

Національна академія наук України
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова

ХРИСТЮК АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ



УДК [622.02:539.2/.8]:622.236.52:622.339.3 (043.3)

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО
ВИЛУЧЕННЯ БУРШТИНУ З ПІЩАНИХ ПОКЛАДІВ

Спеціальність 05.15.09 – Геотехнічна і гірничя механіка

РЕЗЮМЕ

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті водного господарства та природокористування, Міністерства освіти і науки України, (м. Рівне).

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент,
Маланчук Євгеній Зіновійович,
Національний університет водного господарства та природокористування, Міністерства освіти і науки України, професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, (м. Рівне).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
Семененко Євген Володимирович,
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національної академії наук України,
завідувач відділу проблем шахтних енергетичних комплексів (м. Дніпро);

доктор технічних наук, доцент,
Бондаренко Андрій Олексійович,
Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри гірничих машин та інжинірингу
(м. Дніпро).

Захист дисертації відбудеться «30» червня 2017 р. о 15⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.188.01 при Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України за адресою: 49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 2а.

Автореферат розісланий «29» травня 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук



В.Г. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний стан розвитку гірничого виробництва у галузі розробки корисних копалин в Рівненсько-Волинському регіоні характеризується наявністю значної кількості промислово значимих родовищ бурштину, які розробляються, і тих, які не залучені до розробки у зв'язку із неможливістю їх експлуатації традиційними методами. Введення в експлуатацію таких родовищ стримується складними гірничо-геологічними умовами, значною відстанню від водойм, а також необхідністю збереження поверхневого шару ґрунту, що потребує проведення додаткових рекультиваційних робіт. Найбільш перспективним шляхом виходу з цього становища є впровадження гідромеханічного способу видобутку корисних копалин, який не потребує рекультиваційних робіт оскільки вилучення корисної копалини відбувається без руйнування поверхневого шару ґрунту за допомогою гідравлічної енергії. Проте досвід впровадження гідромеханічних технологій видобутку бурштину з піщаних покладів вказує на стримуючі фактори – низьку продуктивність та високе водоспоживання. Останній фактор є суттєвим бо вода в регіонах, де розташовано поклади бурштину, наявна в обмеженому обсязі. Виявлені стримуючі фактори для технології гідромеханічного видобутку залежать від швидкості спливання корисної копалини на денну поверхню. Якщо параметри технології видобутку будуть забезпечувати максимально можливу для умов конкретного родовища швидкість спливання бурштину це дозволить подолати обмеження, що існують, знизити енергоємність та водоспоживання, підвищити продуктивність видобутку, та залучити до експлуатації нові перспективні родовища. Попередні дослідники вивчали процес спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів виключно експериментально. Тому, відсутні науково обґрунтовані моделі, які встановлюють залежність між швидкістю спливання частинки та фізичними й гранулометричними характеристиками родовища, а також частотою коливань робочого органу та витратою повітря. Це унеможливило для нових родовищ визначення раціональних швидкостей спливання бурштину та витрати повітря, що її забезпечує, без проведення численних експериментів.

Тому встановлення залежностей максимальної швидкості спливання бурштину та раціональної витрати повітря, що її забезпечує, від параметрів коливань робочого органу, фізичних та гранулометричних характеристик бурштиновмісного середовища та цінного компоненту, обґрунтування раціональних параметрів процесу гідромеханічного вилучення бурштину з піщаних покладів та удосконалення на цій основі технології видобутку бурштину з піщаних покладів, є актуальною науковою задачею, що має важливе значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в Національному університеті водного господарства та природокористування (НУВГП) відповідно до «Програми розвитку і промислового освоєння мінерально-сировинних ресурсів Рівненської області на період до 2020 року», затверджених постановою Рівненської обласної ради за № 1374 від 18 грудня 2014 р., тематики кафедри "Розробки родовищ та видобування корисних копалин" НУВГП на тему «Видобування та переробка корисних копалин» № держ. реєстр. 0114U001147, в яких автор був виконавцем.

Ідея роботи полягає у підвищенні видобутку бурштину гідромеханічним способом з піщаних покладів за рахунок використання встановленої залежності швидкості спливання бурштину від параметрів коливань робочого органу, фізичних і гранулометричних характеристик середовища та матеріалу, що видобувається.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є забезпечення максимальної швидкості спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів та обґрунтування необхідної витрати повітря для підвищення видобутку, зниження енергоємності та водоспоживання процесу.

Задачі досліджень наступні:

1. Дослідження особливостей процесу гідромеханічного вилучення бурштину з піщаних покладів і виділення факторів, що впливають на продуктивність, енергоємність та питомі обсяги споживання води та повітря.

2. Проведення експериментальних досліджень залежностей швидкості спливання бурштину та пористості середовища від витрат води та повітря, при гідромеханічному способі вилучення з піщаних покладів.

3. Розробка методу розрахунку максимальної швидкості спливання бурштину та раціональної витрати повітря, що її забезпечує, в залежності від параметрів коливання робочого органу, фізичних і гранулометричних характеристик родовища та матеріалу, що видобувається, для умов гідромеханічного способу вилучення бурштину з піщаних покладів.

4. Розробка та впровадження методики розрахунку продуктивності гідромеханічного видобутку бурштину та рекомендацій з обґрунтування параметрів та технологічних схем для гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків.

Об'єктом досліджень є процес вилучення бурштину при гідромеханічному способі вилучення з піщаних покладів.

Предметом дослідження є залежність швидкості спливання бурштину від витрати повітря, параметрів коливань робочого органу, фізичних і гранулометричних характеристик родовища та корисної копалини.

Методи досліджень – у роботі були використані фізичні й хімічні методи аналізу елементного і мінерального складу досліджуваних родовищ, методи лабораторних, напівпромислових і промислових досліджень процесів гідромеханічного видобутку бурштину, так і розроблені автором – метод визначення відносної пористості порід, метод визначення виходу бурштину на денну поверхню, метод визначення швидкості руху бурштину в середовищі, обробки результатів досліджень і отримання залежностей методом математичної статистики із визначення основних факторів, що впливають на процес гідромеханічного видобутку.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Встановлено, що при гідромеханічному видобутку бурштину з піщаних покладів відношення сили, яка перешкоджає переміщенню частинки у сипкому середовищі, до об'єму частинки, густини середовища та прискорення вільного падіння дорівнює 0,325.

2. Встановлено, що залежність витрати повітря, що відповідає максимуму швидкості спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів, від співвідношення густин частинок середовища та цінного компоненту описується степеневою функцією з додатним дробовим показником 0,281, коефіцієнт пропорційності якої обернено пропорційний квадратному кореню з пористості середовища, яка виникає при коливанні робочого органу з частотою від 20 до 35 Гц без подачі повітря.

3. Встановлено, що максимально можлива швидкість спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів прямо пропорційна квадрату співвідношення діаметрів частинок бурштину та середовища, й обернено пропорційно квадрату пористості ґрунту, яка виникає при коливанні робочого органу з частотою від 20 до 35 Гц без подачі повітря, а її залежність від співвідношення густин частинок ґрунту та матеріалу, що видобувається, описується степеневою функцією з додатним дробовим показником 1,86.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Вперше встановлено залежність сили, що перешкоджає руху бурштину, що спливає у сипкому середовищі при вібраційному впливі та подачі повітря, від властивостей середовища та параметрів гідромеханічного впливу.

2. Вперше для гідромеханічної технології видобутку корисних копалин отримана формула розрахунку раціональної витрати повітря в залежності від гранулометричних та фізичних властивостей покладу та матеріалу, що видобувається, з врахуванням частоти коливання робочого органу. Таким чином, удосконалено метод розрахунку технологічних параметрів видобутку бурштину з піщаних родовищ гідромеханічним способом, що дозволить забезпечити мінімальну тривалість впливу на масив та знизити енергоємність та водоспоживання технології видобутку.

3. Вперше розроблено модель процесу спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів, яка встановлює залежність між швидкістю спливання частинки та фізичними й гранулометричними характеристиками середовища, а також частотою коливань робочого органу та витратою повітря.

4. Вдосконалено відомий метод гідромеханічного видобутку бурштину і запропоновано нові рекомендації з обґрунтування параметрів та технологічних схем для гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків, які не потребують проведення додаткових рекультиваційних робіт, забезпечують підвищення продуктивності технології, а також зменшення її енергоємності та питомого водоспоживання.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій обумовлена коректністю поставлених у роботі завдань; застосуванням фундаментальних методів теорії ймовірності; використанням апробованих методів розв'язання диференціальних рівнянь; достатнім обсягом теоретичних, експериментальних лабораторних і дослідно-промислових досліджень; використанням при проведенні експериментальних досліджень стандартної вимірювальної апаратури та відомих методів обробки результатів; прийнятною відповідністю отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також позитивними результатами впровадження

у виробництво. Похибка порівняння результатів лабораторних та польових досліджень та отриманих залежностей параметрів процесу гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних покладів для швидкості спливання бурштину не перевищує 10 %, для витрати повітря, що відповідає максимуму швидкості спливання бурштину, – 12 %, а для максимально можливої швидкості спливання бурштину при гідромеханічному видобутку – 33 %.

