

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

ШЕПЕЛЬ ТАРАС ВЛІЙОВИЧ



УДК 622.271.53 (043.3)

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОВШІВ
ЗЕМЛЕЧЕРПАКОВИХ СНАРЯДІВ ДЛЯ ГЛИБОКОВОДНОГО ВИДОБУТКУ
ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ОСАДІВ

Спеціальність 05.05.06 – «Гірничі машини»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано на кафедрі гірничих машин та інжинірингу в Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України та в Інституті гірництва та цивільного будівництва Технічного університету «Фрайберзька гірнична академія» (м. Фрайберг, ФРН).

Наукові керівники: доктор технічних наук, професор
Франчук Всеволод Петрович, професор кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ) Міністерства освіти і науки України;

доктор, професор
Дребенштедт Карстен, декан факультету геології, геотехніки та гірництва Технічного університету «Фрайберзька гірнична академія» (м. Фрайберг, ФРН).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Замицький Олег Володимирович, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри теплоенергетики;

доктор технічних наук, професор
Сукач Михайло Кузьмич, Київський національний університет будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України, професор кафедри будівельних машин.

Захист відбудеться 29 вересня 2015 р. о 14 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.06 при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, тел. 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий « » серпня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради, канд. техн. наук



М.В. Полушина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дефіцит органо-мінеральних ресурсів і вигідне географічне положення України у безпосередній близькості до моря обумовило підвищений інтерес до глибоководних органо-мінеральних осадів (ГВОМО), прогностичні запаси яких в акваторії Чорного моря складають близько 320 млрд. м³ при глибині залягання 500 – 2200 м від дзеркала води, що викликало необхідність пошуку технічних рішень для промислового освоєння даного виду природної сировини.

Серед обладнання механічного способу видобутку до агресивного морського середовища найбільш пристосовані одно- та багатоковшові землечерпакові снаряди, ефективність застосування яких підтверджена під час дослідно-промислового видобутку поліметалічних конкрецій в океані на глибинах понад 4500 м. З розробки землечерпакових снарядів для глибоководного видобутку донних відкладень відомі роботи А. П. Зіборова, В. Г. Кравченка, В. В. Мішина, В. П. Кузьминського, А. М. Райцина, Дж. Мєро, Й. Масуди, Х. Факуди, М. Моргенштейна та ін. Через обмеження швидкості руху робочого органу у водному середовищі, основним напрямом підвищення продуктивності землечерпакових снарядів для забезпечення рентабельності гірничовидобувних робіт є збільшення ємності ковшів, що призводить до підвищення енергоємності процесу видобутку, однак, не завжди дозволяє досягти очікуваної продуктивності через зниження коефіцієнту наповнення ковшів. Тому геометричні параметри ковшів землечерпакових снарядів (ширина, висота і довжина) та їх навантаження при глибоководному видобутку донних осадів потребують наукового обґрунтування.

Значний внесок у розвиток теорії підводної розробки ґрунтів зробили такі вчені, як В. І. Баловнєв, Д. Д. Тургумбаєв, М. А. Гоц, В. Г. Моїсеєнко, М. К. Сукач, О. В. Замицький, О. О. Карошкін, В. А. Лобанов, С. П. Огородніков, А. І. Коптьолов та ін. Однак, закономірності процесу заповнення ковша при копанні пластичних водонасичених ґрунтів та вплив параметрів різання і властивостей розроблюваного ґрунту на параметри заповнення ковша вивчені недостатньо. Тому для обґрунтування геометричних параметрів ковшів для розробки підводних родовищ корисних копалин, а також сили опору ковша заповненню, використовуються емпіричні залежності, більшість з яких спирається на досвід експлуатації землерийних машин на суходолі. Неврахування особливостей процесу заповнення ковша при копанні ґрунтів в підводних умовах може призводити до зниження продуктивності землечерпакового снаряду та невиправданого підвищення енергоємності процесу видобутку, що негативно відображається на показниках ефективності роботи видобувного обладнання.

Таким чином, встановлення аналітичних залежностей раціональних геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів та зусилля опору ковша заповненню при глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів від параметрів різання та властивостей розроблюваного ґрунту є **актуальною науковою задачею**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з науковим напрямком кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного ВНЗ «НГУ» і виконана в рамках науково-дослідницьких робіт ГП-452 «Розвиток теоретичних основ створення та оптимізації параметрів

сучасного гірничого обладнання для підводного видобутку корисних копалин» (2012–2014) з номером державної реєстрації 0112U000871, та ГП-470 «Розробка методу проектування перспективних конструкцій гірничих машин на основі рекурентного метамоделювання» (2014) з номером державної реєстрації 0114U006102. Автор дисертації – виконавець вказаних науково-дослідницьких робіт. Тема дисертації відповідає напрямкам і завданням «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року», затвердженої Законом України № 3268-VI від 21 квітня 2011 р.

Мета і задачі дослідження

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні параметрів ковшів землечерпакових снарядів для підвищення їх продуктивності при глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів на основі встановлених аналітичних залежностей раціональних геометричних параметрів ковша та зусилля опору його заповненню від параметрів різання та властивостей розроблюваного ґрунту, і в розробці інженерної методики розрахунку геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів та їх навантажень при глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені такі задачі:

1. Огляд і аналіз конструкцій ковшових землечерпакових снарядів для глибоководного видобутку корисних копалин, а також досліджень з обґрунтування параметрів ковшів та навантажень на ківш при підводній розробці ґрунтів.

2. Встановлення закономірностей процесу заповнення ковша при копанні пластичних водонасичених ґрунтів.

3. Встановлення аналітичних залежностей раціональних геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів та зусилля опору ковша заповненню від параметрів різання і властивостей розроблюваного ґрунту.

4. Проведення експериментальних досліджень процесу заповнення ковша при копанні ГВОМО в лабораторних умовах з використанням зменшених фізичних моделей ковшів та в реальних умовах експлуатації одноковшового землечерпакового снаряду у Чорному морі. Оцінка адекватності розроблених математичних моделей шляхом співставлення результатів розрахунків та експериментальних досліджень.

5. Розробка і впровадження інженерної методики розрахунку геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів і навантажень на ківш при копанні глибоководних органо-мінеральних осадів.

Ідея роботи: підвищення продуктивності землечерпакових снарядів, яке здійснюється шляхом підвищення коефіцієнту наповнення ковшів за рахунок вибору їх раціональних геометричних параметрів з урахуванням фізико-механічних і реологічних властивостей розроблюваного ґрунту та параметрів різання.

Об'єкт дослідження – процес копання глибоководних органо-мінеральних осадів ковшем землечерпакового снаряду.

Предмет дослідження – залежності раціональних геометричних параметрів ковша землечерпакового снаряду та зусилля опору його заповненню від параметрів різання та властивостей розроблюваного ґрунту.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань були використані методи: узагальнення – при вивченні результатів досліджень, проведених попередниками; аналіз – при встановленні закономірностей процесу заповнення ковша; моделювання – при проведенні лабораторних досліджень з використанням зменшених фізичних моделей ковша землечерпакового снаряду та натурних зразків ґрунту; експеримент – при встановленні впливу параметрів різання та властивостей розроблюваного ґрунту на параметри заповнення ковша при дослідженні процесу копання ГВОМО в лабораторних умовах; вимірювання – при дослідженні кінематики та динаміки ковша землечерпакового снаряду в реальних умовах експлуатації; метод математичного моделювання – при розробці та дослідженні математичних моделей визначення параметрів заповнення та зусилля опору ковша заповненню; метод статистичної обробки даних – при визначенні відхилень розрахункових даних від експериментальних.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукові положення, які виносяться на захист:

1. При глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів ковшем землечерпакового снаряду шириною від 0,5 до 2,5 м при глибині різання від 0,1 до 0,25 м найбільша його ємність при максимальному значенні коефіцієнта наповнення досягається при значенні відношення висоти ковша до його довжини в середньому рівному 0,75.

