

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів грейферного робочого органу

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІз-1-22
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____Коротенко Антон Анатолійович

Керівник: _____Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ _____.

(назва кафедри)

доцент _____.

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2023 р.

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

_____ Коротенко Антон Анатолійович _____.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів грейферного робочого органу

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом роботи 29.01.2024 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасних технологічних процесів розробки ґрунту та задачі досліджень 2. Теоретичні дослідження процесу проникнення грейферного робочого органу в масив ґрунту 3. Програма і методика експериментальних досліджень 4. Результати експериментальних досліджень 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 6. Техніко-економічна

ефективність впровадження результатів досліджень. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 20.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2023 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2023 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2023 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 07.11.2023 р.	Виконав
5	Економічний	до 14.11.2023 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 29.01.2024 р.	Виконав

Студент

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Коротенко А.А. Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів грейферного робочого органу / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У першому розділі представлено аналіз сучасних технологічних процесів грейферного робочого органу.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження процесу проникнення грейферного робочого органу.

У третьому розділі представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У четвертому розділі приведено результати експериментальних досліджень.

У п'ятому розділі приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

У шостому розділі приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

Ключові слова: ківш, продуктивність, грейфер, ґрунт, гвинт, якір.

Коротенко А.А. Стан розвитку грейферних робочих органів / А.А. Коротенко // V Міжнародна науково-практична конференція «MODERN RESEARCH IN SCIENCE AND EDUCATION», 11-13.01.2024 Чикаго, США.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ РОЗРОБКИ ГРУНТУ ГРЕЙФЕРНИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Аналіз взаємодії з середовищем.....	10
1.2 Стан розвитку грейферних робочих органів.....	13
Висновки.....	18
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОНИКНЕННЯ ГРЕЙФЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ В МАСИВ ГРУНТУ.....	20
2.1 Взаємозязок зусилля проникнення робочого органу в масив ґрунту з параметрами базової машини.....	20
2.2 Опір масиву ґрунту зануренню різальних кромek грейфера.....	25
Висновки.....	32
3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
Висновки.....	41
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
4.1 Планування експерименту і створення експериментальних стендів....	42
4.2 Експериментальні дослідження процесів розробки ґрунту гідравлічним грейферним ківшом.....	49
4.3 Експериментальні дослідження процесу руйнування масиву ґрунту гвинтовим якорем.....	54
Висновки.....	57
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
Висновки.....	62

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	63
Висновки.....	67
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70
ДОДАТКИ.....	73

ВСТУП

Сучасний стан агропромислового виробництва України характеризується значними об'ємами дрібних і розосереджених робіт, а саме, будівництвом ферм, комплексів, цехів і т.д. В цих умовах підвищеним попитом користуються мобільні машини з енергозберігаючими робочими органами.

З всієї різноманітності робочих органів землерийних машин для умов обмеженого простору, на малооб'ємних об'єктах (криницях, котлованах, траншеях різної складності) найбільш ефективно застосування грейферних робочих органів. Використання екскаваторів з грейферним робочим органом дозволяє зменшити об'єм, як земляних робіт, так і робіт по зворотному засипанні відкритих котлованів.

Стримуючим фактором широкого застосування традиційних грейферних робочих органів на міцних ґрунтах є потреба використання потужних і спеціалізованих базових машин, що призводить до значних енергетичних витрат на копання і витрат на перебазування з одного об'єкта на інший.

Тому створення та вивчення нових енергозберігаючих способів розробки міцних ґрунтів із застосуванням комбінованих грейферних робочих органів є актуальним і важливим науково-технічним завданням.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесів розробки ґрунту грейферними робочими органами шляхом оснащення їх центральним фіксуєчим елементом.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання досліджень:

- дослідити закономірності процесу занурення в ґрунт грейферного ковша гідравлічного екскаватора;
- теоретично обґрунтувати закономірності розробки ґрунту комбінованим впливом на масив гвинтовим якорем і щелепами грейфера;
- встановити закономірності заповнення ґрунтом ковша;
- уточнити схему роботи гвинтового якоря грейферного ковша;
- дослідити вплив несучої здатності гвинтового якоря на траєкторію руху щелеп грейфера при розробці ґрунту і взаємозв'язок кута повороту щелеп з

кутом різання;

- обґрунтувати раціональні параметри гвинтового якоря для грейферного ковша.

Об'єктом дослідження є закономірності розробки ґрунту комбінованим впливом на масив якоря і щелеп грейфера

Предметом є – грейферний робочий орган

Методи дослідження. Використано метод системного дослідження, теорію планування експерименту, методи фізико-математичного моделювання, математичного аналізу, теорію подібності.

Наукова новизна отриманих результатів. Виведено аналітичні залежності для визначення зв'язку між конструктивними, кінематичними та силовими параметрами. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких визначено відповідність теоретичних залежностей реальним робочим процесам.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновано інженерну методику розрахунку параметрів грейферного робочого органу, наведено аналітичні та графічні залежності для вибору їх раціональних параметрів, а також результати техніко-економічної оцінки впровадження розробки.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

РОЗРОБКИ ГРУНТУ ГРЕЙФЕРНИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз взаємодії з середовищем

До фізико-механічних властивостей ґрунту, які здійснюють вплив на закономірності і характер технологічних процесів, відносяться: міцність, гранулометричний склад, щільність, вологість, липкість, пластичність, пружність та інші.

Знання цих властивостей ґрунту дозволяють знаходити шляхи і методи зниження енергоємності його розробки, проектувати робочі органи та призначати умови їх раціонального застосування.

Численними теоретичними і експериментальними дослідженнями встановлено, що для розробки масиву ґрунту з мінімальними затратами енергії необхідно, щоб в ньому переважали напруги розтягнення.

Однак створення робочих органів землерийних машин, що забезпечують в масиві ґрунту напруги розтягнення, пов'язане з технічними труднощами. При взаємодії робочих органів екскаваторів, бульдозерів, скреперів та інших машин виникають напруги стиснення і зсуву. Тому саме цим двом видам деформації ґрунту приділяється найбільша увага, і вони є найбільш вивченими.

Загальноприйнята залежність, що зв'язує основні характеристики ґрунту наступна

$$\tau = c + \sigma\mu = c + \sigma \tan \varphi_0, \quad (1.1)$$

де τ - опір ґрунту на зсув;

c - зчеплення ґрунту;

σ - нормальні напруження в ґрунті;

μ - коефіцієнт внутрішнього тертя;

φ_0 - кут внутрішнього тертя.

Величини щільності ρ , кута внутрішнього тертя φ_0 і зчеплення c

змінюються в широких межах (табл.1.1).

Таблиця 1.1. - Характеристика глинистих ґрунтів відповідно до меліоративних норм і правил

Консистенція ґрунту	Глина			Суглинок			Супісок		
	ρ , т/м ³	φ_0 , град	c , МПа	ρ , т/м ³	φ_0 , град	c , МПа	ρ , т/м ³	φ_0 , град	c , МПа
Тверда	2,15	22	0,1	2,15	25	0,06	2,05	28	0,02
Напівтверда	2,1	20	0,06	2,1	23	0,04	2,0	26	0,015

Грейферні робочі органи застосовуються при виконанні меліоративних і ремонтних робіт в різноманітних ґрунтових умовах. В таблиці 1.2 наведені основні області застосування грейферного робочого обладнання.

Статистичні дані говорять про нерівномірність розподілення ґрунтів по всій території ведення земельних робіт (табл. 1.3). Із зміною вологості і температури змінюється міцність ґрунту. В таблиці 1.4 наведені статистичні характеристики міцних ґрунтів за різними методиками.

Методика класифікації, викладена в ЄНіР та ДБН Д.2.4-1-2000, передбачає їх розділення за щільністю (міцні ґрунти мають щільність $\rho = 1800 \dots 2300$ кг/м³). Згідно класифікації, запропонованої А.Н. Зельоніним (за ударником ДорНДІ), до міцних ґрунтів можна віднести III - IV категорії, ймовірність появи яких складає приблизно 30% (див. табл. 1.3). Д.І. Федоров в якості одного з основних показників при оцінці процесів впровадження робочих органів в ґрунт, використовував опір ґрунту одноосьовому стиску.

Існують й інші класифікації, коефіцієнти, що характеризують складність розробки ґрунту робочими органами землерийних машин: коефіцієнт питомого опору копанню Н.Г. Домбровського, середньо-максимальний питомому опору вільному зрізу Ю.А. Ветрова та т.п.

Таблиця 1.2 - Застосування екскаваторів з грейферним робочим обладнанням

Вид робіт	Зона застосування
<u>Землерийні роботи</u> Розробка котлованів і траншей складної конфігурації невеликих розмірів в обмежених умовах	Агропромислове виробництво, громадське, сільське будівництво
Розробка виїмок і приямків в котлованах і траншеях	Агропромислове виробництво, громадське, сільське будівництво
Риття криниць і геологорозвідувальних шурфів круглого та прямокутного перерізів глибиною до 20 м	Сільське будівництво, будівництво внутрішньоміських підземних комунікацій, розвідка корисних копалин
Розробка траншей поблизу будівель, виїмок між опорами фундаментів, палями і т. п.	Реконструкція промислових підприємств, інженерних споруд
Засипання ґрунтом трубопроводів, кабелів і т. п. в траншеях; підсипання ґрунту; засипання назад виїмок в обмежених умовах	Агропромислове виробництво, громадське та інше будівництво
Викопування глибоких виїмок під монолітні палі, опори електропередач, мостів і інших інженерних споруд, включаючи застосування шпунтової огорожі та способу «опускного колодязя»	Агропромислове виробництво, транспортне, енергетичне, громадське будівництво
<u>Очисні роботи</u> Очищення водойм, річок, ставків і т.п.	Водне господарство (меліорація, зрошення), сільське господарство
Поглиблення дна річок, акваторій портів	Водний транспорт
Очистка оглядових колодязів мереж водопостачання і каналізації	Комунальне господарство
<u>Навантажувально-розвантажувальні роботи</u> Навантаження і розвантаження насипного ґрунту, сипучих або дрібношматкових матеріалів	Агропромислове виробництво, будівництво, промисловість будматеріалів
Навантаження (розвантаження) великошматкових матеріалів і вантажів	Промисловість нерудних матеріалів та ін.
Прибирання побутового і будівельного сміття, ліквідація стихійних звалищ	Комунальне господарство

Таблиця 1.3. - Класифікація ґрунтів та ймовірність їх появи на території України

Категорія ґрунту	I	II	III	IV	V
Кількість ударів щільноміра ДорНДІ	1...4	5...8	9...16	17...35	-
Ймовірність появи	0,2	0,48	0,2	0,11	0,01

Таблиця 1.4 - Статистичні характеристики міцних ґрунтів

Тип ґрунту	Кількість ударів щільноміра ДорНДІ	Щільність ґрунту ρ , т/м ³	Вологість W, %	Щеплення c_0 , МПа	Кут внутрішнього тертя φ_0 , град	Опір ґрунту одновісному стиску σ_0 , МПа
Глина	7-12	1,80-1,88	20,4-23,2	0,094-0,135	13-18°	0,26-0,34
Суглинок	8-18	1,94	17,5	0,087	11°18'	0,212
Морений суглинок	10-14	2,22	14-15,8	0,111	3°12'	0,235
Засолений суглинок	10-22	1,98-2,04	14,3-14,8	0,170	32°37'	0,62
Суглинок	12-15	1,57-1,62	10,3	0,115	16°	0,306
Морений суглинок	До 17	2,15	10,1-12,8	0,092	16°	0,245
Суглинок	20-30	1,73-1,77	7,9-12,7	0,225	10°47'	0,545
Важкий суглинок	22-34	1,94-1,99	14,7-16,3	0,22	20°18'	0,634

1.2. Стан розвитку грейферних робочих органів

Офіційно ідея створення грейферного робочого обладнання належить Леонардо да Вінчі, який на початку XVI ст. запропонував схеми екскаваторів-драглайнів і створив ескіз креслення грейфера для землечерпалки. Леонардо да Вінчі керував прокладанням каналів в посушливій Міланській долині - саме там

він застосовував різні землерийні машини власної конструкції. В 1597 році для очищення каналів в Венеції була сконструйована і побудована плаваюча землечерпалка. Її автором був венеціанський механік Буанаюто Лоріні, який описав пристрій машини в праці «Делле Фортифікаціоне». Далі, в 1718 році проєкт землерийного пристрою з двома ковшами представили Французькій Академії наук механіки де ла Бальм та Белідор. Запропонований пристрій знайшов застосування при будівництві портів Тулона і Бреста. В другій половині XIX століття масштабне будівництво залізних доріг і каналів вимагало переміщення все більших мас землі, яке вже не могло бути виконане за допомогою ручної праці землекопів. В цей період в Німеччині стали застосовувати «будівельні локомотиви», обладнані одноканатними грейферами. Грейфер (нім. Greifer, от greifen - хапати) - автоматичний вантажозахватний пристрій, забезпечений поворотними щелепами для захвату вантажу.

Спочатку грейфери мали канатний привід і працювали за принципом підгортання і захоплення вантажу. Вони не могли розробляти щільні ґрунти, так як у канатного грейфера зусилля впровадження здійснюється тільки за рахунок ваги самого грейфера. Можливість розробки більш щільних ґрунтів грейфери отримали з появою гідроприводу і жорсткої його підвіски до стріли екскаватора. Грейфери отримують все більш ширше застосування на гідравлічних екскаваторах з наступних причин: забезпечується реалізація великих напірних зусиль, які обмежені в основному стійкістю екскаватора, а не масою грейфера (як у канатних грейферів); гідропривід дозволяє розвивати великі зусилля копання на щелепах ковша, достатні для розробки ґрунтів до IV-ї категорії включно. Необхідно відмітити, що вже в XXI столітті Німеччина знову стає піонером в широкомасштабному використанні грейферів для ведення розосереджених і малооб'ємних земляних та навантажувальних робіт. В даний час 96% меліоративних організацій Німеччини використовують цей вид робочого обладнання.

При усьому конструктивному різноманітті грейферне обладнання може бути класифіковано за низкою основних ознак: призначенням, типом приводу,

видом підвіски до елементів робочого обладнання, конструктивною схемою стріли і рукоятки; конструктивною схемою грейфера, кількістю щелеп, розташуванням привідних гідроциліндрів, способом передачі зусилля від гідроциліндра на щелепи, кількістю шарнірів кріплення щелеп, конструкцією ріжучої кромки щелеп, формою ріжучої кромки щелеп, кутом повороту в плані і т.д.

Провівши огляд патентно-ліцензійної інформації за останні десятиліття, з огляду на виявлення ряду грейферних ковшів якірного типу різного виконання (рис. 1.1), в роботі автором дисертації запропонована розширена класифікація грейферних механізмів за характером ведення процесу зачерпування (рис. 1.2).

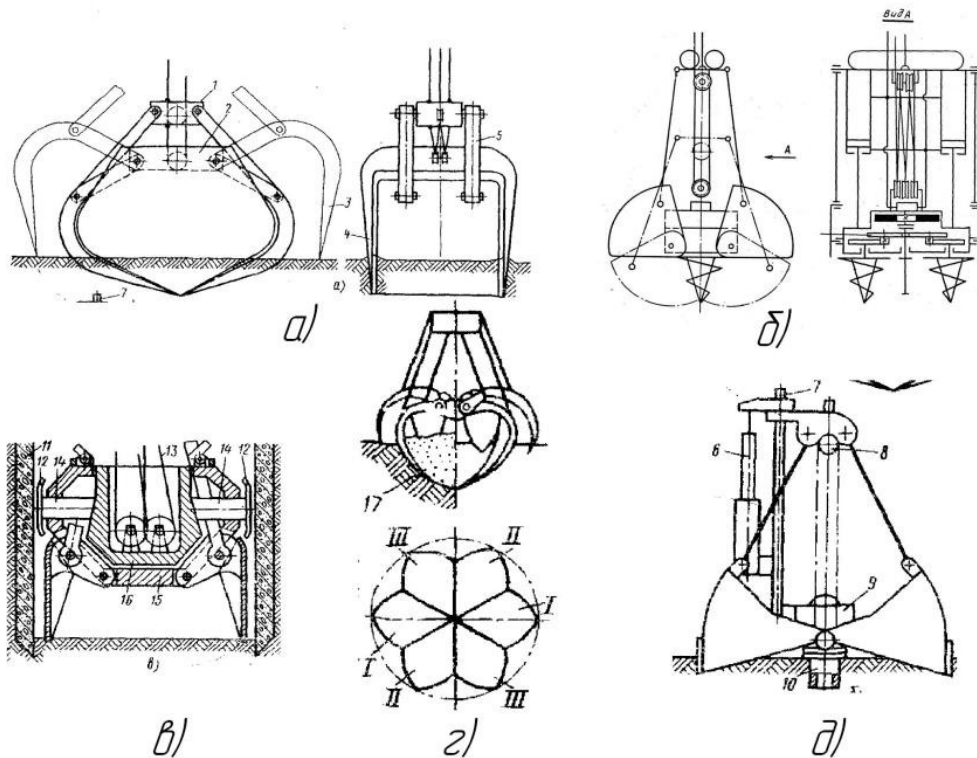


Рисунок 1.1 - Грейфери якірного типу:

а - з бічними заглиблювальними стінками; *б* - з гвинтовим якорем;

в - з розпірним пристроєм; *г* - з послідовним зачерпуванням матеріалу парою

щелеп; *д* - з зануреним патрубком.

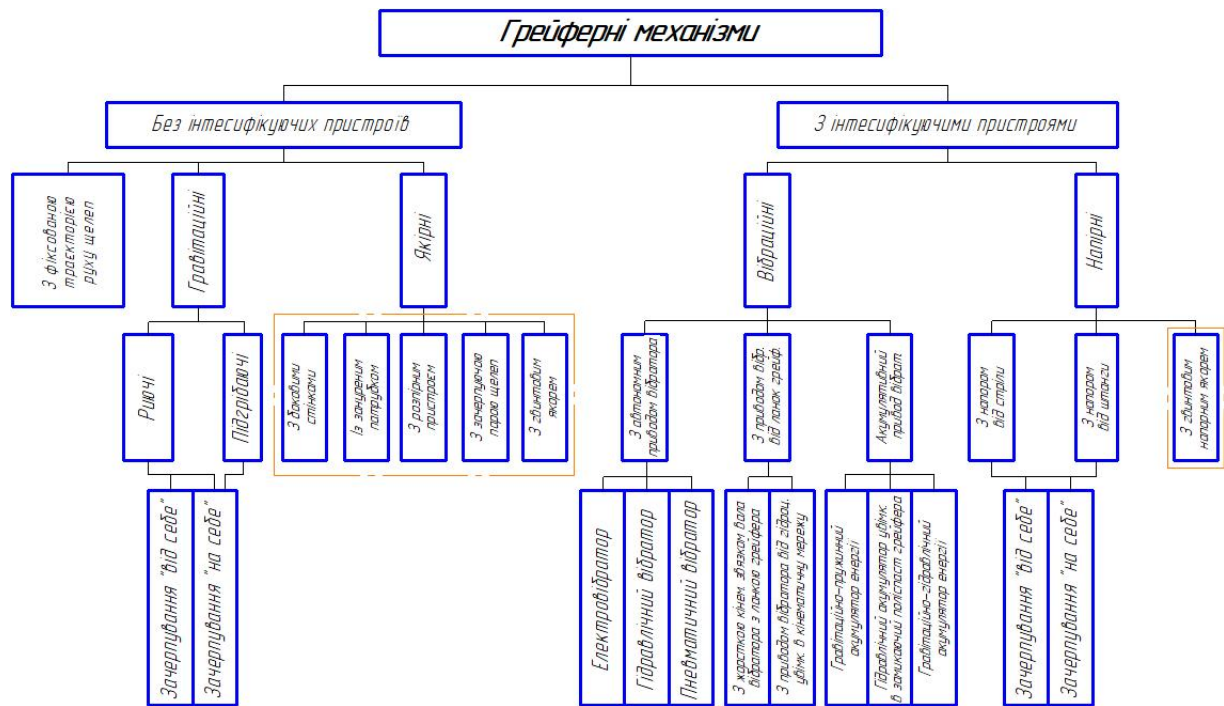


Рисунок 1.2 - Розширена класифікація грейферних механізмів за характером проведення процесу зачерпування.