Наукове значення роботи полягає у встановленні залежності швидкості спливання частинки бурштину в сипкому середовищі при дії гідромеханічного впливу, від частоти коливань робочого органу, витрати повітря, гранулометричних і фізичних властивостей частинок середовища та бурштину, що дозволило встановити максимально можливу швидкість спливання та витрату повітря, що її забезпечує.

Практичне значення отриманих результатів. На основі отриманих наукових положень обґрунтовано нові технічні рішення видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків. Результати дисертаційної роботи використовуються у виробництві та в навчальному процесі:

- методика розрахунку параметрів процесу гідромеханічного видобутку бурштину із бурштиновмісних пісків;
- кількісна оцінка параметрів гідравлічного та гідромеханічного способів видобутку бурштину;
- рекомендації по підвищенню ефективності технології гідромеханічного видобутку бурштину із бурштиновмісних пісків;
- патент на спосіб керування процесом розмиву корисних копалин при гідровидобутку;
- структурна схема зв'язків параметрів для ефективного управління технологією гідромеханічного видобутку бурштину.

Реалізація результатів роботи. Обґрунтована та розроблена технологічна схема гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків на родовищі біля с. Бережниця у Володимирецькому районі Рівненської області (акт впровадження № 48 від 23.12.2015 р., ТП «Машинобудівні технології Полісся»), методика розрахунку продуктивності гідромеханічного видобутку бурштину (акт впровадження № 27 від 20.04.2015 р., ТОВ «РІВНЕ БУРШТИН», Рівненська область, м. Рівне) та методика розрахунку показників ефективності гідромеханічного видобутку бурштину (акт впровадження № 12 від 17.06.2015 р.). Проведено техніко-економічне обґрунтування технології гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків (акт впровадження № 19 від 20.11.2015 р., ПГО «Технологічний парк» «Машинобудівні технології Полісся»), згідно якого економічний ефект від впровадження розробленого методу на стадії проектування та опробування видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків родовища в с. Бережниця Володимирецького району Рівненської області складає 275 тис. грн. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес (довідка № 2719 від 10.10.2016 р., Національний університет водного господарства та природокористування, ІПО).

Особистий внесок автора полягає у формулюванні мети та ідеї роботи, завдань досліджень і наукових положень, вибір методів дослідження, виконанні теоретичного моделюванні, експериментальних лабораторних та дослідно-

промислових досліджень, обробка і аналіз отриманих результатів, впровадження результатів роботи; автором сформульовані висновки та розроблені інженерні методики, які використовуються при виконанні науково-дослідних та конструкторських робіт з обґрунтування параметрів і проектування комплексів нового технічного рівня для гідромеханічного видобутку й переробки бурштину. Основні положення роботи, які складають суть дисертації, виконані та сформульовані особисто. Текст дисертації викладено особисто автором.

Апробація результатів досліджень. Основні положення й результати дисертаційної роботи було висвітлено на науково-практичних та міжнародних науково-технічних конференціях, зокрема: щорічних науково-технічних конференціях кафедри розробки родовищ корисних копалин та кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій (2011 – 2016 рр.) НУВГП; на міжнародних конференціях «Научные аспекты глобализационных процессов» (Уфа, 03.12.2014 р.); «Наука в эпоху дисбалансів» (Київ, 30.01.2015 р.); «Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів» (Рівне, 20.02.2015 р.); «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ПРТК-2015)» (Київ, 18.05.2015 р.); «Развитие науки в XXI веке» (Харків, 14.03.2016 р.); «Розвиток промисловості та суспільства» (ДВНЗ КНУ, Кривий Ріг, 26.05.2016 р.).

Публікації. Результати досліджень за темою дисертації опубліковані в 13 наукових працях, в тому числі: 7 статей у фахових виданнях і збірниках наукових праць (3 закордонні, 1 в SCOPUS), із яких 3 одноосібно, та 2 тези доповідей у матеріалах конференцій і патент на винаходи.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загального висновку, переліку використаних літературних джерел із 136 найменувань на 14 сторінках; містить 191 сторінок машинописного тексту, в тому числі 39 рисунків і 10 таблиць, 6 додатків на 33 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми досліджень, формулюються винесені на захист наукові положення, характеризуються наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проаналізовано особливості родовищ бурштину, характеристики бурштину, як корисної копалини, існуючі методи та технології вилучення бурштину, досліджено особливості гідромеханічного способу вилучення його з піщаних покладів. Проведено огляд літератури щодо застосування різноманітних технологій видобутку корисних копалин для розробки родовищ бурштину. Проаналізовано характерні для них технічні засоби, технологічні схеми та методи розрахунків. При розгляді особливостей застосування технологій гідромеханічного способу вилучення бурштину з піщаних покладів, ґрунтуючись на працях М.Г. Лустюка, В.Я. Корнієнко, Є.А. Кононенко, Ю.М. Мішина, Є.З. Маланчука, Н.Р. Малухіна, Н.І. Бабічева, А. Matka, R. Kramarska, V. Sivkov виділено фактори, які впливають на ефективність і надійність розглянутих технологій при формуванні та розробці родовищ такого типу. Для обґрунтування методів розрахунків параметрів технологій гідромеханічного способу вилучення бурштину з піщаних покладів, з

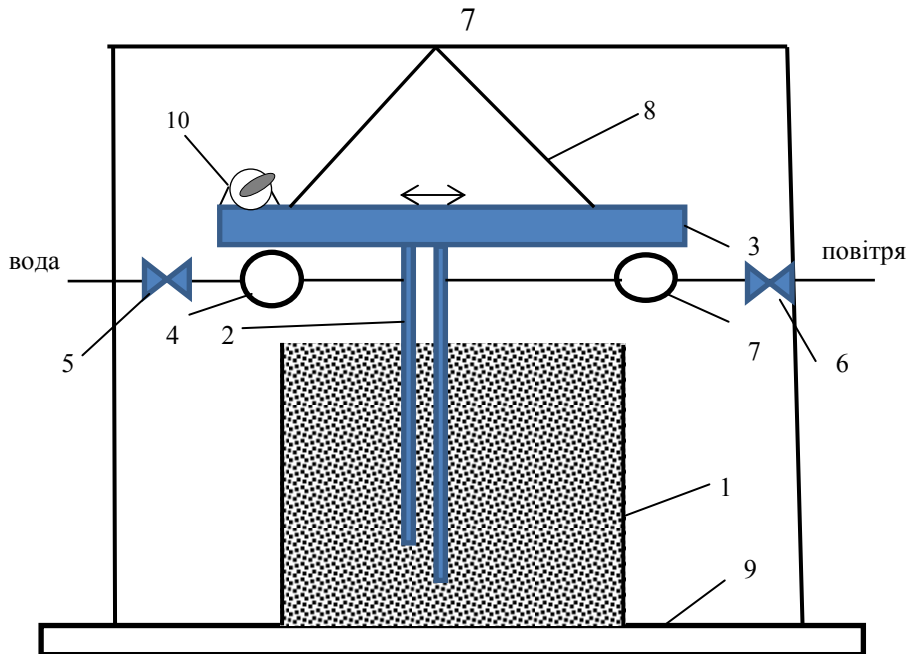
урахуванням виділених факторів, були проаналізовані методи розрахунку, запропоновані відомими вченими та фахівцями провідних інститутів в галузі гірничої механіки і технологій гідромеханізації – І.І. Блехманом, В.М. Потураєвим, О.І. Волошиним, Б.О. Блюссом, В.П. Надутим, В.Ф. Хникіним, І.О. Садовенко, А.О. Бондаренко, Й.А. Кузьміч, М.А. Лаврентьєвим, Б.В. Войцеховським, Р.А. Атановим, Б.А. Теодоровичем, А.М. Журавським, Є.В. Семененко, Р.Н. Ніконовим, В.С. Мучником, Н.Ф. Цяпко. Існуючі на сьогоднішній день технічні засоби реалізації процесу гідромеханічного видобутку бурштину не в повній мірі задовольняють вимогам, а саме, розроблені технології не гарантують повноту виймання корисного компонента з вміщаючих порід та не завжди ефективно використовують робочу рідину. Доведено, що ефективність роботи гідромеханічних видобувних установок, обсяги споживання енергії, води, повітря, а також кількість видобутого корисного компонента, на пряму залежать від тривалості гідромеханічного впливу на піщаний масив, тобто від швидкості з якою частинки бурштину спливають на денну поверхню. Залежність цієї величини від факторів технології гідромеханічного видобутку, властивостей покладів та корисної копалини залишилися поза увагою багатьох дослідників, хоча від цього залежить продуктивність, енергоємність та водоспоживання технології видобутку.