2. При копанні органо-мінеральних осадів опір ковша заповненню знаходиться як сума лінійної, логарифмічної та степеневої з показником степеня 0,5 залежностей від шляху копання, на якому відбувається заповнення ковша.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше встановлено, що при копанні пластичних водонасичених ґрунтів ковшем обмеженої ширини за яких завгодно великих його інших габаритних розмірів та шляху копання, об'єм ґрунту в ковші обмежений і прямо пропорційний квадратному кореню із добутку довжини та висоти тіла ґрунту в ковші в стані його заповнення, при якому процес різання ґрунту переходить в процес його розсовування обабіч ковша без відділення стружки (стан граничного заповнення ковша).

2. Вперше встановлено, що при копанні пластичних водонасичених ґрунтів ковшем заданої ширини, за яких завгодно великих його інших габаритних розмірів, при зміні кута нахилу ковша в межах від 0 до $\pi/2$ відносно горизонтальної площини в стані граничного заповнення зовнішній контур тіла ґрунту в ковші в площині його симетрії залишається незмінним відносно відповідного контуру в ненахиленому ковші.

3. Вперше встановлено, що максимальне значення сили опору ковша заповненню не залежить від довжини ковша та кута його нахилу в діапазоні кутів нахилу днища ковша відносно горизонтальної площини від 0 до $\pi/2$.

4. Зусилля опору пластичних водонасичених ґрунтів копанню визначається як сума опорів ковша заповненню, його переміщенню по поверхні дна і гідродинамічного опору переміщенню ковша у водному середовищі, що відрізняється від відомих способів розрахунку виключенням таких складових як зусилля опору ґрунту різанню (через його малу величину в порівнянні з зусиллям

опору ковша заповненню) та опір переміщенню призми волочиння (даний параметр рівний за величиною і протилежний за знаком зусиллю опору ковша заповненню).

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей процесу заповнення ковшів землечерпакових снарядів при глибоководному видобутку пластичних водонасичених ґрунтів та розробці аналітичних залежностей раціональних геометричних параметрів ковша і зусилля опору його заповненню від ширини ковша, глибини та швидкості різання, щільності, в'язкості, зчеплення і кута природного укусу (в розпушеному стані) розроблюваного ґрунту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці інженерної методики розрахунку геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів та навантажень на ківш при копанні глибоководних органо-мінеральних осадів, використання якої дозволяє визначити раціональні геометричні параметри ковша для забезпечення високого коефіцієнту його наповнення, та навантаження на ківш для обґрунтування параметрів приводу робочого органу, що дозволяє уникнути необхідності проведення витратних експериментальних досліджень; на рівні винаходу запропоновано спосіб видобутку донних відкладень з великих глибин та пристрій для його реалізації.

Реалізація результатів. Інженерна методика розрахунку геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів та навантажень на ківш при копанні глибоководних органо-мінеральних осадів прийнята до використання при розробці ковшів однокерованих землечерпакових снарядів у Державній науковій установі «Відділення морської геології та осадочного рудоутворення» НАН України, результати проведених досліджень використовуються в навчальному процесі Державного ВНЗ «НГУ» при викладанні дисципліни «Основи конструювання гірничих машин для підводного видобутку корисних копалин».

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечені використанням фундаментальних методів механіки ґрунтів, механіки суцільного середовища; методами математичної статистики при аналізі результатів експериментальних досліджень; задовільним довірчим діапазоном експериментально визначених параметрів. Відхилення розрахункових даних від експериментальних при визначенні геометричних параметрів тіла ґрунту всередині ковша в стані граничного заповнення не перевищує 27 %, при визначенні зусилля опору ковша заповненню – не перевищує 33 % при довірчій імовірності 0,95.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети, наукових положень і задач досліджень; дослідженні закономірностей процесу заповнення ковша землечерпакового снаряду при копанні пластичних водонасичених ґрунтів та розробці математичного апарату для описання процесу; розробці вимірювального обладнання для проведення лабораторних досліджень та натурних експериментів у Чорному морі; розробці інженерної методики розрахунку раціональних геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів та навантажень на ківш при копанні глибоководних органо-мінеральних осадів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідались на XII Міжнародній конференції з відкритої та підводної розробки корисних копалин (м. Варна, Болгарія, 2013 р.); на Міжнародній конференції «Форум гірників – 2014» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); на Міжнародній конференції «Сучасні

інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості та транспорту – 2014” (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); на XII Всеукраїнській науково-технічній конференції “Потураївські читання” (м. Дніпропетровськ, 2014); на V науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Наукова весна – 2014” (м. Дніпропетровськ, 2014).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 14 наукових працях (1 – без співавторів), з яких 5 публікацій у наукових фахових виданнях, 2 з них входять до міжнародних наукометричних баз, 5 – у збірниках матеріалів конференцій, 3 – в інших виданнях, 1 патент на винахід.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 110 найменувань на 11 сторінках. Загальний обсяг роботи 238 сторінок, у тому числі 53 рисунка, 14 таблиць, а також 19 додатків на 78 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, визначені об’єкт і предмет досліджень, сформульовані мета, наукові положення й новизна, а також наведені характеристика та загальна структура роботи.

Перший розділ присвячений огляду та аналізу конструкцій одно- та багатокочових землечерпакових снарядів для глибоководного видобутку корисних копалин, стану досліджень з обґрунтування параметрів ковшів для розробки обводнених родовищ та розрахунку навантажень на ківш при копанні пластичних водонасичених ґрунтів.

Наведено останні дані досліджень глибоководних органо-мінеральних осадів Чорного моря, отримані під час комплексних океанографічних експедицій на науково-дослідницьких суднах (НДС) «Професор Водяницький», «Володимир Паршин» та «Академік». Властивості ГВОМО, які в Чорному морі представлені коколітовими, сапропелевими та діатомовими мулами, детально описані в роботах Є. Ф. Шнюкова, Т. С. Куковської, А. П. Зіборова, П. Н. Купріна, К. М. Шимкуса, Ф. А. Щербакова, С. А. Клещенко, Е. Г. Дегодюка, П. С. Димитрова, Д. П. Димитрова, В. Х. Велєва, Н. Ніколова та ін. Для ГВОМО Чорного моря характерні дрібнодисперсна структура, висока вологість та липкість, поряд з відносно низькими значеннями усередненої густини та показників міцності. Результати попередніх досліджень дозволяють охарактеризувати ГВОМО як об’єкт видобутку та дати опис експлуатаційного донного фону глибоководних видобувних машин.

По розробці землечерпакових снарядів для глибоководного видобутку донних відкладень відомі роботи А. П. Зіборова, В. Г. Кравченка, В. В. Мішина, В. П. Кузьминського, А. М. Райцина, Дж. Мєро, Й. Масуди, Х. Факуди, М. Моргенштейна та ін. Огляд конструкцій землечерпакових снарядів для глибоководного видобутку корисних копалин, аналіз їх переваг та недоліків дали змогу зробити висновок, що вимогам до промислового освоєння родовищ ГВОМО відповідає багатокочовий землечерпаковий снаряд (рис. 1) проекту НДПШокеанмаш, м. Дніпропетровськ, який включає плавзасіб 1 з розміщеним на ньому приводом 2 тягового органу 3, на якому закріплені ковші 4 з обтічниками для виключення вимивання гірської маси при підйомі в товщі води, з придонним блоком 5 для контролю

переміщення та величини заглиблення робочого органу у підводному вибої. Такий землечерпаковий снаряд здатен забезпечити необхідну продуктивність, задовільну якість відпрацювання глибоководних родовищ та мінімальне забруднення водного середовища муловими потоками порівняно з іншими установками механічного способу видобутку.

Значний внесок у розвиток теорії підводної розробки ґрунтів зробили такі вчені, як В. І. Баловнєв, Д. Д. Тургумбаєв, М. А. Гоц, В. Г. Моїсеєнко, М. К. Сукач, О. В. Замицький, О. О. Карошкін, В. А. Лобанов, С. П. Огородніков, А. І. Коптьолов та ін. Однак для обґрунтування геометричних параметрів ковшів на практиці використовують емпіричні залежності, що, як правило, спираються на досвід експлуатації ґрунторозробних машин на суходолі і не враховують особливостей процесу копання ґрунту в підводних умовах. Більш того, процес заповнення ковша та зусилля опору його заповненню вивчені недостатньо, що значно ускладнює створення високоефективних робочих органів землечерпакових снарядів та обумовлює необхідність проведення витратних експериментальних досліджень.