Основним стримуючим фактором застосування гідравлічних грейферів на грунтах вище III-ї категорії є значні навантаження на щелепи при їх введенні в масив, а також при їх повертанні для відриву певного об'єму ґрунту. Реалізація великих напірних зусиль обмежена стійкістю екскаватора, а гідропривід, хоча і дозволяє розвивати зусилля копання на щелепах ковша, достатні для розробки щільних ґрунтів до IV категорії включно, але коефіцієнт заповнення ковша в даному випадку різко знижується - щелепи не можуть проникнути і скребути по поверхні ґрунту. Детальний аналіз робочого процесу грейфера традиційної конструкції дозволяє стверджувати, що, крім процесу проникнення ріжучих кромки в масив ґрунту, його ефективність залежить від початкового процесу закриття щелеп. Саме в цей момент відбувається не різання ґрунту, а видавлення певного об'єму з непорушеного масиву. Це досить енергомісткий процес.

Огляд вітчизняної і закордонної патентно-ліцензійної та науково-технічної літератури по грейферних механізмах (глибиною в 40 років) показав

наявність цілого ряду конструкцій спеціальних ковшів для виконання робіт на зв'язних і міцних ґрунтах (рис. 1.3). За технічною суттю їх можна об'єднати в три основні групи: які знижують опір ґрунту зануренню [2], які збільшують напірні зусилля [6], які використовують сили зякорювання [1, 4, 5].

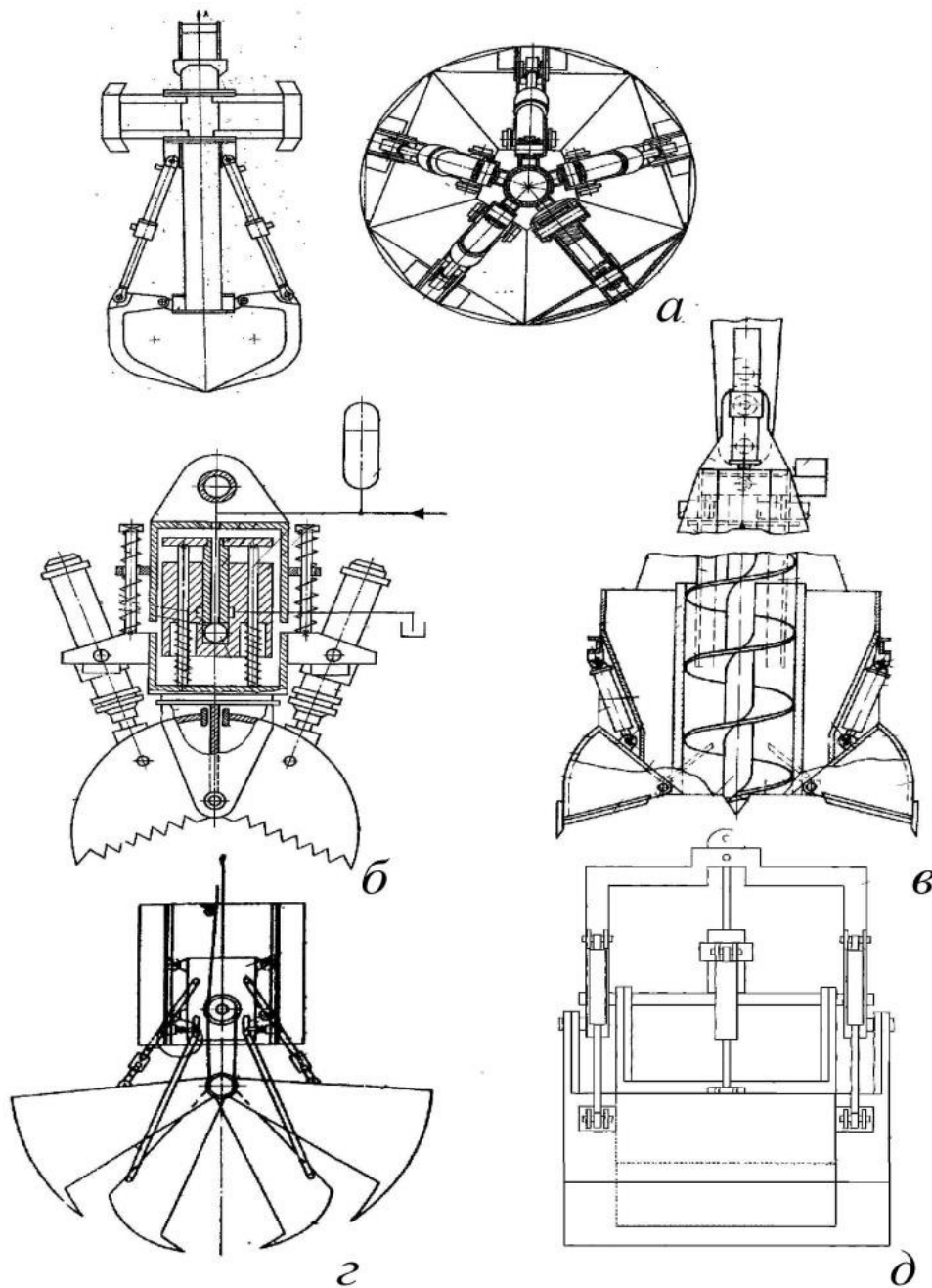


Рисунок 1.3 - Конструктивні рішення грейферних ковшів для розробки міцних ґрунтів:

а - багатощелепий ківш грейфера; б - віброударний грейфер; в - шнековий бур з грейферними щелепами; г - ківш з додатковими щелепами, розміщеними

всередині порожнини основних; д - такий же, з гідроприводом щелеп.

Намітилась тенденція створення конструкцій спеціальних грейферів, в яких спочатку відбувається руйнування центральної частини масиву ґрунту, а потім при закритті щелеп - зрушення ґрунту в бік вільної зони. На рис. 1.3, в представлена досить складна конструктивна схема грейферного обладнання, яка забезпечує буріння центральної частини об'єму ґрунту що розробляється в одному циклі. Конструктивна схема інженерно-будівельного інституту (рис. 1.3, г) передбачає раціональне поєднання грейфера малого і великого об'ємів. Логічним продовженням даного винаходу є конструктивне рішення архітектурно-будівельної академії (рис. 1.3, д). Грейфер має основні і додаткові щелепи, але додаткові щелепи обладнані пристроєм вертикального переміщення відносно основних щелеп.

Висновки

Аналіз способів підвищення ефективності робочих процесів, що виконуються землерийною технікою, зокрема екскаватором з грейферним робочим органом, вирішив питання щодо способів досягнення поставленої мети. До них можна віднести:

- зниження опору ґрунту зануренню щелеп за рахунок ослаблення масиву;
- збільшення напірних зусиль з боку базової машини і застосування додаткового привантаження;
- використання сил заякорювання і робочих органів, що працюють за принципом замкнутого силового потоку «робочий орган - ґрунт - робочий орган».

Наведені і проаналізовані конструкції дозволяють визначити актуальність створення грейферного робочого органу з приводним гвинтовим якорем, який при взаємодії з ґрунтом працює в замкнутому силовому потоці «грейферний ківш - ґрунт - гвинтовий якор - грейферний ківш».

Актуальність запропонованого робочого органу характеризується

наступним:

- здатністю розробляти міцні ґрунти до V категорії;
- ефективністю занурення в масив який розробляється з мінімальним впливом базової машини на процес;
- зниженням енергоємності копання (за рахунок відриву грудки ґрунту гвинтовим якорем з наступною розробкою щелепами грейфера ослабленого масиву в бік відкритої поверхні);
- підвищенням коефіцієнта наповнення ковша;
- можливістю роботи як в звичайному (традиційному) режимі, так і з використанням гвинтового якоря, що дозволить розширити сферу застосування грейфера.

Детальний аналіз теоретичних досліджень дозволяє стверджувати, що до даного моменту відсутні дані про особливості робочого процесу такого спеціального грейфера.

В зв'язку з вищевикладеним, актуальним є дослідження впливу маси екскаватора, додаткового зусилля привантаження і параметрів тіла випору, забезпечуваних гвинтовим якорем, фізико-механічних характеристик ґрунту і конструкції ковша на процес проникнення щелеп грейфера в масив з наступною його розробкою.

Викладені питання дозволяють встановити і сформулювати мету роботи та визначити завдання дослідження.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОНИКНЕННЯ ГРЕЙФЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ В МАСИВ ГРУНТУ

2.1. Взаємозв'язок зусилля проникнення робочого органу в масив ґрунту з параметрами базової машини

Для вільностоячих на ґрунтовій основі екскаваторів можливе напірне зусилля, яке утворюється на ріжучих кромках грейферного робочого органу, визначається з умови рівноваги всієї машини $\Sigma M_A=0$, при цьому рівнодіюча цього зусилля діє вздовж осі симетрії ковша

$$P_{\text{пр}} = \frac{G_K L_K + G_{\text{РО}} L_{\text{ро}} + G_T r_T + G_{\text{ПЛ}} r_{\text{пл}} + G_A r_a - (G_{\text{ПР}} r_{\text{пр}} + G_{\text{ДВ}} r_{\text{дв}})}{L_K} \quad (2.1)$$

де $G_{\text{РО}}, G_T, G_{\text{ПЛ}}, G_A, G_{\text{ПР}}, G_{\text{ДВ}}, G_K$ - вага відповідно робочого обладнання, ходового візка, поворотної платформи, гідроагрегатів, противаги, двигуна, ковша, Н;

$L_K, L_{\text{ро}}, r_T, r_{\text{пл}}, r_a, r_{\text{пр}}, r_K$ - відповідно відстань від точки А до напрямку дії сил $G_K, G_{\text{РО}}, G_T, G_{\text{ПЛ}}, G_A, G_{\text{ПР}}, G_{\text{ДВ}}$ (див. рис. 2.1), м.

Залежність (2.1) показує, що зусилля натиску залежить від маси елементів екскаватора, також відстані між їх центром тяжіння і віссю перекидання.

В концепції побудови конструктивної схеми гідравлічного грейферного екскаватора як об'єкта проектування, повинні бути враховані фізичні принципи дії, технологічні параметри робочого обладнання, компоновання окремих агрегатів та вузлів, стійкість при виконанні робочих операцій і при пересуванні, силові можливості та ін.

Врахування всіх зазначених факторів і зовнішнього середовища призводить до складної системи взаємозв'язків (рис. 2.2).

Формально, завдання визначення характеристик екскаватора для вхідного вектора $A_e = \{q, P_M, R_M, N_{\text{ДВ}}\}$ зводиться до визначення $G_E = \{G_i\}$; $X_E = \{x_i\}$; $i = 1, 2, \dots, n$, де n - число рівнів деталізації екскаватора; G_E - вектор мас елементів

екскаватора; X_E - вектор лінійних координат центрів мас G_i (див. табл. 2.1). Структуру математичних моделей можна уявити в вигляді орієнтованих графів (рис. 2.2), в яких вершини відповідають операторам елементарних моделей $\{f_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$.

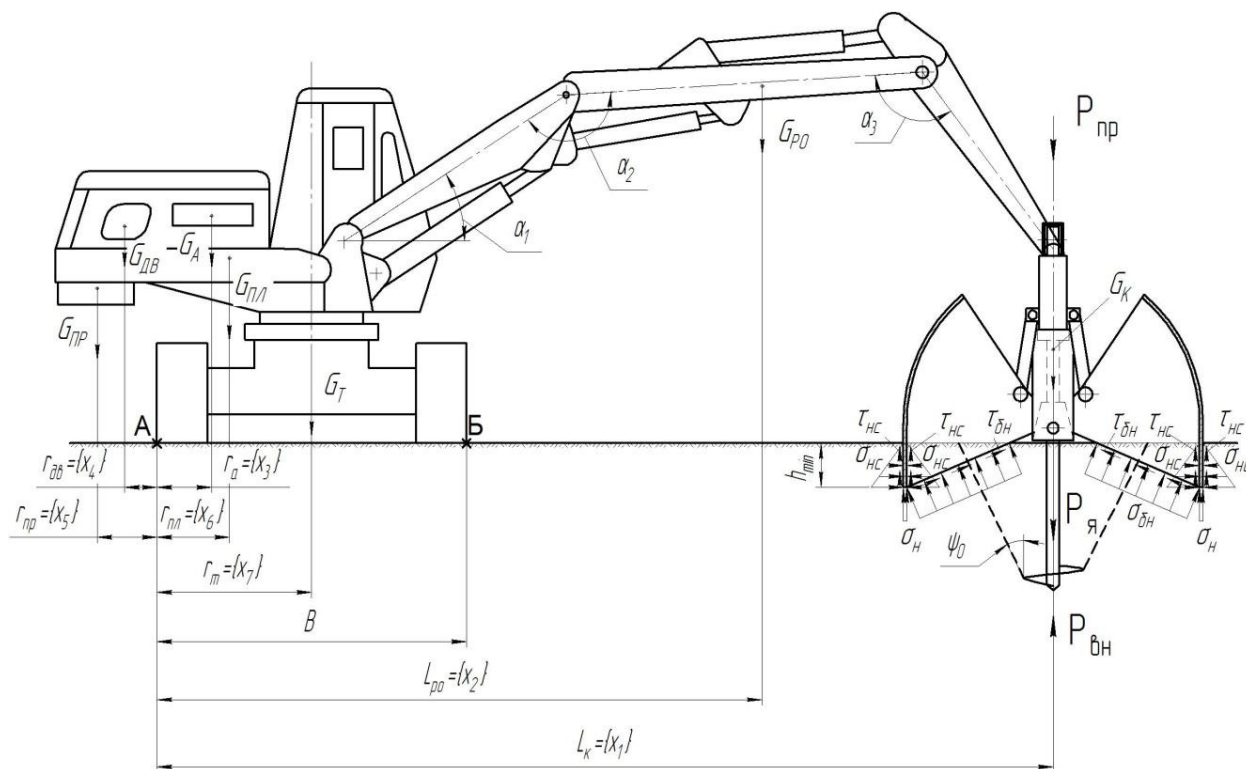


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема екскаватора з грейферним робочим органом, де σ_n , σ_{bn} і σ_{nc} - тиск ґрунту відповідно на ножі ріжучої кромки щелеп, на ножі бічної стінки і на вертикальні поверхні (стінки) ножа; τ_{ai} і τ_{in} - відповідні дотичні складові тиску; P_{np} і $P_{вн}$ - відповідно рівнодіючі напірних зусиль екскаватора і опорів масиву ґрунту; $P_{я}$ - зусилля, що забезпечується гвинтовим якорем.

Уявивши таким чином функціональний зв'язок між масою екскаватора і його параметрами, використовуючи рівняння регресії, взявши головний параметр (масу екскаватора), можна швидко визначити максимальне напірне зусилля, яке виникає на ріжучих кромках грейферного робочого органа.

Таблиця 2.1 - Логічна модель для визначення маси та лінійних координат центрів мас елементів екскаватора

№	Компоненти вектора X_e	Компоненти вектора G_e (маса елемента, агрегата)	Логічна модель підсистеми ЕО
1	$x_1 = R_M - k_{11}R$	$G_K = (0,5 + k_{21}C) q$	$m_1: \{C, q, k_1\}$
2	$x_2 = k_{12}R_M$	$G_{po} = k_{22}R_M^{5/3} P_{pp}^{2/3}$	$m_2: \{P_M, R_M, k_2\}$
3	$x_3 = k_{13} L_0$	$G_A = k_{23}N_{дв}$	$m_3: \{N_{дв}, k_3\}$
4	$x_4 = k_{14} L_0$	$G_{дв} = k_{24}K_{дв}^{0,525}$	$m_4: \{N_{дв}, k_4\}$
5	$x_5 = k_{15} L_0$	$G_{пр} = (k_y M_{опр} - M_y) / (B + x_5)$	$m_5: \{G_e, X_e, k_y, q, \gamma_{гр}, L_0, B\}$
6	$x_6 = k_{16} L_0$	$G_{пл} = k_{26} (G + G_{пр})^{2/3} R_{хч}^{5/3}$	$m_6: \{G_8, G_{пр}, R_{хч}, L_0, k_6\}$
7	$x_7 = k_{17} L_0$	$G_T = k_{27} (G_8 + G_{пр} + G_{пл})^{2/3} (L_0 / 2)^{5/3}$	$m_7: \{G_8, G_{пр}, G_{пл}, L_0, k_7\}$
8	$x_8 = \frac{1}{G_8} \sum_1^4 G_i x_i$	$G_8 = G_K + G_{po} + G_A + G_{дв}$	$m_8: \{G_{po}, G_A, G_{дв}, G_K, \}$
9	$x_9 = \frac{1}{G_9} \sum_5^8 G_i x_i$	Маса екскаватора $G_e = \sum_1^7 G_i$	$m_9: \{G_{po}, G_A, G_{дв}, G_K, G_T, G_{пл}, G_{пр}\}$
10	$L_0 = k_{10} \sqrt[3]{G_e}$ $B = 2 + L_0 / 3$	або $G_e = G + G_T + G_{пл} + G_{пр}$	$m_{10}: \{G_e, k_{10}\}$

Примітка. C - міцність розроблюваного ґрунту; q - місткість ковша; P_{pp} - максимальне зусилля привантаження; R_M - найбільший радіус копання; R_M - радіус закриття щелеп ковша; $N_{дв}$ - потужність двигуна; k_y - коефіцієнт стійкості екскаватора; $M_{опр}$ і M_y - відповідно перекидний і утримуючий моменти; k_n - коефіцієнт заповнення ковша (в момент втрати стійкості); $\gamma_{гр}$ - об'ємна вага ґрунту; B і L_0 - поперечна та поздовжня бази ходового пристрою; $R_{хч}$ - радіус хвостової частини поворотної платформи; G_E - маса екскаватора; k_{ij} - коефіцієнти, що враховують особливості конструктивного виконання елементів екскаватора.

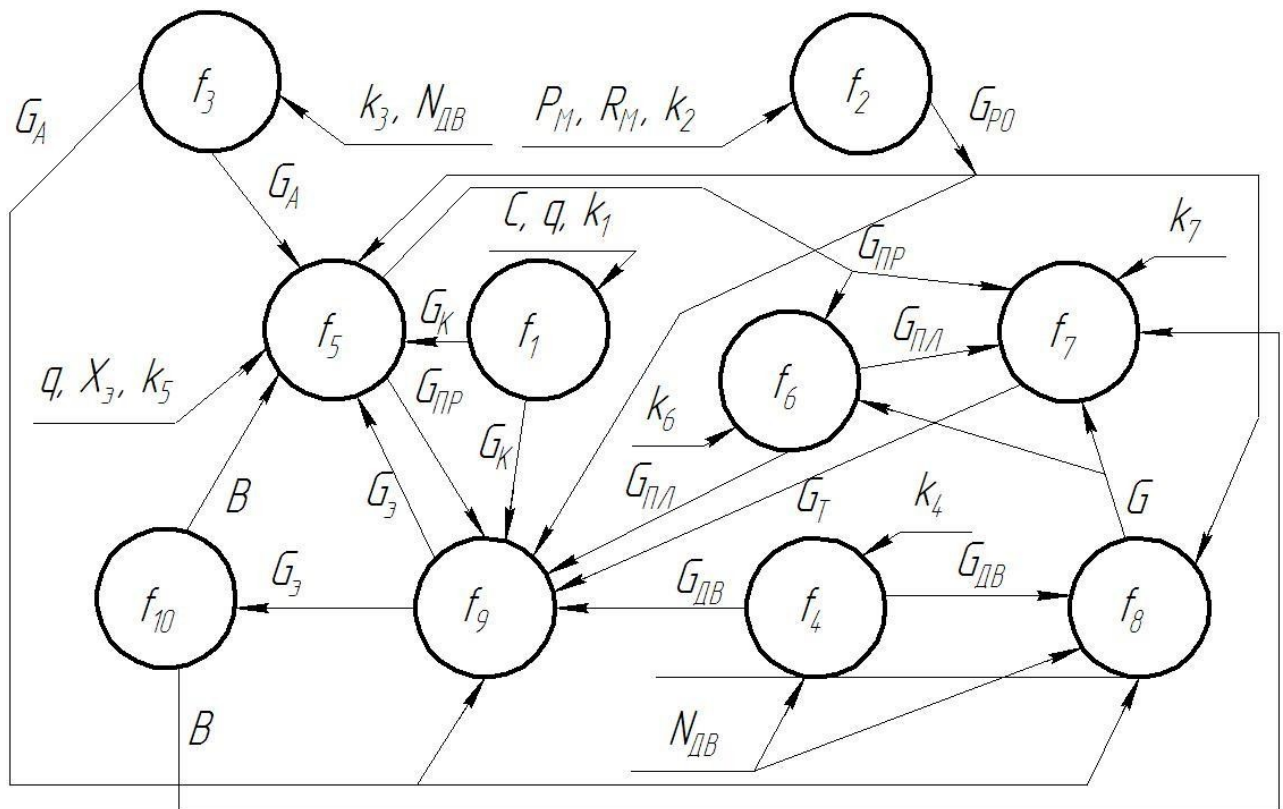


Рисунок 2.2 - Орієнтований інформаційний графік моделі стійкості екскаватора з грейферним робочим обладнанням.