На підставі проведеного аналізу сформульовано мету і завдання досліджень.

У другому розділі досліджено процес гідромеханічного впливу на піщані поклади та виявлено основні залежності параметрів процесу гідромеханічного вилучення бурштину з бурштиновмісних покладів, таких як швидкість спливання бурштину та пористість бурштиновмісного середовища, при зміні витрати повітря та незмінній частоті коливань.

Експериментальні дослідження включали лабораторні та натурні дослідження процесу вилучення бурштину. Лабораторні дослідження проводились на лабораторній установці (рис. 1), в якій вільно засипане піщане середовище з бурштином (табл. 1) продувалося повітрям через форсунку з різною інтенсивністю. Вологість ґрунту змінювалась завдяки додаванню води. Вода подавалась насосом від водопровідної мережі тиском від 0 до 0,2 МПа, повітря ж пересувним компресором під тиском від 0 до 0,2 МПа. Регулювання тиску здійснювалось дроселями і вимірювалось манометрами тиску. Витрати повітря фіксувались лічильником G2,5, витрати води – лічильником „Роса”СГР-1,5. Тривалість процесу замірялась електронним секундоміром. Досліджувались зміна пористості та густини піщаного середовища та рух бурштину в масиві (рис. 2–4). Випробовування відбувалось в піску з такими властивостями: вологість – 17%, густина – 1950 кг/м³.

Натурні дослідження проводились на протязі 2011–2015 років, в літній період в с. Бережниця Володимирецького району з використанням існуючих стандартних повірених засобів вимірювання та установки для гідромеханічного вилучення бурштину на основі кран-балки (рис. 5). Дослідженнями підтверджена ефективність гідромеханічного способу вилучення бурштину з родовищ і придатність його для добування бурштину з місцевих родовищ (рис. 6, 7). В процесі експериментів не спостерігалось винесення породи на поверхню родовища. Розкопки вибою підтвердили відсутність порожнин в масиві та експериментами підтверджена екологічна безпечність способу.



1 – прозорий короб; 2 – стрижні з насадками для подачі води і повітря;
 3 – плита; 4, 7 – лічильник води “Роса” СГР-1,5 і лічильник повітря G2,5;
 5, 6 – клапани для регулювання подачі води і повітря; 8 – гнучкі підвіси плити;
 9 – нерухома станина; 10 – ударний механізм з ексцентриком
 Рисунок 1 – Лабораторна установка дослідження параметрів процесу гідромеханічного видобутку бурштину з піщаних покладів

Таблиця 1 – Основні фізико-механічні характеристики бурштиновмісного піску

Показник	Дослідження	
	лабораторні	натурні
1. Тип ґрунту	супісок	супісок
2. Природна вологість (W , %)	12...15	17...20
3. Щільність ґрунту (ρ_{sp} , кг/м ³)	1490...1960	1900...2010
4. Коефіцієнт пористості (e)	0,72...0,79	0,72...0,79

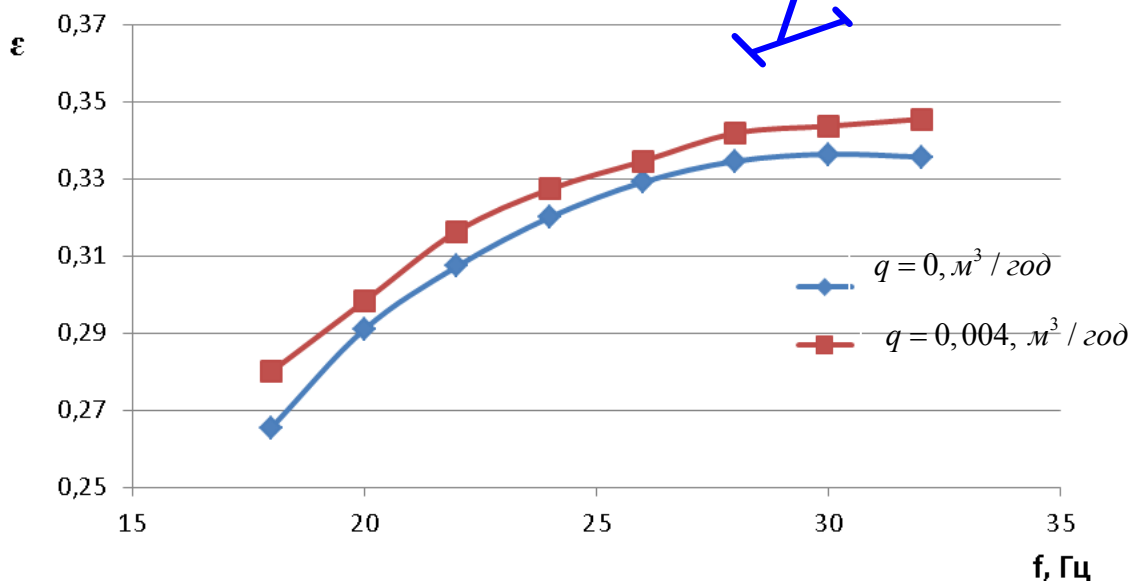


Рисунок 2 – Залежність пористості піщаного середовища від частоти коливань, при різних подачах повітря

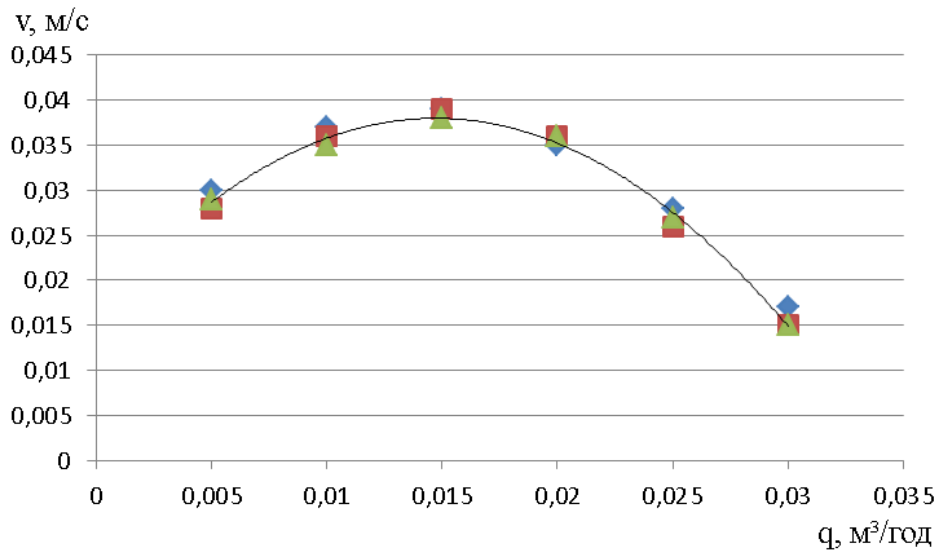


Рисунок 3 – Залежність швидкості спливання бурштину, при зміні витрати води від 0,005 до 0,030 м³/год

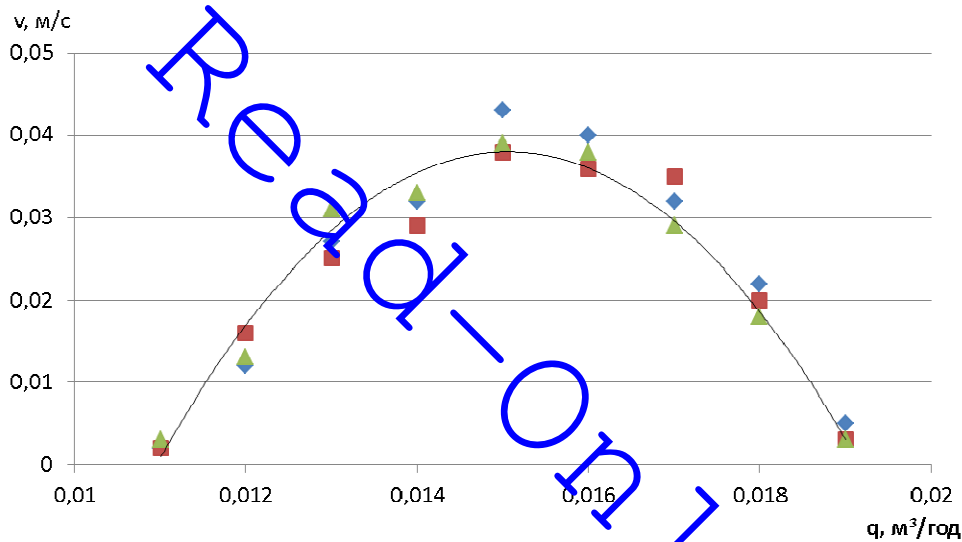


Рисунок 4 – Залежність швидкості спливання бурштину від подачі повітря, при незмінній витраті води