Тому встановлення впливу властивостей розроблюваного ґрунтового середовища, а також параметрів різання на раціональні геометричні параметри ковшів землечерпакових снарядів і зусилля опору ковша заповненню при глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів є **актуальною науковою задачею**.

У **другому розділі** розроблено аналітичні залежності для визначення раціональних геометричних параметрів ковша землечерпакового снаряду та навантажень на ківш при копанні пластичних водонасичених ґрунтів з урахуванням параметрів різання та властивостей розроблюваного ґрунту. Задача вирішувалась у наведеній нижче послідовності.

1. *Встановлення закономірностей процесу заповнення ковша.* Прийняті припущення: ґрунт представляє собою однорідне в'язкопластичне середовище; в проміжок часу $0 < t < t_1$ рух ґрунту в ковші розглядається як рівномірний, поступальний; тверда область стружки зазнає деформації чистого зсуву.

Схема для визначення напружень твердої області стружки наведена на рис. 2, де позначено: *I* – область в'язко-пластичного течіння ґрунту; *II* – тверда область стружки, частинки ґрунту в якій рухаються з однаковою швидкістю; σ_x , σ_y та τ_{xy} – відповідно нормальні напруження вздовж осей *x* та *y* і дотичне напруження; τ_0 – граничне напруження зсуву (зчеплення) ґрунту; *h* – товщина стружки у ковші; h_I та h_{II} – товщини відповідно області в'язко-пластичного

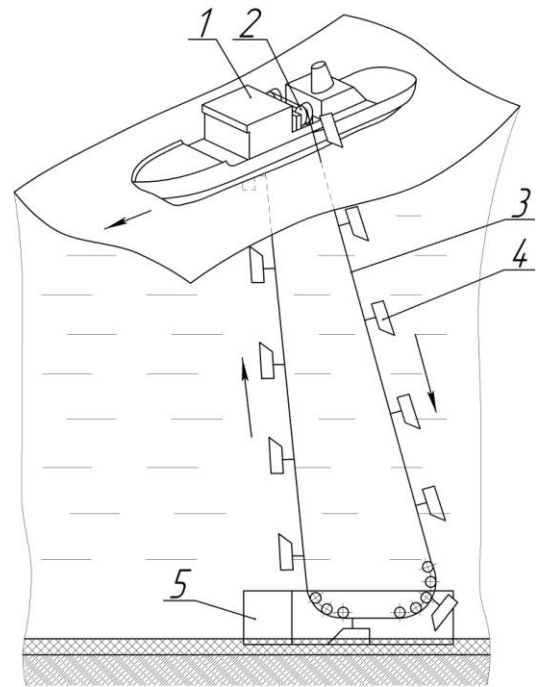


Рис. 1. Багатоконічний землечерпаковий снаряд з придонним блоком (проект НДПШоканмаш)

течіння ґрунту та твердої області стружки;
 x та y – відповідно абсциса та ордината.

Вихідними рівняннями для визначення напруженого стану твердої області стружки є рівняння статичної рівноваги елементарного об'єму ґрунту:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X = 0; \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y = 0,$$

та рівняння рівноваги на поверхні твердого тіла:

$$l\sigma_x + m\tau_{xy} = p_x; \quad l\tau_{xy} + m\sigma_y = p_y,$$

де X та Y – проекції сил на вісь відповідно x та y , віднесених до одиниці об'єму; l та m – направляючі косинуси; p_x та p_y – проекції поверхневих зусиль на вісь відповідно x та y , віднесених до одиниці площі.

На основі наведених рівнянь статичної рівноваги отримано вирази для визначення напружень стружки у ковші. Оскільки при просуванні ґрунту в ківш площа його тертя об стінки ковша збільшується, напруження також зростають. Використовуючи критерій Треска було визначено границю міцності стружки σ_B , при досягненні якої відбувається відносний зсув твердої області стружки по поверхні ковзання. Вважаючи σ_B постійною величиною при будь-якій довжині стружки, сформульовано закономірність формування тіла ґрунту в ковші: просування стружки вздовж ковша відбувається лише при достатній величині її товщини, необхідній для урівноваження за рахунок власної ваги ґрунту вертикальної складової нормальних напружень від тертя стружки об поверхні внутрішнього об'єму ковша. В іншому випадку товщина стружки збільшується до виконання умови просування ґрунту вздовж ковша. Цим обумовлено збільшення товщини стружки в ковші зі зростанням її довжини.

На основі результатів власних досліджень, а також досліджень попередників, було виявлено стан, при якому процес заповнення ненахиленого до горизонту ковша заданої ширини при яких завгодно великих його інших габаритних розмірах (далі – довгий ківш) припиняється, а процес різання ґрунту переходить в процес його розсовування без відділення стружки, незалежно від шляху копання понад деякого значення (при цьому явище повзучості ґрунту не розглядається). Такий стан у роботі умовно позначено станом граничного заповнення ковша, а параметри, що відповідають даному стану для довгого ковша (геометричні параметри тіла ґрунту всередині ковша, шлях та час копання, опір ковша заповненню і т.д.) – відповідно граничними параметрами заповнення.

Розроблено методику визначення раціональних геометричних параметрів ковша землечерпакового снаряду, яка ґрунтується на аналізі граничних геометричних параметрів тіла ґрунту всередині довгого ковша для обґрунтування параметрів ковша, що проектується, з метою забезпечення високого коефіцієнту його наповнення. Схема, за якою обираються раціональні геометричні параметри ковша, наведена на рис. 3.