Як видно з рис. 2.2 взаємного впливу логічних моделей, порівняння таблиць 2.1 не можуть бути вирішені безпосередньо. По-перше, вони нелінійні, по-друге, не можуть бути представлені в явному вигляді при розрахунку, наприклад, маси противаги. Тому використання ЕОМ в даному випадку неминуче.

По таблиці 2.2. можна швидко порівняти параметри машини яка проектується з середніми даними по екскаваторах, що випускаються в СНД і за кордоном. Таблиця 2.2 складена з врахуванням досліджень і даних статистичного аналізу. В результаті побудований графік залежності зусилля проникнення грейфера в масив ґрунту в залежності від маси екскаватора (рис. 2.3).

Таблиця 2.2 - Розрахункові характеристики грейферного екскаватора

№	Назва елемента	Відстань від центру ваги елемента до осі перекидання (точка А рис. 2.1), м	Маса елемента, т
1	Ківш	$x_1 = R_m - 0,98R + B$	$G_k = (0,5 + 0,04C) q$
2	Робоче обладнання	$x_2 = 0,45R_m + (B/2)$	$G_{po} = 0,15G_e$
3	Обладнання поворотної платформи	$x_3 = (B/2) - 0,15L_0$	$G_A = 0,034N_{\delta e}$
4	Двигун	$x_4 = 0,56 L_0 - (B/2)$	$G_{дв} = 0,159N_{дв}^{0,525}$
5	Противага	$x_5 = 0,825 L_0 - (B/2)$	$G_{np} = (k_y M_{опр} - M_y) / (L_0 - x_5)$
6	Металоконструкція поворотної платформи з ОПП	$x_6 = (B/2) - 0,164 L_0$	$G_{пл} = 0,041 \times (G_8 + G_{np})^{2/3} (G_e - 4)^{5/9}$
7	Ходовий візок	$x_7 = B/2$	$G_m = 0,467(G_8 + G_{np} + G_{пл})^{2/3} (L_0/2)^{5/3}$
8	Маса агрегатів розташованих на поворотній платформі	$x_8 = \frac{1}{G_8} \sum_1^4 G_i x_i$	$G_8 = G_k + G_{po} + G_A + G_{\delta e}$
9	Маса екскаватора	$x_9 = \frac{1}{G_e} \sum_5^8 G_i x_i$	$G_e = \sum_1^7 G_i$
10	Поздовжня і поперечна бази	$L_0 = 1,1^3 \sqrt{G_e}$ $B = 1 + L_0/3$	або $G_e = G_8 + G_m + G_{пл} + G_{np}$

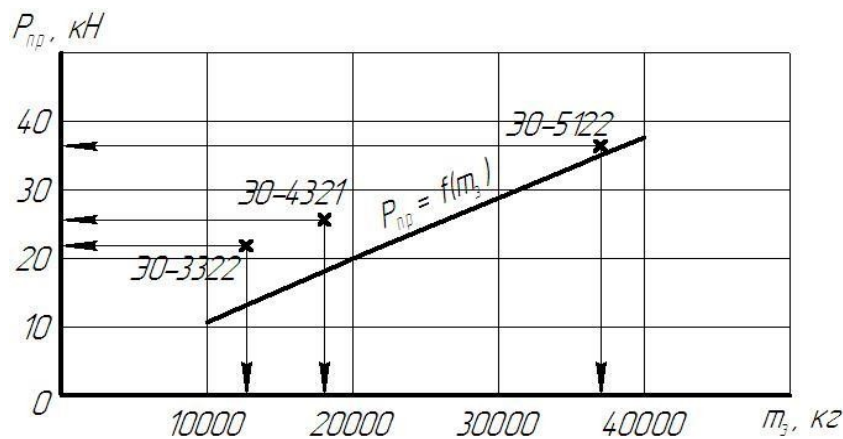


Рисунок 2.3 - Напірне зусилля, що розвиває екскаватор, в залежності від його маси.

Слід пам'ятати, що наведені рівняння не можуть бути основою для вибору

величин параметрів. Якщо всі параметри вибрати по табл. 2.2, то отримаємо працездатний екскаватор середньої якості. Тому, якщо є можливість використовувати більш точні дані про маси елементів екскаватора, то статистичні формули доцільно використовувати тільки для порівняння. Якщо такої можливості немає, то вони можуть бути використані для завдання величин параметрів.

2.2. Опір масиву ґрунту зануренню різальних кромок грейфера

Робочий процес гідравлічного екскаватора, обладнаного грейфером, розпочинається з встановлення розкритих щелеп ковша на масив з наступним зануренням в нього різальних кромок. Якщо неможливо занурити різальні кромки в масив ґрунту, то процес розробки останнього неможливий.

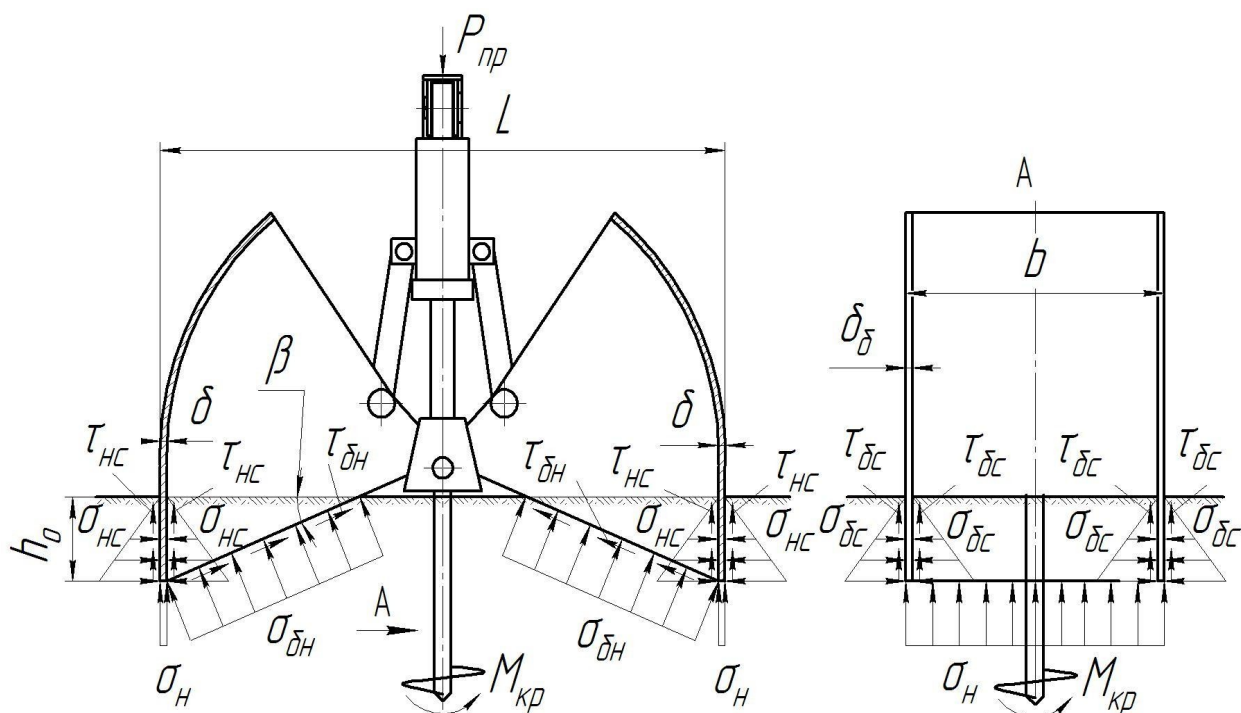


Рисунок 2.4 - Схема навантажень, що діють на різальні кромки ковша при зануренні в масив ґрунту.

В загальному випадку опір масива ґрунту зануренню ковша грейфера (див. рис. 2.4) можна подати як:

$$P_{BH} = 2P_H + 4P_{OC} + 4\mu P_{HC} + 8\mu P_{BC}, \quad (2.2)$$

де P_H і P_{OC} - відповідно опір ґрунту на різальній кромці ножа і осьова складова опору на стінки, Н;

P_{HC} і P_{BC} - відповідно нормальна складова зусиль тертя, що діють на вертикальних поверхнях ножа і на бічних стінках щелеп, Н;

μ - коефіцієнт тертя між робочим органом і ґрунтом.

В інтегральному вигляді вказані опори, з врахування схеми взаємодії ковша з ґрунтом, можна подати наступним чином:

$$P_H = \int_0^{F_H} \sigma_H dF; \quad (2.3)$$

$$P_{OC} = \cos \beta \int_0^{F_{BH}} \sigma_{BH} dF + \sin \beta \int_0^{F_{BH}} \tau_{BH} dF; \quad (2.4)$$

$$P_{HC} = \int_0^{F_{HC}} \sigma_{HC} dF; \quad (2.5)$$

$$P_{BC} = \int_0^{F_{BC}} \sigma_{BC} dF; \quad (2.6)$$

де $\sigma_H, \sigma_{BH}, \sigma_{HC}$ і σ_{BC} - тиск ґрунту, що діє відповідно на ніж різальної кромки щелеп, на ножі бічної стінки ковша, на вертикальні поверхні (стінки) ножа і на бічні стінках ковша, Па;

τ_{BH} - дотичні складові напруження σ_{BH} ($\tau_{BH} = \mu \sigma_{BH}$), Па;

F_H, F_{BH}, F_{HC} і F_{BC} - відповідні площі грейферного робочого органа, м²;

β - кут, що визначає геометрію бічної стінки ковша, град;

($\operatorname{tg} \beta = \frac{H_0}{L/2}$, де H_0 - вертикальна відстань від осі обертання щелеп

грейфера до різальної кромки; L - ширина розкриття щелепи ковша).

Використовуючи результати досліджень, залежності (2.3) - (2.6) можна подати в загальному вигляді так

$$P_H = \int_0^{F_H} \sigma_H dF = k_{n\text{ пр}} \sigma_0 \delta b v, \quad (2.7)$$

де $k_{n\text{ пр}}$ – коефіцієнт, що враховує схему взаємодії різальної кромки з масивом ґрунту (для схеми взаємодії з масивом ґрунту традиційних ковшів грейфера $k_{n\text{ пр}} = 3,2$);

σ_0 - опір ґрунту одновісному стиску, Па;

δ - товщина ножа, м;

b - ширина ножа, м;

v - коефіцієнт, що враховує загострення ножа.

$$\begin{aligned} P_{oc} &= \cos \beta \int_0^{F_{6H}} \sigma_{6H} dF \\ &+ \sin \beta \int_0^{F_{6H}} \tau_{6H} dF \\ &= (\cos \beta + \mu \\ &\cdot \sin \beta) \int_0^{F_{6H}} \sigma_{6H} dF = (\cos \beta + \mu \cdot \sin \beta) \int_0^{h_0} k_n \sigma_0 \delta_6 v \frac{dh}{\sin \beta}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

де h_0 - глибина занурення щелеп ковша, м;

δ_6 - товщина бічної стінки ковша, м.

$$P_{HC} = \int_0^{F_{HC}} \sigma_{HC} dF = \int_0^{h_0} \sigma_{HC} b dh = \int_0^{h_0} \rho g h \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) b dh, \quad (2.9)$$

де ρ - щільність ґрунту, кг/м³;

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

φ - кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

$$P_{\sigma_c} = \int_0^{F_{\sigma_c}} \sigma_{\sigma_c} dF = \int_0^{h_0} \rho g h \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) \frac{h}{\operatorname{tg}\beta} dh. \quad (2.10)$$

Після підстановок і перетворень сумарні опори масиву міцного ґрунту зануренню щелеп грейфера наведемо як

$$P_{\text{вн}} = 2 \int_0^{F_H} \sigma_H dF \quad (2.11)$$

$$+ 4(\cos \beta + \mu \cdot \sin \beta) \int_0^{F_{\sigma_H}} \sigma_{\sigma_H} dF + 4\mu \int_0^{F_{\sigma_{\text{нс}}}} \sigma_{\text{нс}} dF + 8\mu \int_0^{F_{\sigma_c}} \sigma_{\sigma_c} dF.$$

З врахуванням фізико-механічних характеристик ґрунту і певних параметрів ковша залежність (2.11) можна записати

$$P_{\text{вн}} = 2k_{n \text{ пр}} \sigma_0 \delta b v + 4 \left(\frac{1}{\operatorname{tg}\beta} + \mu \right) k_{n \text{ пр}} \sigma_0 \delta_6 h_0 v + \quad (2.12)$$

$$+ 2\mu \rho g \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) b h_0^2 + 8\mu \frac{\rho g \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{3 \cdot \operatorname{tg}\beta} h_0^3.$$

Враховуючи результати наукових досліджень по визначенню зусиль, що діють на штамп при вертикальному зануренні, по визначенню тиску на бічні стінки руйнуючого ножа, для формули (2.11) тиск ґрунту $\sigma_{\text{нс}}$ і σ_{σ_c} можна прийняти рівними середньому тиску ґрунту на глибині

$$\sigma_{\text{нс}} = \sigma_{\sigma_c} = q_{\text{бер}} \quad (2.13)$$

де $q_{\text{бер}}$ - середній тиск ґрунту на вертикальні поверхні ковша, Н/м².

Перетворивши (2.11) з врахуванням (2.13), отримаємо

$$P_{\text{вн}} = 2k_{n \text{ пр}} \sigma_0 \delta b v + 4 \left(\frac{1}{\operatorname{tg}\beta} + \mu \right) k_{n \text{ пр}} \sigma_0 \delta_6 h_0 v + 4\mu \cdot q_{\text{бер}} b h_0 + 8\mu \frac{h_0^2}{\operatorname{tg}\beta}. \quad (2.14)$$

Для оцінки впливу фізико-механічних характеристик ґрунту проведений чисельний аналіз математичної моделі (2.12) процесу занурення щелеп грейфера в зв'язний ґрунт (рис. 2.5 і 2.6). Аналіз виконувався при наступних вихідних даних: місткість ковша $q = 0,25 \text{ м}^3$, геометричні параметри ковша: ширина $b = 0,65 \text{ м}$; розкривання щелеп $L = 1,38 \text{ м}$; $\beta = 12^\circ$. Характеристики

грунту приймалися за даними.

Представлені дані наочно показують істотний вплив міцності ґрунту (σ_0) на зусилля, необхідне для проникнення ковша. Із залежності (2.11) видно, що з збільшенням параметрів робочого органу (F_n , $F_{\text{бн}}$, $F_{\text{нс}}$, і $F_{\text{бс}}$) опір ґрунту проникненню зростає. Тому для роботи з традиційними грейферними робочими органами потрібні потужні базові машини, а розташування центра мас їх складових частин (див. рис. 2.1 і рис. 2.3) повинна бути здатна забезпечити значні напірні зусилля.

З врахуванням сказаного вище, умова ефективної роботи грейферного ковша на зв'язних ґрунтах можна подати як

$$1) P_{\text{пр}} \geq P_{\text{вн}} ; \quad (2.15)$$

$$2) K_n \geq 0,65 \dots 0,7 , \quad (2.16)$$

де $P_{\text{пр}}$ і $P_{\text{вн}}$ - відповідно зусилля занурення щелеп в ґрунт (зусилля зовнішнього привантаження ковша) і зусилля опору ґрунту зануренню щелеп грейфера;

K_n - коефіцієнт наповнення ковша.

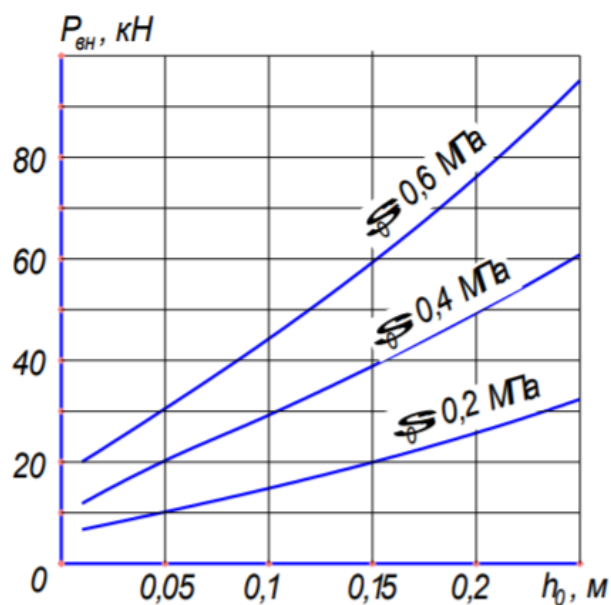


Рисунок 2.5 - Залежності зміни опору ґрунту зануренню від глибини занурення щелеп.

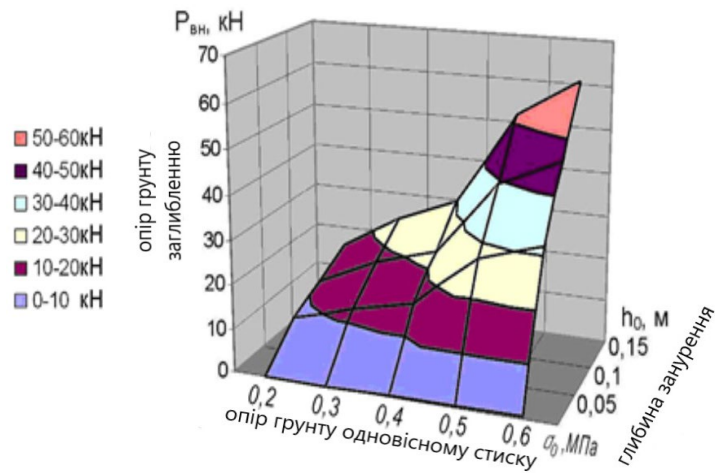
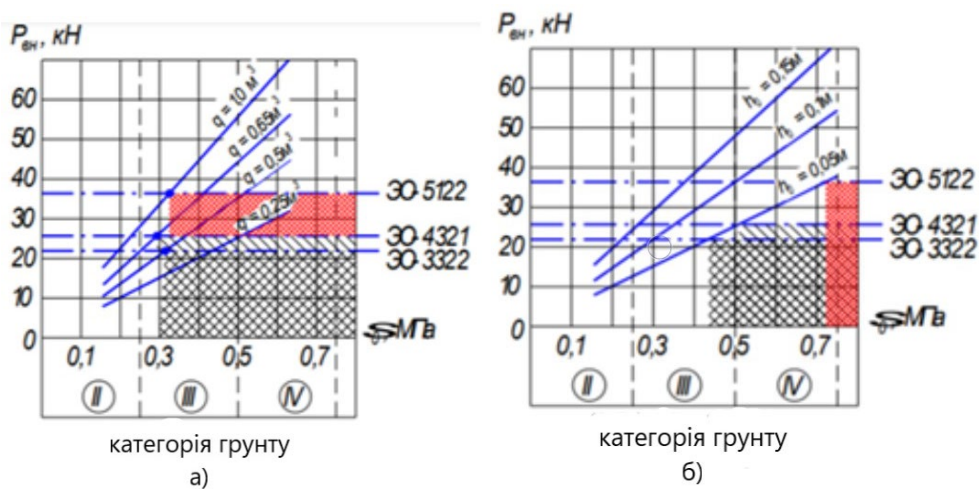


Рисунок 2.6 - Залежність опору ґрунту зануренню ковша грейфера від глибини занурення щелеп і фізико-механічних характеристик ґрунту.