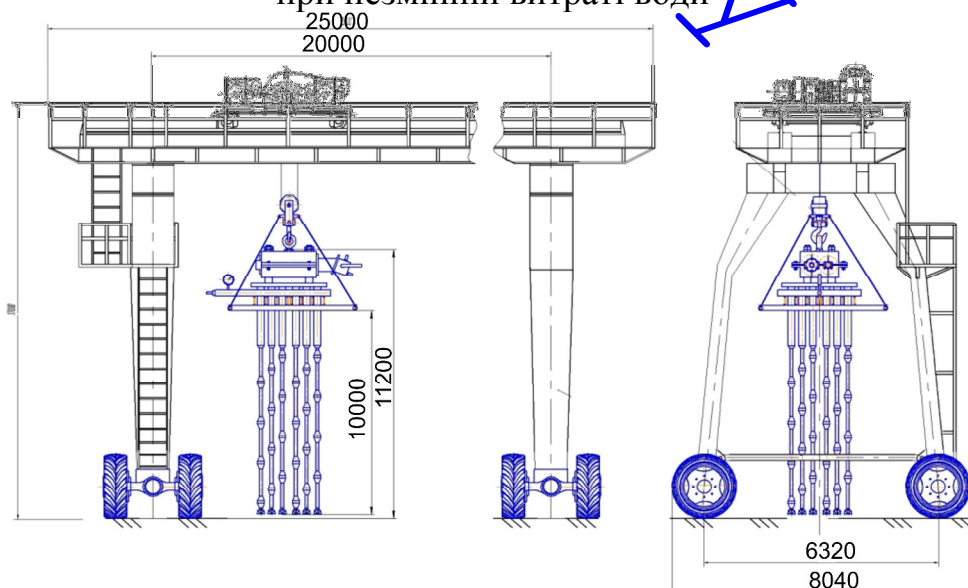


Рисунок 5 – Установа для гідромеханічного вилучення бурштину на основі кран-балки, що використовувалась при натурних дослідженнях

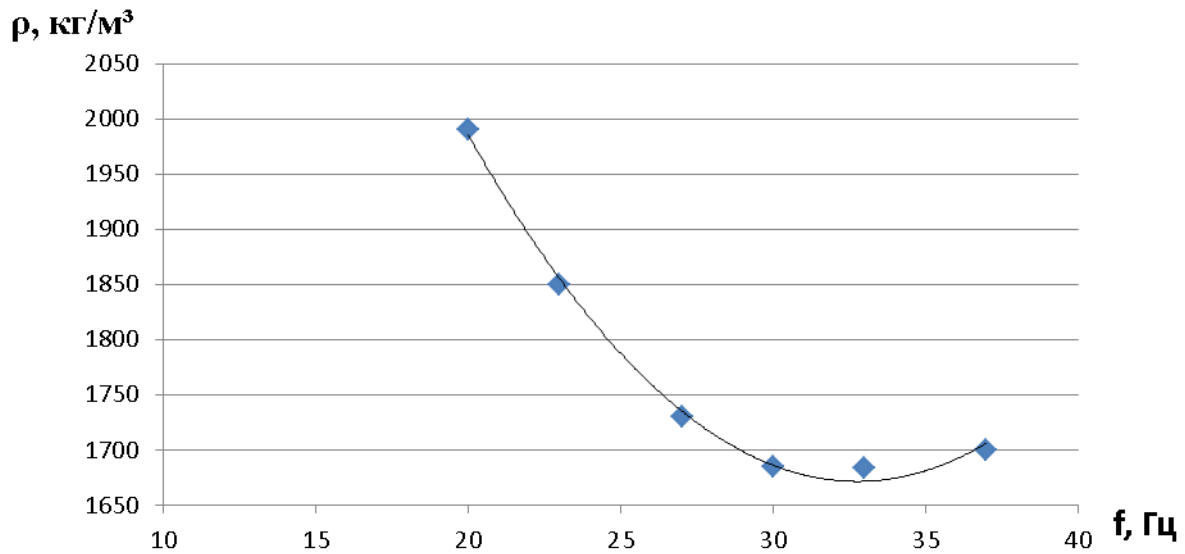


Рисунок 6 – Залежність густини середовища від частоти вібрації при натурних експериментальних дослідженнях

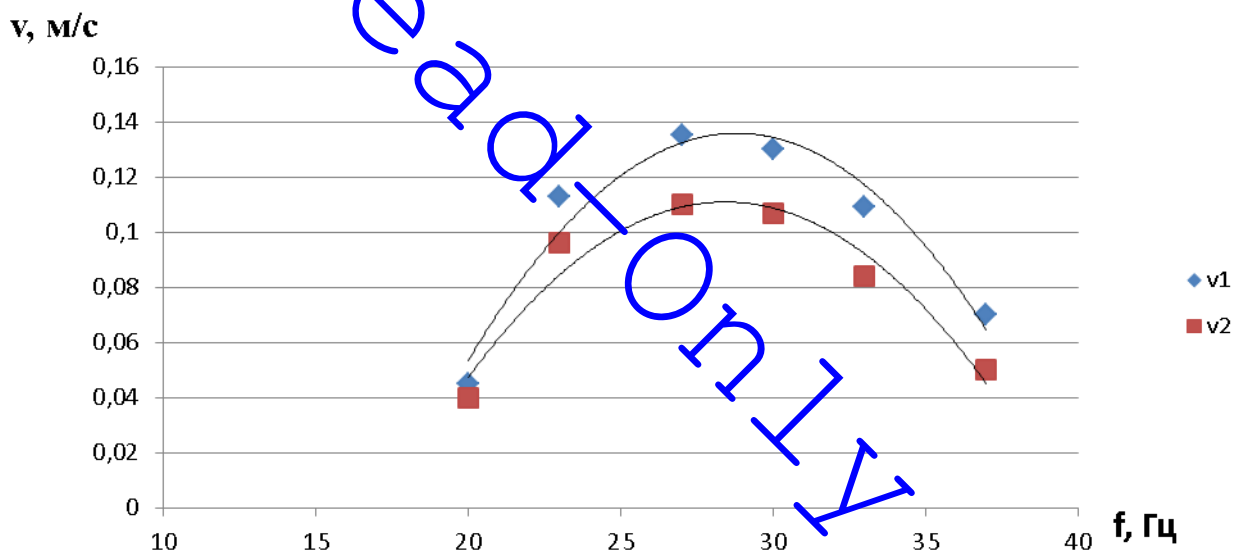


Рисунок 7 – Залежність швидкості спливання бурштину від частоти вібрації при натурних експериментальних дослідженнях (v_1 , v_2 – при подачі повітря відповідно $q_{п} = 0.004$ м³/год та $q_{п} = 0.006$ м³/год)

Вперше отримано результати експериментальних досліджень одночасного впливу частоти коливань джерела вібрації та величини подачі повітря в піщаний масив на швидкість спливання бурштину та пористість масиву (рис. 2, 8, 9), які демонструють явний прояв двох областей максимальних швидкостей спливання бурштину. Враховуючи отримані результати експерименту, залежність швидкості спливання бурштину від частоти вібрації та витрати повітря в масив апроксимуємо наступним чином ($R^2 = 0,704$):

$$v = -0,033 \cdot q^2 + 0,0031 \cdot q \cdot f - 0,0059 \cdot f^2 - 0,018 \cdot q + 0,0097 \cdot f + 0,109,$$

де v – швидкість спливання бурштину, м/с; f – частота коливань робочого органу, Гц; q – витрата повітря, м³/год.

