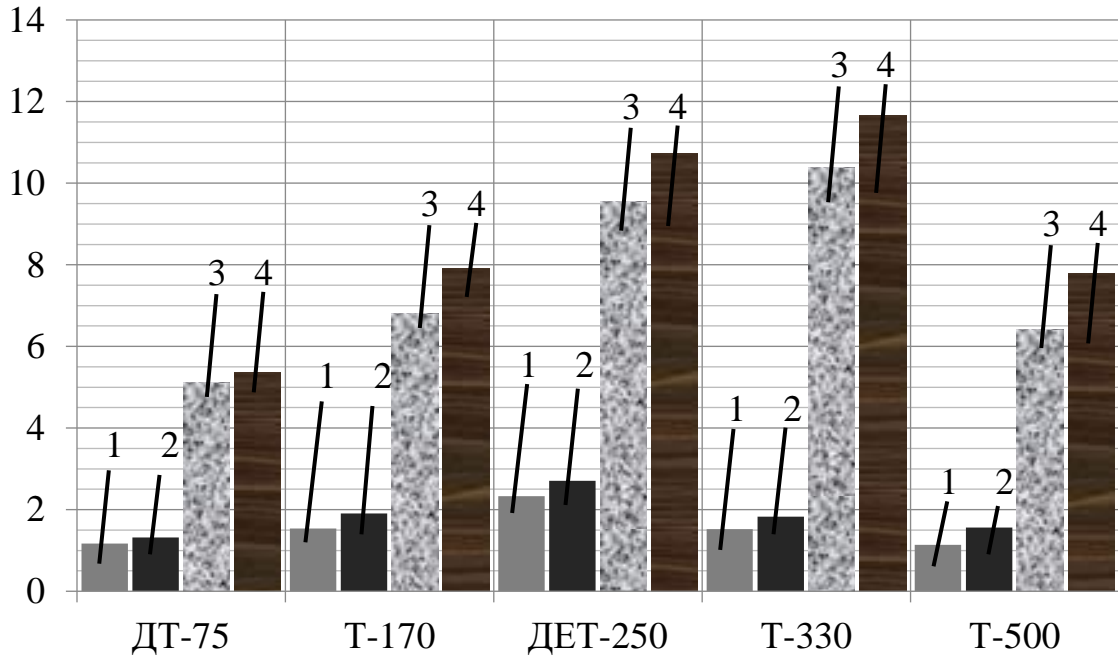
Рис 3.38. Діаграма залежності P_{01} від марки машини і типу відвала



з традиційним відвалом: 1 – бульдозер; 2 – бульдозер-розпушувач;
з поворотним відвалом: 3 – бульдозер; 4 – бульдозер-розпушувач;

Рис 3.39. Діаграма залежності $k_{пит}$ від марки машини і типу відвала

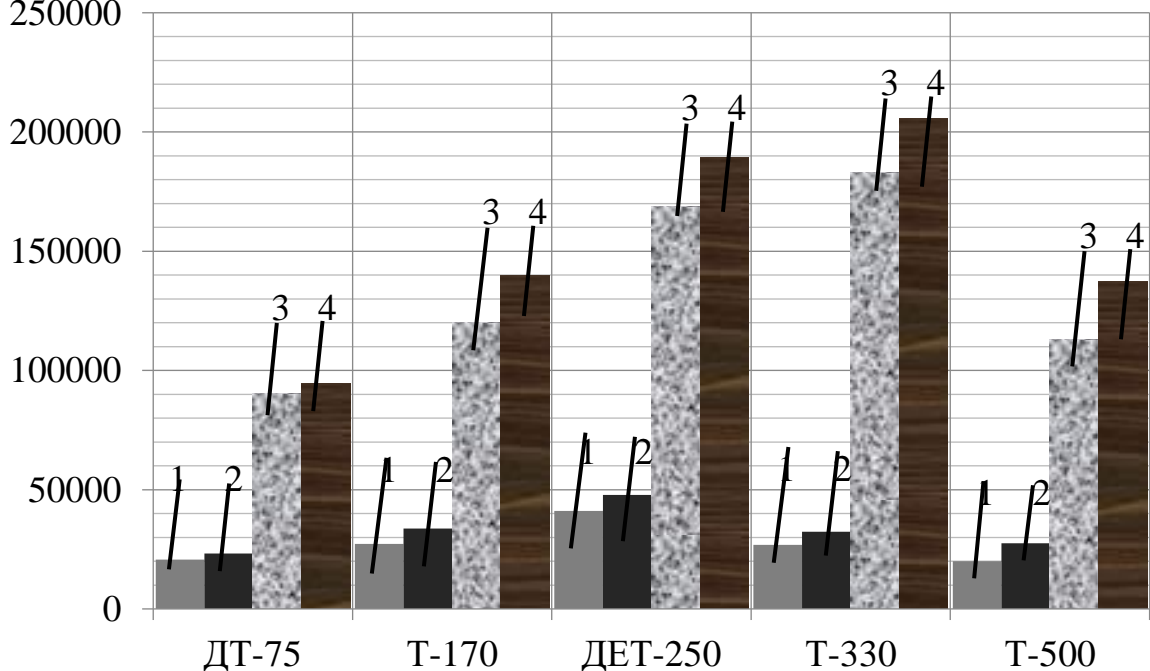
P_{01}/G_T



з традиційним відвалом: 1 – бульдозер; 2 – бульдозер-розпушувач;
з поворотним відвалом: 3 – бульдозер; 4 – бульдозер-розпушувач;

Рис 3.40. Діаграма залежності P_{01}/G_T від марки машини і типу відвала

P_{01}/V_{IP}
250000



з традиційним відвалом: 1 – бульдозер; 2 – бульдозер-розпушувач;
з поворотним відвалом: 3 – бульдозер; 4 – бульдозер-розпушувач;

Рис 3.41. Діаграма залежності P_{01}/V_{IP} від марки машини і типу відвала

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У формулі (3.25) силу P_{01_T} вимірюють при експериментальних дослідженнях, а ширина відвала b_T і товщина стружки h_{cmp} задаються як параметри процесу копання ґрунту з урахуванням порівняння результатів експериментальних досліджень з результатами, отриманими для поворотного і традиційного:

$$k_{num} = \frac{P_{01}}{h \cdot b}, \text{ МПа.} \quad (3.26)$$

При визначенні питомого коефіцієнту опору копанню ґрунту за формулою (3.26) для відвала з ПНС необхідно врахувати зв'язок між шириною відвала b_T , кількістю пар ножів n_n , шириною ріжучих кромek нових ножів $b_{ОНС}$, адекватною ширині поворотного відвала, яка складає частину неповоротного відвала, кратну кількості пар ножів:

$$b_T = 2n_n b_{ОНС} \cos \alpha_{ОНС}, \quad (3.27)$$

тому формула (3.26) матиме вигляд:

$$k_{num_{ОНС}} = \frac{P_{01_{ОНС}}}{2n_n \cdot b_{ОНС} \cos \alpha_{ОНС} \cdot h_{cmp}}. \quad (3.28)$$

Геометрія ПНС встановлює зв'язок між параметрами, що визначають її складові частини, а саме подовжня відстань між крайніми точками ріжучих країв ножів L , кут нахилу ріжучого краю запропонованого ножа відносно лінії ріжучого краю традиційного ножа $\alpha_{ОНС}$, кількість пар ножів n_n . Зв'язок між даними параметрами визначається залежностями:

$$b_{ОНС} = \frac{L}{\sin \alpha_{ОНС}} = \frac{b_1}{\cos \alpha_{ОНС}}; \quad (3.29)$$

$$b_1 = \frac{b_T}{2n_n} = L \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{ОНС}; \quad (3.30)$$

$$\alpha_{ОНС} = \operatorname{arctg} \left(\frac{L}{b_1} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{2n_n \cdot L}{b_T} \right) b_1 = \frac{b_T}{2} = L \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{ОНС}. \quad (3.31)$$

Для адекватного порівняння результатів експериментальних досліджень необхідно, щоб дотичні складові опору копанню ґрунту традиційним і

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

запропонованим відвалом бульдозерного обладнання і товщина стружки ґрунту були однаковими. Тоді можна записати вирази для визначення коефіцієнтів питомого опору копанню ґрунту традиційним і запропонованим способом:

$$k_{num_T} = \frac{P_{01_T}}{b_T \cdot h_{cmp}}; \quad (3.32)$$

$$k_{num_{\Pi}} = \frac{P_{01_{OHC}}}{2n_n \cdot b_{OHC} \cos \alpha_{OHC} \cdot h_{cmp}}; \quad (3.33)$$

а також знайти співвідношення між ними, вирішивши рівняння (3.32) і (3.33) відносно чисельників і прирівнявши їх між собою:

$$P_{01_T} = P_{01_{OHC}}; \quad (3.34)$$

$$k_{num_T} \cdot h_{cmp} \cdot b_T = k_{num_{OHC}} \cdot h_{cmp} \cdot 2n_n \cdot b_{OHC} \cos \alpha_{OHC}; \quad (3.35)$$

$$k_{num_T} b_T = k_{num_{OHC}} 2n_n b_{OHC} \cos \alpha_{OHC}; \quad (3.36)$$

$$\frac{k_{num_T}}{k_{num_{OHC}}} = \frac{2n_n \cdot b_{OHC} \cos \alpha_{OHC}}{b_T}. \quad (3.37)$$

Для отримання якісних результатів оцінки взаємного впливу значущих параметрів процесу копання ґрунту необхідно встановити:

- перелік значущих параметрів;
- перелік постійних параметрів;
- діапазони зміни вказаних параметрів;
- найбільш показові співвідношення між вказаними параметрами.

До постійних величин, що характеризують процес копання ґрунту, відносяться: вага бульдозера G_B ; ширина полоси захвату ґрунту традиційним відвалом B_T ; коефіцієнт динамічності k_d ; коефіцієнт зчеплення $\Phi_{зч}$; коефіцієнт опору кочення ходового обладнання f ; опір від вітрового навантаження P_B ; товщина стружки h_{cmp} ; щільність ґрунту $\gamma_{зр}$; межа міцності ґрунту $[\sigma_{зр}]$; вологість ґрунту $w_{зр}$ та ін.

					ДІПТ. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До змінних параметрів відносяться: вага бульдозерного обладнання G_{BO} ; ширина ріжучих лез ножів $b_{ОНС}$, кут нахилу ріжучих лез запропонованих ножів від лінії ріжучого краю традиційної НС $\alpha_{ОНС}$ (або подовжній виліт ножа L); вертикальна відстань між точками країв лез ножів H_T ; кривизна ріжучого леза ножа r_n ; кут копання $\alpha_{кон}$; кількість пар ножів n_n ; межа міцності ґрунту $[\sigma_{gp}]$; вологість ґрунту w_{gp} .

При цьому міцність і вологість ґрунту змінюються згідно планів експериментальних досліджень (табл. 3.15) для того, щоб комплексно пов'язати у дослідженнях геометричні параметри ножової системи і фізико механічні властивості ґрунту.

Таблиця 3.15

Планування експериментальних досліджень ПНС

Фактор	Параметр	Рівні факторів					Інтервал
		-2	-1	0	+1	+2	
X1	Подовжня відстань між точками А-В-С	30	40	50	60	70	10
$n_{пар}$	Кількість пар ножів	1	2	3	4	5	1
X3	Категорія ґрунту	I	II	III	IV	IV	5
	Кількість ударів $C_{уд}$	2	7	12	17	22	

Таблиця 3.16

Планування експериментальних досліджень ПНС

Фактор	Параметр	Рівні факторів					Інтервал
		-2	-1	0	+1	+2	
X1	Подовжня відстань між точками А-В-С	30	40	50	60	70	10
$n_{пар}$	Кількість пар ножів	1	2	3	4	5	1
X3	Категорія ґрунту	I	II	III	IV	IV	5
	Кількість ударів $C_{уд}$	2	7	12	17	22	

Згідно табл. 3.15 проведено ряд розрахунків щодо визначення коефіцієнтів питомого опору копанню ґрунту для масштабної моделі БО (1:10). Крім цієї таблиці для розрахунків прийняті вихідні данні:

- дотична складова опору копанню ґрунту $P_{01_T} = P_{01_{ОНС}} = 15000$ Н;
- ширина полоси захоплення ґрунту $B_T = B_{ОНС} = 0,454$ м;
- товщина зрізаної стружки $h_{стр} = 0,045$ м.

Розрахунки виконані для масштабної моделі з БО, оснащеним ПНС. Розрахунки проводилися для однорідного середовища з постійними: вологістю, швидкість руху відвала та товщиною зрізаної стружки.

Отримані данні зведені до табличного вигляду.

Спочатку визначався кут нахилу ріжучих лез ПНС від лінії ріжучого краю традиційної НС $\alpha_{ОНС}$ (град) (табл. 3.20) в залежності від кількості пар ножів n_n та подовжнього вильоту ножа L .

Таблиця 3.17

Значення кута α (град.) в залежності від кількості пар ножів і подовжнього зміщення країв їх лез

	$n_n=1$	$n_n=2$	$n_n=3$	$n_n=4$	$n_n=5$
$L=30$ мм	8	15	22	28	33
$L=40$ мм	10	19	28	35	41
$L=50$ мм	12	24	33	41	48
$L=60$ мм	15	28	38	47	53
$L=70$ мм	17	32	43	51	57

За відомим кутом $\alpha_{ОНС}$ визначена ширина ріжучих лез ножів $b_{ОНС}$ (мм).

Таблиця 3.18

Значення довжини леза $b_{ПНС}$ (мм) в залежності від кількості пар ножів і подовжнього зміщення країв їх лез

	$n_n=1$	$n_n=2$	$n_n=3$	$n_n=4$	$n_n=5$
$L=30$ мм	0,229	0,117	0,081	0,064	0,054
$L=40$ мм	0,230	0,120	0,086	0,069	0,061
$L=50$ мм	0,232	0,124	0,091	0,076	0,068
$L=60$ мм	0,235	0,128	0,097	0,083	0,075
$L=70$ мм	0,238	0,133	0,103	0,090	0,083

Для зручності побудови графіків, коефіцієнт питомого опору копанню ґрунту визначався у двох залежностях: при зафіксованому значенні n_n (табл. 3.19) і при зафіксованому значенні L (табл. 3.20).

Таблиця 3.19

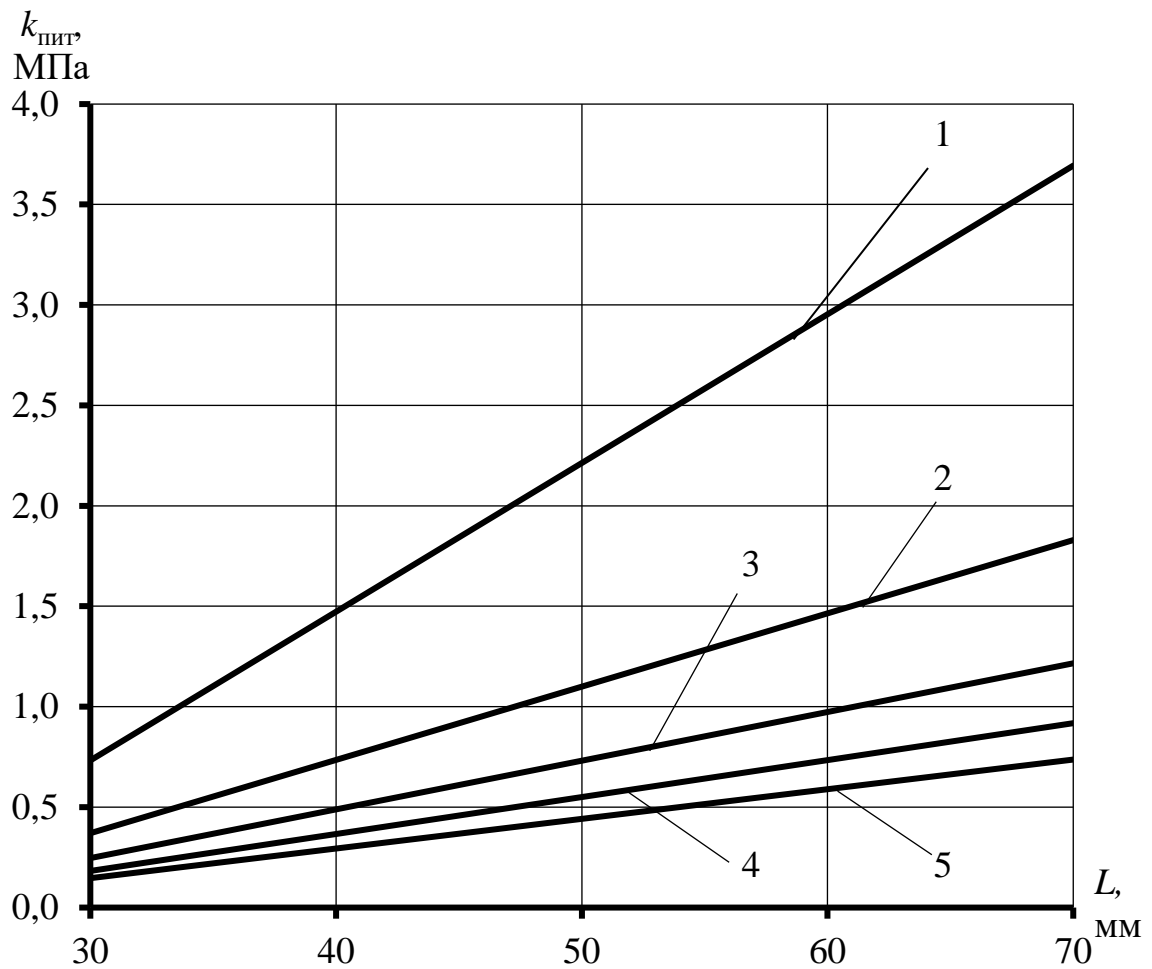
Значення коефіцієнта питомого опору копанню в залежності від постійної кількості пар ножів і змінного подовжнього зміщення країв їх лез

	$L=30$ мм	$L=40$ мм	$L=50$ мм	$L=60$ мм	$L=70$ мм
$n_n=1$	0,734	1,473	2,213	2,946	3,699
$n_n=2$	0,368	0,736	1,096	1,478	1,821
$n_n=3$	0,245	0,490	0,732	0,974	1,215
$n_n=4$	0,183	0,368	0,548	0,731	0,921
$n_n=5$	0,147	0,294	0,441	0,588	0,738

Таблиця 3.20

Значення коефіцієнта питомого опору копанню в залежності від постійного подовжнього зміщення країв лез ножів і змінної кількості їх пар