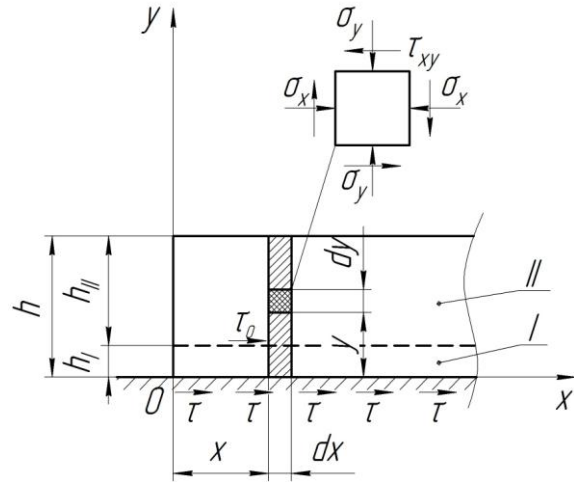


Рис. 2. Схема для розрахунку напружень в стружці

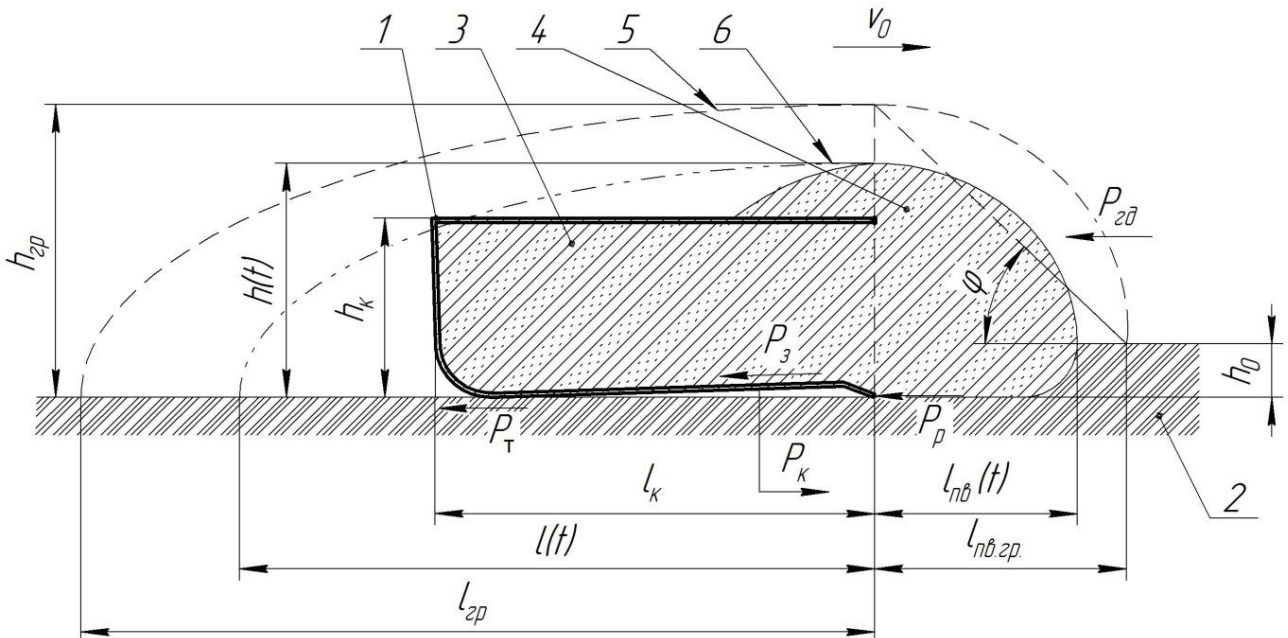


Рис. 3. Схема до визначення раціональних геометричних параметрів ковша

На рис. 3 позначено: $l_{гр}$ та $h_{гр}$ – відповідно граничні довжина та висота тіла ґрунту у довгому ковші; $l_k \leq l_{гр}$ та $h_k \leq h_{гр}$ – відповідно довжина та висота ковша; $l_{пв.гр.}$ – гранична довжина призми волочіння; $h(t)$, $l(t)$ та $l_{пв}(t)$ – відповідно висота і довжина тіла ґрунту в довгому ковші, та довжина призми волочіння в момент часу $0 < t \leq t_{гр}$, де $t_{гр}$ – граничний час заповнення; $P_к$, $P_р$, $P_з$, $P_т$, $P_{гд}$ – відповідно сили опору ґрунту копанню та різанню, опори ковша заповненню та переміщенню по поверхні дна, гідродинамічний опір переміщенню ковша у водному середовищі; 1 – ківш; 2 – ґрунтовий масив; 3 – тіло ґрунту в ковші; 4 – призма волочіння; 5 та 6 – контури тіла ґрунту в довгому ковші відповідно при $t = t_{гр}$ та $0 < t \leq t_{гр}$.

Параметри $l(t)$ та $h(t)$ розраховуються таким чином, щоб об'єм ґрунту в середині ковша задовольняв вимогам вихідних даних до розрахунку стосовно ємності ковша, або продуктивності землечерпакового снаряду.

2. *Визначення граничних параметрів заповнення.* Прийняті припущення: ґрунт представляє собою однорідне в'язкопластичне середовище; форма тіла ґрунту в ковші та призми волочіння описується відповідними рівняннями еліпсу й не змінюється з плином часу, а змінюються їх геометричні розміри (спираючись на результати експериментальних досліджень); значення товщин областей в'язко-пластичного течіння ґрунту, в яких градієнт швидкості змінюється вздовж нормалі до бічних стінок ковша, залишаються незмінними; ґрунтові валики, які формуються в стані граничного заповнення обабіч ковша, мають трикутну форму поперечного перерізу.

На рис. 4 наведено схему для розрахунку граничної висоти заповнення ковша за міцнісними характеристиками розроблюваного ґрунту $h_{грт}$, де позначено: h_0 – глибина різання; v_0 – швидкість різання; b – ширина ковша; φ – кут нахилу прямої, що сполучає висоту та довжину призми волочіння; p_0 – тиск призми волочіння на ґрунтовий масив перед ковшем, при якому процес різання

грунту переходить в процес його розсовування (за результатами досліджень, проведених в КНУБА, м. Київ, величина $p_0 \geq 2\tau_0$).

Отримано вираз для визначення висоти призми волочіння, при якій виконується умова $p_0 \geq 2\tau_0$:

$$h_{\text{грт}} = \frac{\sqrt{(\Delta\rho b g \operatorname{tg} \varphi)^2 + 16\tau_0^2}}{2\Delta\rho g} + h_0,$$

де $\Delta\rho$ – усереднена густина ґрунту у воді; g – прискорення вільного падіння.

Оскільки кут природного укосу ґрунту в розпушеному стані γ має бути меншим за $\pi/2$, на основі умови рівності витрат ґрунту, що зрізується, та витрат ґрунту у валиках, які формуються обабіч ковша в стані граничного заповнення, отримано залежність для визначення граничної висоти заповнення ковша за кутом природного укосу $h_{\text{гry}}$ (рис. 5):

$$h_{\text{гry}} = \sqrt{h_0 b \operatorname{tg} \gamma} + \frac{1}{2} b \operatorname{tg} \gamma + h_0.$$

Гранична висота заповнення ковша $h_{\text{гр}}$ буде дорівнювати меншому із значень між $h_{\text{грт}}$ та $h_{\text{гry}}$.

Граничну довжину тіла ґрунту в ковші $l_{\text{гр}}$ визначено з умови рівності напруження стиску стружки величині σ_B з урахуванням граничної висоти заповнення ковша:

$$l_{\text{гр}} = \frac{1}{k_{\text{п}} b_{\text{II}}} (h_{\text{гр}} - h_{\text{I}}) (b_{\text{II}} + 2h_{\text{II}}),$$

де $k_{\text{п}}$ – коефіцієнт пропорційності, який враховує збільшення площі тертя стружки об бічні стінки ковша при її деформуванні; b_{II} – ширина твердої області стружки.

Значення b_{II} та h_{II} визначаються виразами:

$$b_{\text{II}} = \frac{b}{Q + 1}; \quad h_{\text{II}} = \left[\frac{1}{\frac{2}{3} + \frac{1}{3(Q + 1)^2}} - \frac{K}{Q} \right] h_0,$$

де критерії подібності K та Q розраховуються за формулами, отриманими М. К. Сукачем:

$$K = \frac{\eta_{\text{пл}} v_0}{h_0 \tau_0}; \quad Q = \sqrt{K + \frac{K^2}{9} + \frac{K}{3}},$$

де $\eta_{\text{пл}}$ – пластична в'язкість ґрунту.

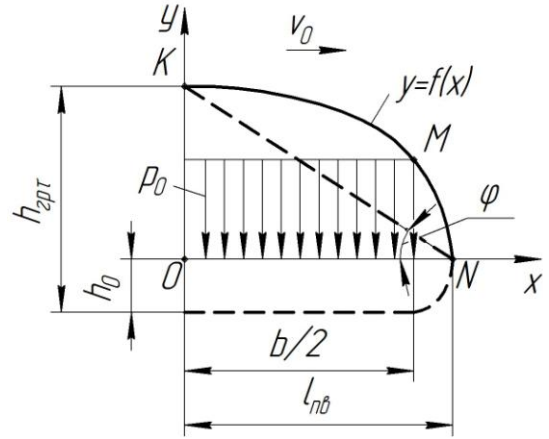


Рис. 4. Схема для розрахунку параметрів призми волочіння

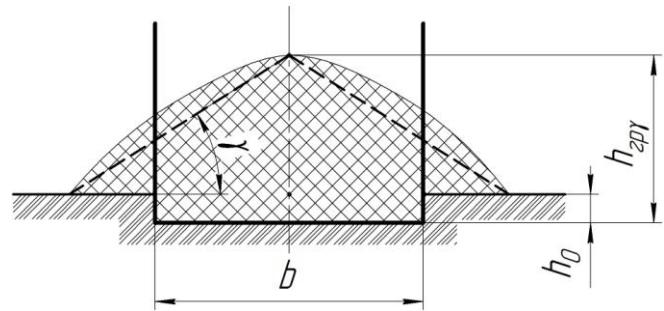


Рис.5. Схема для розрахунку граничної висоти заповнення ковша за кутом природного укосу ґрунту

Таким чином, раціональні геометричні параметри ковша визначаються залежностями: $h_k = k_1 h_{гр}$, $l_k = k_2 l_{гр}$, де k_1 та k_2 – коефіцієнти пропорційності, які не перевищують 1.