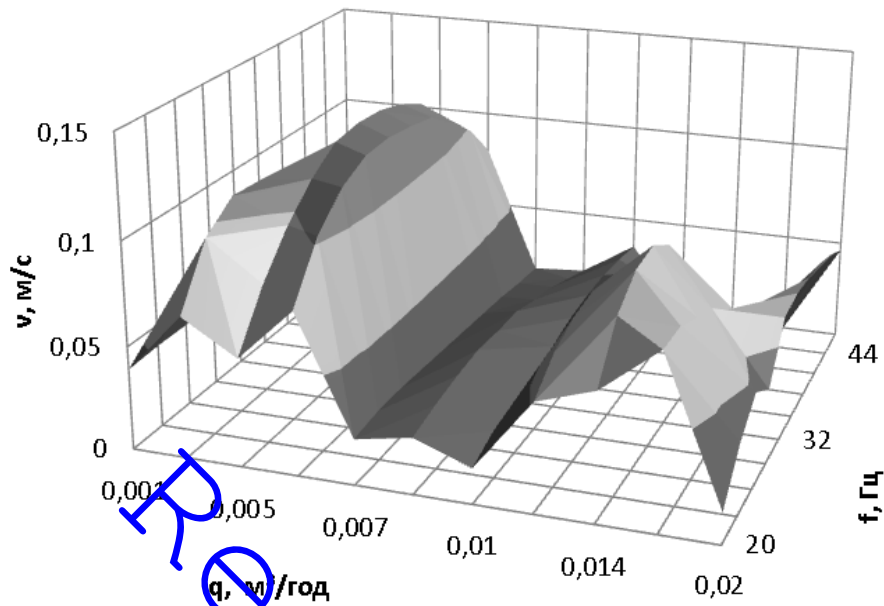


Рисунок 8 – Залежність швидкості спливання бурштину від частоти коливань та подачі повітря в водонасичений масив в лабораторних умовах

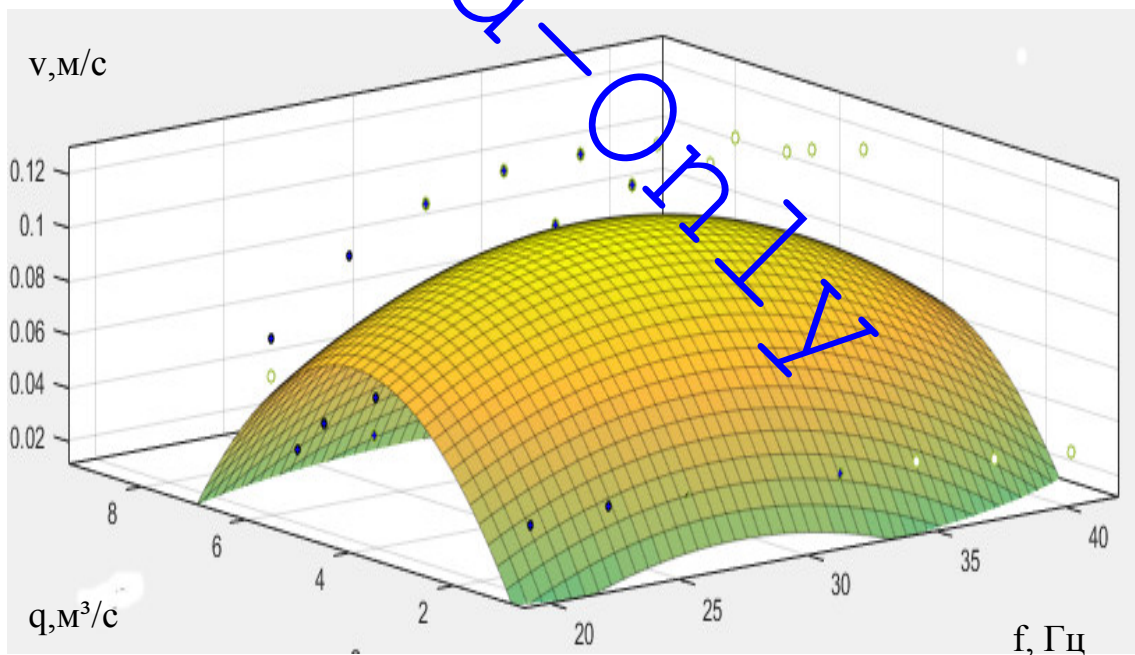


Рисунок 9 – Залежність швидкості спливання бурштину від частоти вібрації та подачі повітря при натурних експериментальних дослідженнях

Експериментальними дослідженнями встановлено раціональну густину середовища ($\rho_c = 1670 - 1750$ кг/м³), що досягається впливом на нього з частотою коливань 26 – 36 Гц, раціональна подача повітря в масив становить $q_n = 0,004 - 0,007$ м³/год., при якій швидкість спливання бурштину $v = 0,09 - 0,12$ м/с.

Залежність пористості піщаного масиву від частоти коливань та витрати повітря при одночасному впливі вібрації та подачі повітря пропонується описувати наступними формулами:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\omega} \varepsilon_q, \quad \varepsilon_{\omega} = -0,1023 + 0,0294 f - 0,0005 f^2, \quad \varepsilon_q = 0,995 + 18,431 q + 3326,1 q^2,$$

де ε_{ω} – пористість масиву при вібраційному впливі без подачі повітря ($R^2 = 0,995$); ε_q – коефіцієнт зміни пористості при вібраційному впливі за рахунок подачі в масив повітря ($R^2 = 0,996$).

У **третьому розділі** наведено результати теоретичних досліджень процесу спливання бурштину в піщаних покладах під дією коливань робочого органу та повітря що подається. Вперше розроблено математичну модель цього процесу, досліджено залежність швидкості спливання бурштину від витрати повітря, частоти коливань, співвідношення густини частинок середовища та бурштину. Отримано формулу для розрахунку максимальної швидкості спливання бурштину за таких умов та обґрунтовано формулу для витрати повітря, яка забезпечує максимальну швидкість спливання бурштину.

Опираючись на результати експериментальних досліджень, було проаналізовано відомі моделі спливання частинок в сипкому середовищі, зроблено оцінку впливовості діючих сил та факторів. Це дозволило запропонувати для моделювання процесу диференціальне рівняння другого порядку, що враховує сили інерції, ваги частинки, приєднаної маси, Архімеда, силу сухого опору твердих частинок середовища та силу в'язкого опору середовища в зрідженому стані.

Сила опору піщаного шару руху бурштину передбачалася пропорційною вазі піщаних частинок в об'ємі частинки бурштину

$$F = gM\varphi \frac{\rho_c}{\rho_s},$$

де F – сила опору шару піщаних покладів руху бурштину, Н; M – маса частинки бурштину, кг; φ – коефіцієнт сили опору піщаного середовища руху частинки бурштину; ρ_s – густина бурштину, кг/м³; ρ_c – густина середовища у зрідженому стані, кг/м³.

Для визначення значення коефіцієнта φ було використано математичну модель І.І. Блехмана та результати експериментальних досліджень (рис. 10):

$$\varphi = \sqrt{1 + \frac{\alpha}{k_m v} \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_c}\right)}, \quad \alpha = \begin{cases} Af, & A^2 f < kg \\ \frac{kg}{f}, & A^2 f > kg \end{cases}$$

де A – амплітуда коливань робочого органу; k_m – коефіцієнт приєднаної маси; k – коефіцієнт тертя.

Це дозволило для умов гідромеханічного вилучення бурштину з піщаних покладів рекомендувати узагальнене значення цього коефіцієнта $\varphi = 0,325$.

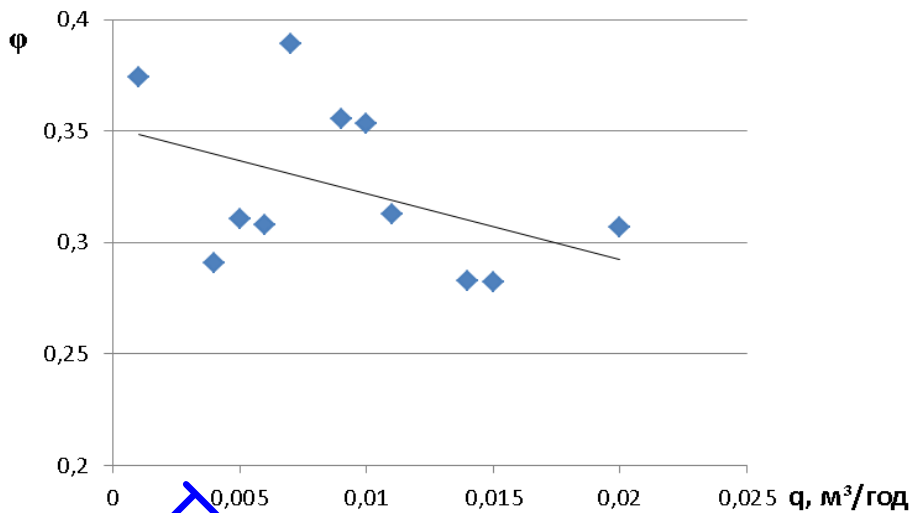


Рисунок 10 – Залежність коефіцієнта φ від витрати повітря

Для визначення кінематичної в'язкості середовища в зрідженому стані були використані відомі моделі, що рекомендовані для розрахунків параметрів процесів у віброкиплячому шарі, що дозволило запропонувати наступну залежність для швидкості спливання бурштину (рис. 11):

$$U = \left(1 - \left[\gamma + \beta z + \alpha z^2\right] \varepsilon_{\omega}\right)^m z^{1,3}, \quad (1)$$

$$U = \frac{Re}{W}, \quad m = \frac{1}{2} \frac{\Delta + 1}{\Delta - 1}, \quad z = \frac{\tilde{q}}{\tilde{q}_{\omega}}, \quad Re = \frac{vd}{\nu_g}, \quad \Delta = \frac{\rho_0}{\rho_s}, \quad W = w \frac{\Delta - 1}{2,2 \Delta^{0,407} \varepsilon_{\omega}^{1,414}},$$

$$w = \frac{1 - \varphi}{13,45K} \left(\frac{\rho_s}{\rho_g}\right)^{0,593} \left(\frac{d}{\delta}\right)^3 Gm^{0,265}, \quad Gm = \frac{g \delta^2}{\nu_g^2}, \quad K = \left(\frac{\sqrt[3]{g \nu_g h_{dd}^2}}{1,37 \tilde{q}_{\omega}}\right)^{1,414},$$

де U – безрозмірна швидкість спливання бурштину; z – безрозмірна витрата повітря; \tilde{q} – витрата повітря, м³/с; ν_g – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м²/с; d – діаметр частинки бурштину, м; ρ_s – густина бурштину, кг/м³; ρ_0 – густина водо-піщаного середовища, кг/м³; δ – діаметр частинок піщаного середовища, м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; ρ_g – густина повітря, кг/м³; h_{dd} – довжина конусної насадки робочого органу, м; \tilde{q}_{ω} – характеристична витрата повітря, $\tilde{q}_{\omega} = 0,000217$, м³/с; K – безрозмірна технологічна константа.