	$n_n=1$	$n_n=2$	$n_n=3$	$n_n=4$	$n_n=5$
$L=30$ мм	0,734	0,368	0,245	0,183	0,147
$L=40$ мм	1,473	0,736	0,490	0,368	0,294
$L=50$ мм	2,213	1,096	0,732	0,548	0,441
$L=60$ мм	2,946	1,478	0,974	0,731	0,588
$L=70$ мм	3,699	1,821	1,215	0,921	0,738



1 - $n_n=1$; 2 - $n_n=2$; 3 - $n_n=3$; 4 - $n_n=4$; 5 - $n_n=5$;

Рис. 3.43. Графік залежності коефіцієнта питомого опору копанню від постійної кількості пар ножів і змінного подовжнього зміщення країв їх лез

Залежності на рис 3.13 описуються лінійними рівняннями:

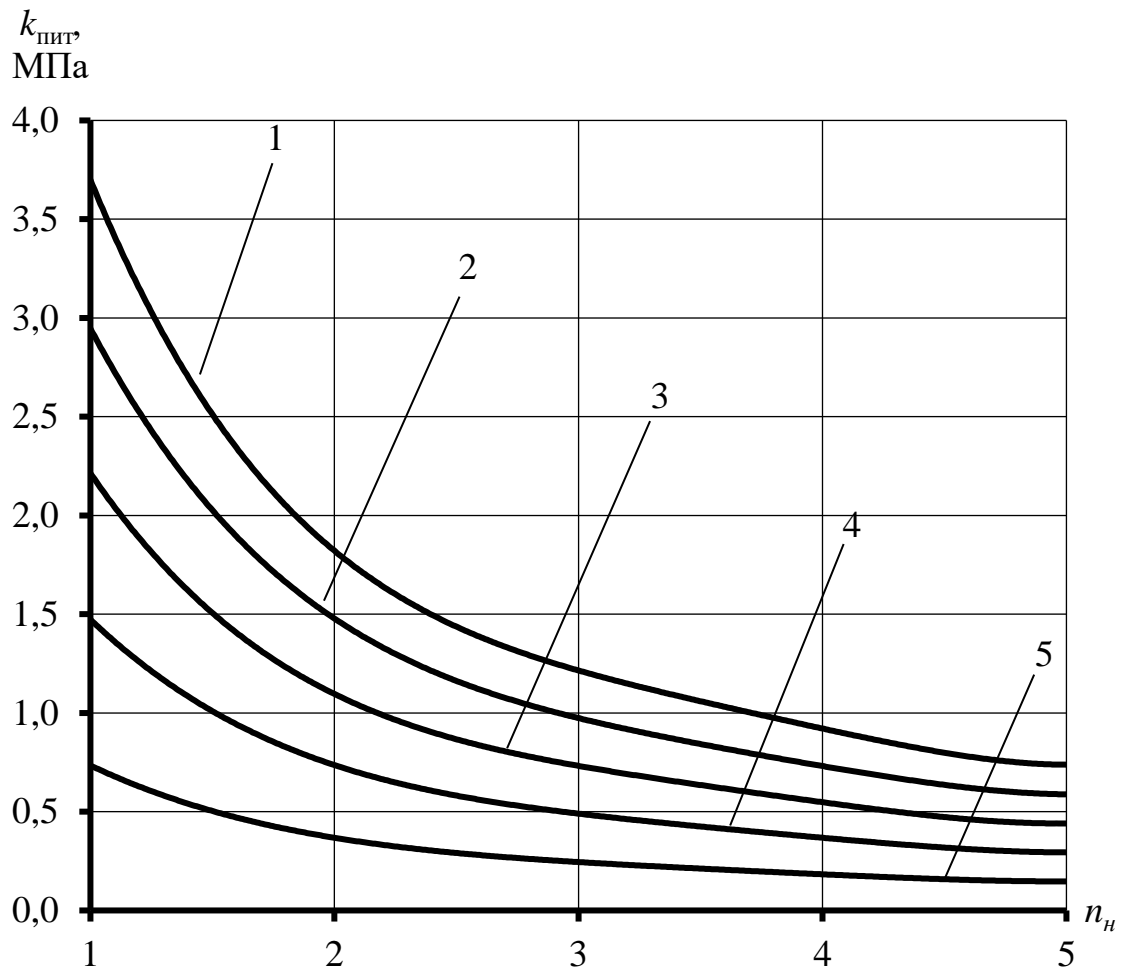
$$1) y = 0,074 \cdot x - 1,488;$$

$$2) y = 0,036 \cdot x - 0,724;$$

$$3) y = 0,024 \cdot x - 0,480;$$

$$4) y = 0,018 \cdot x - 0,369;$$

$$5) y = 0,014 \cdot x - 0,296.$$



1 – L=30; 2 – L=40; 3 – L=50; 4 – L=60; 5 – L=70;

Рис. 3.44. Графік залежності коефіцієнта питомого опору копанню від постійного подовжнього зміщення країв лез ножів і змінної кількості їх пар

Залежності на рис 3.43 описуються рівняннями:

поліноміальна функція

степенева функція

1) $y = 0,031 \cdot x^4 - 0,476 \cdot x^3 + 2,702 \cdot x^2 - 7,127 \cdot x + 8,568$

1) $y = 3,674 \cdot x^{-1,00};$

2) $y = 0,022 \cdot x^4 - 0,343 \cdot x^3 + 1,975 \cdot x^2 - 5,332 \cdot x + 6,623;$

2) $y = 2,949 \cdot x^{-1,00};$

3) $y = 0,019 \cdot x^4 - 0,291 \cdot x^3 + 1,634 \cdot x^2 - 4,276 \cdot x + 5,126;$

3) $y = 2,206 \cdot x^{-1,00};$

4) $y = 0,012 \cdot x^4 - 0,182 \cdot x^3 + 1,036 \cdot x^2 - 2,752 \cdot x + 3,359;$

4) $y = 1,472 \cdot x^{-1,00};$

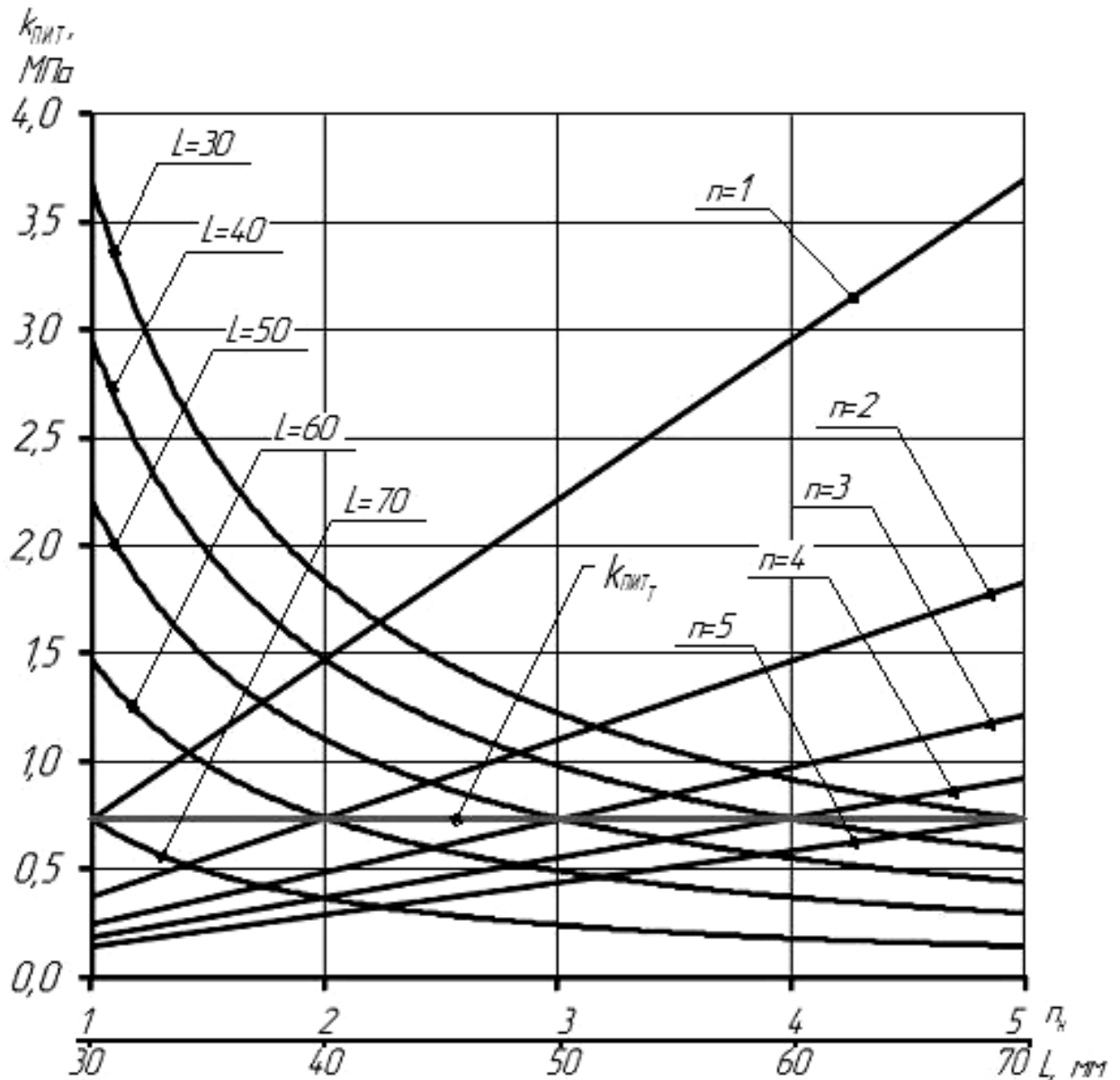
5) $y = 0,006 \cdot x^4 - 0,091 \cdot x^3 + 0,517 \cdot x^2 - 1,370 \cdot x + 1,672;$

5) $y = 0,734 \cdot x^{-1,00}.$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Теоретично вибрані вибіркові точки, які стали основою для побудови даних рівнянь, узагальнені за допомогою відповідної оболонки і отримані рівняння тепер дають можливість визначити у будь-якому проміжному місці значення даного параметра, а не тільки у дискретних точках.

Дані рівняння можна використати для їх обробки при математичному моделюванні.



$k_{\text{пит}}$ – коефіцієнт питомого опору копанню традиційним відвалом;
 Рис. 3.45. Суміщення (по рис. 3.43 і 3.44) графіків залежності коефіцієнта питомого опору копанню від кількості пар ножів і подовжньої відстані між краями їх лез

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Графік з рис. 3.45, знайдений теоретичним шляхом, дозволяє вибрати спільно параметри, які взаємно впливають і взаємно об'єднуються в такий набір, щоб призвести до зниження k_{num} .

3.5 Визначення довжини ріжучої частини ножів для криволінійних профілів ПНС

Теоретичний розрахунок проводимо для горизонтального та вертикального зміщення КОНС. В даному випадку проводили розрахунки бульдозерного обладнання машини ДЕТ-250, де:

- дотична складова опору відділення ґрунту від масиву $P_{01}=149,4$ кН;
- товщина стружки $h_{max}=0,450$ м;
- ширина секції (пари ножів), для кожного окремого випадку вона залежить від кількості пар ножів:

- для однієї пари ножів ширина секції $c=454$ мм,
- для двох пар $c=257$ мм,
- для трьох пар $c=151$ мм,
- для чотирьох пар $c=114$ мм,
- для п'яти пар $c=91$ мм,
- для шести пар $c=76$ мм.

3.5.1 Розрахунок параметрів для горизонтального зміщення країв ножів

Довжина ріжучої частини ножа для горизонтального зміщення (точки А, В, С у одному рівні) та вертикального зміщення (точки А, В, С вище або нижче рівня) розраховується за формулою для знаходження довжини дуги:

$$l_{ріж} = \sqrt{c^2 + \frac{16}{3}x_1^2}, \text{ мм}, \quad (3.38)$$

де c – ширина секції;

x_1 – подовжня відстань між точками А-В-С (мм) з табл.3.15.

Використовуючи вихідні дані за формулою (3.38) визначаю довжину ріжучої частини ножів для горизонтального зміщення і зводжу у табл. 3.21.

					ДІПТ. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Таблиця 3.21

Довжина ріжучої частини ножів

Параметри	Кількість пар ножів					
	1	2	3	4	5	6
h_1	1	2	3	4	5	6
30	459	237	166	133	114	103
40	463	245	177	147	130	120
50	468	255	190	162	147	138
60	475	266	205	179	166	158
70	482	279	221	198	186	179
c	454	227	151	114	91	76

Питомий коефіцієнт опору копанню для ПНС визначаю із формули:

$$k_{nut} = \frac{P_{01}}{h \cdot b} * n_{нар}, \text{ МПа}, \quad (3.39)$$

де b – приймаю як довжину ріжучої частини ножа, тобто $b = l_{ріж}$;

h – максимальна ширина стружки;

$n_{нар}$ – кількість пар ножів.

Результати зведені в табл. 3.22.

Таблиця 3.22

Параметри	Кількість пар ножів					
	1	2	3	4	5	6
$l_{ріж}$	0,459	0,237	0,166	0,133	0,114	0,103
k_{nut}	0,723	1,4	2	2,5	2,91	3,2
$l_{ріж}$	0,463	0,245	0,177	0,147	0,13	0,12
k_{nut}	0,72	1,36	1,88	2,26	2,55	2,77
$l_{ріж}$	0,468	0,225	0,19	0,162	0,147	0,138
k_{nut}	0,71	1,48	1,75	2,05	2,26	2,41
$l_{ріж}$	0,475	0,266	0,205	0,179	0,166	0,158
k_{nut}	0,7	1,25	1,62	1,85	2	2,1
$l_{ріж}$	0,482	0,279	0,221	0,198	0,186	0,179
k	0,69	1,19	1,5	1,68	1,78	1,85

Побудований графік залежності питомого коефіцієнта опору різанню від довжини ріжучої частини ножів та постійної подовжньої відстані точок А-В-С (рис.3.46).

Результати розрахунків визначення висоти ріжучої частини ножа зведені в табл. 3.23.

Таблиця 3.23

	h1				
	30	40	50	60	70
h2	значення h із графіка				
5	30,4	40,3	50,3	60,2	70,2
10	31,6	41,2	51	60,8	70,7
15	33,5	42,7	52,2	61,9	71,6
20	39,1	44,7	53,9	63,2	72,8
25	39,1	47,2	55,9	65	74,3

Визначаю довжину ріжучої частини ножа для усіх випадків вертикального зміщення точок А-В-С.

При кожному зміщенні точок ріжучої поверхні визначаю питомий коефіцієнт опору копанню для довжин ріжучої частини ножа.

Результати зведені в табл.3.24 – 3.29.

Таблиця 3.24

Питомий коефіцієнт опору копання при ширині секції $c=454$ мм

	h1=30мм	h1=40мм	h1=50мм	h1=60мм	h1=70мм
h2=5мм	0,459	0,463	0,469	0,475	0,482
k(МПа)	0,723	0,717	0,708	0,699	0,689
h2=10мм	0,46	0,464	0,469	0,475	0,482
k(МПа)	0,722	0,716	0,708	0,699	0,689
h2=15мм	0,461	0,465	0,47	0,476	0,483
k(МПа)	0,72	0,714	0,706	0,697	0,687
h2=20мм	0,462	0,466	0,471	0,477	0,484
k(МПа)	0,719	0,712	0,705	0,696	0,686
h2=25мм	0,463	0,467	0,472	0,478	0,485
k(МПа)	0,717	0,711	0,703	0,695	0,685

Побудований графік залежності питомого коефіцієнта опору різання від довжини ріжучої частини ножа та постійного вертикального зміщення точок А-В-С (рис. 3.48).

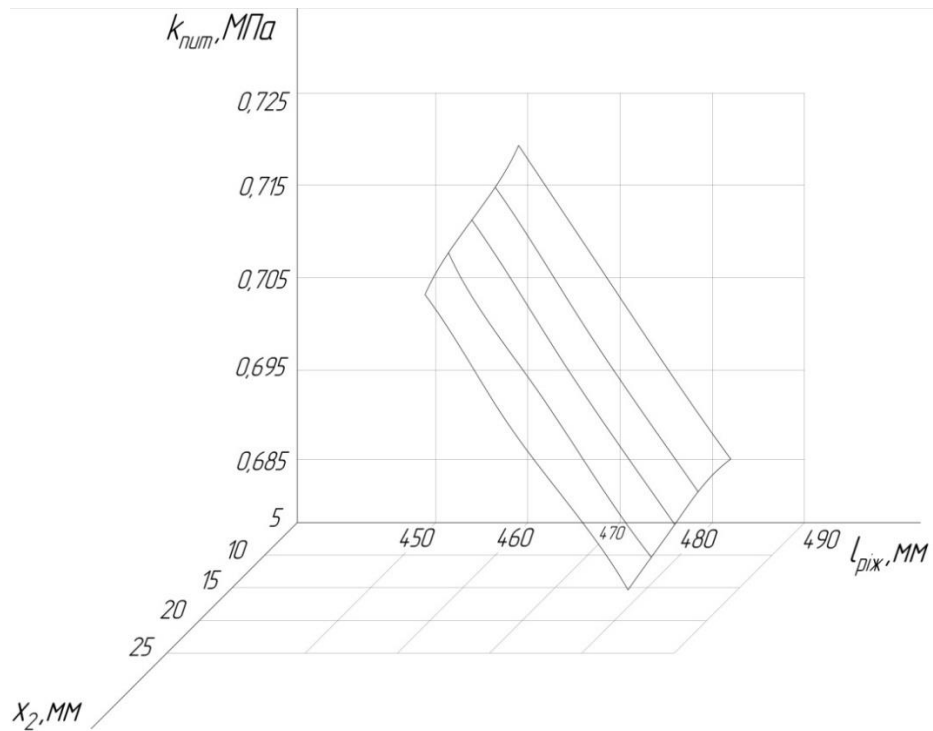


Рис. 3.48. Графік зміни питомого опору копання для вертикального зміщення точок А-В-С

Таблиця 3.25

Питомий коефіцієнт опору копання при ширині секції $c=227$ мм

	h1=30мм	h1=40мм	h1=50мм	h1=60мм	h1=70мм
h2=5мм	0,238	0,245	0,255	0,266	0,279
k(МПа)	1,395	1,36	1,3	1,248	1,189
h2=10мм	0,238	0,246	0,256	0,267	0,28
k(МПа)	1,39	1,35	1,3	1,24	1,19
h2=15мм	0,24	0,248	0,257	0,268	0,281
k(МПа)	1,38	1,34	1,29	1,24	1,18
h2=20мм	0,242	0,249	0,259	0,27	0,282
k(МПа)	1,37	1,33	1,28	1,23	1,18
h2=25мм	0,244	0,252	0,261	0,272	0,285
k(МПа)	1,36	1,32	1,27	1,22	1,16