3. *Визначення опору ковша заповненню.* З використанням наведених вище припущень було визначено швидкість руху ґрунту у ковші (додатково введено припущення, що контур тіла ґрунту в площині симетрії ковша описується рівнянням кола радіусом R , площа якого дорівнює площі відповідного еліпсу з піввісьями $l(t)$ та $h(t)$). Дотичні напруження τ на поверхні ковша знайдено за рівнянням руху в'язко-пластичного середовища Бінгама-Шведова:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{пл} \frac{dv}{dn},$$

де dv/dn – похідна швидкості руху частинок ґрунту по координаті n вздовж нормалі до поверхні, що розглядається.

Шляхом складання поверхневих зусиль, що діють на нижню та бічні стінки довгого ковша, було отримано залежність для визначення сили опору ковша заповненню:

$$P_3 = \frac{1}{2} (R - h_0) \left[\pi \tau_0 (R + h_0) + 8 k_{пр} h_0 \frac{K_r}{b_I} \right] + \frac{1}{\pi} b \left[\pi \tau_0 (R - h_0) + 4 k_{пр} h_0 \frac{K_r}{h_I} \ln \left(\frac{R}{h_0} \right) \right],$$

де $b_I = (b - b_{II})/2$ – товщина області в'язко-пластичного течіння ґрунту біля бічних стінок ковша; $k_{пр}$ – коефіцієнт, який показує частку від загально об'єму ґрунту, що зрізується, яка надходить всередину ковша.

На основі аналізу результатів теоретичних та експериментальних досліджень було отримано вираз для розрахунку параметра K_r :

$$K_r = k a \eta \frac{d\lambda}{dt},$$

де k – коефіцієнт, який враховує зниження дотичних напружень вздовж стінки ковша внаслідок зменшення швидкості руху частинок ґрунту порівняно зі швидкістю різання і знаходиться в діапазоні 0,5...0,7; a – одинична довжина, м; η – коефіцієнт в'язкості, Па·с, який відповідає швидкості кутової деформації ґрунту $d\lambda/dt$, с⁻¹.

Встановлено, що для найпоширеніших режимів роботи землерийних машин при підводній розробці ґрунтового середовища параметр K_r можна прийняти постійним через близьку до гіперболічної залежність η від $d\lambda/dt$ у діапазоні $d\lambda/dt$ від 0,67 до 50 с⁻¹.

Отримано залежність сили опору ковша заповненню від шляху копання в проміжку від 0 до $s_{гр}$:

$$P_3(s) = 2\tau_0 k_{пр} h_0 s + 2 \sqrt{\frac{k_{пр} h_0}{\pi}} \left(4k_{пр} h_0 \frac{K_r}{b_I} + \tau_0 b \right) \sqrt{s} + \frac{2k_{пр} h_0 b K_r}{h_I \pi} \ln(s) + h_0 \left[4k_{пр} K_r \left(\frac{b}{2\pi h_I} \ln \left(\frac{4k_{пр}}{\pi h_0} \right) - \frac{h_0}{b_I} \right) - \tau_0 \left(\frac{1}{2} \pi h_0 + b \right) \right].$$

Параметр R визначається залежністю:

$$R = k_{\text{фт}}(t) \sqrt{l_{\text{гр}} h_{\text{гр}}},$$

де $k_{\text{фт}}(t)$ – коефіцієнт форми тіла ґрунту в ковші, що показує яку частку граничного лінійного параметру заповнення ($h_{\text{гр}}$ та $l_{\text{гр}}$) досягнуто в момент часу $t \leq t_{\text{гр}}$.

У третьому розділі описані експериментальні дослідження процесу копання ГВОМО, проведені в лабораторних та натурних умовах, а також результати перевірки адекватності розроблених математичних моделей на основі методів статистичного аналізу.

Лабораторні дослідження процесу копання були проведені у Фрайберзькій гірничій академії на стенді для різання гірських порід, який було пристосовано для проведення досліджень з використанням натурних зразків сапропелевого та коколітового осадів Чорного моря. Загальний вигляд лабораторної установки наведено на рис. 6, де позначено: 1 – ємність для розміщення зразків ґрунту; 2 – вузол кріплення ріжучого інструменту; 3 – утримувач; 4 – рухома обойма; 5 – пружний елемент; 6 – модель ковша; 7 – тензорезисторний датчик зусилля.

Відповідно до програми та методики випробувань вимірювались геометричні параметри і маса тіла ґрунту всередині моделі ковша та призми волочіння, а також зусилля опору ґрунту копанню. Експерименти з копання сапропелевого та коколітового мулів були проведені в атмосферних умовах та у водному середовищі.

На рис. 7 наведені деякі результати досліджень впливу ширини ковша та параметрів різання на параметри заповнення ковша.

Натурні дослідження процесу копання ГВОМО були проведені під час морської експедиції у Чорному морі на НДС «Професор Водяницький» (73-й рейс, 2013 р.). Технологічне обладнання НДС зображено на рис. 8, де позначено: 1 – глибоководна лебідка; 2 – ківш землечерпакового снаряду; 3 – канат глибоководної лебідки; 4 – П-подібна рама.

Під час випробувань на ковші землечерпакового снаряду було закріплене вимірювальне обладнання, розроблене у Національному гірничому університеті, яке дало змогу дослідити кінематику ковша та зусилля натягу канату під час циклу відбору зразків осаду з глибини 1885 м. Осцилограми тягового зусилля, а також отримані розрахунковим методом (на основі осцилограм швидкості) зусилля гідродинамічного опору та зусилля опору копанню наведені на рис. 9.

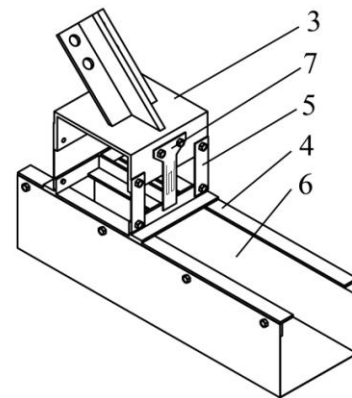
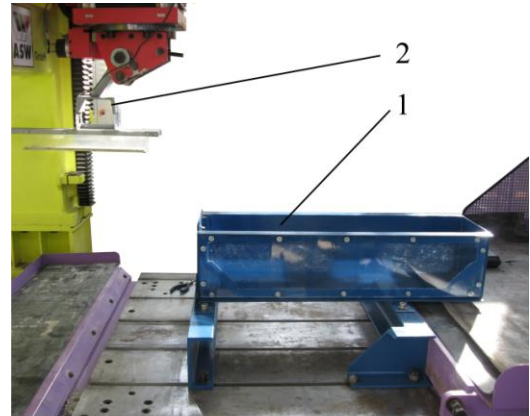
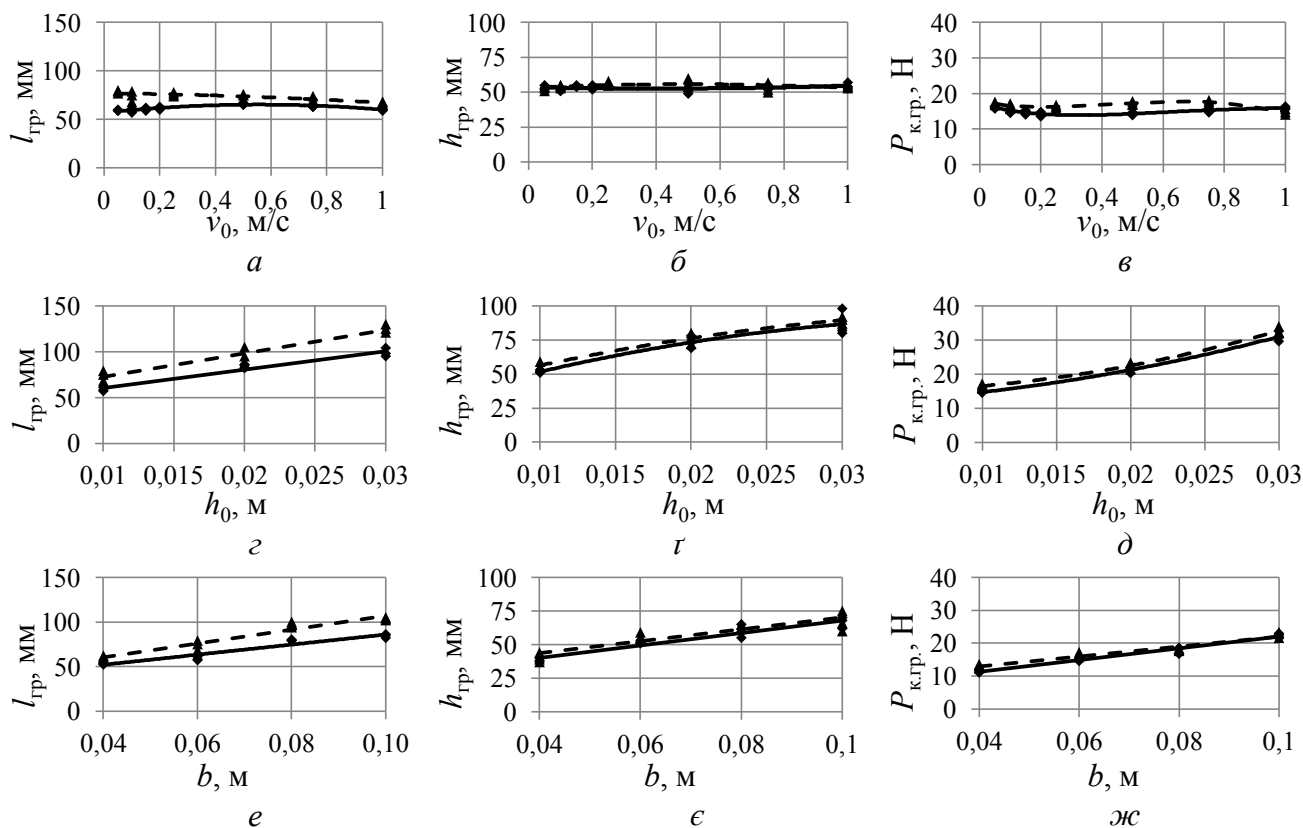