Порівняння результатів розрахунків за формулою (1), які були проведені для частоти 30 Гц, з результатами експериментальних досліджень (рис. 3, 4), свідчать про задовільну точність розрахунків в межах витрати повітря від 0,014 до 0,025 м³/год., оскільки відносна похибка результатів розрахунків не перевищує 10 % (рис. 12).

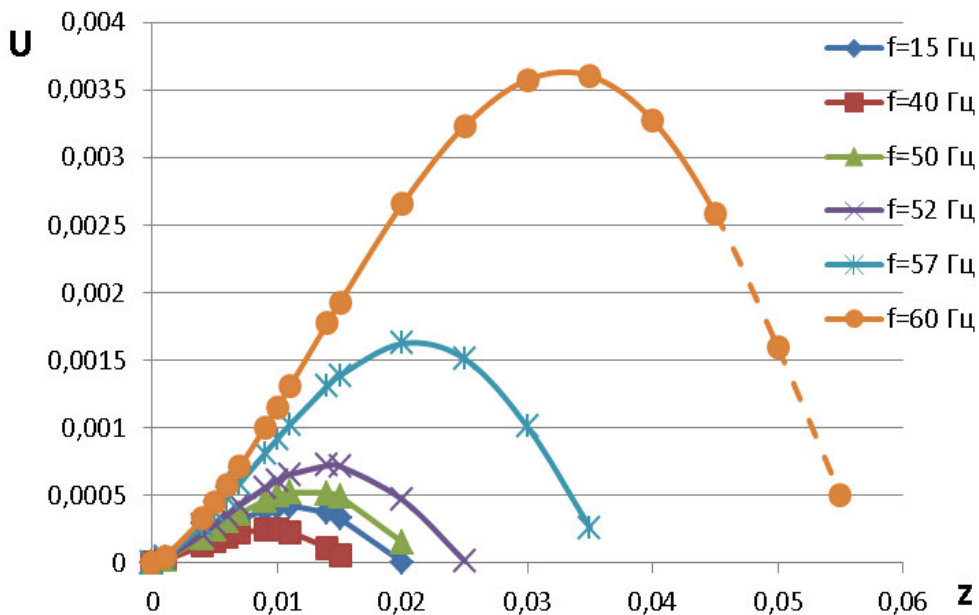


Рисунок 11 – Залежність величини U від безрозмірної витрати повітря для різних частот коливання робочого органа

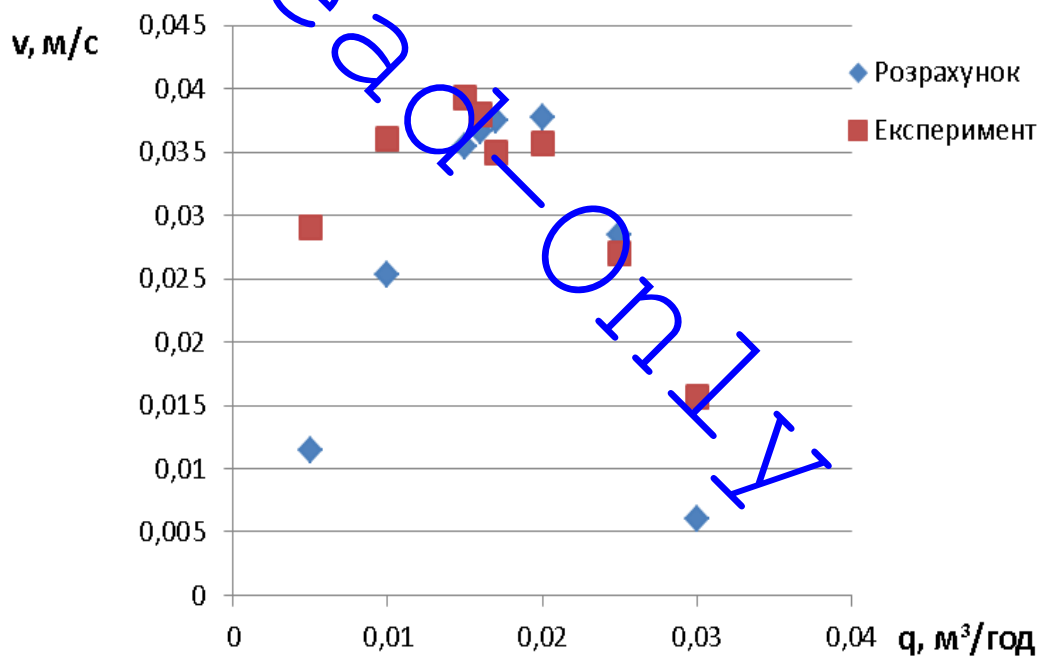


Рисунок 12 – Порівняння результатів розрахунків швидкості спливання бурштину з результатами експериментальних досліджень

За допомогою математичної моделі (1) було отримано аналітичні залежності для розрахунку максимально можливої за даних умов швидкості спливання бурштину, та витрати повітря, яка забезпечує цю швидкість (рис. 13, 14):

$$\text{Re}_{\max} = \frac{w\gamma^m}{500} \frac{\Delta^{1,86}}{\varepsilon_\omega^{2,064}}, \quad z_{\max} = 0,008 \frac{\Delta^{0,281}}{\sqrt{\varepsilon_\omega}}. \quad (2)$$

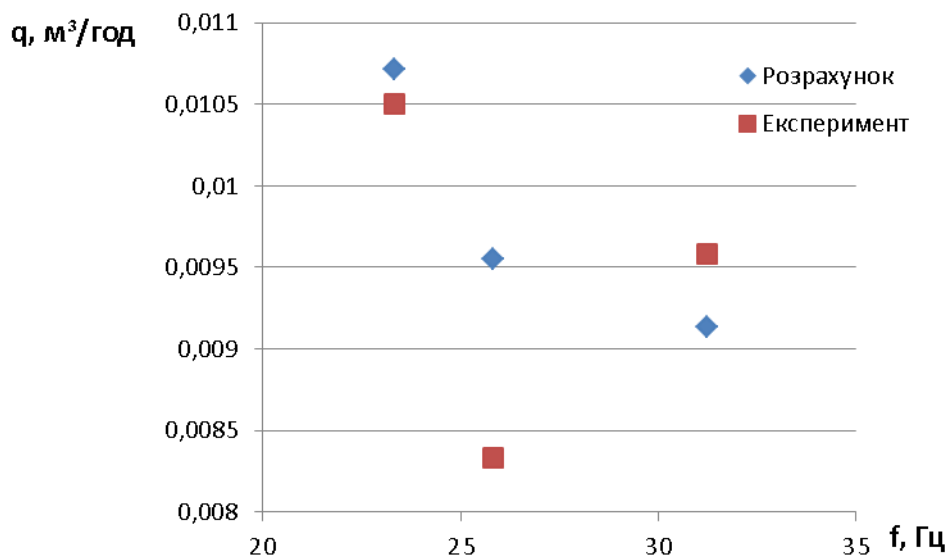


Рисунок 13 – Залежність витрати повітря, що забезпечує максимальну швидкість спливання бурштину, від частоти коливань робочого органа