Таблиця 3.26

Питомий коефіцієнт опору копання при ширині секції $c=191$ мм

	h1=30мм	h1=40мм	h1=50мм	h1=60мм	h1=70мм
h2=5мм	0,167	0,177	0,19	0,205	0,222
k(МПа)	1,99	1,88	1,75	1,62	1,5
h2=10мм	0,17	0,179	0,192	0,206	0,222
k(МПа)	1,95	1,85	1,73	1,61	1,5
h2=15мм	0,17	0,18	0,193	0,208	0,224
k(МПа)	1,95	1,84	1,72	1,6	1,48
h2=20мм	0,172	0,183	0,196	0,21	0,226
k(МПа)	1,93	1,81	1,69	1,58	1,47
h2=25мм	0,176	0,186	0,199	0,213	0,229
k(МПа)	1,89	1,78	1,67	1,56	1,45

Таблиця 3.27

Питомий коефіцієнт опору копання при ширині секції $c=114$ мм

	h1=30мм	h1=40мм	h1=50мм	h1=60мм	h1=70мм
h2=5мм	0,134	0,147	0,163	0,18	0,198
k(МПа)	2,48	2,26	2,04	1,84	1,68
h2=10мм	0,135	0,149	0,164	0,181	0,199
k(МПа)	2,46	2,23	2,02	1,83	1,67
h2=15мм	0,138	0,151	0,166	0,183	0,201
k(МПа)	2,41	2,2	2	1,81	1,65
h2=20мм	0,141	0,154	0,169	0,185	0,203
k(МПа)	2,35	2,16	1,96	1,79	1,64
h2=25мм	0,145	0,158	0,172	0,188	0,206
k(МПа)	2,29	2,1	1,93	1,77	1,61

Таблиця 3.28

Питомий коефіцієнт опору копання при ширині секції $c=91$ мм

	h1=30мм	h1=40мм	h1=50мм	h1=60мм	h1=70мм
h2=5мм	0,115	0,13	0,147	0,166	0,186
k(МПа)	2,89	2,55	2,26	2	1,78
h2=10мм	0,117	0,132	0,149	0,167	0,187
k(МПа)	2,84	2,52	2,23	1,99	1,78
h2=15мм	0,12	0,134	0,151	0,169	0,189
k(МПа)	2,77	2,48	2,2	1,96	1,76
h2=20мм	0,123	0,138	0,154	0,172	0,191
k(МПа)	2,7	2,41	2,16	1,93	1,74
h2=25мм	0,128	0,142	0,158	0,176	0,194
k(МПа)	2,59	2,34	2,1	1,89	1,71

Питомий коефіцієнт опору копання при ширині секції $c=76$ мм

	h1=30мм	h1=40мм	h1=50мм	h1=60мм	h1=70мм
h2=5мм	0,103	0,12	0,139	0,158	0,179
k(МПа)	3,22	2,77	2,39	2,1	1,85
h2=10мм	0,105	0,122	0,14	0,16	0,18
k(МПа)	3,16	2,72	2,37	2,08	1,84
h2=15мм	0,109	0,125	0,143	0,162	0,182
k(МПа)	3,05	2,66	2,32	2,05	1,82
h2=20мм	0,113	0,128	0,146	0,165	0,185
k(МПа)	2,94	2,59	2,27	2,01	1,79
h2=25мм	0,118	0,133	0,146	0,168	0,188
k(МПа)	2,81	2,5	2,27	1,98	1,77

Висновки за розділом. В результаті виконання роботи запропоновані доповнення до відомих теоретичних досліджень у вигляді математичних моделей БО з ПНС і результатів розрахунків, представлених у наглядному графічному вигляді.

Співвідношення між параметрами, що характеризують процес копання ґрунту, необхідно встановити так, щоб отримати можливість їх вибору з точки зору мінімальної енергоємності і максимальної продуктивності даного процесу за умови максимального використання потужності базової машини. Це є цільовою функцією проведення даних досліджень. При цьому підвищення продуктивності, як зазначалося раніше, досягається шляхом зменшення втрат ґрунту і (або) підвищенням швидкості переміщення машини, яке очікувано призведе до скорочення часу циклу, а зниження енергоємності повинно забезпечуватися зазначеним раніше питомим коефіцієнтом копання ґрунту, а фактично співвідношенням потужності, яка витрачається на даний процес до його технічної продуктивності.

4 ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОПАННЯ ҐРУНТУ БУЛЬДОЗЕРНИМ ВІДВАЛОМ З ПНС

4.1 Фізичні моделі ПНС для лабораторних досліджень

З метою виявлення взаємного впливу параметрів робочого обладнання (РОБ) експериментальні дослідження проводилися на підставі теорії планування експериментів, а результати оброблялися методами теорії ймовірності та математичної статистики із застосуванням обчислювальної техніки, [11, 12, 13].

Для створення моделей ПНС використовувалися основні параметри РОБ бульдозера з ПНС, що оптимізуються і змінювані в ході експериментів:

- подовжня відстань між точками A - B - C , зміна якого характеризує на яку відстань L (рис. 2.2) будуть віддалені точки A і B від точки C в горизонтальній площині;

- вертикальна відстань між точками A - B - C , зміна якого характеризує на яку величину H_2 чи H_3 , будуть зміщені точки A і B відносно точки C у вертикальному напрямку

- кількість пар ножів, зміна якого забезпечувало варіювання кількості пар ножів від однієї до п'яти;

- категорія ґрунту (кількість ударів $C_{уд}$), зміна якого забезпечувала варіювання міцносних характеристик ґрунту, моделюючи ґрунт від піщаного до глинистого.

Обсяг дослідів експериментальних досліджень, визначений чотирма (для ПНС, у якої точки A і B зсунуті на висоту H_2 чи H_3 , відносно точки) та трьома (для ПНС, у якої точки A і B з точкою C в одній площині) керуючими факторами, представлений матрицями ротатбельного центрального композиційного плану в табл. 4.3, 4.4.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням ротатбельного планування другого порядку з довірчою ймовірністю 0,95.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Процес взаємодії РО бульдозера з ПНС з ґрунтом, що розробляється, описується формулами, які знаходяться проаналізувавши рівняння тягового балансу бульдозера (розділ 3).

Визначалися рівні факторів та інтервали варіювання (табл. 4.1, 4.2).

Таблиця 4.1

Планування експериментальних досліджень ПНС

Фактор	Параметр	Рівні факторів					Інтервал
		-2	-1	0	+1	+2	
X1	Подовжня відстань між точками А-В-С	30	40	50	60	70	10
X2	Вертикальна відстань між точками А-В-С	5	10	15	20	25	5
X3	Кількість пар ножів	1	2	3	4	5	1
X4	Категорія ґрунту	I	II	III	IV	IV	5
	Кількість ударів $C_{уд}$	2	7	12	17	22	

Таблиця 4.2

Планування експериментальних досліджень ПНС

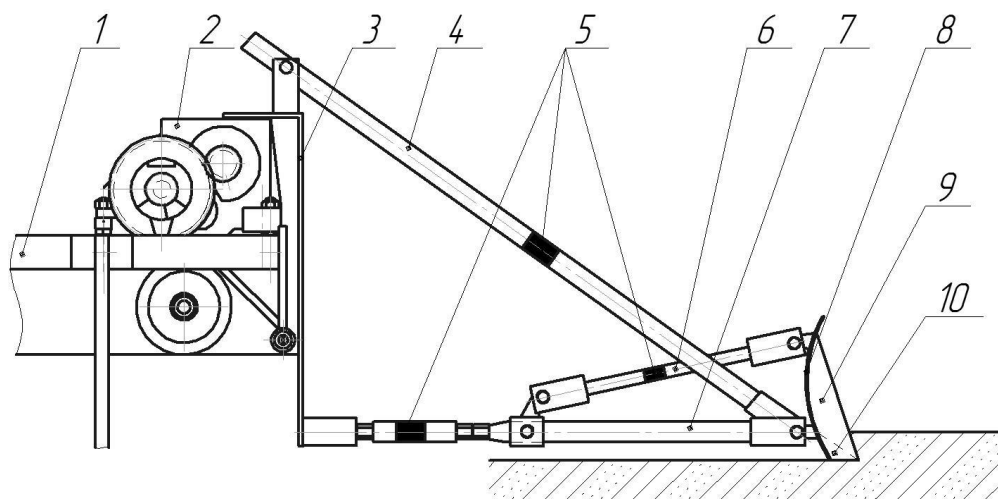
Фактор	Параметр	Рівні факторів					Інтервал
		-2	-1	0	+1	+2	
X1	Подовжня відстань між точками А-В-С	30	40	50	60	70	10
X2	Кількість пар ножів	1	2	3	4	5	1
X3	Категорія ґрунту	I	II	III	IV	IV	5
	Кількість ударів $C_{уд}$	2	7	12	17	22	

4.2 Опис стендового устаткування

Розглянувши та проаналізувавши різноманітні види приводів і комбінацій їх взаємного конструктивного виконання, на моделі бульдозера пропонується використовувати наступну схему управління обладнанням: для переміщення стенду використовується електромеханічний привід, що складається з двигуна, редуктора, ходових коліс; механізму обертання поворотної платформи (електромеханічний з використанням двигуна, редуктора та відкритої зубчасті передачі, по аналогії з реальними машинами).

Стенд (рис. 4.3) змонтований на багатофункціональному візку, переміщується уздовж ґрунтового каналу, з іншої сторони візка змонтоване обладнання екскаватора, котре знаходиться в транспортному положенні. На його металоко́нструкцію можлива установка інших моделей робочих органів в середній частині або консольні закріплення підвісок землерийно-транспортних машин. На рамі візка розташований майданчик для установки компресорної або насосної станції приводу і вимірювальну апаратуру. Конструкція візка передбачає її фіксацію до металоко́нструкції ґрунтового каналу.

Для контролю взаємодії фізичної моделі РО бульдозера з ґрунтом необхідна вимірювальна система. При розробці системи вимірювання параметрів досліджень слід використовувати датчики переміщення елементів стенда, розмістивши їх у зручних для встановлення та обслуговування місцях найбільших можливих деформацій з метою зменшення їх чутливості і, відповідно, зниження впливу зовнішніх факторів на точність вимірювань та зменшення їх вартості. Лабораторний стенд обладнаний сучасним комплексом вимірювальних засобів і датчиків, які дають можливість використовувати досить точний процес роботи стенду і отримати автоматизовану систему попередження нештатної роботи стенду. На рисунку 4.3 показано місця встановлення датчиків. На рисунку 4.4 представлена модель робочого обладнання бульдозера з ПНС.



1 – опорний візок; 2 – механізм пересування стенда; 3 – задня стінка; 4 – гідроциліндр підйому-опускання відвала; 5 – датчики; 6 – розкіс ; 7 – штовхальний брус; 8 – відвал; 9 – бічна косинка; 10 – ПНС;

Рис.4.3. Схема стенда для дослідження процесу взаємодії відвала бульдозера з ґрунтом

						ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			82



Рис. 4.4. Бульдозерне обладнання з ПНС для дослідження процесу взаємодії з ґрунтом

На рисунку 4.5 представлені варіанти фізичних моделей ПНС для неповоротного відвала бульдозера згідно одного з планів експериментальних досліджень.

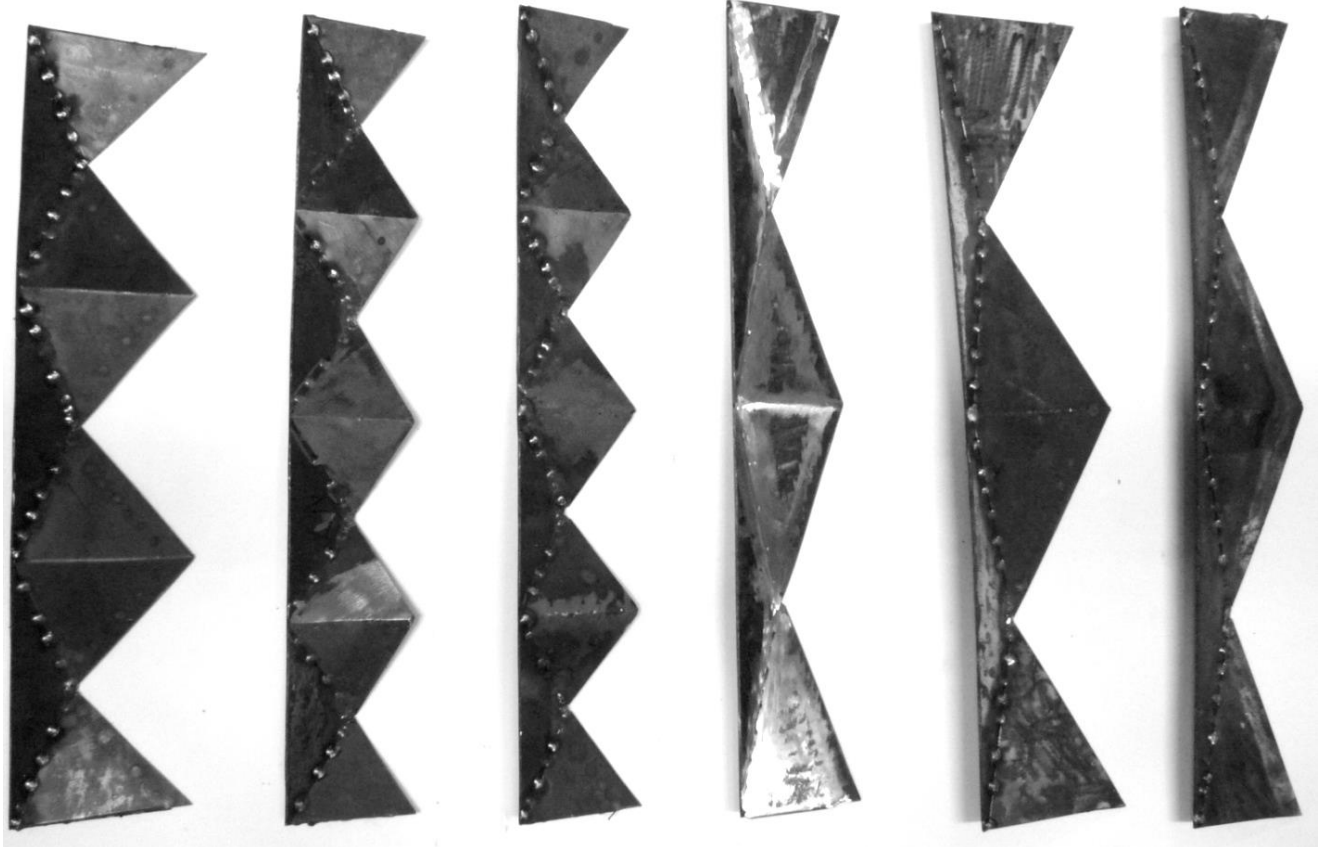


Рис. 4.5. Фізичні моделі ПНС (масштаб 1:10)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Різниця між математичною моделлю та лабораторним дослідом складає 15%, а між математичною моделлю та натурним дослідом – до 40%, [12, 13]. Очікувані практичні результати можуть бути більшими або меншими розрахункових, але не перевищувати різниці у 15%. На рисунках 4.6, 4.7 та 4.8 пунктирною лінією показано можливі межі отриманих результатів дослідів, проведених на стенді для дослідження процесу взаємодії відвала бульдозера оснащеного ПНС з ґрунтом.

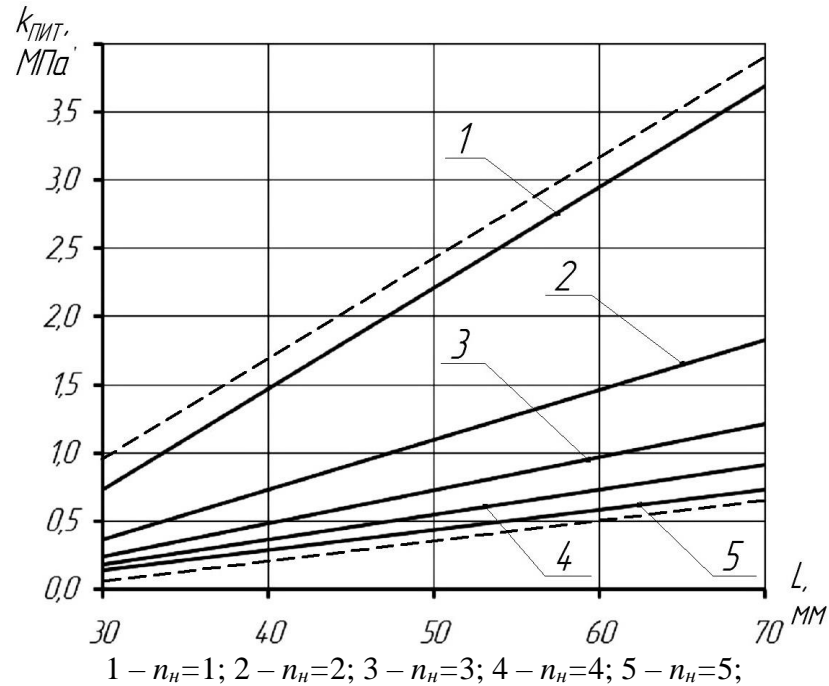


Рис. 4.6. Графік залежності коефіцієнта питомого опору копанню від постійної кількості пар ножів і змінного подовжнього зміщення країв їх лез