Рис. 6. Загальний вигляд лабораторної установки



— — копання сапропелевого мулу; --- — копання коколітового мулу

Рис. 7. Графіки залежностей граничних параметрів заповнення ковша від параметрів процесу різання при копанні ГВМО в атмосферних умовах

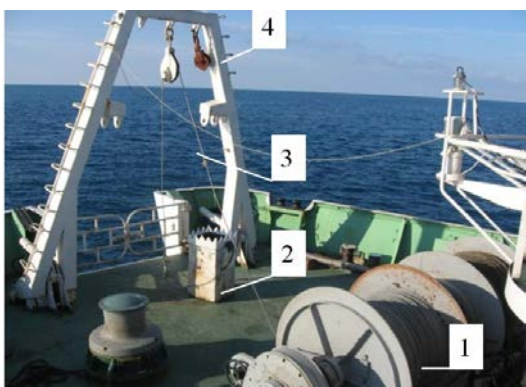


Рис. 8. Технологічне обладнання НДС «Професор Водяницький»

Згідно результатам статистичного аналізу, математичне очікування відхилення розрахункових даних від експериментальних при копанні в атмосферних умовах для параметра $l_{гр}$ не перевищило 16 %, $h_{гр}$ – 12 %, $P_{з.гр.}$ – 19 %. Максимальне відхилення складає відповідно 27 %, 22 % та 33 % при довірчій вірогідності 0,95. При копанні ГВМО у воді (включаючи натурний експеримент) відхилення результатів розрахунків зусилля опору ковша заповненню від експериментальних даних не перевищило 24 %.

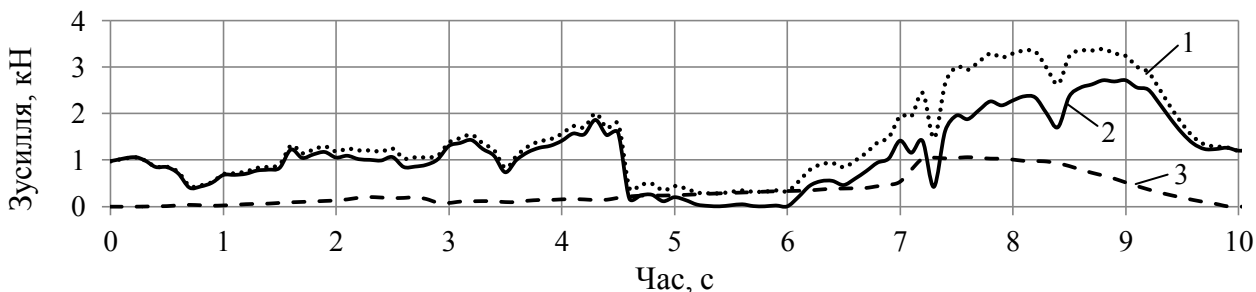


Рис. 9. Осцилограми зусиль: тягового (1), опору копанню (2) та гідродинамічного опору (3)

У четвертому розділі поставлено завдання: розробити інженерну методику розрахунку раціональних геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів та навантажень на ківш при копанні пластичних водонасичених ґрунтів. Вихідними даними для розрахунку є параметри: $\Delta\rho$, τ_0 , $\eta_{\text{пл}}$, γ , φ , $K_{\text{Г}}$, ν_0 , h_0 , b .

Використання розробленої інженерної методики дозволяє визначити раціональні геометричні параметри ковша землечерпакового снаряду для забезпечення високого коефіцієнта його наповнення, розрахувати раціональний шлях копання та визначити навантаження на ківш при копанні глибоководних органо-мінеральних осадів. Дана методика прийнята до використання при розробці ковшів землечерпакових снарядів циклічної дії у Державній науковій установі «Відділення морської геології та осадочного рудоутворення» НАН України.

З використанням розроблених математичних моделей проведено чисельний експеримент, на основі якого встановлено залежності граничних висоти і довжини заповнення, відношення $h_{\text{гр}}/l_{\text{гр}}$ (рис. 10), питомої роботи та питомого зусилля заповнення ковша від його ширини та глибини різання при копанні ГВОМО.

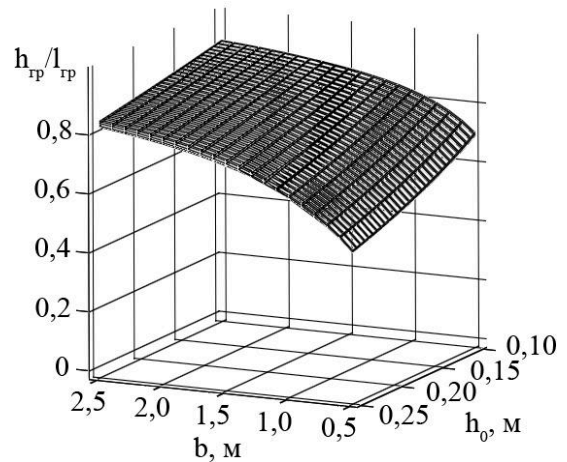


Рис. 10. Залежність відношення $l_{\text{гр}}/h_{\text{гр}}$ при копанні ГВОМО від ширини ковша та глибини різання

ВИСНОВКИ

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена **актуальна наукова задача**, яка полягає у встановленні аналітичних залежностей раціональних геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів і зусилля опору ковша заповненню при глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів від параметрів різання та властивостей розроблювального ґрунту, що дозволило визначити: відношення висоти ковша до його довжини, при якому досягається найбільша ємність ковша при максимальному значенні коефіцієнта наповнення, яке для ковшів шириною від 0,5 до 2,5 м при глибині різання від 0,1 до 0,25 м в середньому становить 0,75; зусилля опору ковша заповненню, яке знаходиться як сума лінійної, логарифмічної та степеневі з показником степеня 0,5 залежностей від шляху копання, на якому відбувається заповнення ковша; розробити інженерну методику розрахунку геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів і навантажень на ківш при глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів.