Коефіцієнт наповнення ковша визначає об'єм ґрунту в ковші, відповідно продуктивність екскаватора ($P_{екс}$) по конкретному ґрунту: при $K_H \rightarrow 0$ $P_{екс} \rightarrow 0$ і відповідно при $K_H \rightarrow 1$ $P_{екс} \rightarrow max$. Коефіцієнт наповнення ковша в першу чергу залежить від початкової глибини занурення ріжучих кромок в масив ґрунту.



— необхідне зусилля занурення різальних кромок грейфера;
 - - - зусилля занурення, що забезпечується вагою екскаваторів.

Заштриховані межі - межі недостатнього зусилля занурення

30-3322
 30-4321
 30-5122

Рисунок 2.7 - Порівняльний аналіз зусиль занурення грейферного ковша в різні ґрунти:

а - при глибині занурення щелеп на глибину $h_0 = 0,05$ м; б - при зануренні

ковша грейфера місткістю $q = 0,25\text{м}^3$.

З використанням геометричних параметрів екскаваторів і розподілення центра маси окремих елементів по залежностях (2.1) і (2.11) можна провести чисельний аналіз процесів занурення традиційних грейферних робочих органів в різні ґрунти (див. рис. 2.7).

Екскаватори всіх розмірних груп, обладнані традиційним двощелепим грейферним ковшом, не можуть розробляти міцні ґрунти з опором одноосьовому стиску $\sigma_0 > 0,32\text{МПа}$. До таких ґрунтів відносяться міцні суглинки, глини та ін., які складають 25...30% від об'єму ґрунту, що піддається екскавації.

Для грейферних ковшів, на різальній кромці яких встановлені зубці, проведений аналогічний аналіз (рис. 2.8).

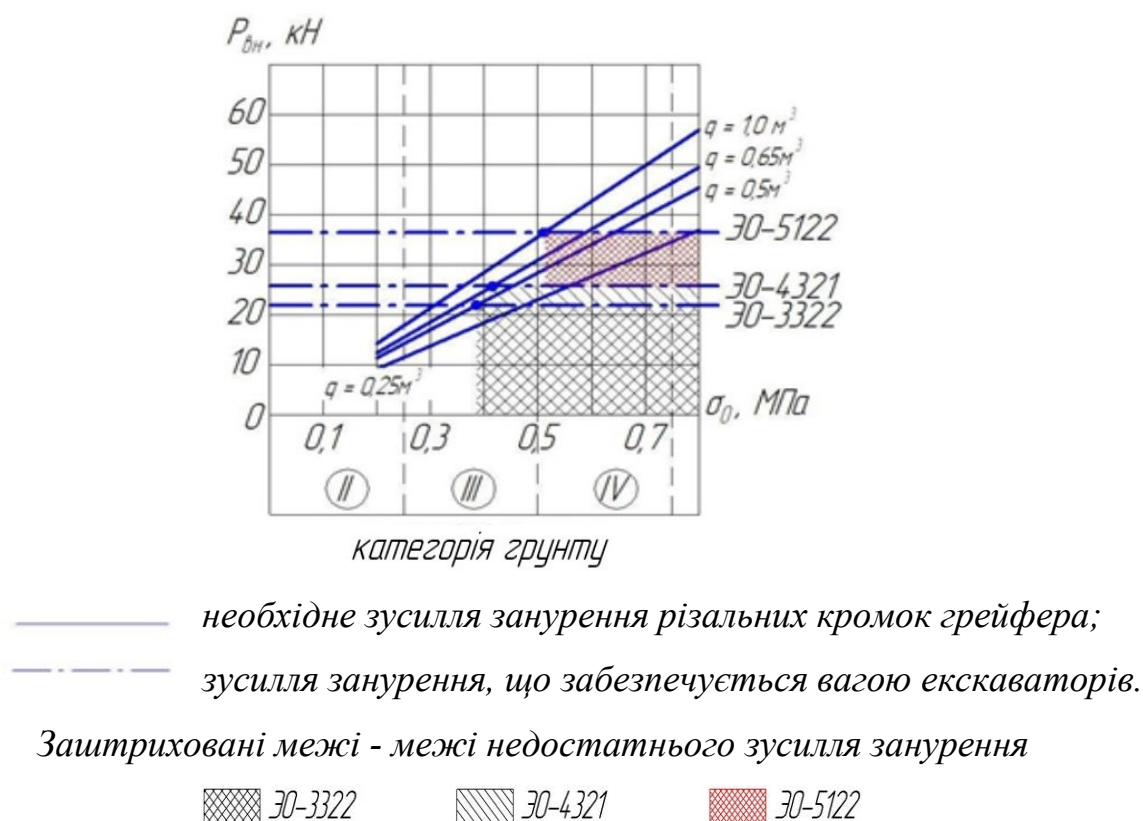


Рисунок 2.8 - Порівняльний аналіз зусиль впровадження грейферного ковша з зубцями в різні ґрунти на глибину $h_0 = 0,05$ м.

При цьому використовувалась формула (1.4) для визначення опору ґрунту зануренню траншейного грейфера, запропонована В.В. Царициним.

Встановлення на різальній кромці грейферного ковша зубців з відносним прорізом $\beta = 0,25$ дозволяє досягти можливості розробляти міцні ґрунти з опором одноосьовому стиску $\sigma_0 \approx 0,4$ МПа.

Для розробки міцних ґрунтів екскаваторами з традиційним компонованням необхідно застосовувати зменшені ковші. Як показав чисельний аналіз (рис. 2.7, б), екскаватор 5-ї розмірної групи може розробляти міцні ґрунти з опором одноосьовому стиску до 0,75 МПа при умові, що він буде обладнаний грейферним ковшем місткістю $q = 0,25$ м³.

Висновки

1. Першочерговим процесом розробки ґрунту грейфером є процес занурення щелеп ковша. Напірні зусилля (для занурення ковша в ґрунт), що розвиває гідравлічний екскаватор, обмежені його стійкістю.

2. На основі логічних моделей для визначення маси і лінійних координат центрів мас елементів екскаватора з використанням даних статистичного аналізу, розроблена модель для визначення напірного зусилля, що створюється на різальних кромках грейфера, в залежності від маси базової машини.

3. Встановлені закономірності і розроблені моделі занурення в масив міцного ґрунту щелеп грейфера, враховуючі масу і стійкість базової машини, геометричні параметри грейферного ковша і фізико-механічні характеристики ґрунту.

4. Отримані графічні інтерпретації процесів занурення різальних кромок грейферів в масив міцного ґрунту дозволяють визначити межі недостатності і надлишковості зусиль на робочому органі грейферного екскаватора. Порівняльний чисельний аналіз математичних моделей показав, що традиційні гідравлічні екскаватори, обладнані грейферним робочим органом, не можуть розробляти міцні ґрунти з опором одноосьовому стиску $\sigma_0 > 0,3 \dots 0,4$ МПа.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Після занурення різальних кромок в масив ґрунту розробка ґрунту відбувається в процесі повороту щелеп. Механізм руйнування масиву ґрунту багато в чому залежить від кута різання, який в даному робочому органі визначається кутом повороту щелеп. Кут різання визначає схему взаємодії робочого органу з ґрунтом, зусилля різання і механізм відділення стружки ґрунту. Особливістю грейферного робочого органа є те, що при повороті щелеп відбувається безперервна зміна кута різання.

В залежності від співвідношення зусиль занурення і опору масиву ґрунту (2.11), можливі наступні віртуальні переміщення щелеп грейферного обладнання:

1) вісь повороту щелеп грейфера зберігає стабільне положення по висоті, різальної кромки виконують рух по дузі - зачерпування (рис. 3.1);

2) вісь повороту щелеп грейфера змінює положення по висоті, а різальні кромки виконують рух по горизонталі - пошарове зрізання;

3) вісь повороту щелеп не зберігає постійне положення в просторі, і різальні кромки здійснюють рух по складній, комбінованій траєкторії.

Від траєкторії руху щелеп залежить кут різання, відповідно, і опір ґрунту руйнування. Процес взаємодії щелеп грейфера з масивом ґрунту по першій схемі представлений на рис. 3.1. Зусилля, необхідне для розробки (зачерпування) ґрунту, можна подати як

$$P_i = p_1 F_1 [\sin \alpha + \mu \cos \alpha] + 2p_2 F_2 \mu, \quad (3.1)$$

де α - кут входження клину ($\alpha = \gamma + \beta_0$);

p_1 - середній тиск на похилу поверхню клину;

p_2 - середній тиск на бічну поверхню ковша;

F_1 - площа похилої поверхні клину;

F_2 - площа дотику бічної стінки ковша з ґрунтом;

μ - коефіцієнт тертя ґрунту об робочий орган.

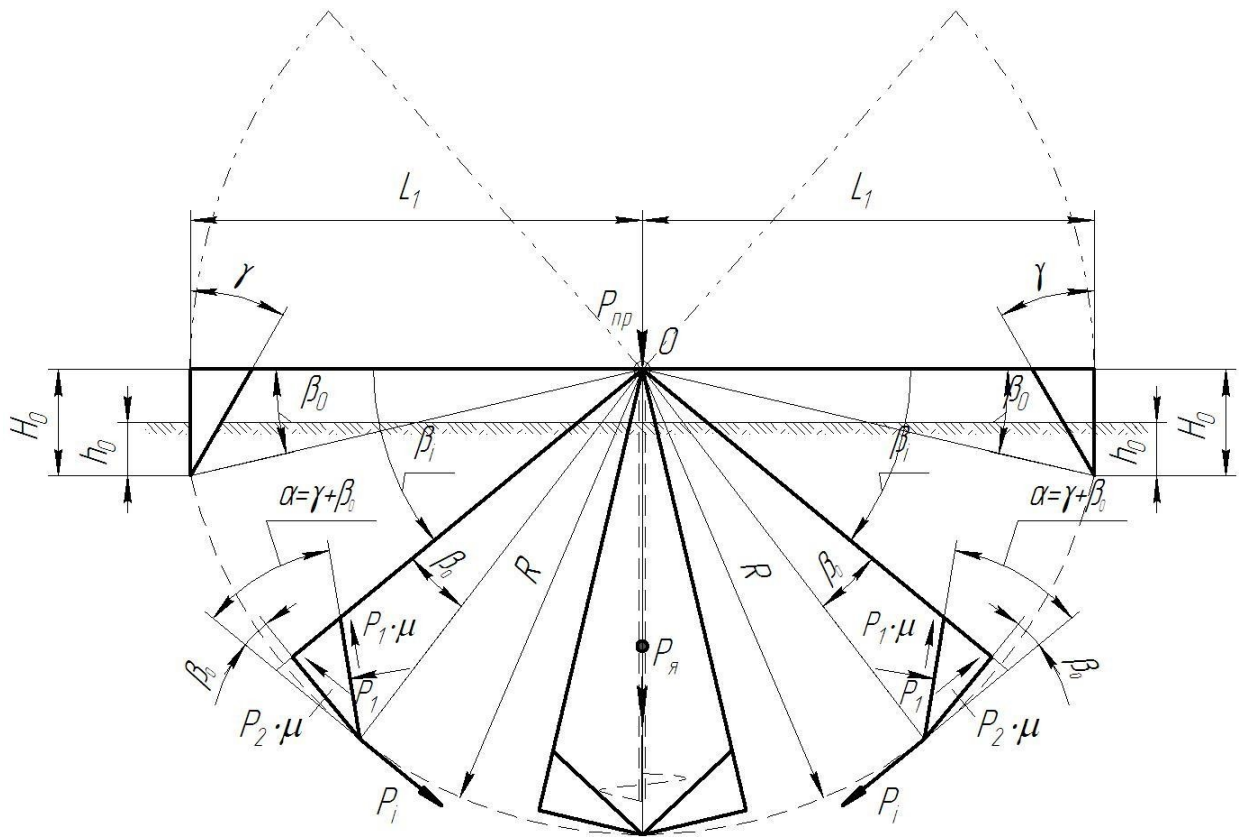


Рисунок 3.1 - Схема взаємодії щелепи грейфера з ґрунтом при русі різальної кромки по дузі (у випадку, коли гвинтовий якір не відривається).

Площа дотику бічної стінки ковша грейфера з ґрунтом при повороті щелепи на кут β_1 можна подати як

$$\begin{aligned}
 F_2 &= \frac{\pi L_1^2}{360} \cdot (\beta_0 + \beta_i) - \frac{(H_0 - h_0)^2}{2 \operatorname{tg}(\beta_0 + \beta_i)} - (H_0 - h_0) \left(L_1 - \frac{(H_0 - h_0)}{\operatorname{tg}(\beta_0 + \beta_i)} \right) = \\
 &= \frac{\pi L_1^2}{360} \cdot (\beta_0 + \beta_i) + \frac{(H_0 - h_0)^2}{2 \operatorname{tg}(\beta_0 + \beta_i)} - L_1 (H_0 - h_0),
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

де h_0 - початкова глибина занурення ковша;

H_0 - відстань від осі обертання щелеп грейфера до загостреної кромки клину по вертикалі;

L_1 - відстань від осі обертання щелеп грейфера до загостреної кромки клину по горизонталі;

β_0 - кут, що характеризує відношення відстані від осі обертання щелеп грейфера до загостреної кромки клину по вертикалі, до відстані

від осі обертання щелеп грейфера до загостреної кромки клину по горизонталі ($\operatorname{tg} \beta_0 = H_0/L_1$);

β_i - кут повороту щелепи грейфера в i -й момент часу ($0 \leq \beta_i \leq [90^\circ - \beta_0]$).

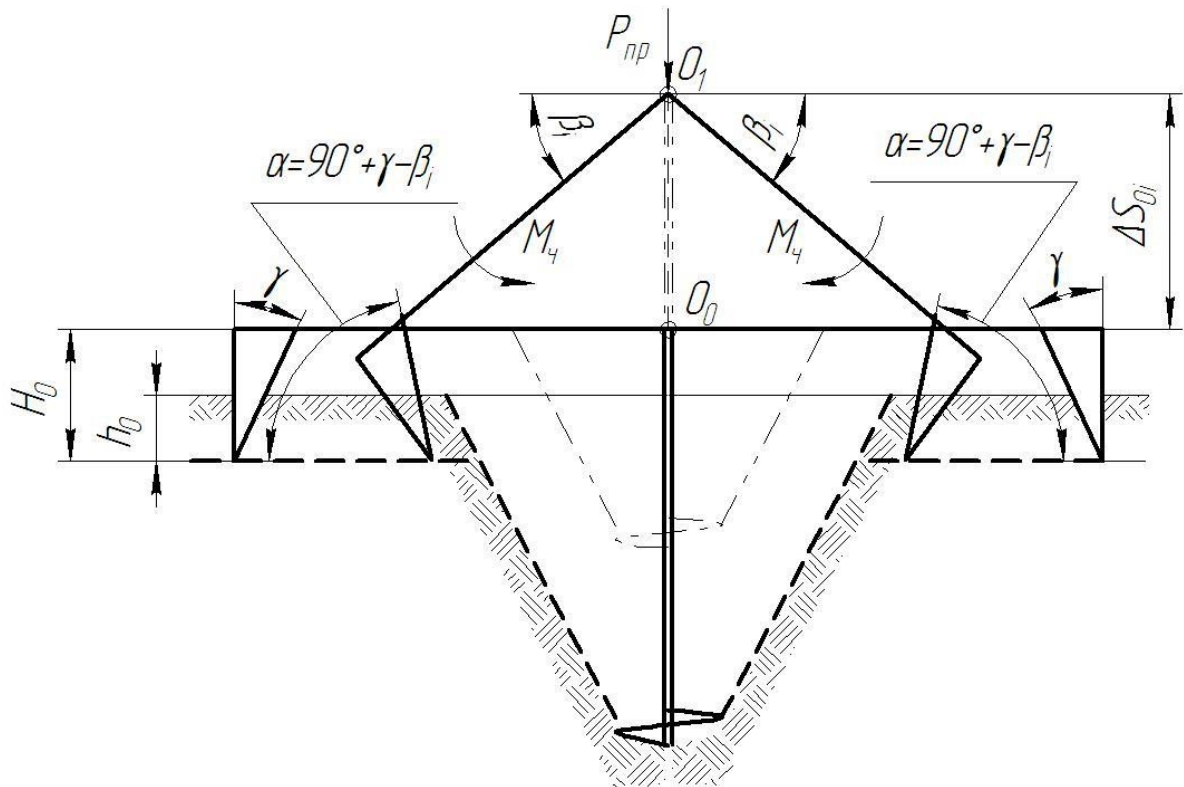


Рисунок 3.2 - Схема руху щелеп грейфера по горизонталі (при відриванні гвинтового якоря).

Необхідне зусилля зачерпування при русі щелепи грейфера по радіусові буде мати вигляд:

$$P_i = p_1 F_1 \sin \alpha + p_1 F_1 \mu \cos \alpha + 2p_2 \mu \left[\frac{\pi L_1^2}{360} \cdot (\beta_0 + \beta_i) + \frac{(H_0 - h_0)^2}{2 \operatorname{tg}(\beta_0 + \beta_i)} \right] - 2p_2 \mu L_1 (H_0 - h_0). \quad (3.3)$$

При розроблянні щільних ґрунтів більш характерний рух різальних кромek без їх заглиблення в масив, тобто по горизонталі (див. рис. 3.2).

Інший випадок розроблення ґрунту - коли сили опору ґрунту на занурення будуть перевищувати силу зовнішнього привантаження. При цьому

подальше проникнення щелеп грейфера вглиб масиву стає неможливим. За рахунок гідроциліндрів повороту щелеп створюється крутний момент M_q і, відповідно, зусилля на різальних кромках. Під дією сил опору масиву ґрунту при змиканні щелеп вісь їх повороту (точка 0) змушена підніматись вгору на відстань ΔH_0 . Різальна кромка ковша здійснює рух по горизонталі, при цьому лобовою частиною виконує розробку ґрунту. Кут різання в деякий момент часу t_i буде являти наступну залежність:

$$\alpha_i = 90^\circ + \gamma - \beta_i, \quad (3.5)$$

де γ - кут встановлення різальної кромки щелеп ковша до вертикалі.

З врахування можливих вертикальних переміщень була розроблена математична модель можливих переміщень різальних кромок і взаємозв'язки кутів повороту щелепи з кутом різання. Вертикальне переміщення осі повороту щелепи в момент часу t_i буде складати

$$\Delta S_{0i} = (H_0 + L_1)\cos\beta_i - H_0. \quad (3.6)$$

Чисельний аналіз траєкторій руху щелепи грейфера (рис. 3.3) показує, що навіть при куті $\gamma = 0$ в початковий момент їх закривання кути різання знаходяться в діапазоні $\alpha = 80^\circ \dots 90^\circ$. При таких схемах взаємодії різальних кромок з масивом відбувається не процес його різання, а процес, аналогічний роботі підпирних стінок (рис. 3.4).

Дані рис. 3.3 показують, що раціональні кути різання $\alpha = 30^\circ \dots 35^\circ$ в грейферних робочих органах мають місце тільки в кінці процесу закриття щелеп.

При кутах різання $\alpha > 60^\circ$ відбувається розробка масиву ґрунту зсувом певного об'єму ґрунту. Опір ґрунту при зсуві (при $\alpha = 90^\circ$) набагато більший опору ґрунту при різанні (при $\alpha = 30^\circ \dots 35^\circ$), тому, згідно рис. 3.3, максимальне зусилля на робочому органі виникають в початковому моменті закриття щелеп. Саме це положення щелеп повинно бути прийняте за розрахункове.

Теоретичне значення опору масива ґрунту зсуву при $\alpha = 90^\circ$ може бути визначене на базі положень про підпирні стінки, що розглядається в механіці

ґрунтів. З врахуванням позначень (рис. 3.4, б) в момент граничної рівноваги на тіло випору діють наступні сили:

- вага тіла випору G ;
- реакція нерухокої маси ґрунту по нижній площині зсуву R_1 ;
- тиск маси ґрунту по бічним площинам зсуву R ;
- сила тертя по бічним поверхням призми T ;
- сила тертя по нижній поверхні призми T_1 ;
- сили тертя по вертикальній поверхні призми із сторони плоского робочого органу T_2 .



Рисунок 3.3 - Взаємозв'язок кута повороту щелепи ковша з кутом різання:

1 - при зачерпуванні по радіусу; 2 - при пошаровому зрізанні; 3 - при комбінованій траєкторії руху щелеп.