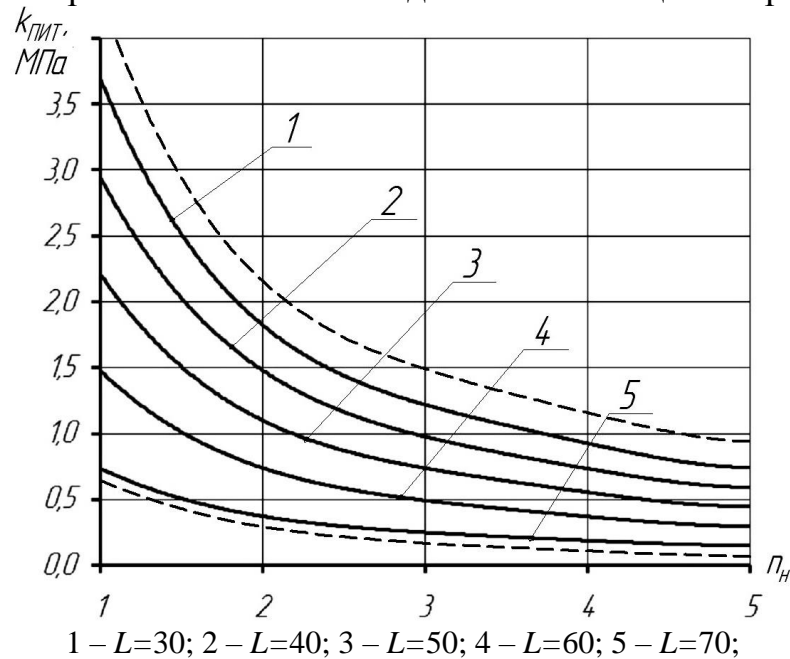
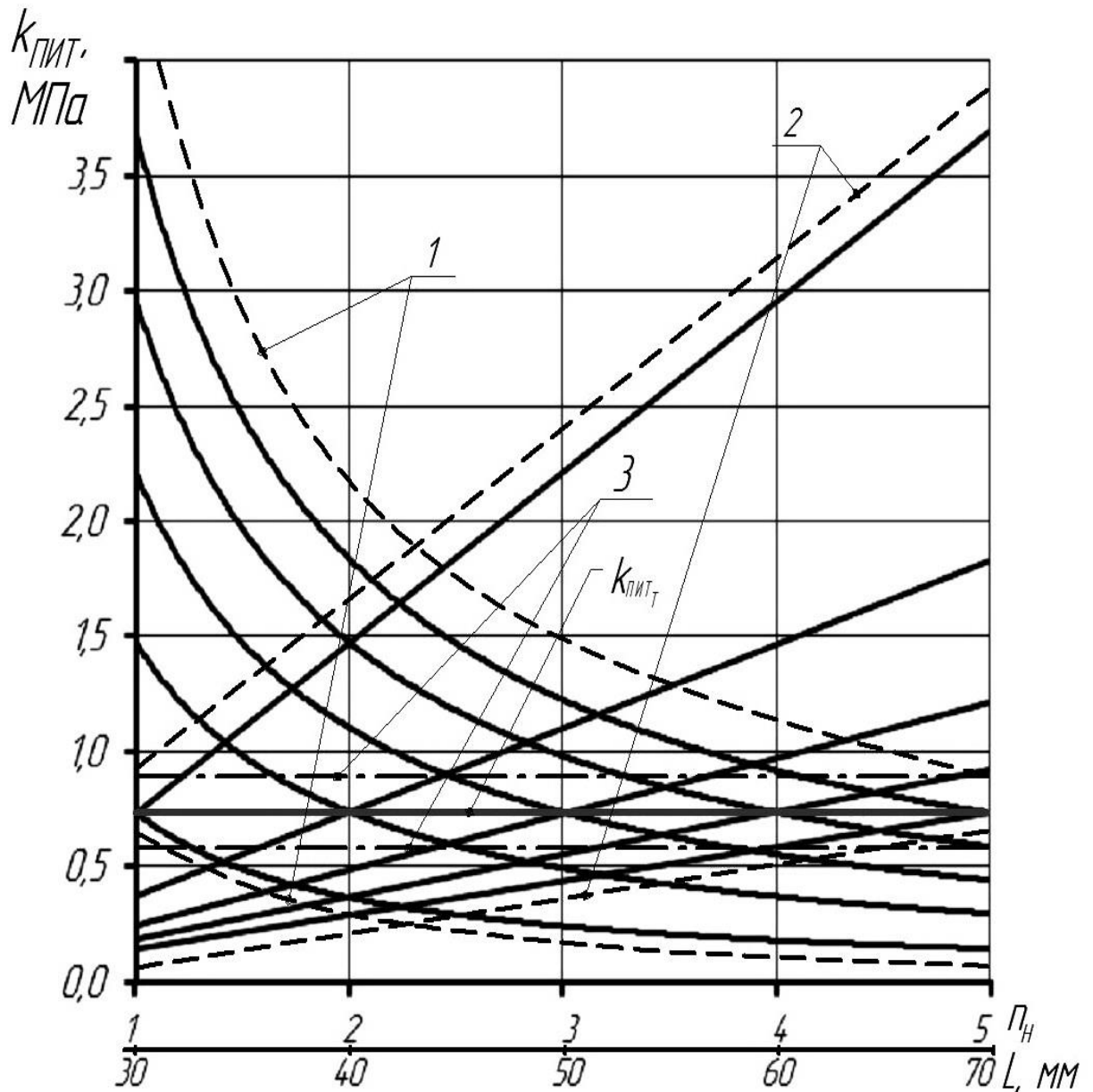


Рис. 4.7. Графік залежності коефіцієнта питомого опору копанню від постійного подовжнього зміщення країв лез ножів і змінної кількості їх пар



1 – можливі межі отриманих результатів дослідів при постійного подовжнього зміщення країв лез ножів і змінної кількості їх пар; 2 – можливі межі отриманих результатів дослідів при постійної кількості пар ножів і змінного подовжнього зміщення країв їх лез; 3 – можливі межі отриманих результатів дослідів при копанні традиційним ножем;

Рис. 4.8. Суміщення (по рис. 4.6 і 4.7) графіків залежності коефіцієнта питомого опору копанню від кількості пар ножів і подовжньої відстані між краями їх лез

Було визначено вагу ножової системи для трьох варіантів: точки А-В-С у одній площині, точки вище і нижче горизонталі. Відповідно до цих значень побудовані діаграми, в яких показано залежність ваги моделей НС від довжини ріжучого краю ножа.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вага моделей ПНС та довжина ріжучого краю

№ зразка	Вище горизонталі		У горизонтальній площині		Нижче горизонталі	
	Довжина ріж. краю	Вага системи	Довжина ріж. краю	Вага системи	Довжина ріж. краю	Вага системи
1	483,04	0,560	471	0,791	483,04	0,560
2	515,08	0,647	495,72	0,966	515,08	0,647
3	487,96	0,577	471	0,791	487,96	0,577
4	519,72	0,667	495,72	0,966	519,72	0,667
5	561,2	0,573	518,72	0,782	561,2	0,573
6	665,52	0,655	603,84	0,927	665,52	0,655
7	578	0,593	518,72	0,782	578	0,593
8	679,76	0,687	510,88	0,942	679,76	0,687
9	496,62	0,519	473,76	0,709	496,62	0,519
10	625,02	0,700	576,42	1,037	625,02	0,700
11	544,98	0,605	514,8	0,867	544,98	0,605
12	564,48	0,624	514,8	0,867	564,48	0,624
13	465,84	0,601	459,88	0,876	465,84	0,601
14	691,8	0,633	608,1	0,85	691,8	0,633
15	551,58	0,609	514,8	0,867	551,58	0,609



а)



б)

а – вага моделей ПНС; б – довжина ріжучого краю моделей ПНС;
 Рис. 4.9. Параметри моделей ПНС які працюють вище горизонталі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



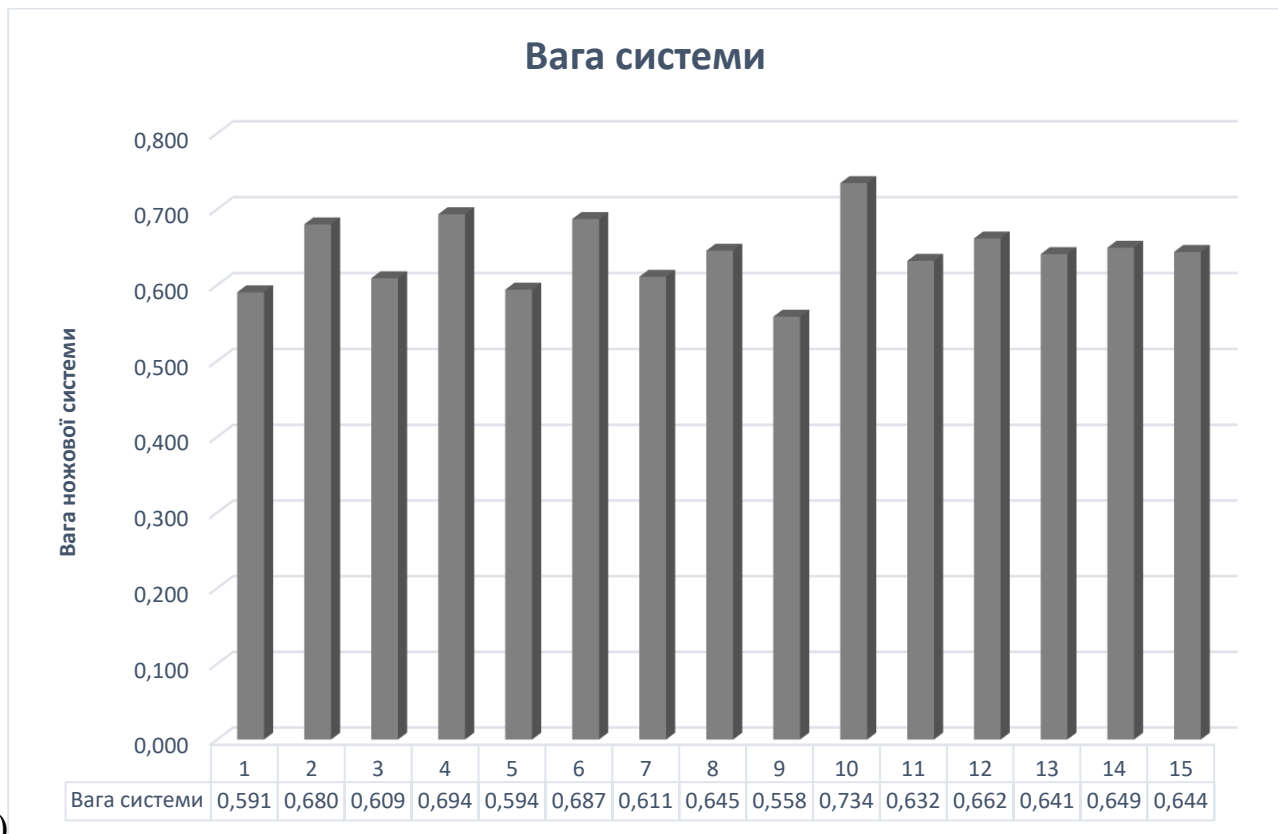
а)



б)

а – вага моделей ПНС; б – довжина ріжучого краю моделей ПНС;
 Рис. 4.9. Параметри моделей ПНС які працюють в горизонтальній площині

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



а)



б)

а – вага моделей ПНС; б – довжина ріжучого краю моделей ПНС;
 Рис. 4.9. Параметри моделей ПНС які працюють нижче горизонталі

Вихідні дані для розрахунку об'єму призми і довжини копання для традиційного відвала представлені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Ширина ножової системи b , мм	Висота відвала H , мм	Товщина стружки $h_{стр}$, мм
454	155	10
		15
		20
		25
		30

Використовуючи формулу 3.13 та 3.14 знаходимо необхідні параметри. Отримані дані заносимо до табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Незмінні параметри		Товщина стружки	Довжина копання
$V_{пр}$, м ³	b , мм	$h_{стр}$, мм	$l_{коп}$, мм
0,0055	454	10	1201
		15	801
		20	601
		25	481
		30	400

Ножова система може знаходитися в горизонтальній площині, вище або нижче горизонталі. Тому для трьох випадків проводимо розрахунок об'єму призми та довжини копання. При цьому змінюються параметри товщини стружки та подовжня відстань між точками А-В-С (табл. 4.1).

Розрахунки необхідних параметрів заносимо до табл. 4.8

Положення ножової системи

НС в горизонтальній площині					НС вище або нижче горизонталі									
$V_{np},$ $м^3$	x_1 $мм$	$S_{біч}$ $м^2$	$h_{стп}$ $мм$	$l_{коп}$ $мм$	$V_{np},$ $м^3$	x_1 $мм$	$S_{біч}$ $м^2$	x_2 $мм$	$h_{стп}, мм$					
									10	15	20	25	30	
									$l_{коп}, мм$					
0,0065	30	0,0023	10	1433	0,0065	30	0,0023	5	1432	955	716	573	477	
			15	956	0,0064		0,0022	10	1426	950	713	570	475	
			20	716	0,0063		0,0020	15	1409	939	704	563	470	
			25	573	0,0062		0,0018	20	1383	922	691	553	460	
			30	478	0,0060		0,0013	25	1337	891	668	535	445	
0,0068	40	0,0030	10	1509	0,0069	40	0,0031	5	1510	1007	755	604	503	
			15	1006	0,0068		0,0030	10	1505	1003	752	602	502	
			20	754	0,0067		0,0029	15	1494	996	747	598	498	
			25	604	0,0067		0,0027	20	1477	958	739	591	492	
			30	503	0,0066		0,0025	25	1453	968	726	581	484	
0,0072	50	0,0038	10	1589	0,0072	50	0,0039	5	1588	1059	794	635	529	
			15	1059	0,0071		0,0038	10	1584	1056	792	634	528	
			20	794	0,0071		0,0037	15	1576	1050	788	630	525	
			25	636	0,0070		0,0036	20	1564	1042	782	625	521	
			30	530	0,0070		0,0034	25	1546	1030	773	618	515	
0,0075	60	0,0046	10	1666	0,0076	60	0,0046	5	1666	1111	833	666	555	
			15	1111	0,0075		0,0046	10	1663	1109	831	665	554	
			20	833	0,0075		0,0045	15	1657	1104	828	663	552	
			25	666	0,0074		0,0044	20	1647	1098	823	659	549	
			30	555	0,0074		0,0043	25	1633	1089	816	653	544	
0,0079	70	0,0054	10	1746	0,0079	70	0,0054	5	1744	1162	872	697	581	
			15	1164	0,0079		0,0054	10	1741	1161	870	697	580	
			20	873	0,0078		0,0053	15	1737	1158	868	695	579	
			25	698	0,0078		0,0052	20	1728	1152	864	691	576	
			30	582	0,0077		0,0051	25	1717	1145	858	687	572	

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					91

В результаті були отримані графіки залежності довжини копання від постійної площі та змінної товщини стружки.

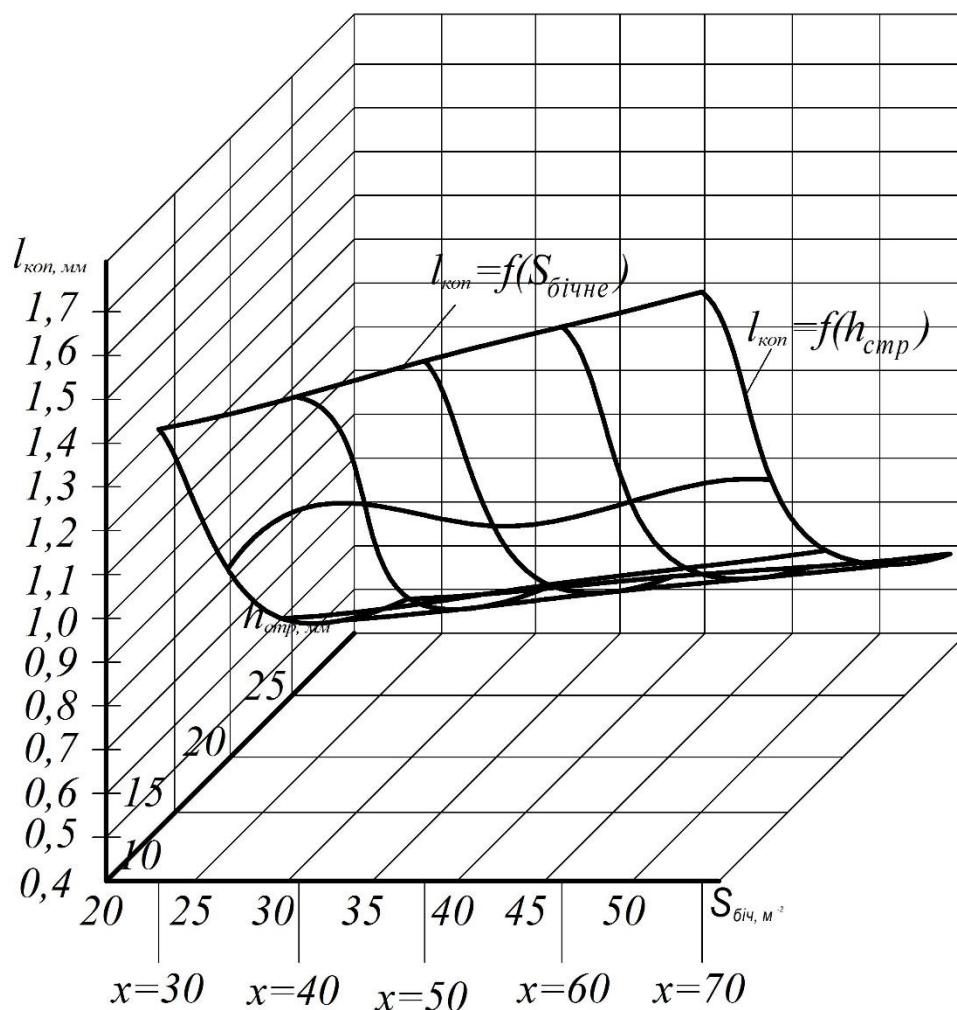


Рис. 4.10. Графік залежності довжини копання для положення НС в горизонтальній площині

Для визначення довжини копання у випадку розміщення ножової системи вище або нижче горизонталі змінюється подовжня відстань між точками А-В-С – параметр x_1 та вертикальна відстань між точками А-В-С – параметр x_2 . Значення x_2 приведено у табл. 4.1.

За проведеними розрахунками згідно табл. 4.8 побудовані графіки залежностей для всіх можливих випадків (рис. 4.11 – 4.15).