1. За результатами аналізу патентів та огляду літературних джерел встановлено, що вимогам до обладнання для промислової розробки родовищ ГВОМО в Чорному морі відповідає багатоковшовий землечерпаковий снаряд з придонним блоком проекту НДПШокеанмаш (м. Дніпропетровськ), ковші якого оснащені обтічниками для виключення вимивання гірської маси при підйомі в товщі води.

2. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено закономірність процесу заповнення ковша при копанні пластичних водонасичених ґрунтів: просування стружки вздовж ковша відбувається лише при достатній величині її товщини, необхідної для врівноваження за рахунок власної ваги ґрунту вертикальної складової нормальних напружень від тертя стружки об поверхні внутрішнього об'єму ковша. В іншому випадку товщина стружки збільшується до виконання умови просування ґрунту вздовж ковша, чим зумовлене збільшення товщини стружки в ковші зі зростанням її довжини.

3. При копанні пластичних водонасичених ґрунтів ковшем заданої ширини, за яких завгодно великих його інших габаритних розмірів, має місце стан граничного заповнення ковша, при якому процес заповнення припиняється, а процес різання ґрунту переходить в процес його розсовування без відділення стружки. Для забезпечення високого значення коефіцієнта наповнення ковша землечерпакового снаряду, його висота і довжина мають бути меншими відповідно граничної висоти і граничної довжини заповнення, для визначення яких було розроблено аналітичні залежності. Відхилення розрахункових значень геометричних параметрів тіла ґрунту в ковші в стані граничного заповнення від експериментальних не перевищує 27 % при довірчій імовірності 0,95.

4. На основі чисельного експерименту встановлено, що при копанні ГВОМО у воді ковшем шириною від 0,5 до 2,5 м при глибині різання від 0,1 до 0,25 м найбільша ємність ковша при максимальному значенні коефіцієнта наповнення досягається при середньому значенні відношення висоти ковша до його довжини рівному 0,75.

5. При зміні кута нахилу ковша в діапазоні від 0 до $\pi/2$ відносно горизонтальної площини, а також положення його задньої стінки, зовнішній контур тіла ґрунту в ковші в стані граничного заповнення залишається незмінним відносно контуру тіла ґрунту, який формується в стані граничного заповнення в ненахиленому до горизонту ковші рівної ширини при яких завгодно великих його інших габаритних розмірах при ідентичних параметрах процесу різання.

6. При копанні органо-мінеральних осадів сила опору ковша заповненню знаходиться як сума лінійної, логарифмічної та степеневі з показником степеня 0,5 залежностей від шляху копання. Максимальне значення опору ковша заповненню не залежить від довжини ковша і кута його нахилу в діапазоні кутів нахилу днища ковша відносно горизонтальної площини від 0 до $\pi/2$. Відхилення значень граничного зусилля опору ковша заповненню, розрахованих з використанням розробленої аналітичної залежності, від експериментальних даних, включаючи натурний експеримент у Чорному морі, не перевищує 33% при довірчій імовірності 0,95.

7. При збільшенні ємності ковшів питома робота заповнення знижується. Для зменшення величини сили опору ковша заповненню при відборі заданого об'єму ґрунту слід прагнути до зменшення глибини різання і збільшення ширини ковша.

8. Зусилля опору пластичних водонасичених ґрунтів копанню визначається як сума опорів ковша заповненню, переміщенню ковша по поверхні дна і гідродинамічного опору його переміщенню у водному середовищі.

9. На основі натурального експерименту в Чорному морі при відборі проб коколітового мулу одноковшовим землечерпаковим снарядом НДС «Професор Водяницький» з ковшем ємністю 0,33 м³ на глибині 1885 м підтверджено положення про малозначущість впливу гідростатичного тиску на величину зусилля опору пластичних водонасичених ґрунтів копанню.

10. Розроблена інженерна методика розрахунку параметрів ковша землечерпакового снаряду дозволяє визначити раціональні геометричні параметри ковша для забезпечення високого значення коефіцієнта його наповнення, навантаження на ківш при копанні ГВОМО і шлях копання, необхідний для його заповнення. Інженерна методика розрахунку геометричних параметрів ковшів землечерпакових снарядів і навантажень на ківш при копанні ГВОМО прийнята до використання при розробці ковшів одноковшових землечерпакових снарядів в Державній науковій установі «Відділення морської геології та осадочного рудоутворення» НАН України.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Drebenstedt C. Experimental investigation of digging the organic-mineral sediments of the Black Sea / C. Drebenstedt, V. Franchuk, T. Shepel // *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining* / V. Bondarenko, I. Kovalevs'ka, K. Ganushevych (eds). – London: Taylor & Francis Group, 2014. – P. 99 – 108.

2. Франчук В.П. Deep-sea dredging experimental research in the Black Sea / В.П. Франчук, Т.В. Шепель // *Науковий вісник НГУ*. – 2014. – №4. – С. 20 – 26.

3. Шепель Т.В. Модель заповнення ковша при разработке слабых водонасыщенных ґрунтов / Т.В. Шепель // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. – 2014. – Вип. 83. – С. 18 – 25.

4. Франчук В.П. Проблеми створення обладнання для видобутку та первинної переробки глибоководних органо-мінеральних відкладень Чорного моря / В.П. Франчук, Т.В. Шепель, О.Є. Шевченко // *Вісник ЖДТУ*. – 2013. – №4. – С. 139 – 145.

5. Франчук В.П. Исследование динамики ґрунтозаборного устройства при разработке морских донных отложений / В.П. Франчук, Т.В. Шепель // *Науковий вісник НГУ*. – 2011. – № 2. – С. 110 – 116.

6. Пат. 106727 Україна, МПК E21C50/00. Спосіб видобутку донних відкладень з великих глибин та пристрій для його реалізації / Франчук В. П., Зіборов А. П., Шепель Т. В.; заявник та патентовласник Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». – № а 2011 02985; заяв. 14.03.2011; опубл. 10.10.14, Бюл. №19.

7. Франчук В.П. Повышение качества подготовки и проведения геолого-разведочных работ на опоскованном участке органо-минеральных осадков в Черном море / В.П. Франчук, Т.В. Шепель, А.Е. Шевченко // 12-ая национ. конф. с междунар. участием по открытой и подводной добыче полезных ископаемых, 26-30 июня 2013 г.: тезисы докл. – Варна: International House of Scientists “Fr.J. Curie”, 2013. – С. 208 – 212.

8. Шепель Т.В. Перспективы использования канатно-ковшового оборудования для добычи глибоководных органо-минеральных осадков в Черном море /

Т.В. Шепель, А.Е. Шевченко // Форум гірників – 2014: матеріали міжнар. конф., 1-4 жовт. 2014р.: тез. доп. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – Т. 1. – С. 80 – 87.

9. Шепель Т.В. Устройство для исследования кинематики и динамики глубоководного грунтообрабатывающего оборудования / Т.В. Шепель, А.В. Сычев // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014: материалы междунар. конф., 27-28 мар. 2014 г.: тез. докл. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – С. 225 – 233.

10. Шепель Т.В. Исследование процесса глубоководного драгирования при отборе проб органо-минеральных осадков в Черном море [Электронный ресурс] / Т.В. Шепель // Потураївські читання: матеріали XII всеукр. наук.-техн. конф., 20 січ. 2014 р.[присвяч. 92-й річниці з дня нар. акад. НАН України В.М. Потураєва: тези доп.] – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – Режим доступу: http://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/Publications/2014/poturaev_2014.php

11. Шепель Т.В. Прогнозування опору копанню пластичних водонасичених ґрунтів / Т.В. Шепель // Наукова весна – 2014: 5-та наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених, 26 – 27 бер. 2014 р.: тез. доп. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – С. 72 – 73.

12. Франчук В.П. Комплекс технологического оборудования судового базирования «Сапропель» для отбора проб глубоководных донных осадков / В.П. Франчук, А.П. Зиборов, Т.В. Шепель // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2011. – №1. – С. 33 – 37.

13. Шепель Т.В. Горно-технологические условия добычи сапропелей / Т.В. Шепель, А.Е. Шевченко // Геолого-океанологические исследования в Черном море (НИС «Профессор Водяницкий», 2013 г., 73-й рейс) / Е.Ф. Шнюков, Ю.И. Иноземцев, Т.С. Куковская и др. – К.: Логос, 2014. – Глава 4. – С. 85 – 91.