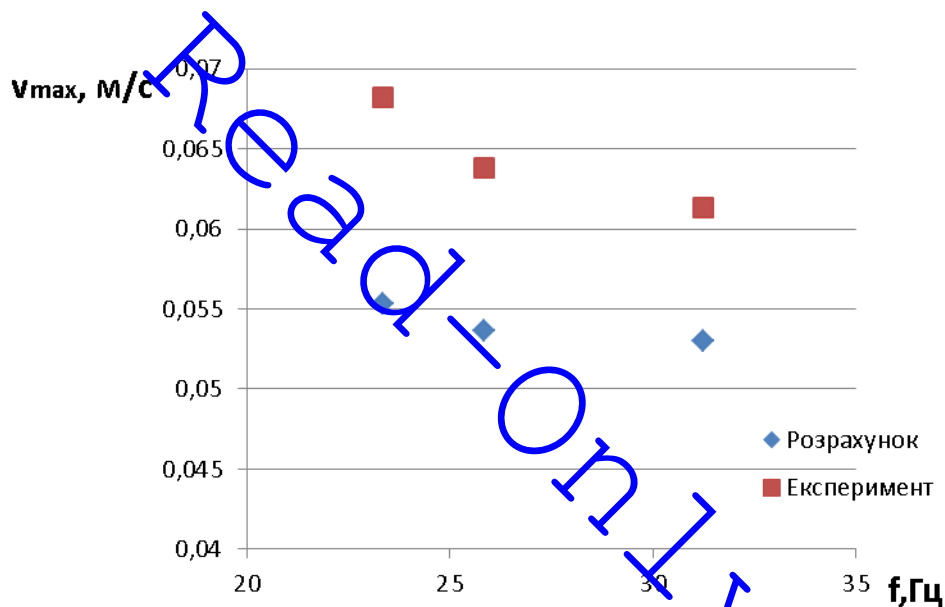


Рисунок 14 – Залежність максимальної швидкості спливання бурштину, від частоти вібрації

У четвертому розділі розроблено методики розрахунку параметрів гідравлічного та гідромеханічного способів вилучення бурштину з бурштиновмісних пісків, а також наведені результати впровадження наукових розробок в промислових умовах.

Використовуючи отримані експериментальним шляхом залежності параметрів гідромеханічного вилучення бурштину пропонується здійснювати управління процесом гідромеханічного вилучення бурштину на основі контролю частоти та амплітуди коливань робочого органа, витрат води та повітря в масив на його розрідження а також забезпечення максимальної швидкості спливання бурштину.

Розроблена методика розрахунку для визначення основних параметрів технологічних процесів (рис. 15, 16): розрідження та руйнування бурштиновмісних пісків під тиском води; спливання на денну поверхню під діє гідромеханічних чинників.



Рисунок 15 – Технологічна схема гідромеханічного вилучення бурштину

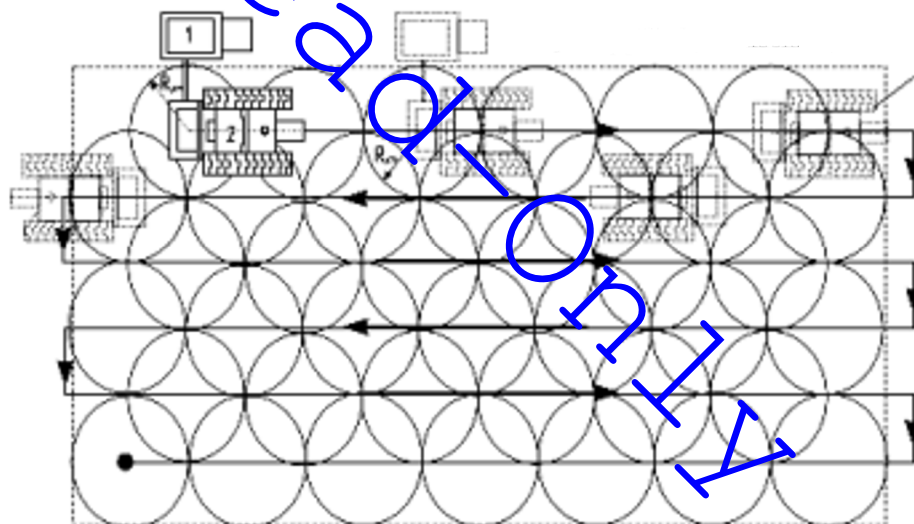


Рисунок 16 – Схема роботи установки на місці видобутку бурштину

Розроблено методику розрахунку продуктивності гідромеханічного видобутку бурштину з піщаних покладів та проведено техніко-економічне обґрунтування технологічних параметрів гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків.

Запропоновано нові рекомендації з обґрунтування параметрів та технологічних схем для гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків, які не потребують проведення додаткових рекультиваційних робіт, забезпечують підвищення ефективності вилучення бурштину з 50 до 90 %, продуктивності технології з 100 до 130 кг, а також зменшення водоспоживання на 20 %.

Впровадження розроблених рекомендацій та методів розрахунків параметрів

гідромеханічної технології видобутку бурштину з піщаних покладів в умовах родовища в с. Бережниця Володимирецького району Рівненської області дозволило отримати очікуваний економічний ефект в розмірі 275 тис. грн. Відзначимо, що такий економічний ефект був отриманий за рахунок зниження енергоємності процесу, а також зменшення капітальних витрат на проведення додаткових рекультиваційних робіт.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача встановлення степеневих залежностей раціональної витрати повітря, що потрібна для видобутку, та максимальної швидкості спливання частинки в сипкому середовищі при дії вібраційного впливу та подачі повітря в масив, від частоти коливань, співвідношень густин та розмірів частинок піщаних покладів та бурштину, розробки на цій основі методики розрахунку та рекомендацій з обґрунтування параметрів гідромеханічного видобутку бурштину, впровадження яких дозволило підвищити продуктивність видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків родовищ Рівненсько-Волинського регіону та отримати очікуваний економічний ефект в розмірі 275 тис. грн.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. На сьогодні видобуток бурштину потребує новітніх технологій і удосконалення технічних та технологічних засобів для інтенсифікації процесу видобутку, при якому досягається вища продуктивність та ефективність, а також зменшення негативного екологічного впливу на навколишнє середовище. Найбільш раціональним є впровадження гідромеханічного способу видобутку бурштину, який не потребує проведення витратних геологорозвідувальних та рекультиваційних робіт, характеризується мінімальними капітальними та експлуатаційними затратами, та має перспективу удосконалення шляхом керування швидкістю спливання бурштину з піщаних покладів зміною витрати повітря та частоти коливання робочого органу.

2. Експериментальними дослідженнями підтверджено можливість керування видобутком, енергоємністю та водоспоживанням при гідромеханічному вилученні бурштину з піщаних покладів за рахунок зміни швидкості його спливання на денну поверхню від 0,09 до 0,12 м/с, шляхом вибору частоти коливань робочого органу від 26 до 36 Гц та амплітуди від 1,0 до 2,4 мм, витрат рідини від 0,005 до 0,030 м³/год та повітря від 0,004 до 0,006 м³/год.

3. Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено, що при гідромеханічному видобутку бурштину з піщаних покладів відношення сили, яка перешкоджає переміщенню частинки у сипкому середовищі, до об'єму частинки, густини середовища та прискорення вільного падіння дорівнює 0,325.

4. Вперше встановлено, що максимально можлива швидкість спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів прямо пропорційна квадрату співвідношення діаметрів частинок бурштину та середовища, й обернено пропорційна квадрату пористості ґрунту, яка виникає при коливанні робочого органу з частотою від 20 до 35 Гц без постачання повітря, а її

залежність від співвідношення густин частинок ґрунту та матеріалу, що видобувається, описується степеневою функцією з додатним дробовим показником 1,86.

5. Показано, що залежність витрати повітря, що відповідає максимуму швидкості спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів, від співвідношення густин частинок покладів та цінного компоненту описується степеневою функцією з додатним дробовим показником 0,281, коефіцієнт пропорційності якої обернено пропорційний кореню квадратному з пористості середовища, яка виникає при коливанні робочого органу з частотою від 20 до 35 Гц без постачання повітря.

6. Вперше розроблено модель процесу спливання бурштину при гідромеханічному видобутку з піщаних покладів, яка встановлює залежність між швидкістю спливання частинки та фізичними й геометричними характеристиками родовища, а також частотою коливань робочого органу та витратою повітря.

7. Вперше для гідромеханічної технології видобутку корисних копалин отримана залежність оптимальної витрати повітря від геометричних та фізичних властивостей покладу та матеріалу, що видобувається, з врахуванням частоти коливання робочого органу. Таким чином, удосконалено метод розрахунку технологічних параметрів видобутку бурштину з піщаних родовищ гідромеханічним способом, що дозволить забезпечити мінімальну тривалість впливу на масив та знизити енергоємність та водоспоживання технології видобутку.

8. Вперше розроблена структурна схема взаємозв'язків основних технологічних параметрів гідромеханічного видобутку бурштину, яка дозволяє автоматизувати процес видобутку та контролювати всі технологічні параметри вилучення бурштину, з вилученням до 90 % бурштину від загальних запасів за рахунок вилучення дрібних фракцій.