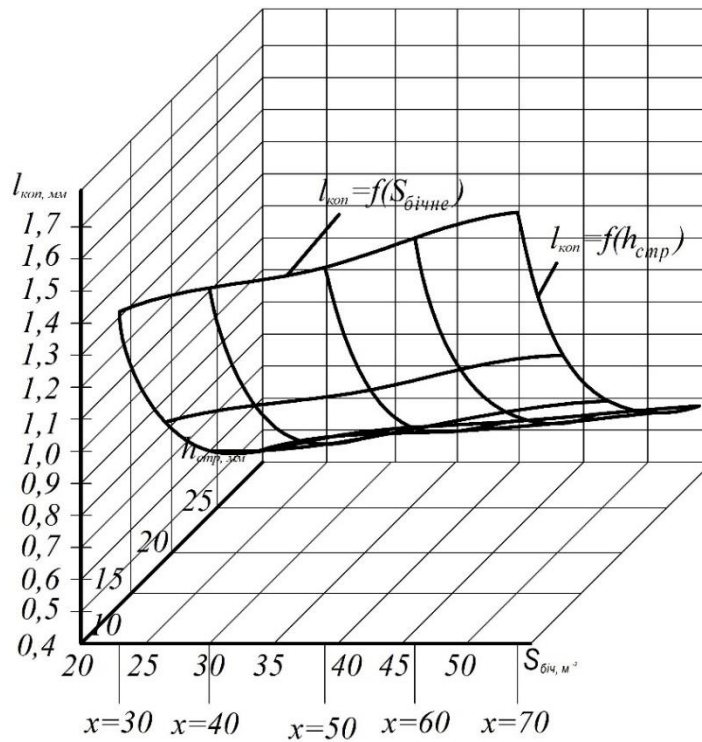


Рис. 4.11. Графік залежності довжини копання для положення НС вище горизонталі, при постійній величині $x_2=5$ мм

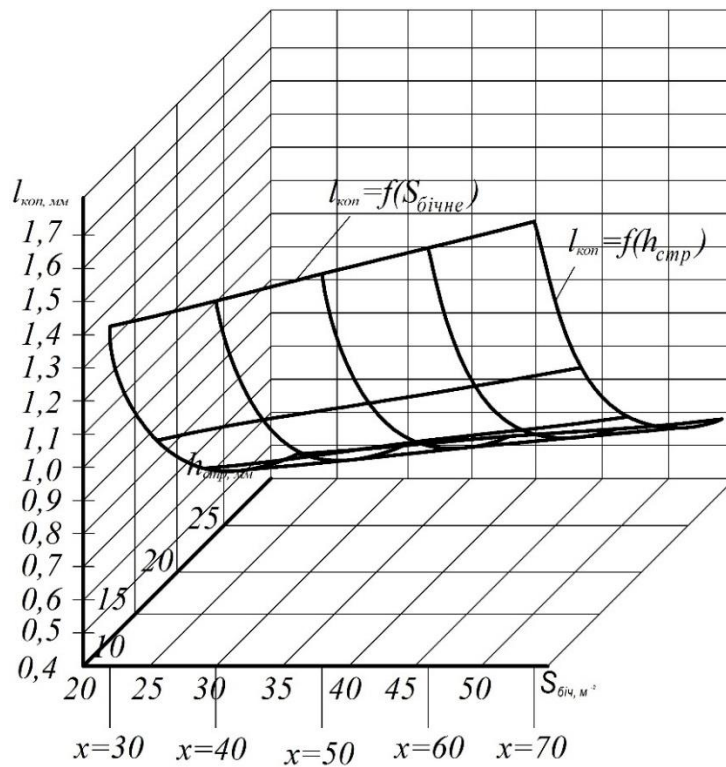


Рис. 4.12. Графік залежності довжини копання для положення НС вище горизонталі, при постійній величині $x_2=10$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

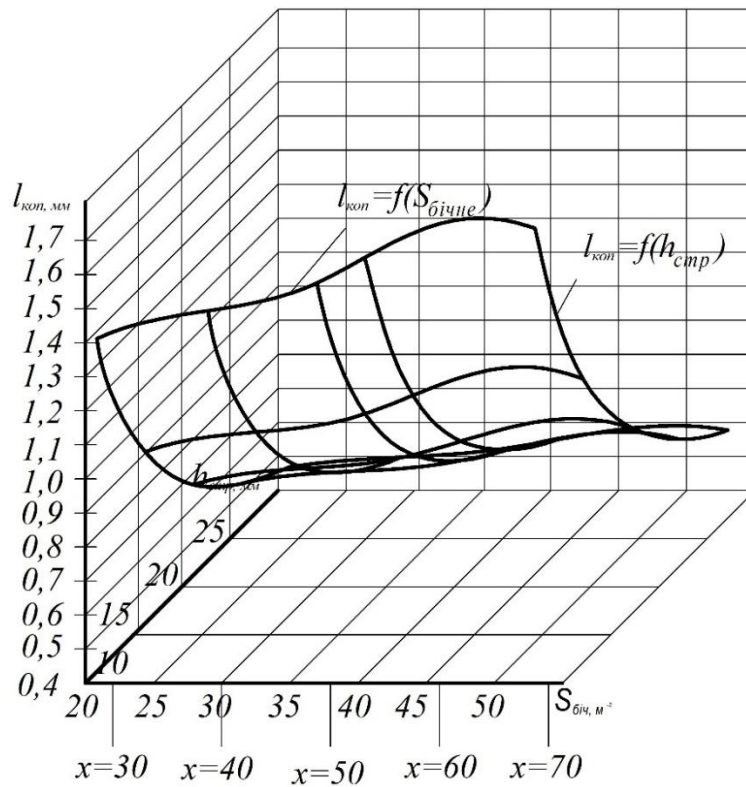


Рис. 4.13. Графік залежності довжини копання для положення НС вище горизонталі, при постійній величині $x_2=15$ мм

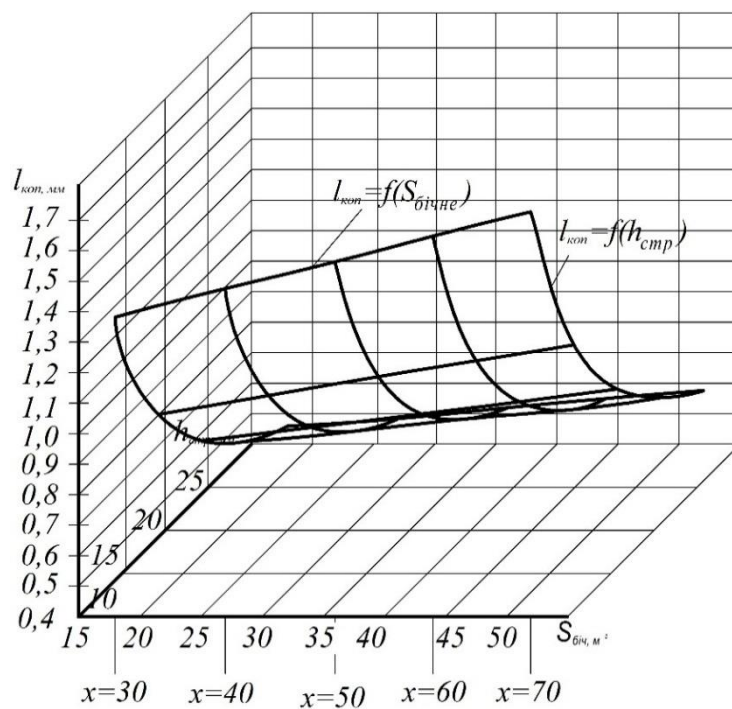


Рис. 4.14. Графік залежності довжини копання для положення НС вище горизонталі, при постійній величині $x_2=20$ мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

гіпотези щодо зменшення питомого коефіцієнта копанню ґрунту при використанні ПНС. Основою експерименту є науково поставлений дослід, у якому визначення коефіцієнта питомого опору копанню ґрунту відбувається за допомогою доцільно вибраних та штучно створених умов, що забезпечують появу тих процесів, спостереження і контроль за якими необхідні для встановлення закономірних зв'язків між параметрами ПНС. Отримані графіки залежностей між параметрами, що характеризують процес копання ґрунту ПНС бульдозера дозволяють наглядно показати зв'язок між ними, зручно вбирати необхідні параметри для конкретних умов експлуатації та продовжити пошук раціональних і оптимальних параметрів ПНС на основі використання співвідношень метою отримання їх оптимальних значень. Також, вони дозволяють продовжити виконання досліджень.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

5 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Умови моделювання процесів взаємодії з ґрунтом робочих органів землерийних машин

Використовуючи навчальні посібники, студенти вивчають основні положення і методику наближеного фізичного моделювання робочих процесів взаємодії робочого устаткування ЗТМ з ґрунтом і виписують наступні системи критеріїв подібності, дотримання яких забезпечує наближене фізичне моделювання процесів копання ґрунту робочим устаткуванням бульдозера (для супіщаних ґрунтів та суглинків і глин при вологості $\omega = 5...6\%$):

$$\frac{C_w}{\gamma l} \left(\frac{C_{уд}}{\gamma l} \right); \frac{\eta v}{\gamma l^2} \left(\frac{\omega v}{\gamma l^2} \right); \rho; \delta; \frac{l_H}{l_M}; \alpha, \quad (5.1)$$

де C_w – зчеплення ґрунту Па;

$C_{уд}$ – число ударів ударника ДорНДІ;

γ – об'ємна вага ґрунту, кг/см³;

l – визначальний лінійний розмір робочого устаткування, м;

η – коефіцієнт динамічної в'язкості, кгс/м;

v – швидкість копання, м/с;

ω – вологість ґрунту %;

ρ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град;

δ – кут зовнішнього тертя ґрунту, град;

l_H, l_M – кут різання, град.

Критерії подібності, що знаходяться в дужках, ідентичні критеріям подібності, що попереду стоять.

Від системи критеріїв подібності можна перейти до відповідної системи індикаторів (показчиків) подібності:

$$\frac{K_{C_{уд}}}{K_\gamma K_l} = 1; \frac{K_\omega K_v}{K_\gamma K_{l^2}} = 1; K_\rho = 1; K_\delta = 1; K_\alpha = 1,$$

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

$$\text{де } K_l = \frac{l_H}{l_M}; K_\omega = \frac{\omega_H}{\omega_M}; K_{C_{\text{вд}}} = \frac{C_{\text{вд.Н}}}{C_{\text{вд.М}}}; K_\gamma = \frac{\gamma_H}{\gamma_M}; K_\rho = \frac{\rho_H}{\rho_M}; K_\delta = \frac{\delta_H}{\delta_M}; K_\alpha = \frac{\alpha_H}{\alpha_M},$$

K – масштаб у відповідних параметрів;

K_l – геометричний масштаб моделювання, індекс «Н» відноситься до параметрів натурального зразка, «М» - до моделі.

Від системи індикаторів подібності студенти переходять до складання формул для визначення параметрів моделі за орієнтовними даними параметрів оригіналу :

$$C_{\text{вд.Н}} = C_{\text{вд.М}} K_l \text{ при } \gamma_H = \gamma_M; l_H = l_M K_l; v_H = v_M K_l^2 K_\omega^{-1}; \rho_H = \rho_M; \delta_H = \delta_M; \\ \alpha_H = \alpha_M; h_H = h_M K_l,$$

де h – глибина різання, м.

Для визначення мінімального розміру фізичної моделі і геометричного масштабу моделювання, що відповідає йому, використовують наступну формулу:

$$K_\alpha = \frac{\beta_H}{d} \geq K_l \geq \sqrt[4]{\frac{P_H \varepsilon 100}{K_n P_{\text{max}}}}; \quad (5.2)$$

де β_H – ширина інструменту натурального робочого устаткування, м;

d – найбільший діаметр фракції ґрунтів, м;

K_α – коефіцієнт, залежний від типу робочого органу, розмірів, режимів роботи; $K_\alpha = 0,065$ – для переміщення призми ґрунту перед відвалом бульдозера;

P_H – максимальне зусилля оригіналу, кгс, визначається орієнтовно за допомогою існуючих традиційних методів розрахунку або експериментально,

ε – відносна помилка виміру при випробуваннях оригіналу (до 0,15),

$P_{\text{max}} = K_n P_{\text{min}}$ – максимальне зусилля, на яке розрахована шкала приладу, кгс (межа виміру приладом за тензометричним способом, призначають з урахуванням конструкції тензо-елементів, міри зусилля вимірювальної апаратура і ширина осцилографічного паперу); K_n – коефіцієнт, залежний від умов запису на осцилографічний папір (при ширині осцилографічного паперу $B=120\text{мм}$, $K_n=5$; $B=100\text{мм}$, $K_n=4$; $B=60\text{мм}$, $K_n=2$); P_{min} – мінімальне можливе зусилля, заміряне відхиленням променя осцилографа при максимальній мірі посилення $l - 20-25\text{мм}$,

						ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			98

K_{np} – клас точності приладу, який при обробці осцилограм можна додавати до відносної помилки обробки осцилограм (до 2,5%).

Для перерахунку параметрів з моделі на оригінал необхідно користуватися формулами переходу, які формуються на системи індикаторів при:

$$\gamma_H = \gamma_M; P_H = P_M K_l^3; C_{удH} = C_{удM} K_l; v_H = v_M K_l^2 K_\omega^{-1}; \rho_H = \rho_M; \delta_H = \delta_M; \alpha_H = \alpha_M; \\ l_H = l_M K_l; h_H = h_M K_l.$$

де P – опір копанню ґрунту, Н.

Студенти проводять підготовку стенду фізичного моделювання, еквівалентно групам, модельного робочого устаткування і експериментам.

До експерименту на стенді фізичного моделювання готуються дві різномасштабні моделі бульдозерного устаткування.

Велика модель береться за оригінал, менший зразок береться за модель.

За оригінал може братися натурне робоче устаткування природних розмірів, для якого вже відомі усі параметри для порівняння з модельними даними. В цьому випадку на стенді випробовується тільки одна зменшена фізична модель з урахуванням допустимого певного геометричного масштабу моделювання K_l .

Модель ґрунту готується згідно з умовами наближеного фізичного моделювання і використання формул. Міцносні властивості приготованої моделі ґрунту контролюються по числу ударів ударника ДорНДІ. Він має спеціальний наконечник зі збільшеною площею того, що спирається для того, щоб він відразу оцінити і порівняти міцносні властивості ґрунту моделі і оригіналу.

В якості середовища для моделі ґрунту може бути вибраний вологий піщаний ґрунт. Глибина різання модельного ґрунту визначається однією з формул системи рівнянь.

Студенти знайомляться з системою вимірів опорів копання ґрунту моделями устаткування і вимірювальною апаратурою. На малюнку представлена схема вимірювальної апаратури.

Далі необхідно спланувати однофакторний експеримент для отримання залежності опору копання ґрунту P від глибини різання h на двох різномасштабних

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

моделях, тобто $P=f(h)$. Для отримання цих залежностей необхідно мати для кожної з двох не менше чим по чотири значення P при відповідних значеннях h .

На підставі попередніх численних експериментальних досліджень проведених раніше на стенді фізичного моделювання студенти приймають, що при копанні еквівалентного ґрунту фізичними моделями робочого устаткування бульдозера виконується нормальний закон розподілу статичних величин. На базі цього допущення студенти обґрунтовано повинні вибрати кількість повторних дослідів при кожній глибині різання. Для визначення кількості повторних дослідів скористаємося таблицею 5.1. Для того, щоб знайти по цій таблиці необхідну кількість дослідів (вимірів однієї і тієї ж величини), необхідно задатися надійністю і помилкою, узятою в долях стандарту.

Для вимірів, пов'язаних з конструкціями машин, цілком достатня надійність $0,9...0,95$.

Для більшості технічних вимірів можна вважати, що найбільшою помилкою середньо арифметичною багатократних вимірів являється абсолютна величина, рівна плюс-мінус три стандарти $\Delta = \pm 3S$.

На підставі вищевикладеного повторність дослідів і тієї ж величини, тобто P , може бути вибрана рівною $n=3$.

При неодноразових вимірах опорів копанню P при одній і тій же глибині різання h результати окремих вимірів можуть різко відрізнитися від інших. Це відбувається внаслідок грубої помилки у вимірах. У таких випадках не можна вносити самовільно поправки. Виміри в цих дослідах потрібно повторити, з'ясувавши, що вони є явним викидом значення.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

Необхідна кількість дослідів (вимірів)

Помилка взята у долях стандарту	Надійність H							
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
3,0	1	1	1	1	2	3	4	5
2,0	1	1	1	2	3	4	5	7
1,0	2	2	3	4	5	7	11	17
0,5	3	4	6	9	13	18	31	50
0,4	4	6	8	12	19	27	46	76
0,3	6	9	13	20	32	46	78	127
0,1	47	72	169	266	273	387	668	1089
0,05	183	285	431	656	1084	1540	2659	4338
0,01	4543	7090	10732	16436	27161	38416	66358	108307

Вважається, що відхилення від середньої арифметичної не повинне перевищувати граничної помилки середньої арифметичної, тобто $3S$. Тому відхилення, що перевищує за своїм значенням величину $3S$ показує, що цей вимір був бракованим і його слід відкинути, не приймаючи його у подальших обчисленнях.

Значить, брак виникає, якщо $P_{n+1} - \bar{P} > 3S$,

де P_{n+1} – сумнівне значення величини опору копанню, Н;

$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{n}$ – середнє арифметичне інших n – вимірів опорів копання ,

P_i – (за винятком сумнівних);

P_i – результат будь-якого окремого виміру;

S – стандарт або середньо квадратичне відхилення, Н.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

Величина S визначається по формулі:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}}, \quad (5.4)$$

Строгіше брак вимірів визначається як

$$\frac{P_{n-1} - \bar{P}}{S} \geq t, \quad (5.5)$$

де t - значення, вибране з таблиці Стьюдента (таблиця).

У таблиці H' - вірогідність того, що значення $(P_{n+1} - \bar{P})$ не перевищить деяке значення tS , яке підлягає визначенню. Для точних обчислень краще брати менше значення H' , наприклад, $0,01$ (1%). При встановленні загальних закономірностей можна брати $H''=0,02...0,05$.

Студенти проводять експерименти на стенді фізичного моделювання на двох різномасштабних моделях, велика з яких прийнята за оригінал, а менша - за модель. Копання еквівалентного матеріалу кожною моделлю робиться при чотирьох значеннях глибини різання, з триразовою повторюваністю дослідів при кожній глибині різання.

Після проведення експериментів здійснюється їх обробка методом найменших квадратів.

При цьому студентам необхідно перерахувати опори копанню ґрунту з моделі на оригінал по формулах і зробити порівняння перераховані даних з дійсними експериментальними значеннями на їх відповідність (адекватність), тобто перевірку придатності моделей. Ми називатимемо таку перевірку перевіркою адекватності моделі. Для досягнення цієї мети студентам необхідно зробити регресивний аналіз при допущенні, що опори копанню ґрунту моделями бульдозерного устаткування є випадкова величина з нормальним законом розподілу.

Однією з вимог регресійного аналізу є однорідність дисперсії. Перевірка однорідності дисперсії робиться за допомогою різних статичних критеріїв.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

Простим з них є критерій Фішера, призначений для порівняння двох дисперсій. Критерій Фішера (F - критерій) є відношенням більшої дисперсії до меншої

$$F_p = \frac{S^2_{\max}}{S^2_{\min}}. \quad (5.6)$$

Отримана величина K порівнюється з табличною величиною F - критерію. Якщо отримане значення дисперсійного відношення F більше приведенного в таблиці для існуючих мір вільного і вибраного рівня значущості, це означає, що дисперсії неоднорідні. Розглянемо конкретно для нашої лабораторної роботи питання визначення дисперсій і перевірку їх однорідності.