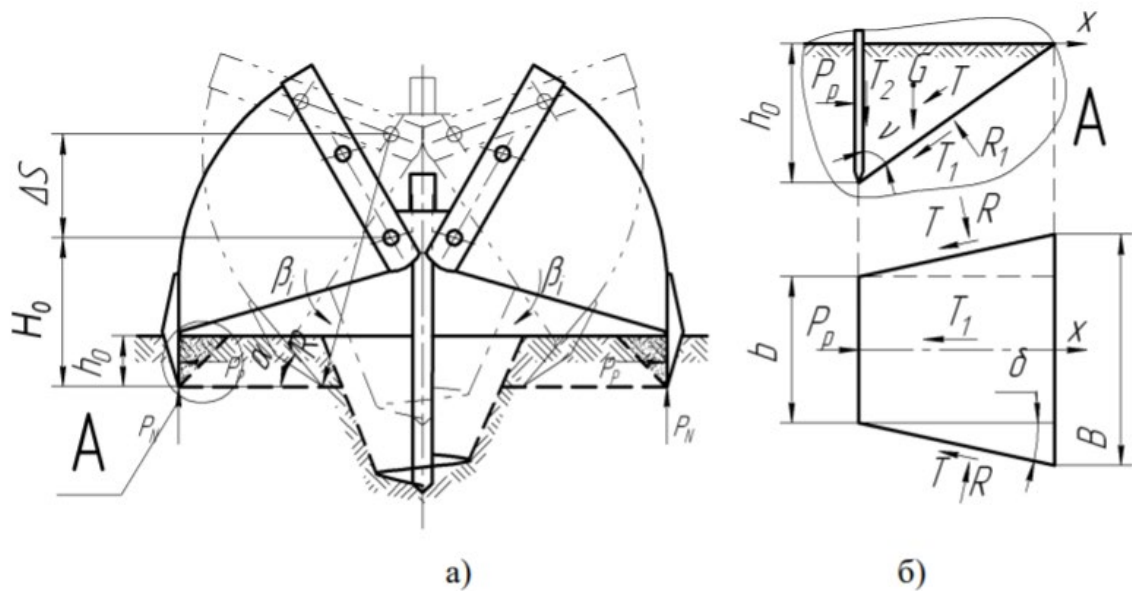


Рисунок 3.4 - Схема руйнування масиву ґрунту:
 а - траєкторія пошарового зрізання; б - розрахункова схема випору ґрунту.

Опір масиву ґрунту до руйнування плоским робочим органом обмеженої ширини [19] можна подати в наступному вигляді

$$P_p = \frac{A_1(tg\varphi \cos v - \sin v) - A_2(tg\varphi \sin v + \cos v)}{\mu \cdot tg\varphi \sin v + \mu \cdot \cos v + tg\varphi \cos v - \sin v}, \quad (3.7)$$

де

$$A_1 = \frac{1}{3} \rho g h_0^3 tg\varphi \frac{\sin^2 v}{\cos v} - \frac{1}{3} \rho g \xi h_0^3 tg v \cdot tg \delta,$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \rho g h_0^2 b \cdot tg v + \frac{1}{3} \rho g h_0^3 tg^2 v \cdot tg \delta + \frac{1}{3} \rho g \xi h_0^3 tg\varphi \cdot \sin v;$$

φ - кут внутрішнього тертя ґрунту;

v - кут нахилу нижньої поверхні зсуву;

δ - кут розширення призми випирання в плані;

ρ - щільність ґрунту;

g - прискорення вільного падіння;

ξ - коефіцієнт бічного тиску ґрунту;

b - ширина щелепи ковша.

Процес зминання масиву ґрунту щелепою грейфера шириною b можна

описати залежністю

$$P_p^{max} = \sigma_0 k_{5\text{пр}} h_0 b k_1, \quad (3.8)$$

де σ_0 - опір ґрунту одноосьовому стиску;

$k_{5\text{пр}}$ - коефіцієнт, що враховує схему взаємодії щелеп грейфера з ґрунтом;

k_1 - коефіцієнт, що враховує кут різання α .

Опір масиву ґрунту руйнуванню може бути описаний з використанням емпіричних залежностей професора Зеленіна А.Н.

В зв'язку з тим, що в процесі експерименту планується здійснювати контроль міцності ґрунту по показниках ударника ДорНДІ, цілеспрямовано чисельний аналіз проводити саме з використанням методології професора Зеленіна А.Н. Посилення руйнування ґрунту плоским робочим органом запишемо як

$$P_p = 10C h_0^{1,35} (1 + 0,1b) \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha}{180^\circ}\right), \quad (3.9)$$

де C - кількість ударів динамічного щільноміра ДорНДІ;

h_0 - глибина занурення в ґрунт щелеп грейфера, см;

b - ширина щелепи ковша, см;

α - кут різання, град ($30^\circ < \alpha \leq 90^\circ$).

Як видно, залежність (3.9) дозволяє враховувати щільність ґрунту, глибину занурення, а головне - кут різання у всьому діапазоні роботи грейфера, починаючи з $\alpha = 90^\circ$ (див. рис. 3.3).

Для оцінки можливості застосування вказаних теоретичних моделей виконаний їх чисельний аналіз. Для аналізу був прийнятий суглинок із наступними характеристиками: $\rho = 2040 \text{ кг/м}^3$; $\varphi = 32^\circ$; $\mu = 0,5$; $\zeta = 0,43$; $\nu = 61^\circ$; $\delta = 13^\circ 36'$; $C = 18$ (кількість ударів ударника ДорНДІ); $\sigma_0 = 0,212 \text{ МПа}$.

Як видно з представлених залежностей (рис. 3.5), опір ґрунту, що визначається за методом підпорних стінок, має досить низьку збіжність з залежностями, що визначаються за методологіями Зеленіна А.Н. та Федорова Д.І.

З графіка залежності $P_p = f(b)$ можна визначити, що при розробці ґрунту грейферним робочим органом з шириною щелепи ковша $b = 0,65 \text{ м}$ необхідно

створити горизонтальне посилення близько $P_p = 30 \dots 40$ кН.

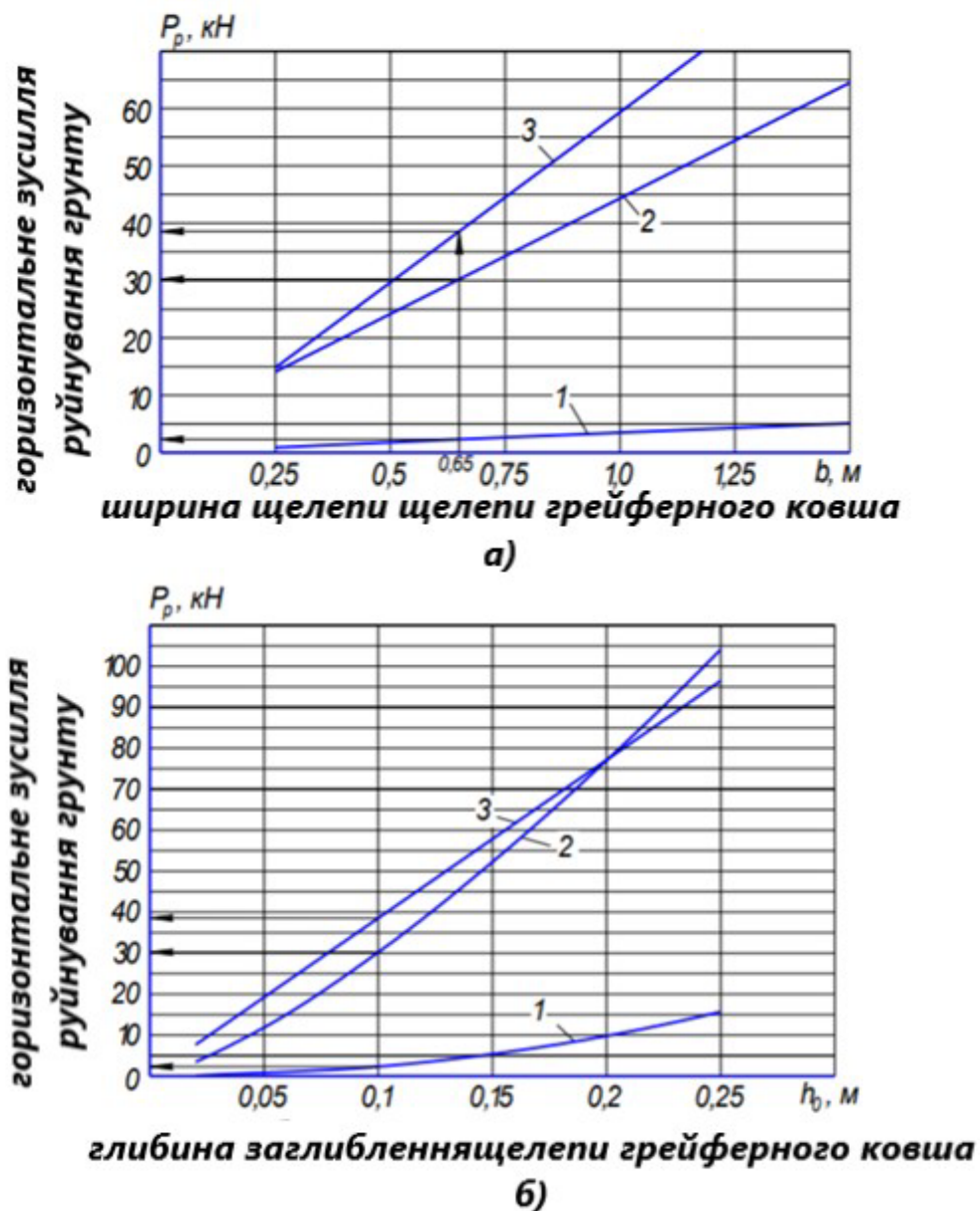


Рисунок 3.5 - Порівняльний аналіз теоретичних зусиль руйнування ґрунту:

а - при глибині зануренні щелеп $h_0 = 0,1$ м; б - при ширині щелепи ковша $b = 0,65$ м; 1 - опір ґрунту до руйнування за методикою для визначення пасивного опору підпірної стінки що запропонованої в механіці ґрунтів; 2 - опір ґрунту до руйнування за формулою Зеленіна А.Н.; 3 - опір ґрунту до руйнування за формулою Федорова Д.І.

Висновки

1. Визначено вплив гвинтового якоря на траєкторію руху щелеп грейфера, встановлено взаємозв'язок кута різання з кутом повороту щелеп грейфера.
2. При зачерпуванні ґрунту за радіусом (у випадку, коли гвинтовий якір не відривається) кут різання постійний і залежить від конструкції щелеп грейфера; опір ґрунту при цьому зростає прямопропорційно збільшенню площі дотику з ним бічних стінок ковша.
3. При відриванні гвинтового якоря на початку процесу закривання ковша грейфера кути різання знаходяться в діапазоні $\alpha = 80^\circ \dots 90^\circ$, що призводить не до різання ґрунту, а до зсуву деякого масивного елемента різальними кромками щелеп. Саме на початку процесу закриття щелеп мають місце максимальний опір масиву ґрунту до руйнування.
4. В грейферних ковшах і запропонованому новому способі якір працює за схемою мілко заглибного гвинтового якоря ($H_{я} (3 \dots 4) D_{л}$). Встановлені залежності руйнування масива ґрунту мілко заглибним гвинтовим якорем, на базі яких розроблені моделі, що враховують переміщення якоря в процесі утворення ядра ущільнення на гвинтовій поверхні і вплив цього переміщення на несучу здатність якоря.
5. Встановлені залежності заповнення ковша ґрунтом (об'єм ґрунту, що розробляється за один цикл, складають частину масива ґрунту, відірваного гвинтовим якорем, і ґрунт, захвачений щелепами при зрізі в бік відкритої поверхні).
6. Конструкція грейферного ковша з центральним гвинтовим якорем дозволяє не тільки створювати додаткове зусилля привантаження, але й послаблювати масив ґрунту за рахунок відриву деякого центрального об'єму ґрунту гвинтовим якорем, що призводить до зниження затрат роботи на копання, при умові мінімізації затрат роботи на загвинчування якоря.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Планування експерименту і створення експериментальних стендів

Експериментальні дослідження закономірностей процесів розробки ґрунту спеціальним грейфером були розділені на два етапи:

1-й етап - натурні дослідження процесу розробки ґрунту спеціальним грейферним робочим органом з центральним гвинтовим якорем;

2-й етап - уточнення сутності фізичного процесу розробки ґрунту відриванням гвинтовим якорем і визначення впливу форми гвинтової лопати на процес відділення від масиву грудки ґрунту.

Для проведення першого етапу експериментальних досліджень в польових умовах створений стенд (рис 4.1 і 4.2), за базу якого прийнято робочий двощелепий грейферний ківш 1 місткістю $q = 0,25 \text{ м}^3$ фірми «Ніав». Ківш підданий модернізації, метою якої було встановлення на ньому центрального гвинтового якоря 2. Загвинчування якоря передбачалось проводити вручну, за допомогою воротка 3, а глибину занурення встановлювати фіксатором 9. Для приводу гідроциліндрів механізму закриття щелеп була використана маслостанція, обладнана насосом НШ100. Манометри 6 і вимірювальні перетворювачі тиску 5, встановлені на напірному штуцері гідроциліндрів 4, дозволили візуально прослідкувати за зміною тиску в процесі розробки ґрунту і передати дані на тензостанцію для отримання відповідних осцилограм. Вертикальне переміщення гвинтового якоря разом з віссю повороту щелеп ковша визначається за допомогою прогиноміра Максимова 7, закріпленого на опорній стійці 10 і пов'язаного з віссю ковша металеву струною 8 за допомогою відхиляючих блоків. Переміщення стенда до місця розробки ґрунту, а також зважування грейферного ковша і набраного в нього ґрунту здійснюється автокраном, на гаку якого закріплено динамометр.

Експеримент планувався як повний двофакторний (фактор X_1 - глибина

занурення лопати і фактор X_2 - діаметр гвинтової лопати), що дозволяє побудувати стандартну ортогональну план-матрицю експерименту (табл. 4.1). Використовуючи в якості ядра ортогональний план першого порядку, планувалось побудувати план-матрицю центрального композиційного ортогонального плану другого порядку (табл. 4.2).

Плече зоряної точки для двофакторного ортогонального експерименту, що варіюється на двох рівнях, можна прийняти $d = 1$.

Для реалізації плану експерименту були виготовлені відповідні змінні наконечники якоря з діаметром гвинтових лопатей 0,15; 0,2 і 0,25 м (рис 4.3).

Для проведення експериментальних досліджень гвинтових якорів був запропонований спеціальний стенд (рис. 4.4), який складається з двох опорних станин 7, двох гідравлічних домкратів 2. На штоках домкратів закріплена перекладаина 1, до якої кріпиться динамометр 3. До іншого кінця динамометру за допомогою кріпильних шпильок 10 кріпиться шток якоря 8 із вставленою в нього гвинтовою лопаттю 9. На штокові нанесена шкала глибини занурення якоря. Зміна довжини якоря при закручуванні його на різні глибини забезпечується застосуванням циліндричного подовжувача штока 6. На одну з станин кріпиться прогиномір Максимова 4, за допомогою якого вимірюється вертикальне переміщення якоря. Стенд обладнувався змінними робочими органами у вигляді гвинтових лопатей. Під дією гідравлічних домкратів 2 перекладаина 1 переміщується вгору на відстань до 0,25 м, передаючи через динамометр 3 зусилля, необхідне для відривання гвинтового якоря з масиву ґрунту. Експериментальний стенд виготовлений з врахуванням рекомендацій ГОСТ 5686-78.

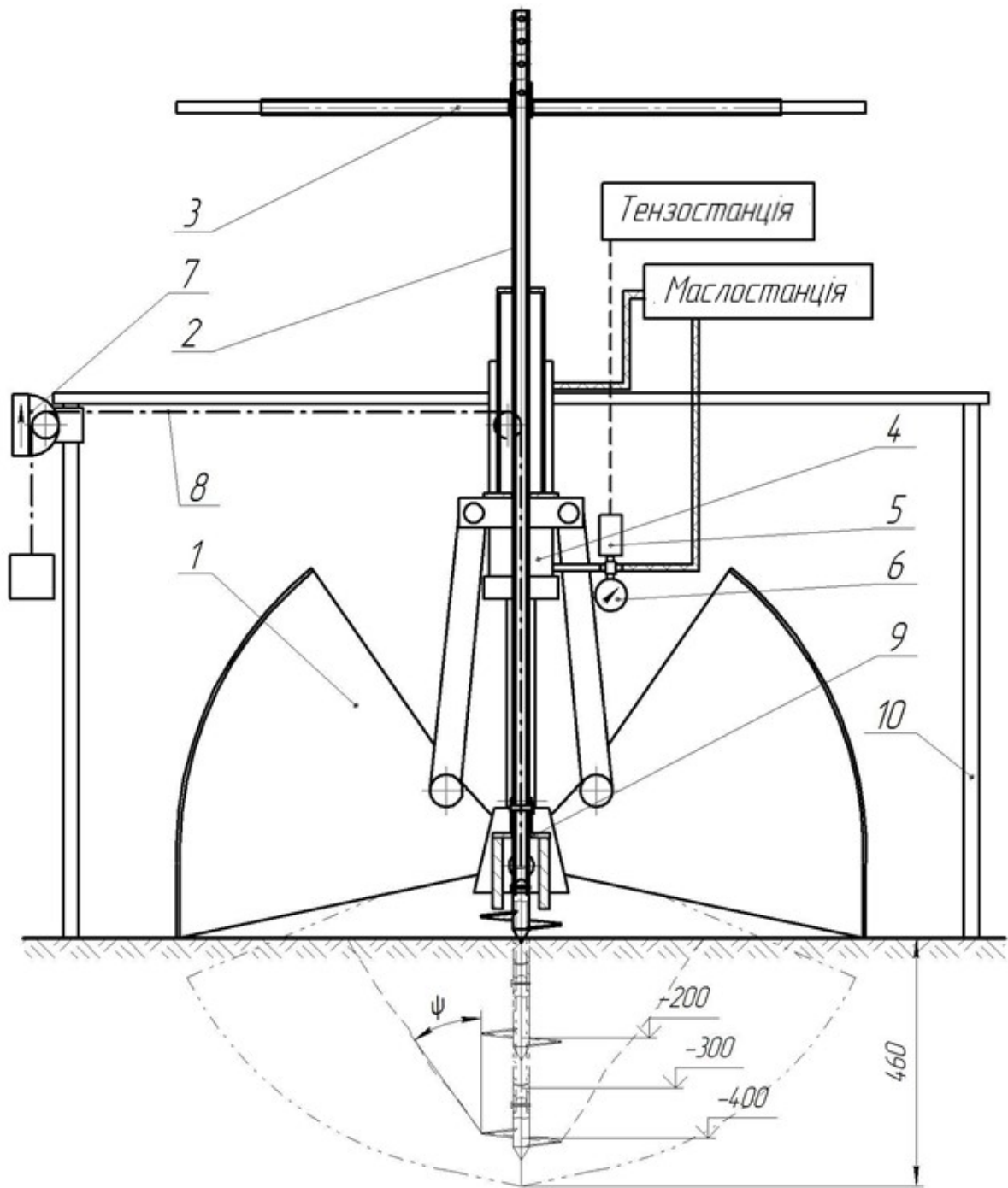


Рисунок 4.1 - Схема стану для вивчення процесів розробки ґрунту спеціальним грейферним робочим органом з центральним гвинтовим якорем:

1 - ківш; 2 - гвинтовий якір; 3 - вороток; 4 - гідроциліндр приводу механізму закривання щелеп; 5 - вимірювальний перетворювач тиску ПД2; 6 - манометр; 7 - прогиномір Максимова; 8 - металева струна; 9 - фіксатор якоря; 10 - опорні стійки.