14. Шепель Т.В. Способы первичной обработки проб органо-минеральных осадков / Т.В. Шепель, Г.Е. Княжевский // Геолого-океанологические исследования континентальной окраины Крыма и прилегающей котловины Черного моря (НИС «Профессор Водяницкий», 2011 г., 69-й рейс) / Е.Ф. Шнюков, Ю.И. Иноземцев, Т.С. Куковская и др. – К.: ОМГОР, 2012. – Глава 8. – С. 140 – 145.

Особистий внесок здобувача у роботи, опубліковані в співавторстві:

[1, 2, 13] – розроблено обладнання та методика проведення експериментальних досліджень, проведено експериментальні дослідження, оброблено отримані результати; [4] – сформульовано проблеми створення обладнання для видобутку ГВОМО; [5] – розроблено математичну модель динаміки ґрунтозабірного пристрою; [6] – запропоновано конструкцію пристрою; [7] – розроблено конструкцію обладнання для відбору проб; [8] – проведено аналіз патентів видобувного обладнання; [9] – розроблено обладнання для дослідження кінематики та динаміки ковша при копанні ґрунту на дні моря; [12] – розроблено конструкцію комплексу технологічного обладнання; [14] – розроблено обладнання для транспортування зразків ГВОМО умовно непорушеної структури для проведення лабораторних досліджень.

АНОТАЦІЯ

Шепель Т.В. Обґрунтування параметрів ковшів землечерпакових снарядів для глибоководного видобутку органо-мінеральних осадів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.06 – «Гірничі машини». Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2015.

Дисертація присвячена обґрунтуванню параметрів ковшів землечерпакових снарядів для підвищення їх продуктивності при глибоководному видобутку органо-мінеральних осадів за рахунок підвищення коефіцієнту наповнення їх ковшів шляхом обґрунтування раціональних геометричних параметрів та визначенню навантажень на ківш при копанні. Встановлено аналітичні залежності раціональної висоти та довжини ковша, а також зусилля опору ковша заповненню від його ширини, глибини та швидкості різання, в'язкості, щільності, зчеплення та куту природного укосу (в розпушеному стані) розроблюваного ґрунту. Проведено експериментальні дослідження процесу копання глибоководних органо-мінеральних осадів в лабораторних умовах з використанням зменшених фізичних моделей ковшів та в реальних умовах експлуатації одноковшового землечерпакового снаряду в Чорному морі на глибині понад 1800 м.

Розроблені математичні моделі використовуються в інженерній методиці. На рівні винаходу запропоновано спосіб видобутку донних відкладень з великих глибин та пристрій для його реалізації.

Ключові слова: глибоководний видобуток, землечерпаковий снаряд, ківш, заповнення ковша, геометричні параметри, опір ковша заповненню, пластичний водонасичений ґрунт, органо-мінеральні осади.

АННОТАЦИЯ

Шепель Т.В. Обоснование параметров ковшей землечерпательных снарядов для глубоководной добычи органо-минеральных осадков. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – «Горные машины». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена обоснованию параметров ковшей землечерпательных снарядов для повышения их производительности при глубоководной добыче органо-минеральных осадков за счет повышения коэффициента наполнения их ковшей путем обоснования рациональных геометрических параметров и определению нагрузок на кувш при копании.

Проведен обзор и анализ конструкций землечерпательных снарядов для глубоководной добычи полезных ископаемых. Проанализированы их достоинства и недостатки. Определены перспективные конструкции землечерпательных снарядов для промышленной разработки месторождений глубоководных органо-минеральных осадков.

Исследован процесс заполнения ковша при разработке пластичных водонасыщенных грунтов. Установлено, что при копании ковшом заданной ширины при сколь угодно больших его прочих габаритных размерах при определенных параметрах призмы волочения заполнение ковша прекращается, а процесс резания грунта переходит в процесс его раздвигания, поэтому объем грунта в ковше ограничен, независимо от пути копания сверх некоторой величины. Разработаны аналитические зависимости максимально достижимых параметров тела грунта в ковше и усилия сопротивления ковша заполнению от ширины ковша, глубины и скорости резания, вязкости, плотности, сцепления и угла естественного откоса (в разрыхленном состоянии) разрабатываемого грунта. Разработана методика определения рациональных геометрических параметров ковшей землечерпательных снарядов для достижения наибольшего коэффициента их наполнения, которая основана на анализе максимально достижимых размеров тела грунта внутри ковша.

Проведены экспериментальные исследования процесса копания глубоководных органо-минеральных осадков в лабораторных условиях с использованием уменьшенных физических моделей ковшей и в реальных условиях эксплуатации одноковшового землечерпательного снаряда при копании органо-минеральных осадков в Черном море на глубине более 1800 м. Лабораторные исследования позволили проверить адекватность разработанных аналитических зависимостей путем сопоставления результатов расчетов и экспериментальных данных, а также установить влияние угла наклона ковша на параметры тела грунта в ковше и усилие сопротивления ковша заполнению. Исследование кинематики и динамики ковша землечерпательного снаряда емкостью $0,33 \text{ м}^3$ при добыче донных осадков в Черном море позволило определить положение ковша в пространстве при его опускании, копании донного грунта и подъеме на судно, скорость, ускорение и усилие в подвеске ковша во время цикла черпания. Подтверждено положение о малозначимом влиянии гидростатического давления на усилие сопротивления пластичных водонасыщенных грунтов копанию.

Результаты исследований реализованы в виде методики расчета геометрических параметров ковшей землечерпательных снарядов и нагрузок на ковш при копании глубоководных органо-минеральных осадков. Использование методики позволяет определить высоту и длину ковша заданной ширины, при которых достигается высокий коэффициент его наполнения, определить путь копания, требуемый для заполнения ковша, а также усилие сопротивления грунта копанию для обоснования параметров привода рабочего органа.

С использованием разработанных математических моделей определения геометрических параметров ковшей землечерпательных снарядов проведен численный эксперимент, на основе которого установлено отношение высоты ковша к его длине, при котором достигается наибольшая емкость ковша при максимальном значении коэффициента его наполнения, определены зависимости удельного усилия сопротивления ковша заполнению и удельной работы заполнения от параметров резания.

На уровне изобретения разработан способ добычи донных осадков с больших глубин и устройство для его реализации.

Ключевые слова: глубоководная добыча, землечерпательный снаряд, ковш, заполнение ковша, геометрические параметры, сопротивление ковша заполнению, пластичный водонасыщенный грунт, органо-минеральные осадки.

ABSTRACT

Shepel T.V. Justification of bucket parameters of dredgers for deep-sea mining the organic-mineral sediments. – Manuscript.

The dissertation on obtaining of a scientific degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.05.06 – “Mining machines”. State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, 2015.

The thesis is devoted to the determination of bucket parameters of dredgers intended to increase their productivity while deep-water organic-mineral sediments mining by increasing the fill factor through determination of the bucket rational geometrical parameters, and to define the forces on the bucket during digging. Analytical dependences of the rational height and length of the bucket, as well as its filling resistance on cutting parameters and physical-and-mechanical properties of excavated sediments were determined. Experimental investigation of the process of deep-water organic-mineral sediments digging in laboratory conditions with the use of reduced physical models of buckets and in the real operating conditions of a single-bucket dredger in the Black Sea at a depth of 1,800 m were carried out. Methodology of mathematical modeling for the technical design of the bucket was developed. At the invention level, a method for mining sediments from great depth and device for its realization were invented.

Key words: deep-sea mining, bucket dredger, bucket, bucket filling process, geometrical parameters, filling force, plastic water-saturated soil, organic-mineral sediments.

ШЕПЕЛЬ Тарас Вілійович

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОВШІВ ЗЕМЛЕЧЕРПАКОВИХ
СНАРЯДІВ ДЛЯ ГЛИБОКОВОДНОГО ВИДОБУТКУ
ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ОСАДІВ**

(Автореферат)

Підп. до друку 25.08.2015. Формат 60×90/16.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № .

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.