Визначимо дисперсії опорів копання, отримані на моделі оригіналу, оскільки з цим опором порівнюватимуться перераховані опори копанню з моделі на оригінал.

$$S_{1H}^2 = \frac{(P_{H11} - \bar{P}_{H1})^2 + (P_{H21} - \bar{P}_{H1})^2 + (P_{H31} - \bar{P}_{H1})^2}{n-1}, \quad (5.7)$$

$$S_{2H}^2 = \frac{(P_{H12} - \bar{P}_{H2})^2 + (P_{H22} - \bar{P}_{H2})^2 + (P_{H32} - \bar{P}_{H2})^2}{n-1}, \quad (5.8)$$

$$S_{3H}^2 = \frac{(P_{H13} - \bar{P}_{H3})^2 + (P_{H23} - \bar{P}_{H3})^2 + (P_{H33} - \bar{P}_{H3})^2}{n-1}, \quad (5.9)$$

$$S_{4H}^2 = \frac{(P_{H14} - \bar{P}_{H4})^2 + (P_{H24} - \bar{P}_{H4})^2 + (P_{H34} - \bar{P}_{H4})^2}{n-1}, \quad (5.10)$$

де $S_{1H}^2; S_{2H}^2; S_{3H}^2; S_{4H}^2$ - дисперсії опорів копанню ґрунту, отримані на моделі оригіналу відповідно при глибинах різання $h_{1H}; h_{2H}; h_{3H}; h_{4H}$;

$P_{H11}; P_{H21}; P_{H31}$ - опори копанню ґрунту моделлю оригіналу, отримані при повторних екскрементях на глибині різання h_{1H} ;

$P_{H12}; P_{H22}; P_{H32}$ - те ж на глибині h_{2H} ;

$P_{H13}; P_{H23}; P_{H33}$ - те ж на глибині h_{3H} ;

$P_{H14}; P_{H24}; P_{H34}$ - те ж на глибині h_{4H} ;

$P_{H1}; P_{H2}; P_{H3}; P_{H4}$ - математичні очікування опору копання отримані на моделі оригіналу відповідно для глибин різання $h_{1H}; h_{2H}; h_{3H}; h_{4H}$,

					ДІПТ. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

$n-1$ – число ступенів свободи, рівне кількості дослідів мінус одиниця ($n-3$);

$$\bar{P}_{1H} = \frac{P_{H11} + P_{H21} + P_{H31}}{n}; \quad \bar{P}_{2H} = \frac{P_{H12} + P_{H22} + P_{H32}}{n},$$

$$\bar{P}_{3H} = \frac{P_{H13} + P_{H23} + P_{H33}}{n}; \quad \bar{P}_{4H} = \frac{P_{H14} + P_{H24} + P_{H34}}{n}.$$

З величин $S_{1H}^2; S_{2H}^2; S_{3H}^2; S_{4H}^2$ вибирається найбільше $S_{H \max}^2$ і найменше $S_{H \min}^2$ для визначення $F_p = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2}$.

Після встановлення однорідності дисперсій студенти переходять до визначення адекватності моделі. Для перевірки гіпотези про адекватність можна використовувати F - критерій (цей критерій вже нами використовувався при встановленні однорідності дисперсій);

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

$S^2(P_H)$ – дисперсія відтворюваності.

$$S^2(P_H) = \frac{S_{1H}^2 f_1 + S_{2H}^2 f_2 + S_{3H}^2 f_3 + S_{4H}^2 f_4}{f_1 + f_2 + f_3 + f_4}, \quad (5.11)$$

де f_1, f_2, f_3, f_4 – число ступенів свободи в дослідях відповідно для глибин різання $h_{1H}; h_{2H}; h_{3H}; h_{4H}$; $f_1 = n_1 - 1$; $f_2 = n_2 - 1$; $f_3 = n_3 - 1$; $f_4 = n_4 - 1$.

У нашому випадку $f_1 = f_2 = f_3 = f_4$, оскільки число повторних вимірів в одному досвіді однакове, тобто $n_1 = n_2 = n_3 = n_4$.

Таким чином, можна використовувати спрощену формулу для визначення $S^2(P_H)$, а саме

$$S^2(P_H) = \frac{S_{1H}^2 + S_{2H}^2 + S_{3H}^2 + S_{4H}^2}{4}, \quad (5.12)$$

Дисперсія адекватності визначається по формулі $S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta P_i^2}{f}$,

де $\sum_{i=1}^N \Delta P_i^2$ – залишкова сума квадратів, тобто сума квадратів, не пов'язаних між дійсними значеннями опорів копанню отриманими на робочому устаткуванні

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

бульдозера оригіналу і даними перерахунку опорів копанню з моделі не оригіналу, кг²;

f – число ступенів свободи, тобто між числом дослідів N і числом коефіцієнтів ($f=4-1=3$).

ΔP_1^2 ; ΔP_2^2 ; ΔP_3^2 ; ΔP_4^2 – незв'язані квадрати опорів копанню між експериментальними значеннями оригіналу і перерахованими значеннями з моделі на оригінал відповідно при глибинах різання $h_{1H}; h_{2H}; h_{3H}; h_{4H}$ кг²

$$\Delta P_1^2 = (\bar{P}_{1HP} - \bar{P}_{1H})^2; \quad \Delta P_2^2 = (\bar{P}_{2HP} - \bar{P}_{2H})^2, \quad (5.13)$$

$$\Delta P_3^2 = (\bar{P}_{3HP} - \bar{P}_{3H})^2; \quad \Delta P_4^2 = (\bar{P}_{4HP} - \bar{P}_{4H})^2, \quad (5.14)$$

де \bar{P}_{1HP} ; \bar{P}_{2HP} – перераховані значення опорів копанню з моделі на оригінал відповідно для глибин різання $h_{1H}; h_{2H}; h_{3H}; h_{4H}$ Н.

$$\bar{P}_{1HP} = \bar{P}_{1M} K_l^3; \quad \bar{P}_{2HP} = \bar{P}_{2M} K_l^3; \quad \bar{P}_{3HP} = \bar{P}_{3M} K_l^3; \quad \bar{P}_{4HP} = \bar{P}_{4M} K_l^3,$$

де \bar{P}_{1M} ; \bar{P}_{2M} – математичні очікування опору копанню, отримані на моделі бульдозерного устаткування відповідно при модельних глибинах різання $h_{1H}; h_{2H}; h_{3H}; h_{4H}$ Н.

$$\bar{P}_{1M} = \frac{P_{M11} + P_{M21} + P_{M31}}{n}, \quad (5.15)$$

$$\bar{P}_{2M} = \frac{P_{M12} + P_{M22} + P_{M32}}{n}, \quad (5.16)$$

$$\bar{P}_{3M} = \frac{P_{M13} + P_{M23} + P_{M33}}{n}, \quad (5.17)$$

$$\bar{P}_{4M} = \frac{P_{M14} + P_{M24} + P_{M34}}{n}. \quad (5.18)$$

де P_{11M} ; P_{21M} ; P_{31M} – опір копанню при повторних дослідах на глибині різання h_{1M} ; P_{12M} ; P_{22M} ; P_{32M} і т. д.;

– те ж при h_{2M} ; P_{13M} ; P_{23M} ; P_{33M} ;

– те ж при h_{3M} ; P_{14M} ; P_{24M} ; P_{34M} ;

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

– те ж при h_{4M} ;

n - число повторних вимірів в кожному досвіді, $n=3$.

Якщо розраховане значення F - критерію не перевищує табличного, то з відповідною довірчою вірогідністю модель можна вважати адекватною. При підвищенні табличного значення цю гіпотезу доводиться відкидати і поставити під сумнів або розроблену методику фізичного моделювання або чистоту поставленого експерименту.

Для наочної графічної побудови при встановленні відповідності експериментальних даних натурного зразка з даними перерахунку з моделі на оригінал по опорах копання ґрунтів P залежно від глибини різання h студенти визначають довірчий інтервал кривої залежності :

$$P=f(h).$$
$$\Delta P_H = \pm t \sqrt{\frac{S^2(P_H)}{N}}, \quad (5.19)$$

де t – коефіцієнт Стьюдента, визначений по таблиці;

$S^2(P_H)$ – вже визначена нами дисперсія відтворюваності;

N – кількість точок кривої $P=f(h)$, побудованою по математичних очікуваннях опорів копання ґрунту відповідно для глибин різання .

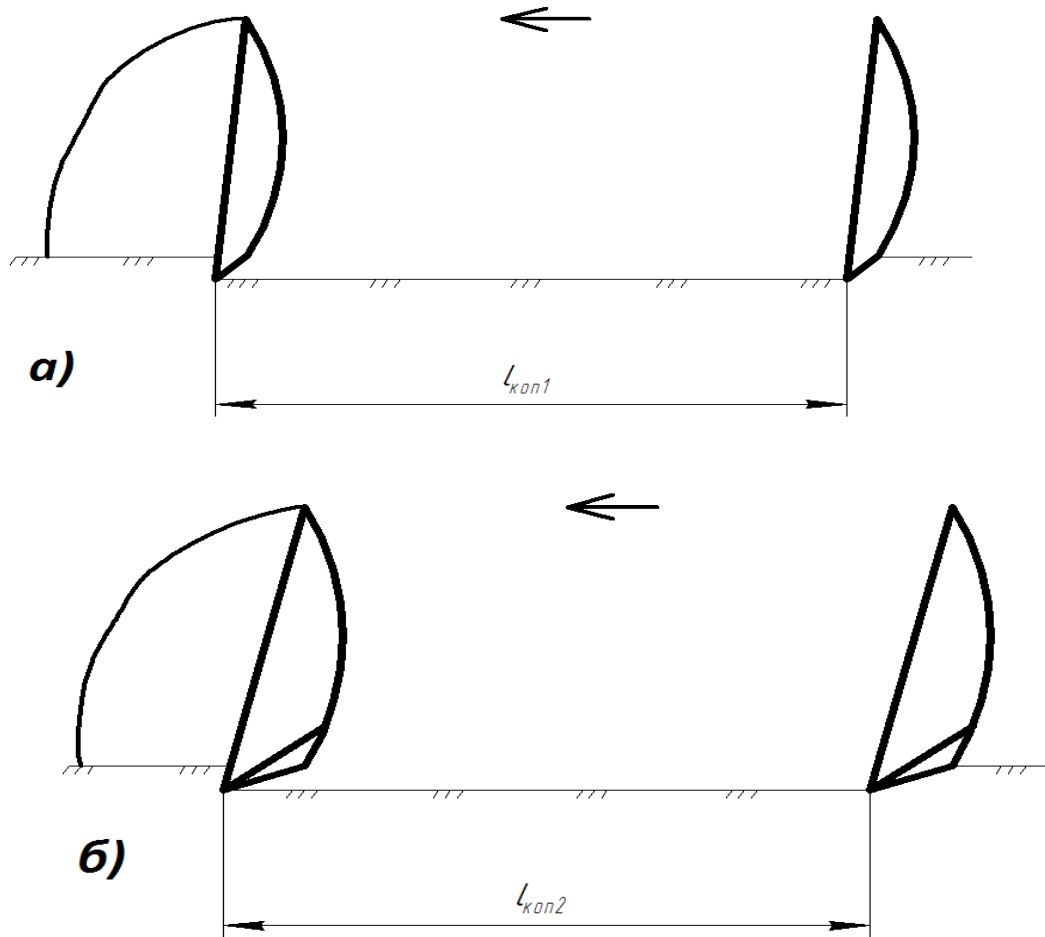
Студенти будують на графіці криву $P_H=f(h_H)$ і довірчий інтервал вгору і вниз від кривої відповідно зі значеннями $+\Delta P_H$ і $-\Delta P_H$.

У побудоване довірче поле кривої повинні потрапити значення результату перерахунку опорів копання з моделі на оригінал. Окремі точки, які не потрапили в це поле, підлягають повторній експериментальній перевірці. Якщо усі точки не потрапили в це поле, то відкидається гіпотеза адекватності моделі.

Для прискорення процесу обробки експериментальних даних, з метою визначення максимальної дисперсії опорів копанню на моделі оригіналу, для встановлення однорідності дисперсій студенти складають блок-схему алгоритму розрахунку дисперсій вибору максимального і мінімального значень дисперсій на ЕЦВМ.

					ДІПТ. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для порівняння результатів досліджень необхідно співставити швидкість набору призми ґрунту традиційним і запропонованим типом ножової системи. (рис. 5.1). При цьому очевидно, що за рахунок зменшення втрат ґрунту у бічні валики довжина набору призми запропонованою ножовою системою зменшиться.



1 – при копанні традиційним ножом; 2 – при копанні ПНС;

Рис. 5.1. Довжина набору призми волочіння

Необхідно також врахувати збільшення об'єму призми ґрунту за рахунок виносу ріжучих країв ножової системи вперед по ходу руху відвала і відповідне збільшення розмірів бічних косинок відвала, які і утримуватимуть ґрунт у призмі.

Подібне збільшення розмірів бічних косинок відвала можна виконати і для традиційної ножової системи, але запропонована ножова система очікувано забезпечить зниження енергоємності процесу копання ґрунту за рахунок зменшення питомого коефіцієнта копання ґрунту.

5.2 Лабораторне дослідження процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом із запропонованою ПНС

На схемі (рис. 5.2) зображено роботу відвала від початку роботи до повного набору призми ґрунту. Спочатку відвал знаходиться у початковому положенні - точка 1, потім відбувається опускання РО до поверхні ґрунту(точка 1'). Після цього спостерігаємо етап заглиблення НС на максимальну глибину заглиблення(точка 1''), пройшовши певний відрізок шляху l_x - довжина набору призми, відвал повністю заповнює ґрунтову призму ґрунтом (точка 1''') - положення максимального заповнення об'єму ґрунтової призми відвала.



1 - задня стінка; 2, 3, 8 – фіксатори і шарніри-повзуни; 9 – датчики; 4 - гідроциліндр підйому-опускання відвала; 5 – відвал; 6 – розкіс; 7,10 – елементи штовхаючого бруса;

Рис.5.2. Схема підвіски РОБ на стенді для дослідження процесу копання ґрунту

На рисунку 5.3 зображена фотограма процесу копання ґрунту бульдозерним обладнанням, на якій висвітлені характерні положення робочого обладнання і, зокрема, відвала при дослідженні процесу копання ґрунту КОНС. При цьому звертають увагу на характерні зсуви ґрунту у призму з метою зменшення його втрат та на довжину шляху набору ґрунту у призму. Ці особливості процесу копання сприяють зменшенню питомої енергоємності та підвищенню продуктивності.

						ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			108

Слід зазначити, що збільшення призми волочіння ґрунту перед відвалом відбувається у тому числі і за рахунок встановлення бічних косинок відвала збільшених розмірів.

Загальне зменшення питомої енергоємності процесу копання ґрунту відбувається і за рахунок заміни блокованого копання ґрунту напіввільним.

Підвищення продуктивності – за рахунок зменшення втрат ґрунту у бічні валики та скорочення часу циклу.



а



б



в



г



д



е



Є



Ж



З



К



Л



М



Н



О

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІП. 630000. 302. КРПЗ

Арк.

110



п

р

а – загальний вигляд; б – вид спереду; в – вихідне положення ; г – початок набору призми;
 д – набір призми ґрунту; е – профіль відвала; є – зменшення втрат ґрунту (бічні валики);
 ж – різання ґрунту; з, к, л, м, н, о, п, р – транспортування ґрунту при русі відвала перед собою;

Рис. 5.3. Фотограма процесу копання ґрунту бульдозерним обладнанням

Висновки за розділом. Моделювання при проведенні лабораторних експериментальних досліджень потрібне для виключення помилок в розрахунках відносно натурних розмірів робочих органів машин при одночасному спрощенні конструкції робочого органу і здешевленні дослідницьких робіт. Крім того, значно скорочується час на пошук оптимальних рішень в конструкціях робочих органів землерийних машин, зокрема, їх ножових систем. Фотограма дозволяє наглядно побачити процес копання ґрунту під час роботи бульдозерного обладнання.

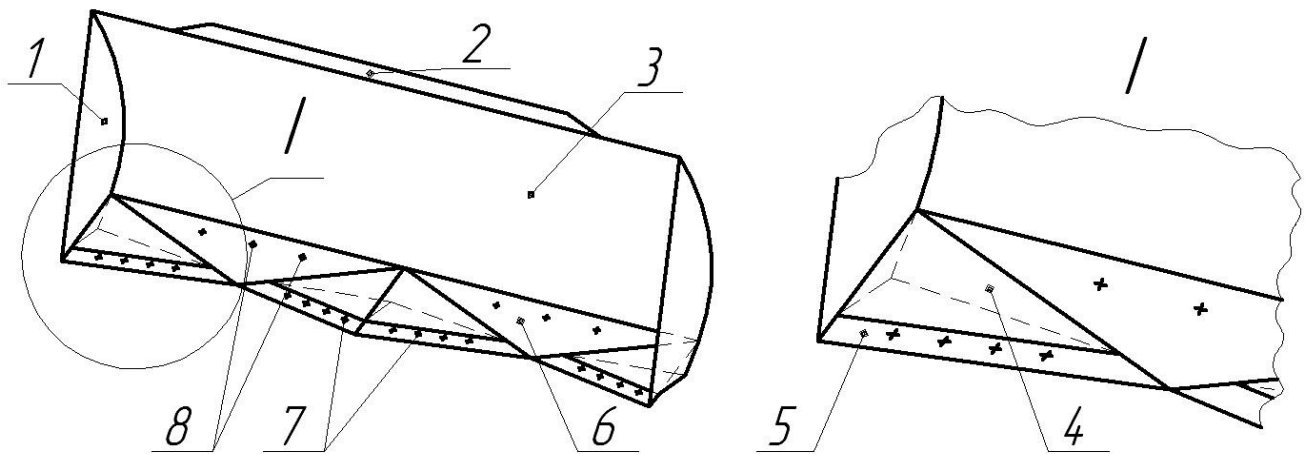
					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

6 ТЕХНІЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЩОДО БУЛЬДОЗЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ З ПНС

6.1 Технічні рішення бульдозерного обладнання з ПНС

ПНС виконані таким чином, щоб задньою ножовою пластиною (рис. 4.2) їх можна було прикріпити до лобового листа відвала так само, як і звичайний ніж (рис. 6.1). Для закріплення ПНС можна використовувати болтове з'єднання.

Конструкція ПНС передбачає можливість заміни ріжучих ножів, при їх спрацюванні чи заміні на інші типи, на передніх ножових пластинах.