Таблиця 4.1 - Кодування факторів при проведенні експериментальних досліджень процесів розробки ґрунту грейферним ковшем з центральним гвинтовим якорем

Інтервал варіювання і рівень факторів	Діаметр гвинтової лопаті D_l , мм	Глибина занурення лопаті $H_я$, мм
Кодове позначення	X_1	X_2
Нульовий рівень $x_i = 0$	200	300
Інтервал варіювання δ_i	50	100
Нижній рівень $x_i = -1$	150	200
Верхній рівень $x_i = +1$	250	400

Таблиця 4.2 - План-матриця центрального композиційного ортогонального плану другого порядку

Дослід	x_0	x_1	x_2	$x_1^2-2/3$	$x_2^2-2/3$	$x_1 x_2$	y
Планування типу 2^2	+1	-1	-1	1/3	1/3	+1	y_1
	+1	+1	-1	1/3	1/3	-1	y_2
	+1	-1	+1	1/3	1/3	-1	y_3
	+1	+1	+1	1/3	1/3	+1	y_4
Зоряні точки	+1	-1	0	1/3	-2/3	0	y_5
	+1	+1	0	1/3	-2/3	0	y_6
	+1	0	-1	-2/3	1/3	0	y_7
	+1	0	+1	-2/3	1/3	0	y_8
Нульові точки	+1	0	0	-2/3	-2/3	0	y_9



$D_{л} = 150 \text{ мм}$



$D_{л} = 200 \text{ мм}$



$D_{л} = 250 \text{ мм}$

Рисунок 4.3 - Експериментальні гвинтові наконечники.

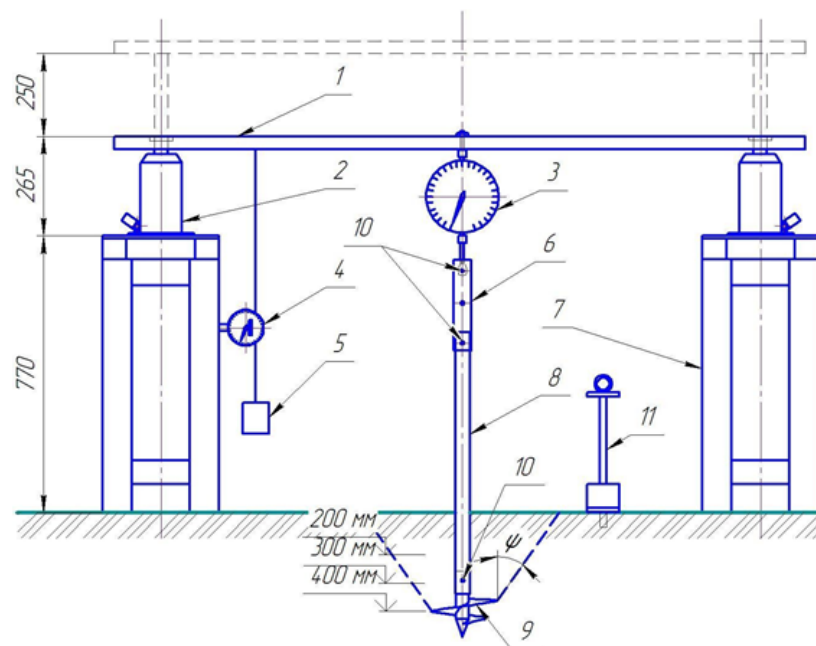






Рисунок 4.4 - Стенд для дослідження роботи гвинтових якорів:

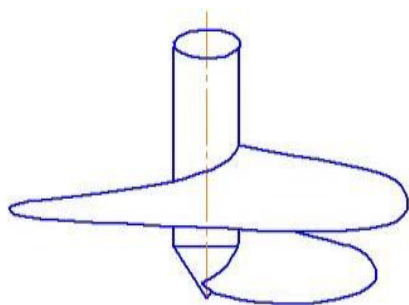
а - схема стенду; б - фото стенду, 1 - перекидина; 2 - гідравлічний домкрат; 3 - динамометр; 4 - прогиномір Максимова; 5 - гиря; 6 - циліндричний подовжувач штоку; 7 - опорні станини; 8 - шток; 9 - гвинтова лопать; 10 - кріпильні шпильки; 11 - ударник ДорНДІ.

Відповідно до класичної методики планування багатофакторного експерименту, для переведення натуральних факторів (форми гвинтової лопаті і глибини занурення якоря) в безрозмірні величини застосоване кодування факторів (табл. 4.3).

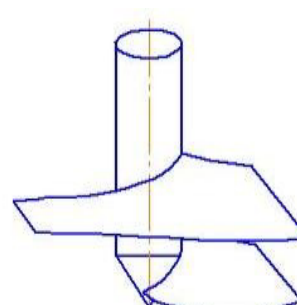
Відповідно з логічно обґрунтованими теоретичними викладками розділу 3, конфігурація гвинтової лопаті (рис. 4.5) фактора X_1 на нульовому рівні недоцільна для використання в грейферних конструкціях з гвинтовим якорем, отже, дробовий двофакторний експеримент допускається провести як два однофакторних, при цьому взаємозв'язком факторів можна знехтувати.

Таблиця 4.3 - Кодування факторів

Фактори	Рівні факторів			Інтервал варіювання
	11	0	+1	
X_1 – конфігурація гвинтової лопаті				
X_2 – глибина занурення лопаті, мм	200	300	400	100



а)



б)

Рисунок 4.5 - Експериментальні гвинтові наконечники:

а - з круглою гвинтовою лопаттю; б - з гвинтовою лопаттю з усіченими сегментами.

При проведенні експериментів планувалось отримати вибірки невеликих об'ємів, тому для оцінки основних статистичних характеристик розподілу були використані загальноприйняті формули математичної статистики. Для визначення необхідної кількості повторюваних дослідів застосовується методика, наведена в роботах, відповідно до якої необхідно попередньо провести ряд однотипних дослідів при незмінних параметрах режиму розробки ґрунту.

Математичне сподівання оцінюється середнім арифметичним значенням

$$M(x) = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (4.1)$$

де x_i - результат окремого вимірювання; n - об'єм вибірки.

Дисперсія оцінюється статистичною дисперсією

$$D(x) = S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}. \quad (4.2)$$

Поставивши собі за довірчою ймовірністю (надійністю) $\alpha = 0,95$ і середньоарифметичною помилкою, яка, в нашому випадку, не повинна перевищувати 10% при визначенні об'ємної ваги та 20% при вимірюванні параметрів режиму копання, визначається критерій Стюдента

$$t_{ст} = \frac{K_{дод}}{S_n^2} \sqrt{n}, \quad (4.3)$$

де $K_{дод}$ - середньоарифметична помилка (зазвичай $K_{дод} = 0,05 \dots 0,1$).

Порівнявши результат розрахунків з табличним значенням коефіцієнта Стюдента, визначається необхідна кількість експериментів.

Для експериментів з гвинтовими якорями кількість повторів склало - 3; для дослідження робочих процесів грейфера - 3.

При однаковій кількості паралельних досліджень на кожному поєднанні рівнів факторів відтворюваність процесу визначається за критерієм Кохрена

$$G = \frac{S_{u \text{ макс}}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G_T, \quad (4.4)$$

де S_u^2 - дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на u - му поєднанні рівня факторів;

$S_{u \text{ макс}}^2$ - найбільша з дисперсій в рядках плану.

Після перевірки продуктивності експерименту за критерієм Кохрена, перевіряється значимість коефіцієнтів регресії за критерієм Стюдента, потім визначається довірчий інтервал і на заключення перевіряється гіпотеза адекватності моделі за критерієм Фішера

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{прод}^2} \leq F_T, \quad (4.5)$$

де $S_{ад}^2$ - дисперсія адекватності;

$S_{прод}^2$ - дисперсія продуктивності (помилка досліду).

Якщо розраховане значення F являється менше табличної величини F_m , то рівняння адекватно експерименту.

4.2. Експериментальні дослідження процесів розробки ґрунту гідравлічним грейферним ковшом

Експериментальні дослідження модернізованого грейферного ковша місткістю $q = 0,25 \text{ м}^3$ фірми «Ніав», дообладнаного центральним гвинтовим якорем. Дослідження проводились на заздальгідь спланованій площадці з попереднім зняттям верхнього рослинного шару ґрунту. Міцність ґрунту визначалась за динамічним щільноміром ДорНДІ не менш, ніж в десяти точках експериментальної ділянки, кількість ударів склало від 17 до 20 (середня арифметична кількість ударів по всій ділянці склало 18, що відповідає IV категорії ґрунту).

Основні параметри модернізованого грейферного ковша: маса ковша $m_k = 360 \text{ кг}$; ширина розкривання щелеп $L = 1380 \text{ мм}$; ширина ковша $b = 650 \text{ мм}$; товщина стінки і різальних кромок ковша $\delta = 7 \text{ мм}$; об'єм ковша $q = 0,25 \text{ м}^3$; кінематична глибина копання $h_{кін} = 560 \text{ мм}$.

Діаметри змінних гвинтових наконечників - 150, 200 і 250 мм. Глибина занурення гвинтових якорів (200, 300 і 400 мм) визначались як відстань від середини кроку гвинтової лопаті до поверхні ґрунту.

Експеримент виконувався по план-матриці центрального композиційного ортогонального плану другого порядку (див. табл. 4.2).

Ківш встановлюється на точку досліджень за допомогою автокрана КС-35.

В процесі проведення експерименту фіксувались наступні параметри:

- тиск в гідроциліндрах закриття щелеп (манометр; ІПД-ЕОМ);
- час закривання щелеп (секундомір; PowerGraph);
- вертикальне переміщення грейферного ковша (прогиномір Максимова);

- вага грейферного ковша з ґрунтом (динамометр).

Значення кожного параметра фіксувались в журналі експериментальних досліджень.

Тиск в гідроциліндрах візуально контролювався манометром і фіксувався вимірювальним перетворювачем тиску ІПД2, сигнал з якого через підсилювач і мікроконтролер USB надходив на ЕОМ (ноутбук) та записувався у вигляді осцилограми за допомогою програмного забезпечення PowerGraph (рис 4.6). Дані комп'ютерної осцилограми зберігались окремими файлами з відповідними іменами (рис. 4.7). Зважування розробленого ґрунту разом з грейферним ковшем (рис. 4.8) виконувалась динамометром, який був підвішений до гакової підвіски автокрана КС-35. Грейферний ківш кріпився до динамометра за допомогою строп.

Контрольно-вимірювальні пристрої і обладнання, що використовувались при проведенні експериментальних досліджень:

- динамометр ДПУ-2-2, №36 ГОСТ 13837-79, з максимальним зусиллям 20 кН, ціна поділки 200 Н;

- прогиномір Максимова № 3628, ціна поділки 0,1 мм;

- лінійка метрова ГОСТ 427-75, ціна поділки 1мм; рулетка 3 м;

- манометр МТП-10М (№ 9231), межа вимірювання 10 МПа, ціна поділки 0,2 МПа;

- вимірювальний перетворювач тиску ІПД2, діапазон вимірювання 0 - 16,0 МПа, заводський номер 15089, ТУ 25-04.3604-78 (новий, гарантійний термін експлуатації - 18 місяців з дня введення в експлуатацію, ОТК 94-05);

- універсальний мікроконтролер типу Ni USB-6009 фірми National Instruments;

- підсилювач УТ-4-1 №27 ТУ-250110168;

- ЕОМ (ноутбук) з мінімальними вимогами: оперативна пам'ять 32 Мб, вільного дискового простору 50 Мб;

- ліцензійне програмне забезпечення PowerGraph 3.x Professional.

Увесь процес розробки ґрунту грейферним ковшем фіксувався на відео

цифровою камерою Olympus з роздільною здатністю 7,1 МПікс.

Вихідними параметрами експерименту були прийняті: зусилля в гідроциліндрах закриття щелеп $P_{ц}$; вертикальне переміщення грейферного ковша разом з якорем $\Delta H_{я}$; маса $m_{зр}$ та об'єм $V_{зр}$ ґрунту, розробленого за один цикл копання і коефіцієнт наповнення ковша $K_{н}$.

Такі параметри, як зусилля в гідроциліндрах $P_{ц}$, маса $m_{зр}$, об'єм $V_{зр}$ ґрунту і коефіцієнт наповнення ковша $K_{н}$ визначались опосередковано за наступними залежностями:

$$P_{ц} = P_{гц} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2); \quad (4.5)$$

$$m_{гр} = m_{г} - m_{к}; \quad (4.6)$$

$$V_{гр} = \rho m_{гр}; \quad (4.7)$$

$$K_{н} = V_{гр}/q; \quad (4.8)$$

де $P_{гц}$ - вимірний тиск в гідроциліндрі закриття щелеп, МПа;

D - діаметр поршня гідроциліндра, мм ($D = 125$ мм);

d - діаметр штока гідроциліндра, мм ($d = 56$ мм);

$m_{г}$ - вимірняна маса грейфера з розробленим ґрунтом, кг;

$m_{к}$ - маса порожнього ковша, кг ($m_{к} = 360$ кг);

ρ - щільність ґрунту, кг/м³ ($\rho = 2040$ кг/м³);

q - місткість ковша грейфера, 0,25 м³ ($q = 0,25$ м³).

Перетворення за формулою (4.5) відбувалось безпосередньо в середовищі програмного забезпечення PowerGraph 3.x Professional.

Для чисельного аналізу увесь період розробки ґрунту грейфером був розділений на сім рівних ділянок, графік зміни зусилля в гідроциліндрах закриття щелеп на протязі усього періоду копання. Позначення « $D=150/H=200$ » говорить про те, що наведені числові дані відповідають діаметру гвинтової лопаті що рівна 150 мм при глибині занурення якоря 200 мм і т.п.

Для наглядного уявлення і оцінки впливу параметрів гвинтового якоря (глибини занурення якоря і діаметра гвинтової лопаті) на коефіцієнт

наповнення ковша і, відповідно, на продуктивність екскаватора, використовуючи рівняння регресії розділу 4.3, побудовані графіки рис. 4.6

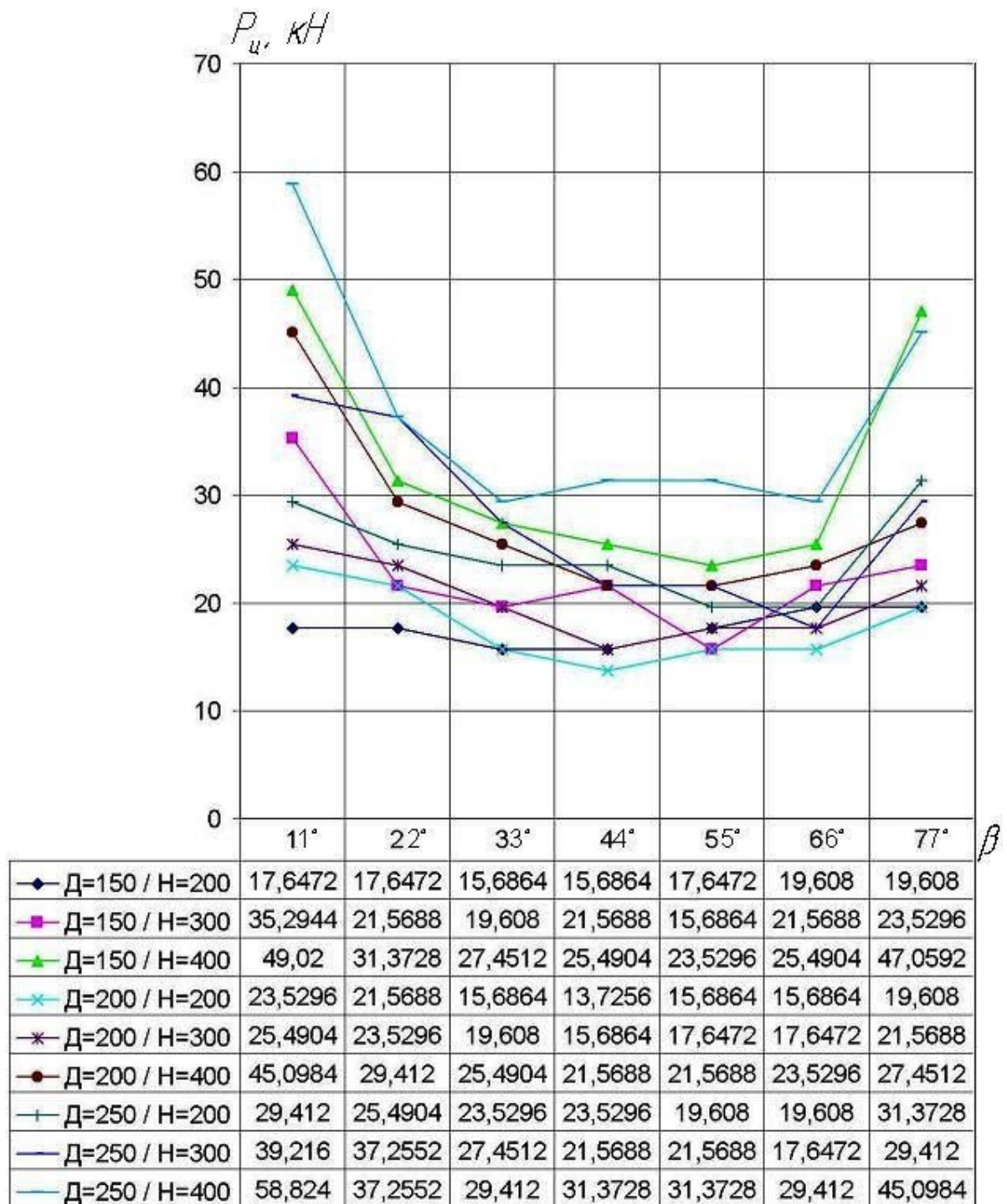


Рисунок 4.6 - Зміна зусилля на штокові гідроциліндрів механізму повороту щелеп в процесі їх закриття.

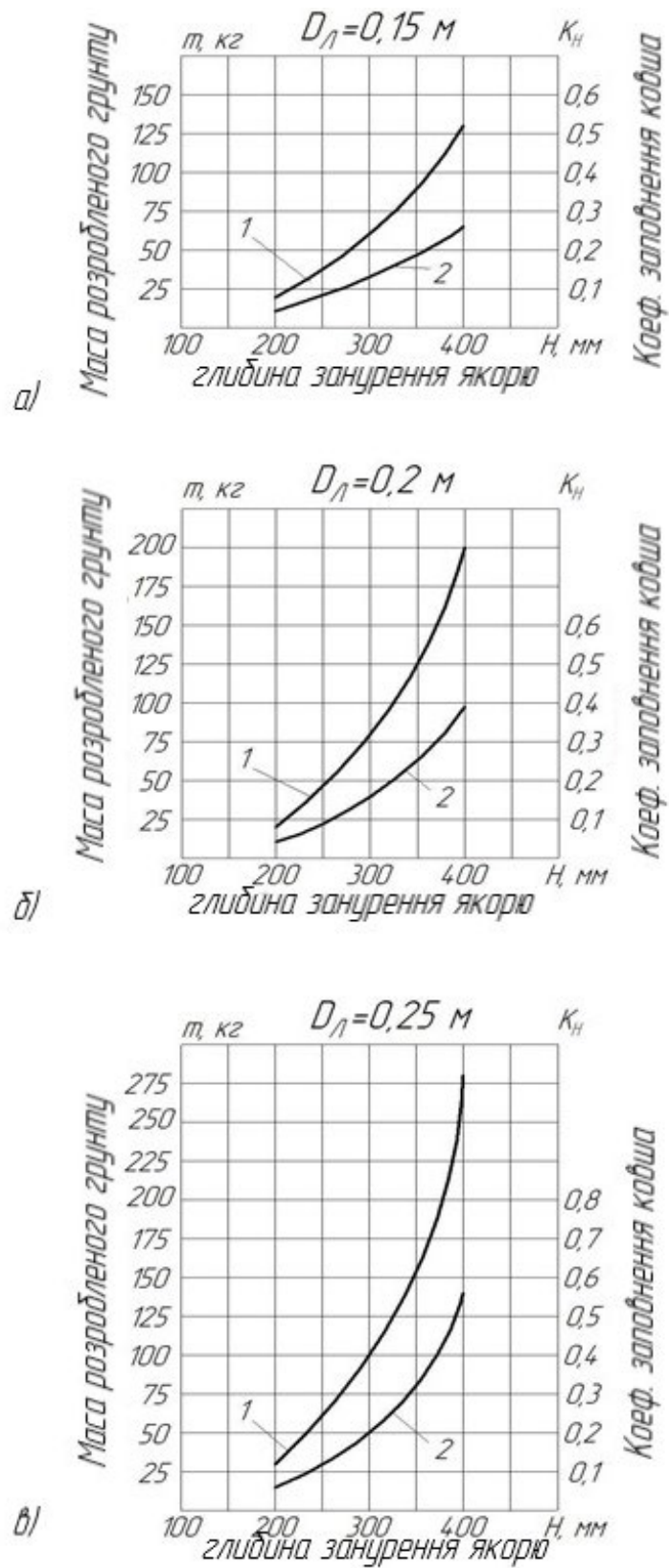


Рисунок 4.7. Залежність маси розробленого ґрунту (крива 1) і коефіцієнта наповнення ковша (крива 2) від глибини занурення гвинтового якоря з діаметрами лопаті:

а) - $D_{л} = 0,15$ м; б) - $D_{л} = 0,2$ м; в) - $D_{л} = 0,25$ м.