9. Розроблена методика розрахунку основних технологічних параметрів розрідження бурштиновмісних пісків при гідромеханічному видобутку бурштину та запропоновано нові рекомендації з обґрунтування параметрів та технологічних схем для гідромеханічного видобутку бурштину з бурштиновмісних пісків, які не потребують проведення додаткових рекультиваційних робіт, забезпечують підвищення ефективності вилучення бурштину з 50 до 90 %, продуктивності технології з 100 до 130 кг, а також зменшення водоспоживання на 20 %.

10. Впровадження розроблених рекомендацій та методів розрахунків параметрів гідромеханічної технології видобутку бурштину з піщаних покладів в умовах родовища в с. Бережниця Володимирецького району Рівненської області дозволило отримати очікуваний економічний ефект в розмірі 275 тис. грн. Відзначимо, що такий економічний ефект був отриманий за рахунок зниження енергоємності процесу, а також зменшення капітальних витрат на проведення додаткових рекультиваційних робіт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Христюк А. А. Особенности применения технологии скважинной гидродобычи полезных ископаемых / Сборник научных статей «Научные аспекты глобализационных процессов». г. Уфа, Россия, 2014. С. 17–20.

2. Христюк А. О. Аналіз існуючих способів та технологічних засобів гідромоніторного розмиву / Вісник Інженерної академії наук. Київ, 2015. Вип. № 1. С. 236–240.

3. Malanchuk Z., Malanchuk E., Khrystyuk A. Simulation of the comminution process to complex processing of metal-bearing basalt raw material / Cambridge Journal of Education and Science, 2015. No 2 (14), July-December. pp. 542–549.

4. Маланчук Є. З., Христюк А. О. Вибір та обґрунтування координат управління та керуючих впливів гідромоніторного розмиву корисних копалин / Вісник НУВГП. Зб. наук. праць. Рівне, 2015. Вип. № 4(72). С. 242–247.

5. Маланчук Є. З., Христюк А. О. Математичне моделювання процесів свердловинного гідровидобутку розсипних корисних копалин / Вісник Інженерної академії наук. Київ, 2015. Вип. № 4. С. 187–194.

6. Маланчук Є. З., Христюк А. О. Результати натурних досліджень автоматизованого телевізійного комплексу свердловинного гідровидобутку на розсипних родовищах / Вісник НУВГП. Зб. наук. праць. Рівне, 2016. Вип. №2(74). С. 125–132.

7. Христюк А. О. Розробка системи автоматичного керування гідровидобутком корисних копалин з розсипних родовищ / Сб. статей. Развитие науки в 21 веке. Харьков, 2016. С. 160–164.

8. Malanchuk Z., Malanchuk E., Khrystyuk A. Mathematical modeling of hydraulic mining from placer deposits of minerals / Mining of Mineral Deposits. National mining university, 2016. №10. pp. 18–24.

9. Malanchuk Z., Malanchuk E., Khrystyuk A. Results of experimental studies of amber extraction by hydromechanical method in Ukraine / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, – 2016. Vol 3, №10(81). pp. 24–28. **SCOPUS**

10. Христюк А. О. Технологічні особливості свердловинного гідровидобутку корисних копалин / Вісник НУВГП: Зб. наук. праць. Рівне, 2016. Вип. № 1(73). С. 110–115.

11. Христюк А. О. Аналіз умов ефективного застосування свердловинного гідровидобутку / Зб. наук. пр. Міжнародної конференції «Наука в епоху дисбалансів». Київ, 2015. С. 26–30.

12. Христюк А. О. Моделювання процесу свердловинного гідровидобутку / Матеріали Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів». Рівне, 2015. – С. 170.

13. Маланчук Є. З., Христюк А. О. Спосіб керування процесом розмиву корисних копалин при свердловинному гідровидобутку: пат. 107522 Україна. № 201512454 ; заявл. 16.12.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 11. 4 с.

Внесок автора в роботи, опубліковані в співавторстві:

[3] – проведено аналіз розробки техногенних родовищ корисних копалин; [4] – обґрунтовано координати управління, проведено аналіз керуючих впливів процесу розмиву корисних копалин; [5; 6; 8] – розроблено математичну модель та проведено моделювання процесу гідровидобутку розсипних корисних копалин; [9] – участь в проведенні експериментальних досліджень, проведення математичної обробки отриманих результатів; [13] – обґрунтовано новий спосіб контролю та керування процесом розмиву корисних копалин.

АНОТАЦІЯ

Христюк А.О. Обґрунтування параметрів процесу гідромеханічного вилучення бурштину з піщаних покладів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнича механіка”. – Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, 2017 р.

Дисертація присвячена обґрунтуванню основних факторів що впливають на підвищення продуктивності технології видобутку а також встановлення залежностей максимальної швидкості спливання бурштину та раціональної витрати повітря, що її забезпечує, від параметрів коливань робочого органу, фізичних та гранулометричних характеристик бурштиновмісного середовища та матеріалу, що видобувається гідромеханічним способом, що має важливе значення для підвищення ефективності технологій вилучення бурштину з піщаних покладів.

Ідея роботи полягає у використанні встановлених залежностей максимальної швидкості спливання бурштину та раціональної витрати повітря, що її забезпечує, в залежності від параметрів коливань робочого органу, фізичних і гранулометричних характеристик родовища та матеріалу, що видобувається, для зниження енергоємності та водоспоживання процесу гідромеханічного вилучення бурштину.

В дисертаційній роботі запропоноване рішення актуальної наукової задачі, яка полягає у встановленні залежностей максимальної швидкості спливання бурштину та раціональної витрати повітря, що її забезпечує, від параметрів коливань робочого органу, фізичних та гранулометричних характеристик бурштиновмісного середовища та матеріалу, що видобувається гідромеханічним способом, що має важливе значення для підвищення ефективності технологій вилучення бурштину з піщаних покладів.

Ключові слова: бурштин, гідромеханічний видобуток, параметри процесу вилучення, пористість, швидкість спливання, піщаний поклад.

АННОТАЦИЯ

Христюк А.А. Обоснование параметров процесса гидромеханического извлечения янтаря из песчаных залежей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – геотехническая и горная механика. – Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, 2017 г.

Диссертация посвящена обоснованию основных факторов, которые влияют на повышение производительности технологии добычи, а также установление зависимостей максимальной скорости всплытия янтаря и обеспечивающего ее рационального расхода воздуха от параметров колебания рабочего органа, физических и гранулометрических характеристик залежи и материала, добываемого гидромеханическим способом, что имеет существенное значение для повышения эффективности технологий извлечения янтаря из песчаных залежей.

Идея работы состоит в использовании установленных зависимостей максимальной скорости всплытия янтаря и рационального расхода воздуха,

который ее обеспечивает, в зависимости от параметров колебаний рабочего органа, физических и гранулометрических характеристик среды и добываемого материала для снижения энергоемкости и водопотребления процесса гидромеханического извлечения янтаря.

В диссертационной работе предложено решение актуальной научной задачи, которая заключается в установлении зависимостей максимальной скорости, от параметров колебаний рабочего органа, физических и гранулометрических характеристик среды содержащей янтарь и материала добываемого гидромеханическим способом, что имеет существенное значение для повышения эффективности технологий извлечения янтаря из песчаных залежей.

Ключевые слова: янтарь; гидромеханическая добыча; параметры процесса извлечения; пористость; скорость всплытия; песчаные залежи.

ANNOTATION

Khrystyuk A.O. The parameters substantiation of amber extraction from sandy deposits by hydromechanical method. – Manuscript

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences on specialty 05.15.09 is “Geotechnical and mountain mechanics”. – National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, 2017.

Dissertation is devoted to the substantiation of the main factors influencing the improving the efficiency of extraction technology as well as establishing dependencies density of suspended environment and the surfacing speed of amber on the flow of air and water that are given to the equipment and the fluctuation of working body to the enclosing rock, which allowed to develop a method definition of rational parameters of the proposed technology of amber extraction.

Experimental research was conducted to identify the main laws of parameters of the hydromechanical extraction amber of sand.

The idea of work is to use a set of dependencies of maximum surfacing speed of amber and efficient air flow that provides it, depending on the parameters of the working body fluctuation, physical and granulometric characteristics of the deposit and material produced to reduce energy and water consumption for proposed technology of amber extraction.

Based on the foregoing, in the dissertation provides a solution to an actual scientific problem, which based on the dependencies the definition of the maximum speed of amber surfacing and efficient air flow that it provides, of the parameters of the working body fluctuations, physical and granulometric characteristics of amber containing sand, which is important for efficiency of amber extraction technology.

Keywords: amber; hydromechanical extraction; parameters of extraction process; porosity; surfacing speed; amber containing sand.

РЕДАКЦІЯ

Підписано до друку 17.05.2017 р. Формат 60×90¹/₁₆.
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times.
Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 0,9.
Тираж 100 прим. Зам. № 5299.

Видавець і виготовлювач
Редакційно-видавничий відділ Національного університету
водного господарства та природокористування,
33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.