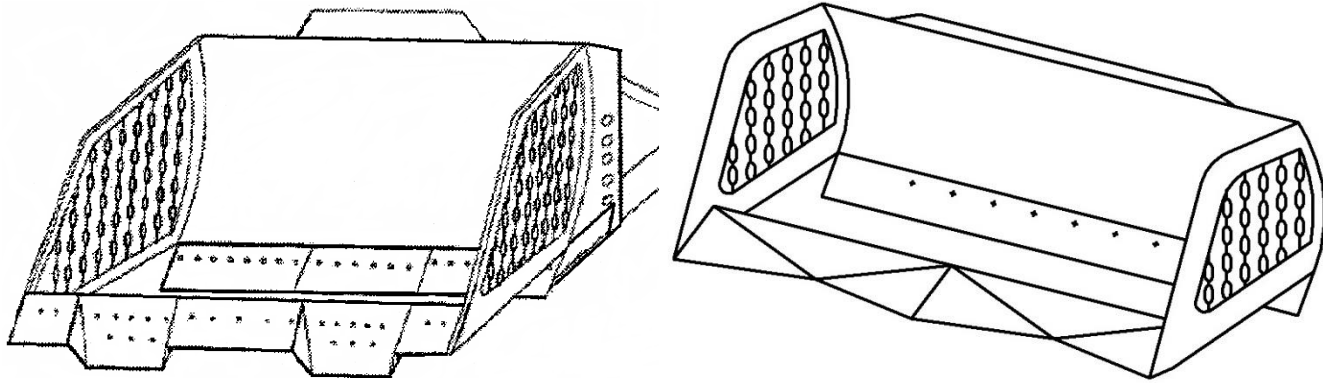


1 – бічна косинка; 2 – козирок; 3 – лобовий лист; 4 – передня ножова пластина; 5 – змінні ножі;
6 – задня ножова пластина; 7 – кріплення змінних ножів; 8 – кріплення ПНС;

Рис. 6.1. Схема будови відвала з ПНС

Можливе використання бульдозерного відвала з виносною ПНС по аналогії з відомим бульдозерним відвалом за патентом України № 11656 (рис. 6.2), [40].

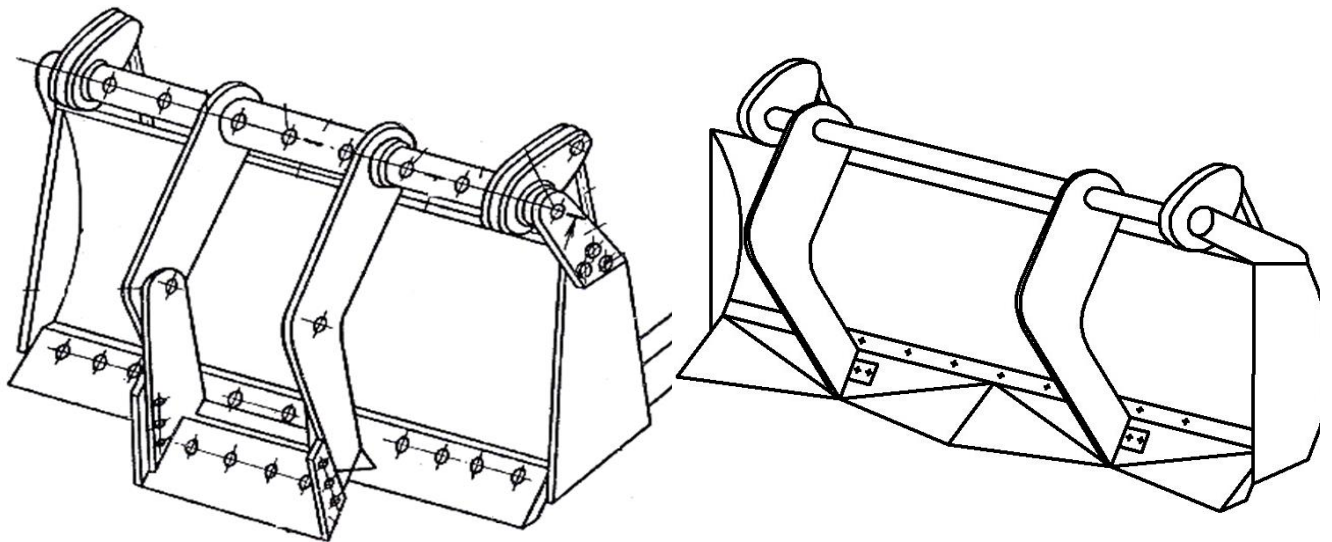
Також можливе виконання бульдозерного відвала зі звичайним ножем, оснащеного щелепою з ПНС (рис. 6.3), з усіма властивостями притаманними цьому РО, [41, 42, 43, 44].



а)

б)

а – відомий відвал; б – відвал з ПНС;
Рис. 6.2. Відвал бульдозера



а)

б)

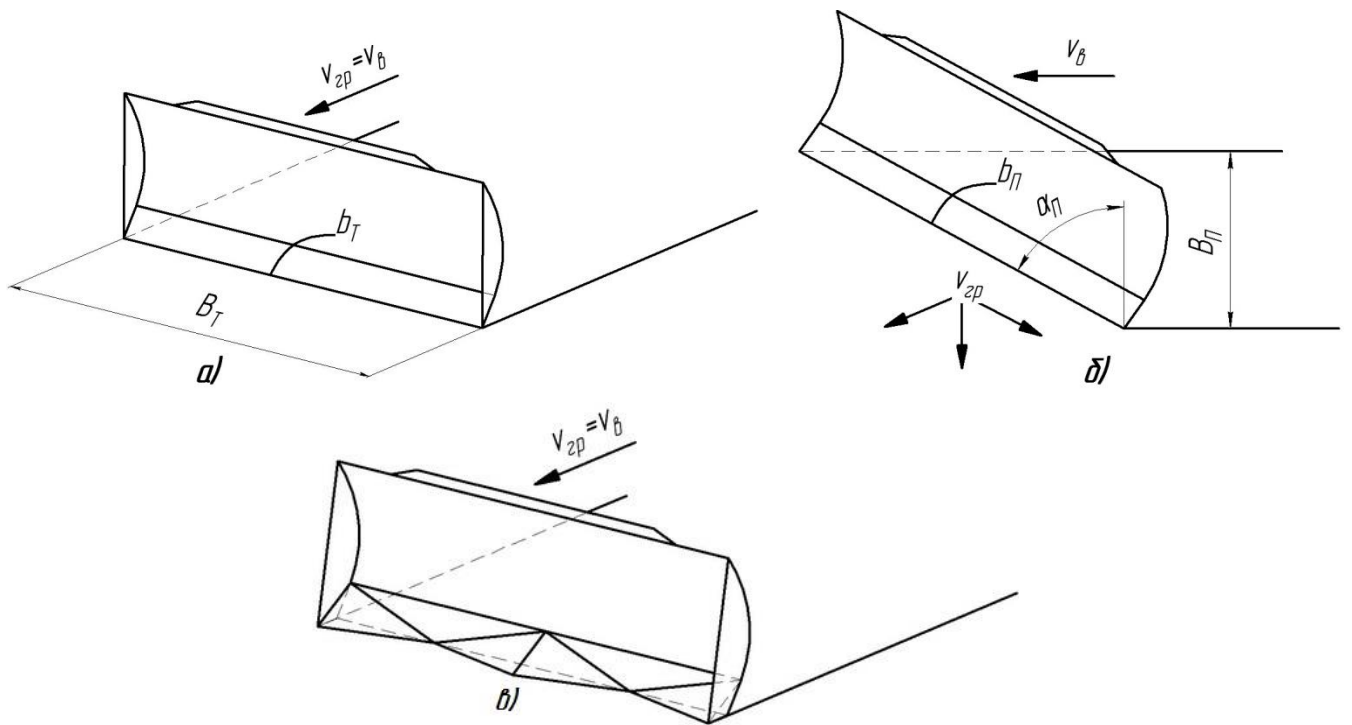
а – відомий відвал; б – відвал з ПНС;
Рис. 6.3. Відвал бульдозера з щелепою

6.2 Область та технологічні схеми використання бульдозерного обладнання з ПНС

Використання відвалів оснащених ПНС можливе для різних видів роботи.

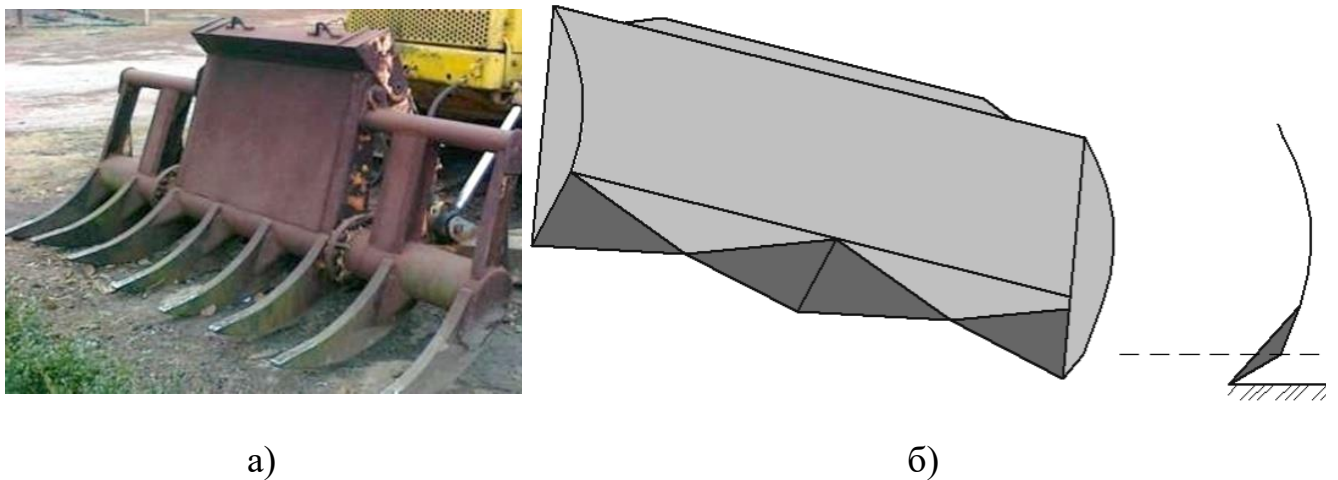
При роботах планувального характеру пов'язаних з копанням ґрунту без втрат відвал з ПНС може суміщати роботу неповоротного і поворотного відвалів. Тобто при неповоротному відвалі використовувати косе різання ґрунту.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



а – неповоротний відвал; б – поворотний відвал; в – відвал з ПНС;
 Рис. 6.4. Схеми відвалів бульдозерів

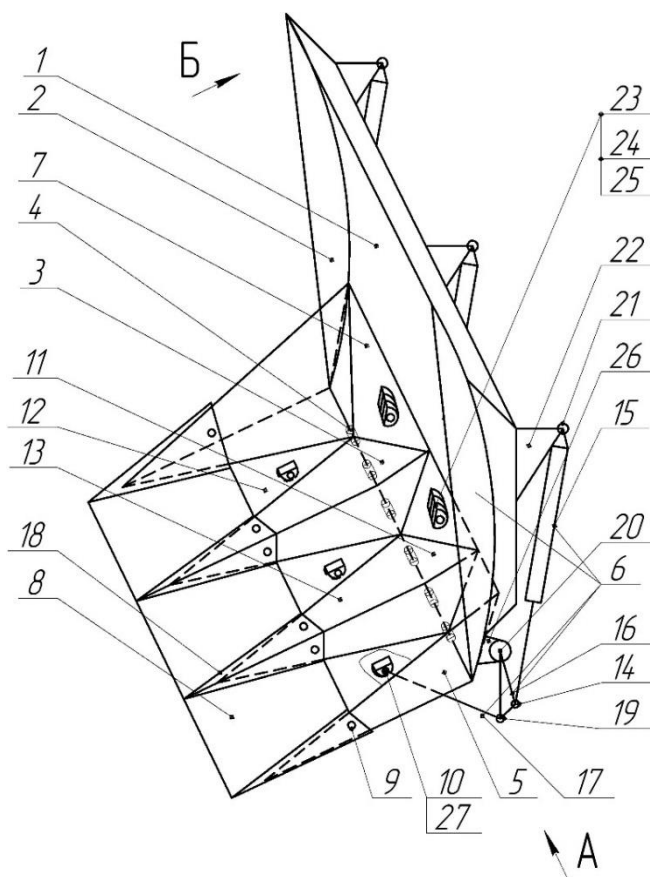
При оснащенні бульдозерного відвала ПНС, у якої виступаючі точки A і B зміщені на висоту H_3 відносно точки C (відповідно до рис 2.2), можливе використання відвала як корчувальника або розпушувача (рис. 6.5).



а) – відвал корчувальник-розпушувач; б) – відвал з ПНС;
 Рис. 6.5. Відвали бульдозерів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

тяги 17 та кронштейни традиційного бульдозерного відвала 22 і 26. Зйомна насадка 8 включає основну пластину, до якої попарно приєднані додаткові пластини 18 під заданим кутом, що дорівнює куту з'єднання пластин 11 ріжучих ножів. До кронштейнів 10, встановлених на нижніх площинах косинок 12 ножової системи 3 шарнірами 27 приєднані тяги 17, двоплечі важелі 16 шарнірами 20 приєднані до кронштейнів 26, встановлених в тильній нижній частині традиційного бульдозерного відвала 1. Корпуси гідроциліндрів 15 шарнірами 21 приєднані до кронштейнів 22, встановлених у тильній верхній частині традиційного бульдозерного відвала 1. Рухома пластина 7 має провущини 23, якими через прорізи фіксується до провущин 24, встановлених в тильній нижній частині традиційного бульдозерного відвала 1 фіксаторами 25.



- 1 – відвал; 2 – бічні косинки; 3 – ПНС; 4 – шарніри; 5 – бічні косинки НС; 6 – механізм повороту; 7 – пластина; 8 – зйомна насадка; 9 – елементи кріплення; 10 – кронштейни НС; 11 – пластини ріжучих ножів; 12 – косинки НС; 13 – нижні пластини НС; 14, 19, 20, 21, 27 – шарніри; 15 – гідроциліндри; 16 – двоплечі важелі; 17 – тяги; 18 – додаткові пластини; 22 – кронштейни; 23 – провущини на пластині; 24 – провущини на відвалі; 25 – фіксатори; 26 – кронштейни;

Рис. 6.7. Багатофункціональний робочий орган

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

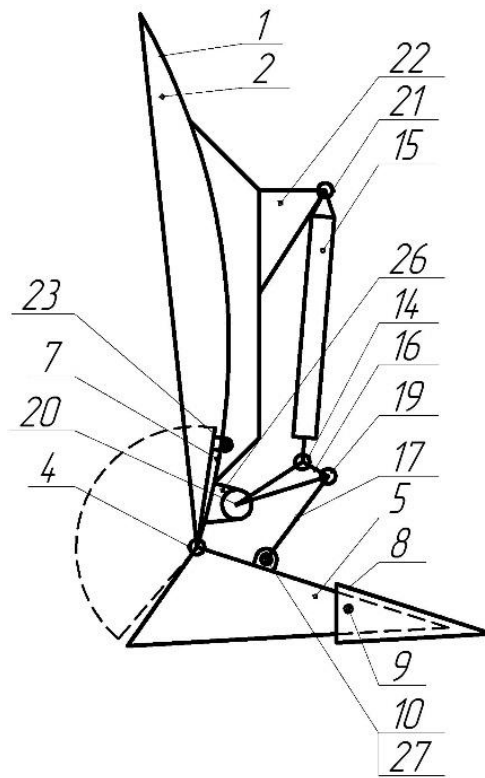


Рис. 6.8. Схема бульдозерного обладнання з розміщенням ножової системи в положенні копання ґрунту при нижньому розміщенні рухомої пластини

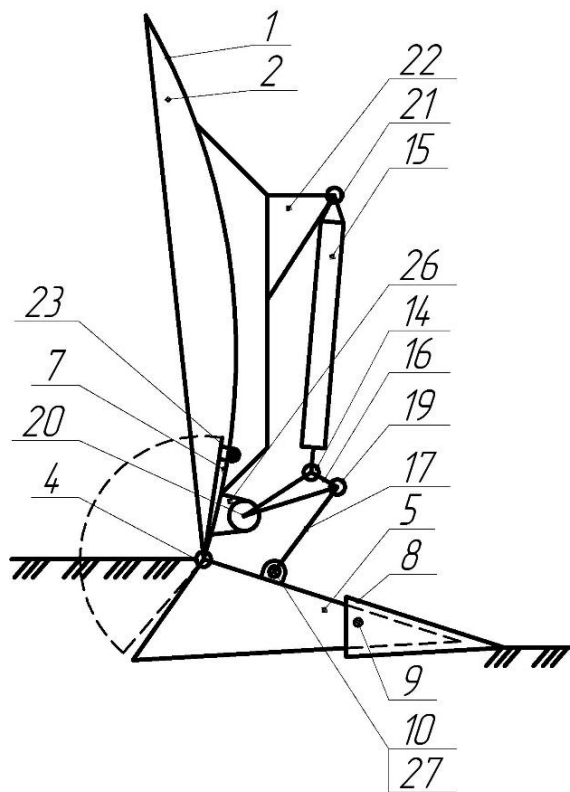


Рис. 6.9. Схема бульдозерного обладнання з розміщенням ножової системи з встановленою зйомною насадкою для часткового ущільнення ґрунту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