4.3. Експериментальні дослідження процесу руйнування масиву ґрунту гвинтовим якорем

Вихідними параметрами експерименту другого етапу прийняті: зусилля відривання грудки ґрунту гвинтовим якорем $P_{отр}$, переміщення якоря $\Delta H_{я}$, розмір тіла випору на поверхні масиву ґрунту $D_в$ і $B_в$ (для лопаті з усіченими сегментами).

Контрольно-вимірювальні прилади, що використовуються при проведенні експериментальних досліджень:

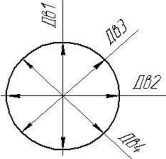
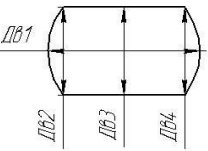
- вимірювання зусилля відривання - динамометр ДПУ-0,5-2. №3947 ГОСТ 13837-79, з максимальним зусиллям 5 кН, ціна поділки 50 кН;
- вимірювання переміщення якоря - прогиномір Максимова № 3628, ціна поділки 0,1 мм;
- зміна тіла випору - лінійка метрова ГОСТ 427-75, ціна поділки 1 мм.

Увесь процес відривання грудки ґрунту гвинтовим якорем (включаючи показники динамометра і прогиноміра, рис. 4.13) фіксувався на відео цифровою камерою Olympus з роздільною здатністю 7,1 МПікс.

Глибина занурення якоря визначалась як відстань від середини кроку гвинтової лопаті до поверхні ґрунту (див. рис 4.4, а).

На кожному рівні фактора проводилось 3 повторюваних дослідження. Експерименти проводились на натурально утвореному ґрунті (чорнозем), щільність ґрунту визначалась за допомогою ударника ДорНДІ в двох точках кожного місця закручування. Схема вимірювання зовнішньої поверхні тіла випору представлена в табл. 4.4. Експериментальні дослідження підтвердили, що форма лопаті впливає на процес формування ядра ущільнення на її поверхні і визначає конфігурацію тіла випору.

Таблиця 4.4 - Результати експериментальних досліджень процесів відривання груді ґрунту гвинтовими якорями

№	К-сть ударів щільноміра	Глибина занурювання, мм	Схема вимірювання тіла випору	Розмір тіла випору мм				Переміщення в момент відривання δ , мм	Макс. Зусилля в момент відриву P , Н	Залишкове зусилля після руйнування масиву ґрунту $P_{заль}$, Н
				Дв1	Дв2	Дв3	Дв4			
1	6	200		650	650	650	650	17.5	1250	250
2	6	300		950	950	1000	950	30	2350	500
3	5	400		1000	1000	1000	1000	67	3800	750
4	5	200		250	180	200	180	10.5	500	500
5	6	300		890	300	350	300	25.5	2200	750
6	5	400		1000	550	600	550	42	3750	850

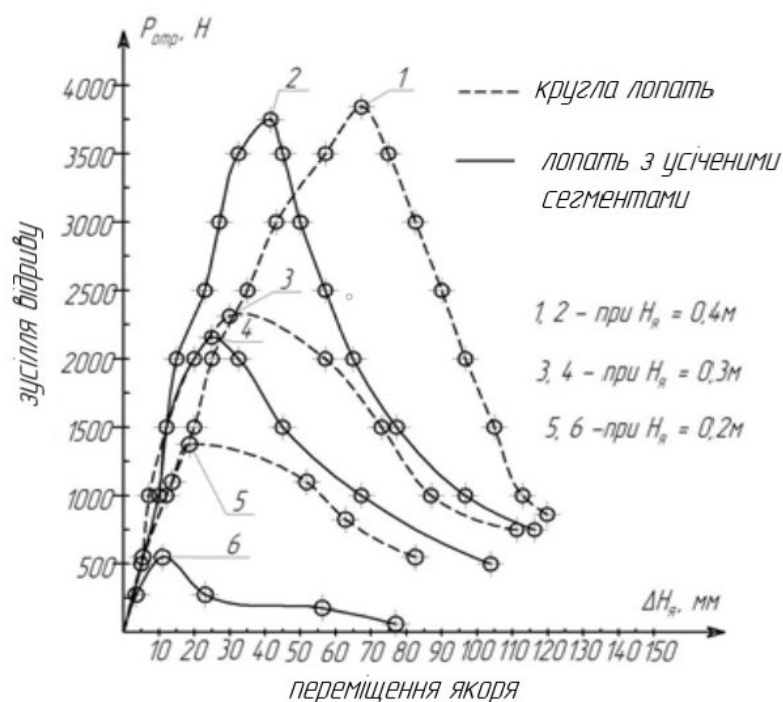


Рисунок 4.8 - Результати експериментальних досліджень несучої здатності гвинтових якорів.

Як видно з рисунка проєкція тіла випору на поверхні масиву для круглої

лопаті має вигляд кола, а для лопаті з усіченими сегментами - овал (або еліпс). Якщо прийняти бічну поверхню лінії відривання прямолінійною поверхнею, то тіло випору можна відповідно подати у вигляді усіченого конуса та усіченого еліптичного конуса.

Переміщення гвинтового якоря під навантаженням можуть бути описані наступними регресійними рівняннями апроксимуючих кривих (рис. 4.9):

$$\Delta H_{\text{я}}^{\text{к}} = 1,225H_{\text{я}}^2 - 0,4875H_{\text{я}} + 0,066 ;$$

$$\Delta H_{\text{я}}^{\text{ус}} = 0,075H_{\text{я}}^2 + 0,1125H_{\text{я}} - 0,015 ;$$

де $\Delta H_{\text{я}}^{\text{к}}$ та $\Delta H_{\text{я}}^{\text{ус}}$ - відповідно переміщення якоря з круглою лопаттю і з усіченими сегментами, м;

$H_{\text{я}}$ - глибина занурення гвинтового якоря, м.

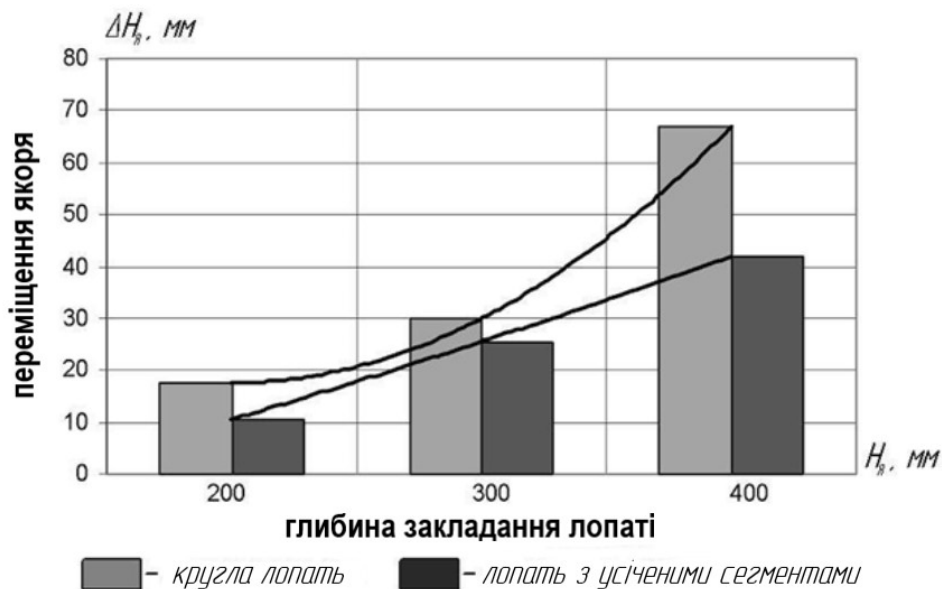


Рисунок 4.9. Гістограма залежностей переміщення якоря до моменту відривання ґруди ґрунту від глибини закладання гвинтової лопаті.

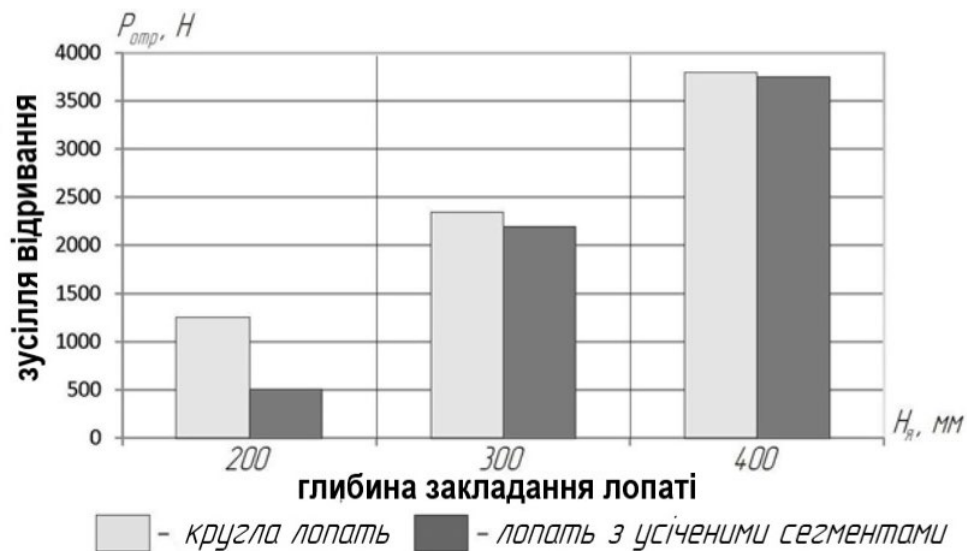


Рисунок 4.10 - Гістограма максимального зусилля відривання в залежності від глибини закладання гвинтового якоря, за результатами експериментальних досліджень.

Аналізуючи графічні залежності, отримані за результатами експериментальних досліджень, можна стверджувати, що якір з гвинтовою лопаттю, яка має усічені сегменти, при достатній глибині занурення може створювати для грейферного ковша додаткові зусилля привантаження, близьке за своїм значенням до зусилля, яке реалізується якорем з круглою гвинтовою лопаттю. Опір масива ґрунту відривання для лопаті з усіченими сегментами на 1...7 % менше, ніж для круглої лопаті. При цьому відривання грудки ґрунту гвинтовою лопаттю з усіченими сегментами відбувається дещо швидше. Шлях переміщення до початку відривання від масиву ґрунту у лопаті з усіченими сегментами на 30...40% коротший, ніж у круглої лопаті.

Висновки

1. Для досліджень процесів розробки ґрунту спеціальним грейфером з центральним гвинтовим якорем виготовлені два стенда, які дозволяють проводити натурні багатofакторні експерименти в польових умовах, і

розроблена методика їх проведення.

2. Експериментальні дослідження процесів розробки ґрунту гідравлічним грейферним ковшом з центральним гвинтовим якорем виконувалась по план-матриці центрального, композиційного ортогонального плану другого порядку. Подана кінограма візуально підтверджує ефективність застосування гвинтових якорів в конструкціях грейферів при розробці міцних ґрунтів. За результатами експерименту побудовані поверхні відгуку і отримані рівняння регресії середнього зусилля в гідроциліндрах закриття щелеп $P_{ц}$ при копанні; вертикального переміщення грейферного ковша разом з якорем $\Delta H_{я}$; маси $m_{гр}$ і об'єму $V_{гр}$ ґрунту, розробленого за один цикл, а також коефіцієнта наповнення ковша K_n .

3. Порівняльний аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень процесів ослаблення масиву ґрунту гвинтовим якорем підтвердив адекватність запропонованих математичних моделей і довів необхідність врахування утворення ядра ущільнення на поверхні гвинтової лопаті, конфігурація якої визначає форму тіла випору.

4. Розрахункові параметри роботи і енергоємності процесу копання вказують на значне зниження енергоємності при розробці ґрунту грейферним ковшом з центральним гвинтовим якорем. При розробці ґрунту IV категорії ковшом грейфера місткістю $q = 0,25 \text{ м}^3$, без зовнішнього привантаження з боку базової машини, коефіцієнт наповнення ковша збільшується в декілька раз до $K_n = 0,4 \dots 0,6$, в результаті чого, не дивлячись на збільшення витрат роботи на копання, енергоємність процесу знижується. Найбільша ефективність спостерігається при збільшенні глибини занурення якоря.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основні вимоги з охорони праці і техніки безпеки для грейферного робочого органу можна сформулювати так:

Навчання і підготовка: Персонал повинен мати належну підготовку та знати принципи роботи з грейфером. Навчання повинно включати правила безпеки, техніку експлуатації та регулярні оновлення знань.

Особистий захист: Робочий персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту, такі як шоломи, окуляри, рукавиці, взуття з захистом від ударів, щоб уникнути травм.

Перевірка грейфера: Перед використанням грейфера необхідно перевіряти його на наявність пошкоджень або несправностей. Регулярна технічна перевірка та обслуговування є обов'язковими.

Безпечна зона: Визначення безпечної зони навколо грейфера, де не повинно бути працівників, щоб уникнути травматичних ситуацій.

Процедури взаємодії: Встановлення чітких процедур комунікації між операторами та персоналом, який працює поруч з грейфером, для уникнення нещасних випадків.

Нагляд та контроль: Забезпечення постійного нагляду за роботою грейфера та його коректною експлуатацією.

Екстрені ситуації: Наявність навчених процедур у випадку аварійних ситуацій та негайна можливість вжити заходів для забезпечення безпеки всіх працюючих.

Дотримання правил: Важливість дотримання всіх встановлених правил безпеки під час роботи з грейфером не може бути переоцінена.

Вимоги мають на меті максимально знизити ризики та забезпечити безпечну роботу з грейфером для всього персоналу, який з ним працює.

Персонал, який використовує грейфер у сільському господарстві, повинен розуміти його можливості та обмеження, оскільки використання грейфера в цьому контексті може включати різноманітні завдання, від підйому вантажів до

роботи зі зерном або сільськогосподарською продукцією. Робота з грейфером у сільському господарстві може включати підйом, перенесення та розтягування великих об'ємів матеріалів. Отже, важливо дотримуватися вимог безпеки при роботі з різними типами сільськогосподарських матеріалів. У сільському господарстві можуть бути різноманітні умови роботи, включаючи нерівний ґрунт, роботу поруч із великими машинами або іншим сільськогосподарським обладнанням. Робочий персонал повинен бути обізнаний із специфічними умовами роботи та прийомами безпеки в цих умовах.

Специфічні ризики, такі як можливість пошкодження врожаю чи травмування тварин, пов'язані з використанням грейфера в сільському господарстві, вимагають додаткового контролю та управління. Робота з різними видами сільськогосподарських матеріалів або тваринами може потребувати розроблення специфічних процедур та вимог безпеки, які відповідають конкретним умовам та завданням. Робочий персонал повинен проходити тренування, спрямоване на особливості роботи з грейфером у сільському господарстві, зокрема, на аспекти безпеки в цій області. Ці вимоги спрямовані на забезпечення максимальної безпеки під час використання грейфера у сільському господарстві, де він виконує різноманітні завдання зі збирання, переміщення та обробки сільськогосподарських матеріалів. Під час роботи з тваринами (наприклад, у випадку пересування сіна або корму), важливо враховувати їхню безпеку та власний захист. Робочий персонал має уникати стресу для тварин та виконувати роботу таким чином, щоб уникнути травмування. Використання грейфера в сільському господарстві повинно враховувати екологічні аспекти. Збереження ґрунту, водних ресурсів та рослинності має бути пріоритетом, а також необхідно уникати забруднення чи пошкодження довкілля під час роботи. Правильне планування та організація робочого простору допомагають уникнути зіткнень між грейфером та іншим сільськогосподарським обладнанням або машинами, а також забезпечують безпеку руху працівників. У деяких сценаріях роботи грейфер може використовуватися у вибухонебезпечних умовах (наприклад, при роботі з

паливними матеріалами). Важливо виконувати всі заходи профілактики пожежі та безпеки в таких умовах.

Грейфер може використовуватися з різними додатковими аксесуарами або насадками для специфічних завдань. Працівники повинні бути навчені правильному та безпечному використанню цих аксесуарів. Проведення регулярних перевірок та технічного обслуговування грейфера є критично важливим для забезпечення безперебійності його роботи та уникнення несподіваних ситуацій під час роботи. Врахування цих специфічних аспектів допоможе забезпечити максимальну безпеку під час використання грейфера в сільському господарстві та знизити ризики для персоналу, тварин та довкілля.

Грейфер має використовуватися лише для тих завдань, для яких він призначений. Заборонено використовувати його в невідповідних умовах або для непередбачених завдань.

Тренування екстрених сценаріїв - проведення тренувань та симуляцій надзвичайних ситуацій для підготовки персоналу до вжиття необхідних заходів. Дотримання всіх вимог та норм безпеки, встановлених законодавством, стандартами та іншими регулятивними документами.

Систематичний аналіз робочих процесів для пошуку можливостей покращення безпеки та удосконалення процедур роботи з грейфером.

Правильна експлуатація та обслуговування: Належне використання, з урахуванням технічних характеристик грейфера, а також регулярне обслуговування та змащення його механізмів.

Запобігання випадкам злочинного втручання: Забезпечення заходів безпеки, щоб уникнути несанкціонованого доступу до грейфера або його використання особами без відповідної підготовки.

Коректне зберігання та транспортування: Врахування особливостей зберігання та переміщення грейферного робочого органу для запобігання його пошкодження та небезпечних ситуацій під час транспортування. Строки перевірок та тестувань: Встановлення чітких термінів регулярних перевірок,

випробувань та технічного огляду грейфера для підтримки його безпеки та ефективності.

Забезпечення комунікації: Зв'язок між операторами та іншими працівниками, які взаємодіють з грейфером, для швидкого сповіщення про будь-які проблеми чи небезпеку.

Тренінг і підготовка персоналу: Забезпечення постійного навчання та підвищення кваліфікації персоналу з питань безпеки під час використання грейферного робочого органу.

Реагування на відхилення та небезпеки: Розробка процедур реагування на будь-які відхилення в роботі грейфера або небезпеки, а також навчання персоналу як правильно реагувати в таких ситуаціях.

Висновки

Виконання регулярних перевірок безпеки використання грейфера та аудитів для перевірки відповідності процедур вимогам безпеки. Забезпечення доступу до навчання з надання першої допомоги у випадку нещасних випадків або травм, пов'язаних з використанням грейфера. Проведення кампаній та заходів для підвищення свідомості персоналу про важливість безпеки під час роботи з грейферним робочим органом.

Ці пункти розширюють безпекові стандарти та забезпечують здорові умови праці для персоналу, які працюють з грейферним робочим органом.

Додаткові вимоги спрямовані на забезпечення повноцінного контролю, безпеки та оптимальних умов експлуатації грейферного робочого органу на робочому майданчику.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Для детального обґрунтування доцільності вдосконалення грейферного робочого обладнання екскаватора було використано методологію функціонально-вартісного аналізу. Функціонально-вартісний аналіз (ФСА) застосовується в різних галузях промисловості з метою мінімізації витрат на виробництво продукції (послуг) та підвищення її конкурентоспроможності.

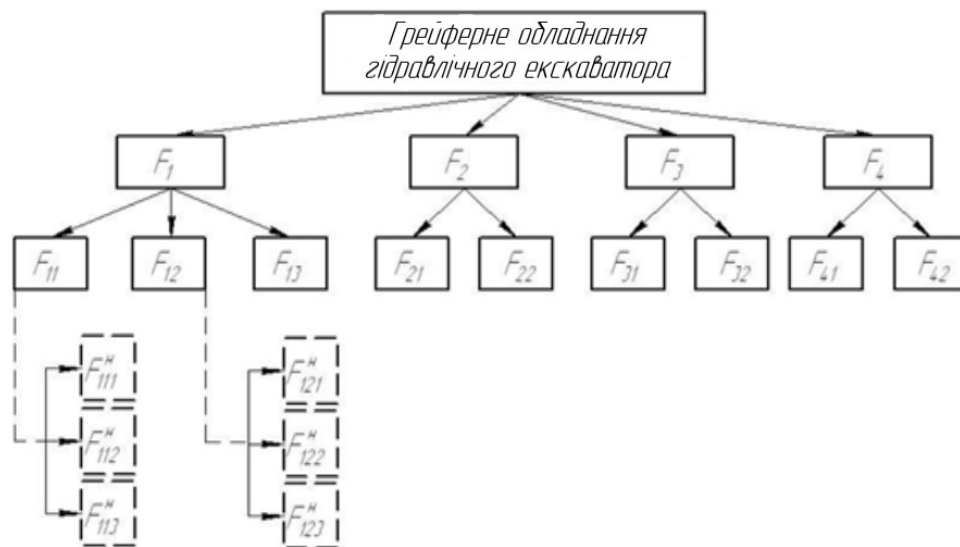


Рисунок 6.1 - Функціональна схема гідравлічного екскаватора, обладнаного грейфером:

F_i - характерні функції традиційного грейферного екскаватора (F_1 - набір та розвантаження ґрунту; F_2 - підйом ковша; F_3 - поворот робітника обладнання до місця розвантаження; F_4 - переміщення бази на нове місце; F_{11} - впровадження в масив ґрунту; F_{12} - розробка та захоплення ґрунту; F_{13} - розвантаження ґрунту; F_{21} - підйом стріли; F_{22} - підйом рукояті; F_{31} - поворот вліво; F_{32} - поворот праворуч; F_{41} - робоче переміщення; F_{42} - транспортне переміщення); F^n_i - функції, властиві грейферу з приводним гвинтовим якорем (F^n_{111} - використання якоря в ґрунт; F^n_{112} - створення додаткового зусилля привантаження; F^n_{113} - використання щелеп грейфера; F^n_{121} - ослаблення масиву ґрунту якорем; F^n_{122} - розробка ослабленого масиву; F^n_{123} - захоплення ґрунту).

За результатами експертного опитування експертів, складено наступну

графічну інтерпретацію ФСА: функціонально схема екскаватора, обладнаного грейферним робочим органом (див. рис. 6.1), та функціонально-вартісна діаграма (рис. 6.2).

Функціонально-вартісна діаграма наочно показує, що є деяка невідповідність у функціях F_1 та F_4 між їх значимістю та витратами на матеріалоносії. Важливість функції F_1 для екскаваторів комунальних підприємств дозволяє підвищити вартість її матеріалоносія, а для функції F_4 , навпаки, необхідно знижувати ці витрати.

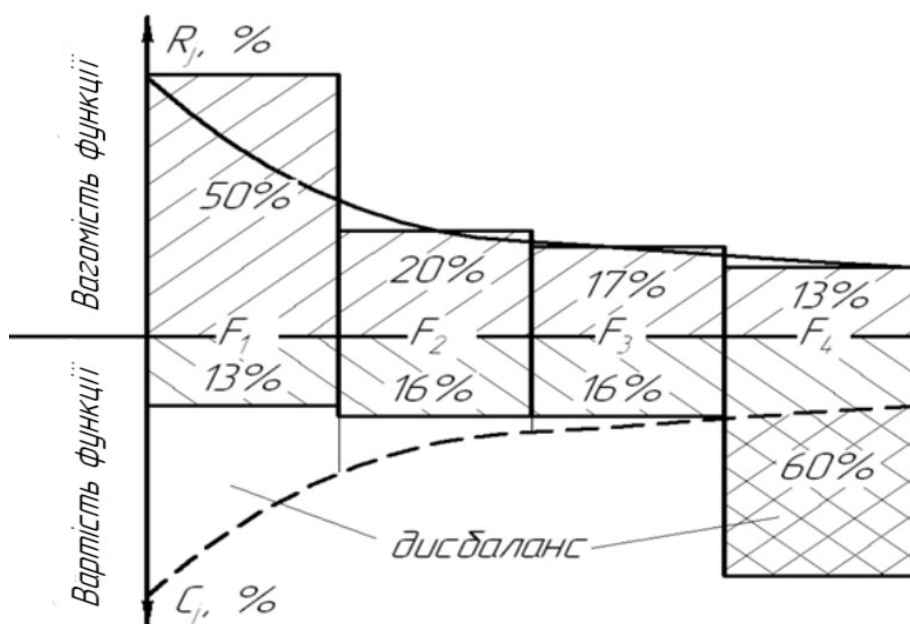


Рисунок 6.2 - Функціонально-вартісна діаграма:

F_1 - набір та розвантаження ґрунту; F_2 - підйом ковша; F_3 - поворот робочого обладнання до місця розвантаження; F_4 - переміщення бази.

Забезпечення надійності виконання екскаватором основної функції (F_1) – розробки ґрунту – можна провести за кількома напрямками (див. розділ 1). У запропонованому способі виїмки міцного ґрунту ковшем грейфера оптимізація співвідношення між питомими споживчими властивостями (R_j) та питомими витратами (C_j) на їх створення проводиться відразу по двох напрямків: функції набору та розвантаження ґрунту та зниження матеріальних витрат, що припадають на базову машину.

Модернізований робочий орган має дещо іншу функціональну схему

(див. рис. 6.1), до якої додається ряд функцій F^m_i .

При впровадженні нового грейферного робочого органу з центральним гвинтовим якорем важливо вже на етапі проектування оцінити ефективність його експлуатації.

Для варіантів конструктивних рішень розроблено методологія оцінки, що включає групи показників: якість технічного об'єкта, економічні та конструктивні особливості. Оснащення грейферного ковша приводним гвинтовим якорем призводить до змін показників, пов'язаних із цільовим призначенням грейферних екскаваторів 2-ї та 3-ї розмірної груп та характером виконуваних технологічних процесів (крім виконання вантажно-розвантажувальних робіт з нескладними матеріалами з'являється можливість розробляти ґрунти IV-ої категорії). Система показників (табл. 6.1) дозволяє провести як інтегральну оцінку ефективності застосування того або іншого робочого органу, а також диференціальну за окремими видами витрат: енергетичним та матеріальним.

При розгляді показників технологічного процесу (табл. 6.2) даному розділі приймаються показники екскаватора БОРЕКС-2203, оснащеного традиційним грейферним робочим органом, та результати випробувань модернізованого грейферного ковша з центральним гвинтовим якорем, проведені на ґрунті IV-ї категорії (18 ударів щільного ДорНДІ).

Витрати на модернізацію не перевищують 5...6 % вартості екскаватора за умови повної заміни робочого органу зворотної лопати на модернізоване грейферне робоче обладнання. Підвищення продуктивності можливе в кілька разів і обумовлено тим, що, як показують експериментальні дослідження, грейферний екскаватор 2-ої розмірної групи практично не може розробляти міцні ґрунти, коефіцієнт наповнення ковша становить всього $K_n = 0,01...0,025$. Встановлено, що енергоємності N_{num} та Π_{NG} при використанні центрального гвинтового якоря у конструкції традиційного грейфера покращуються. Найкращі показники відповідають більшому діаметру гвинтової лопати та глибині занурення якоря.

Таблиця 6.1 - Система основних показників ефективності застосування
грейферного робочого органу з центральним гвинтовим якорем

№	Показник	Розмірність	Позначення	Умови оптимізації
1	Продуктивність	м ³ /год	$\Pi = \frac{3600 \cdot q \cdot K_n}{t_n \cdot K_p}$	$\Pi \rightarrow \max$
2	Енергоємність	кВт·год/м ³	$N_{num} = N/\Pi$	$N_{num} \rightarrow \min$
3	Матеріалоємність	кг·год/м ³	$G_{num} = G/\Pi$	$G_{num} \rightarrow \min$
4	Узагальнений показник енергоємності та матеріаломісткості	кВт·кг/(м ³ ·год) ²	$\Pi_{NG} = \frac{N \cdot G}{\Pi^2}$	$\Pi_{NG} \rightarrow \min$
5	Приведені питомі витрати	грн·год/м ³	$G_{num} = Z/\Pi$	$Z_{num} \rightarrow \min$

* G - загальна маса машини; N – потужність двигуна; Z – наведені витрати.

Таблиця 5.2 - Оцінка ефективності використання на ґрунтах IV категорії
екскаваторів, обладнаних грейферним ковшем місткістю 0,25 м³

№	Показник	Розмірність	ЕО-4321 ковш з зубами	БОРЕКС-2203			
				з гвинтовим якорем			Ковш з буром
				$D_l=150$ $H_j=400$	$D_l=200$ $H_j=400$	$D_l=250$ $H_j=400$	
1	Продуктивність	м ³ /год	46,88	12,32	18,47	26,53	22,17
2	Енергоємність	кВт·год/м ³	1,58	4,513	3,01	2,096	2,51
3	Матеріалоємність	кг·год/м ³	385,2	516,5	344,6	239,9	297,7
4	Узагальнений показник енергоємності та матеріаломісткості	кВт·кг/ (м ³ ·год) ²	608,1	2330,9	1037,2	502,8	746,7
5	Приведені питомі витрати	грн·год/м ³	6399	10507	7008	4879	7192

* D_l - діаметр гвинтової лопаті, мм; H_j – глибина занурення якоря, мм.

Показники питомих витрат Z/Π мінімальні за максимальної глибини

закладання гвинтового якоря. Отримані дані, наведені у таблиці 6.2, наочно показують, що за рахунок створення додаткового привантаження гвинтовим якорем можна знизити енергоємність розробки ґрунту грейферним екскаватором. Спосіб розробки міцних ґрунтів грейферним ковшем з центральним гвинтовим якорем, в якому якір висмикують з ґрунту за рахунок змикання щелеп грейфера, а висмикування якоря супроводжується відділенням кома ґрунту від масиву, при цьому, за рахунок зусилля відриву кома ґрунту, ріжучі кромки ґрунту, дуже ефективний.

Отже, застосування конструкції грейферного обладнання приводного гвинтового якоря дещо ускладнює його конструкцію, що призводить до збільшення часу циклу розробки ґрунту.

Збільшення часу циклу розробки ґрунту модернізованим грейфером має дещо знижувати продуктивність екскаватора, проте при розрахунку експлуатаційної продуктивності необхідно враховувати, що при використанні грейфера з гвинтовим приводним якорем відбувається збільшення обсягу розробки ґрунту і забезпечується можливість розробки більш щільних ґрунтів.

Висновки

Зміна коефіцієнта наповнення ковша більшою мірою впливає на продуктивність, ніж зміна часу циклу після модернізації грейфера. Функціонально-вартісний аналіз підтвердив доцільність модернізації грейферних ковшів у напрямку створення робочих органів, які реалізують принцип замкнутого силового потоку «ківш – масив ґрунту – гвинтовий якір – ківш».

Порівняльний аналіз традиційного та модернізованого грейферного ковша показав, що при використанні гвинтового якоря відбувається збільшення продуктивності, зниження питомих та узагальнених показників енергоємності, матеріаломісткості та фінансових витрат.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Теоретично обґрунтовані й експериментально підтвержені закономірності розробки ґрунту комбінованим впливом на масив гвинтовим якорем і щелепами грейфера. Обґрунтовані енергетичні показники процесу руйнування масиву ґрунту комбінованим способом (при закритті щелеп руйнування масиву відбувається шляхом створення в ньому напруги розтягнення гвинтовим якорем, а потім напруги зрізу ґрунту щелепами в сторону поверхонь що відкрились).

2. Встановлено: закономірності заповнення ковша ґрунтом (об'єм ґрунту, що розробляється за один цикл, складають частину масиву ґрунту, відірваного гвинтовим якорем, і ґрунт, захоплений щелепами при зрізі в бік відкритої поверхні); витрати часу, що враховують процес занурення в масив гвинтового якоря (час циклу грейферного екскаватора збільшується на 5...10%) і продуктивність машини з новим грейферним обладнанням (продуктивність на ґрунтах IV категорії підвищується в 10...15 разів порівняно з традиційним ковшем і на 16,5% порівняно з іншими запатентованими конструкціями).

3. Встановлено закономірності і розроблено математичні моделі занурення в масив зв'язного ґрунту щелеп грейфера, що враховують масу і стійкість базової машини, геометричні параметри грейферного ковша, фізико-механічні характеристики ґрунту і параметри гвинтового якоря.

4. У грейферних ковшах і запропонованому новому способі якір працює за схемою мілкозаглиблювального гвинтового якоря ($H_{я} \leq (3...4) D_{л}$). Встановлені закономірності руйнування масиву ґрунту мілкозаглиблювальним гвинтовим якорем, на базі яких розроблені моделі, що враховують переміщення якоря в процесі утворення ядра ущільнення на гвинтовій поверхні і вплив цього переміщення на несучу здатність якоря.

5. Розроблені моделі формування тіла випору дозволяють визначати зусилля відривання і параметри тіла випору з врахуванням площі і форми

(круглої або усіченої) одновиткової лопаті, а також фізико-механічних характеристик ґрунту (питомого зчеплення, опору одноосьовому стиску, кутів внутрішнього і зовнішнього тертя). Об'єм ґрунту, що розроблений комбінованим способом, прямо пропорційний об'єму тіла випору, а, отже, площі і форми лопаті гвинтового якоря і обернено пропорційний переміщенню якоря до початку руйнування масива. Ці переміщення складають $\Delta H_{я} = (0,05 \dots 0,07)H_{я}$.

6. Досліджено вплив несучої здатності гвинтового якоря на траєкторію руху щелеп грейфера при розробці ґрунту і взаємозв'язок кута повороту щелеп з кутом різання. Встановлено, що гвинтовий якір мілкого закладання з діаметром лопаті $D_{л} = 0,2$ м може забезпечити грейферному ковшові заякорюване зусилля (28...95 кН), достатнє для занурення ковша в ґрунт III-V категорії з $\sigma_0 = 0,2 \dots 0,6$ МПа, але, виходячи з міркувань надійності, глибина занурення якоря обмежена кінематичними параметрами ковша.

7. Визначено та обґрунтовано раціональні параметри гвинтового якоря (діаметр і форма гвинтової лопаті, глибина її занурення), необхідні для проведення модернізації традиційних грейферів, з врахуванням їх конструктивних особливостей (ширини розкриття L та радіуса R повороту щелеп, ширини b різальної кромки), а також фізико-механічних характеристик ґрунту.

8. Результати експериментальних досліджень, виконаних безпосередньо в польових умовах на спеціальних повнорозмірних стендах, підтвердили адекватність і допустимий рівень похибки (не більше 14%) математичних моделей. При розробці ґрунту IV категорії грейферним ковшем місткістю $q = 0,25$ м³, без зовнішнього привантаження із сторони базової машини коефіцієнт наповнення ковша збільшується в декілька раз до $K_n = 0,4 \dots 0,6$, при цьому розрахункова продуктивність розробки ґрунту склала 18,5...26,5 м³/год. Найбільша ефективність спостерігається при збільшенні глибини занурення якоря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Патент SU 1033649, Кл Е 02 F 3/44. Грейфер. заявл. 08.04.1982; опубл. 07.08.1983. Бюл. № 29.
2. Патент SU 1089198, Кл Е 02 F 3/44. Грейфер. заявл. 25.03.1983; опубл. 30.04.1984. Бюл. № 16.
3. Патент SU 1133351, Кл Е 02 F 3/413. Рабочее оборудование одноковшового экскаватора. заявл. 21.11.1983; опубл. 07.01.1985. Бюл. № 1.
4. Патент SU 1313961, Кл Е 02 F 3/48, 3/60. Рабочее оборудование экскаватора драглайна заявл. 21.08.1984; опубл. 30.05.1987. Бюл. № 20.
5. Патент SU 1411385, Кл Е 02 F 3/413. Грейфер. заявл. 08.10.1986; опубл. 23.07.1988. Бюл. № 27.
6. Патент SU 777156, М.Кл³ Е 02 F 3/44. Виброгрейфер. заявл. 28.02.79; опубл. 07.11.80. Бюл. № 41.
7. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. [2-е изд. перераб. и доп.]. Наука, 1986. 279 с.
8. Булгаков В.М. Использование прямого метода граничных элементов при исследовании стационарных колебаний пластин / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, Г.Н. Калетник, А.Г. Куценко. Вібрації в техніці та технологіях. №1(84). 2017. С.8-14.
9. Булгаков В.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетник Г.М. Вібрації в техніці та технологіях. ВНАУ. 2014 р. Вип. 1 (73).
10. Булгаков В.М. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. В.М. Булгаков, В.В. Бурлака, Г.М. Калетник, І.Є. Кравченко, С.І. Кучеренко, Д.І. Мазоренко, Л.М. Тіщенко. - Вінниця: Нова книга, 2010. - 667 с.
11. Булгаков В.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетник, В.М.

- Булгаков, О.М. Черниш. Вібрації в техніці та технологіях. №2 (82) 2016. С. 5-9.
12. Ветров Ю. А. Розрахунок сил різання та копання ґрунтів. Ветров Ю.А. Вид. Київського університету, 1995. 167 с.
13. Ветров Ю.А. Резание ґрунтов землеройными машинами. Ветров Ю.А. Машиностроение, 1971. 357 с.
14. Ветров Ю.А. Сопротивление ґрунтов резанию. Ветров Ю. А. Изд. Киевского университета, 2002. 78 с.
15. Вінарський М.С. Планування експерименту у технологічних дослідженнях. М.С. Вінарський, М.В. Лур'є. Техніка, 1995. 168 с.
16. Гарькавий А.Д. Конкурентоспроможність технології машин: навчальний посібник. А.Д. Гарькавий, В.Ф. Петриненко, А.В. Спірін. Вінниця: ВДАУ „Тірас”. 2003. 68 с.
17. Дубчак В.М. Вища математика в прикладах та задачах. Навч. посібник / - Вінниця: ВНАУ, 2018. - 254 с.
18. Іванов М.І. Аналіз технологічних систем. Навчальний посібник. Частина 1. - Вінниця. 2010. - 113с.
19. Калетнік Г.М. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солона О.В., Цуркан О.В. «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.
20. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. (Основи теорії, проектування та створення): навч. посіб. [для студ. спец. «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання»]. С.В. Кравець. – Рівне: Вид-во РДТУ, 1999. 278 с.
21. Кучерук А.А. Определение давления на боковые стенки разрушающего ножа. А.А. Кучерук, С.В. Кравец. Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин». Киев: Техника, 1987. №17. С. 37-40.

22. Машины для земляных работ: Навчальний посібник. Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. 2010. 557 с.

23. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода / За ред.. В.С. Павленка. - Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. - 110 с.

24. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За ред..В.С. Павленка. - К.: «Хай-Тек Прес», 2011. - 140 с.

25. Пат. 75788 Україна, МПК Е 02 F 1/00, В 66 С 3/00, Е 02 F 3/40, Е 02 F 3/46. Спосіб виймання міцного ґрунту ковшем грейфера. заявл. 27.07.04; опубл. 15.05.06, Бюл. № 5.

26. Пенчук В.А. Математическая модель процесса погружения челюстей грейфера в связный грунт. Пенчук В.А., Белицкий Д.Г. Интрстроймех-2009: Материалы Международной научно-технической конференции, 15-17 сентября 2009 г. Бишкек, 2009. С.43-46.

27. Пенчук В.А. Особенности рабочих процессов грейферного оборудования. Пенчук В.А., Белицкий Д.Г. Механизация строительства. 2006. №2. С. 9-12.

28. Программное обеспечение «PowerGraph». Версия 3.3. [Руководство пользователя]. Донецк: ООО «Интероптика-С», 2008. 60 с.

29. Федоров Д.І. Робочі органи землерийних машин. [2-е вид., переро. і доп.]. Машинобудування, 2009. 368 с.

30. Федоров Д.І. Робочі органи землерийних машин. Машинобудування, 2007. 288 с.

31. Шульженко С.С. Розширення класифікації грейферних механізмів. С.С. Шульженко, Д.Г. Беліцький. Збірник тез і повідомлень VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, 23 квітня 2009 р. Макіївка : Донбаська національна академія будівництва і архітектури, 2009. С. 39.

ДОДАТКИ