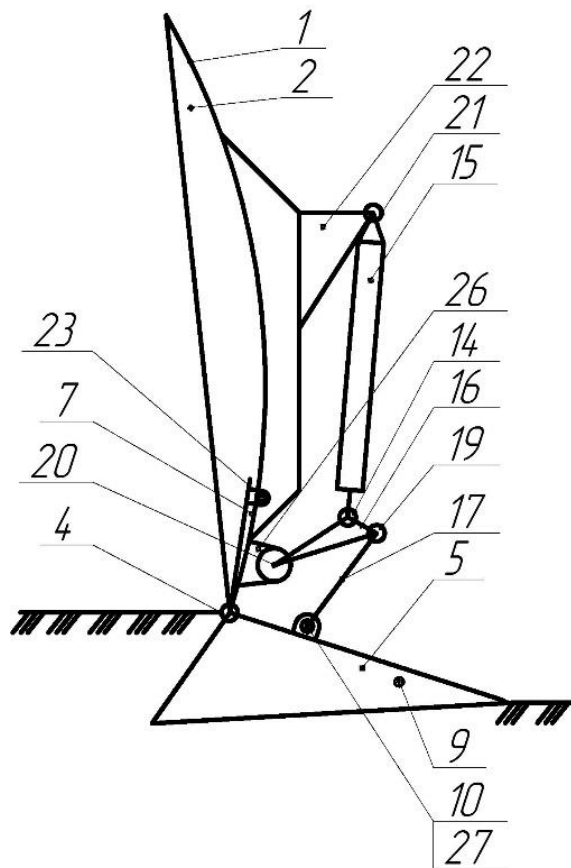
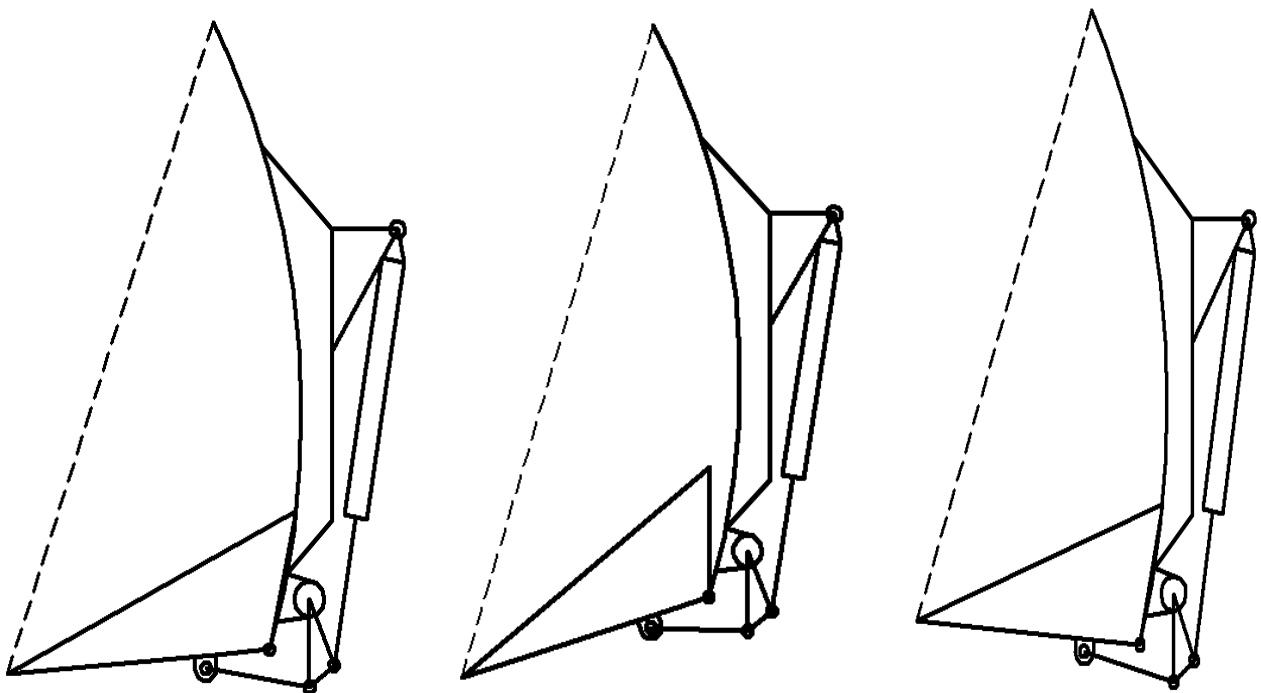


Рис. 6.10. Схема бульдозерного обладнання з розміщенням ножевої системи в положенні ущільнення ґрунту при розміщенні рухомої пластини у верхньому положенні

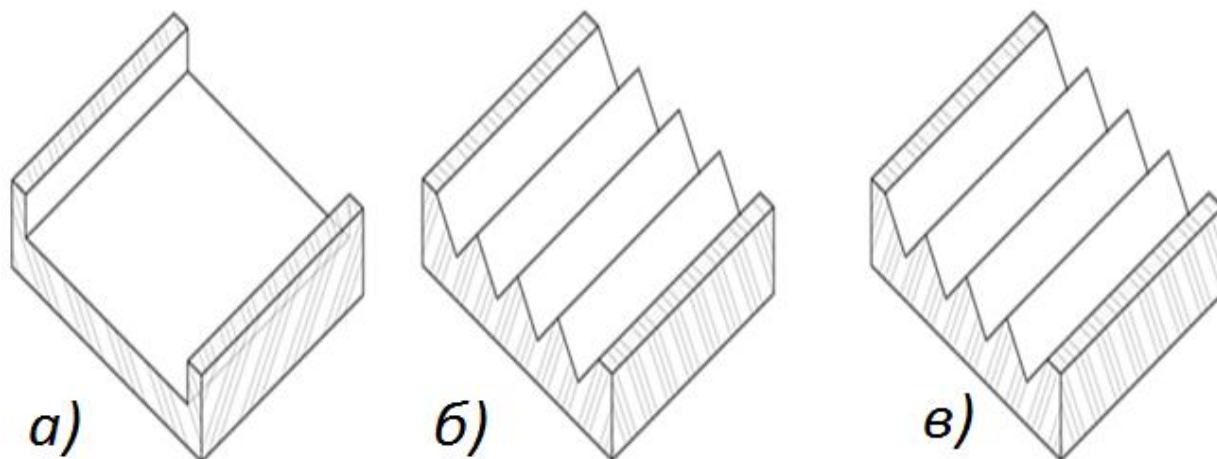


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІП. 630000. 302. КРПЗ

Арк.

118



а – в горизонтальній площині; б – нижче горизонталі; в – вище горизонталі;
 Рис. 6.11. Положення ПНС під час копання ґрунту

Висновки за розділом. Крім зниження енергоємності за рахунок використання косо́го різання ґрунту, ПНС дає багато варіантів ефективної роботи в різних ситуаціях, в яких бульдозерний відвал зі звичайним ножом буде малоефективним.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для підвищення ефективності і зниження енергоємності копання ґрунту неповоротним відвалом бульдозера запропонована принципово нова конструкція ПНС, яка ґрунтується на реалізації косоного різання і копання ґрунту ножами, попарно розміщеними в межах традиційної ножової системи неповоротного відвала бульдозера.

В даній кваліфікаційній роботі розглянуті шляхи дослідження і розробки принципово нових ножових систем для неповоротного бульдозерного відвала.

Оцінюючи вищезгадану пропозицію можна сказати, що бульдозери з неповоротним відвалом, в яких планується застосування розглянутих ножових систем, повинні мати значну перевагу порівняно з традиційними бульдозерами з неповоротним відвалом, в яких копання ґрунтів виконується плоскою ножовою системою тому, що очікуються більш високі показники ефективності роботи за рахунок: зменшення питомого опору ґрунту копанню, скорочення шляху копання до створення і набору повноцінної призми ґрунту та зменшення втрат ґрунту у бічних валиках, зниження енергоємності копання ґрунту за рахунок поліпшення нагромадження і переміщення ґрунту по відвалу.

Внаслідок цього, відповідно, очікується збільшення продуктивності виконання робіт.

Отримані графіки залежностей між параметрами, що характеризують процес копання ґрунту ПНС бульдозера дозволяють наглядно показати зв'язок між ними, зручно вибирати необхідні параметри для конкретних умов експлуатації та продовжити пошук раціональних і оптимальних параметрів ПНС на основі використання співвідношень, метою отримання їх оптимальних значень. Дану роботу можна рекомендувати як продовження виконання досліджень.

Очевидно, що залежності між вказаними параметрами носять переважно лінійний характер і не дозволяють в такому вигляді встановити їх раціональні чи

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

оптимальні значення, але дозволяють зручно отримати значення залежних між собою параметрів при виборі одного із них.

Отримані графіки залежностей між параметрами, що впливають на процес копання однозначно свідчать про найбільш впливовий фактор на довжину копання при наборі повного об'єму призми – товщина стружки, яка на усіх наведених графіках рекомендується в межах 22...30 мм для масштабної моделі. Подовжнє зміщення країв ПНС не суттєво впливає на довжину копання і його можна рекомендувати в межах до 50 мм. Стосовно залежності довжини копання від подовжнього зміщення ріжучих країв ножів слід зауважити, що ця залежність носить переважно лінійний характер для усіх випадків крім рис. 4.15, для якого діапазон значень подовжнього зміщення рекомендовано до 40 мм. Значення довжини копання для набору повного об'єму призми для варіанту ПНС при зміщенні від лінії горизонту вниз і вгору є відповідно однаковими.

З наукової точки зору створення і аналіз математичних моделей взаємодії бульдозерних неповоротних відвалів з ПНС з ґрунтом доповнить теоретичну базу щодо розрахунку і оцінки даного процесу, а створення фізичних моделей ПНС на базі неповоротного відвала бульдозера забезпечить наочність даного процесу та перевірку достовірності теоретичних розрахунків та припущень.

З практичної точки зору вірогідність впровадження запропонованої ПНС ґрунтується на технологічності її конструкції за рахунок використання при її конструюванні сортаменту прокату і застосування традиційних зварних і болтових з'єднань.

З економічної точки зору витрати на розробку ПНС будуть очікувано низькими, оскільки вони безпосередньо пов'язані з технологічністю конструкції.

Напрямок подальшого дослідження на основі даної роботи являється оптимізація теоретичних досліджень, а також доповнення результатами лабораторних досліджень, їх порівняння з теоретичними, з метою виходу на варіант ПНС, який можна було б рекомендувати до втілення у виробництво і до застосування на реально діючих бульдозерах.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Хмара Л.А. Машины для земляных работ: навчальний посібник [Текст] / Під загальною редакцією проф. Л. А. Хмари та проф. С.В. Кравця – Рівне – Дніпропетровськ – Харків, 2010. – 557 с.
2. Блохін В.С. Основні параметри технологічних машин. Машины для земляных работ У 2 ч.: навч. посіб. [Текст] / В.С. Блохін, М.Г. Маліч. – К.: Вища шк., 2006. – Ч. 1. – 497 с.
3. Блохін В.С. Основні параметри технологічних машин. Машины для земляных работ У 2 ч.: навч. посіб. [Текст] / В.С. Блохін, М.Г. Маліч. – К.: Вища шк., 2009. – Ч. 2. – 455 с.
4. Колесниченко В. В. Справочник молодого машиниста бульдозера, скрепера, грейдера [Текст] / В. В. Колесниченко. – М.: Высш. шк., 1988. – 224 с.
5. Трофимов А. П. Землеройные в подъемно-транспортные машины: справочное пособие [Текст] / А. П. Трофимов. – К.: Будівельник, 1978. . – 368 с.
6. Забегалов Г.В. Бульдозеры, скреперы, грейдеры: учеб. для ПТУ. [Текст] / Г.В. Забегалов, Э. Г. Ронинсон. – М.: Высш. шк., 1991. – 334 с.
7. Гарнава Н.Г. Машины для земляных работ [Текст] / Н.Г. Гарнава – М.: Высш. шк. 1982, 335с.
8. Ветров Ю. А. Машины для земляных работ [Текст] / Ю. А. Ветров. – К.: Вища школа, 1976. – 368 с.
9. Гальперин М. И. Строительные машины [Текст] / М. И. Гальперин, М. Г. Домбровский. – М.: Машиностроение, 1966. – 376 с.
10. Шашенко О.М. Механіка ґрунтів [Текст] / О.М. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Н.В. Хозяйкіна. – К.: Новий друк, 2009. – 200 с.
11. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский– М.: Наука, 1976. – 277 с.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

12. Сучасний експеримент: підготовка, проведення, аналіз результатів [Текст] / за ред. В.Г. Блохін. – М.: Радіо та зв'язок, 1997 – 231 с.
13. Коленко Е.А. Технология лабораторного эксперимента [Текст] / Е.А. Коленко – СПб: Политехника 1994. – 751 с..
14. Алексеев С.П. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении [Текст] / С.П. Алексеев, А.М. Казаков, Н.Н. Колотилов. – М.: Машиностроение, 1970. – 207с.
15. Блохін В. С. Машины для земляных работ, передумови підвищення їх конкурентоздатності: навчальний посібник [Текст] / В.С. Блохін, М.Г. Маліч– Друк ВАТ «Видавництво «Зоря», 2005. – 292 с.
16. Дорожные машины. Часть I. Машины для земляных работ (теория и расчет): уч.-изд. [Текст] / Т. В. Алексеева. – М.: Машиностроение, 1972. – 499 с.
17. Хархута Н. Я. Дорожные машины [Текст] / Н.Я. Хархута. – М.: Машиностроение, 1968. – 416 с.
18. Домбровский Н. Г. Землеройно-транспортные машины [Текст] / Н. Г. Домбровский, М. И. Гальперин – М.: Машиностроение, 1966. – 274 с.
19. Трофимов А. П. Землеройные и подъемно-транспортные машины: справочное пособие [Текст] / А.П. Трофимов. – К.: Будівельник, 1978. – 368 с.
20. Баловнев В. И. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве [Текст] / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара – М.: Транспорт, 1993. – 383 с.
21. Радько Ю.М. Конструкции и рабочие процессы землеройно-транспортных машин: учеб. Пособие [Текст] / Ю.М. Радько. – Тамбов: Тамб. гос. техн ун-та, 2004. – 80 с.
22. Ветров Ю. А. Машины для земляных работ [Текст] / Ю.А. Ветров. – К.: Вища школа, 1981. – 384 с.
23. Хмара Л. А. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин [Текст] / Л. А. Хмара, М. П. Колесник, В. П. Станевський. – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.
24. Гоберман Л. А. Основы теории, расчета и проектирования строительных и дорожных машин: учебник для техникумов [Текст] / Л.А. Гоберман. – М.: Машиностроение, 1988. – 464 с.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		123

25. Баловнев В. И. Повышение производительности машин для земляных работ [Текст] / В. И. Баловнев, Л. А. Хмара. – К.: Будівельник, 1988. – 152 с.
26. Холодов А. М. Проектирование машин для земляных работ [Текст] / А.М. Холодов. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 272 с.
27. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами [Текст] / Ю.А. Ветров. – М.: Машиностроение, 1971, 357 с.
28. Локшин, Е. С. Строительные и дорожные машины [Текст] / Е.С. Локшин, А. В. Рубайлов. – М.: РИА «Россбизнес», 2004. – 304 с.
29. Белецкий Б. Ф. Строительные машины и оборудование: справочное пособие для производителей-механизаторов, инженерно-технических работников строительных организаций, а также студентов строительных вузов, факультетов и техникумов [Текст] / Б. Ф. Белецкий, И. Г. Булгакова – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 608 с.
30. Добронравов С.С. Строительные машины и основы автоматизации: учеб. для строит. вузов [Текст] / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
31. Дорогокупля М.О., Главацкий К.Ц. Дослідження і розробка ріжучих периметрів ножових систем землерійно-транспортних машин. // Тези [Текст]: Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів «Науково-технічний прогрес на транспорті». Секція «Механіка» / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2013. – С. 27-28.
32. Дорогокупля М.О., Главацкий К.Ц. Дослідження і розробка бульдозерного обладнання з комбінованою об'ємною ножовою системою (КОНС). / Тези [Текст]: Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, магістрантів та студентів «Науково-технічний прогрес на транспорті». Секція «Механіка»/ – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. – С. 25.
33. Дорогокупля М.О., Главацкий К.Ц. Дослідження процесу копання ґрунту бульдозерним відвалом з об'ємною ножовою системою (ОНС). / Тези [Текст]: Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених,

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

магістрантів та студентів «Науково-технічний прогрес на транспорті». Секція «Механіка» / – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. – С. 35.

34. Главацький К.Ц., Серета О.В. Дослідження і розробка відвала бульдозера з комбінованою ножовою системою // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Вип. 65-66.–Харьков, 2014, с. 238-241.

35. Главацький К.Ц., Горбенко Ю.О., Дорогокупля М.О. Дослідження і розробка комбінованої просторової ножової системи бульдозера з попарно встановленими ножами для косоного копання ґрунту. Рукопис. 7 с.

36. Главацький К.Ц., Дорогокупля М.О., Краснощок С.Л., Проскурня В.М., Серета О.В. Відвал бульдозера з комбінованою ножовою системою. // Заявка на патент на винахід (подана у патентний відділ ДНУЗТ 16.04.2014).

37. Пат. 112205 Україна, МПК(2006) Е 02 F 3/815, МПК(2006) Е 02 F 3/76 . Відвал бульдозера з комбінованою ножовою системою. Богомаз В.М., Главацький К.Ц., Дорогокупля М.О., Краснощок С.Л., Проскурня В.М., Серета О.В.; заявник і власник патенту Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. - № а201405873 ; заявл. 30.05.2014 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.

38. Пат. 12473 Україна, МПК(2006) Е 02 F 3/76. Бульдозерний робочий орган. Хмара Л.А., Талалай В.О., Соколов І.А.; заявник і власник патенту Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. - № u200506756 ; заявл. 11.07.2005 ; опубл. 30.01.2006, Бюл. № 2.

39. Пат. 12474 Україна, МПК(2006) Е 02 F 3/76. Відвал бульдозера. Хмара Л.А., Талалай В.О., Соколов І.А.; заявник і власник патенту Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. - № u200506758 ; заявл. 11.07.2005 ; опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2.

40. Пат. 15558 Україна, МПК(2006) Е 02 F 3/76, Бульдозерний відвал. Хмара Л.А., Соколов І.А., Пархомчук Р.Г.; заявник і власник патенту

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		125

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. - № u200511751; заявл. 09.12.2005; опубл. 17.07.2006, Бюл. №7.

41. Пат. 11656 Україна, МПК(2006) Е 02 F 3/76, Бульдозерний відвал. Хмара Л.А., Талалай В.О., Соколов І.А.; Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Донбаська національна академія будівництва і архітектури. - № u200503557; заявл. 15.04.2005 ; опубл. 16.01.2006, Бюл. №1.

42. А.с. 1040054 ССРСР, М. Кл.³ Е 02 F 3/76. Бульдозерное оборудование по авт. св. № 891854 / В.И. Баловнев, А.Н. Абрамов, А.А. Яркин и М.М. Альшиц (СССР). – № 3403669/29-03; заявл. 03.03.82; опубл. 07.09.83, Бюл. №33.

43. А.с. 1002465 ССРСР, М. Кл.³ Е 02 F 3/76. Бульдозерное оборудование / А.Н. Абрамов, А.А. Яркин, В.И. Симакин (СССР). – № 3357509/29-03; заявл. 17.11.81; опубл. 07.03.83, Бюл. № 9.

44. А.с. 972011 ССРСР, М. Кл.³ Е 02 F 3/76. Бульдозерное оборудование / А.Б. Ермилов, В.И. Баловнев и М.А. Мирсадыков (СССР). – № 3285123/29-03; заявл. 28.04.81; опубл. 17.11.82, Бюл. № 41.

45. А.с. 1051175 ССРСР, М. Кл.³ Е 02 F 3/76. Бульдозерное оборудование по авт. св. № 891854 / В.И. Баловнев, Л.А. Хмара, А.Б. Ермилов, и М.А. Мирсадыков (СССР). – № 3498695/29-03; заявл. 11.10.82; опубл. 30.10.83, Бюл. № 40.

					ДІП. 630000. 302. КРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		126