

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

КОСТИРЯ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 622.794.002.5 (043.3)

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
ПРИСТРОЮ КОМПЛЕКСНОЇ ДІЇ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ГІРСЬКОЇ МАСИ

05.05.06 - Гірничі машини

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національної академії наук України (м. Дніпро)

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор,
Надутий Володимир Петрович, завідувач відді-
лом механіки машин та процесів переробки мінераль-
ної сировини Інституту геотехнічної механіки ім.
М.С. Полякова Національної академії наук України
(м. Дніпро)

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент,
Полулях Олександр Данилович, головний нау-
ковий співробітник (Відокремлений підрозділ
«Український науково-дослідний і проектно-
конструкторський інститут по збагаченню та бри-
кетуванню вугілля» державного підприємства «На-
уково-технічний центр «Вуглеіновація»), м. Дніпро.

доктор технічних наук, доцент,
Бондренко Андрій Олексійович, професор кафе-
дри інжинірингу та дизайну машинобудування
(Національний технічний університет «Дніпровська
політехніка» МОН України), м. Дніпро.

Захист відбудеться "13" грудня 2019 р. о 13³⁰ 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, факс (0562)
46-24-26.

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

Автореферат розісланий "13" листопада 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор



Шевченко В.Г.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Використання нових видів гірничого устаткування та технологій видобутку, рудопідготовки та збагачення гірської маси призводить до зростання частки дрібних класів крупності в готовому продукті та необхідності їхнього зневоднення. Це, насамперед, зневоднення флотаційних концентратів на вуглезбагачувальних фабриках, вторинне збагачення техногенних відходів у вигляді шламо- та хвостосховищ, вилучення корисної копалини при гідровидобутку та гідродоставці. Необхідність вдосконалювання процесів зневоднення пов'язана з їхньою енергоємністю, тривалістю та багатостадійністю операцій.

У гірничій промисловості використовується багато методів зневоднення, такі як: вібраційний, відцентровий, вакуумний та інші, але найбільш ефективним з них є термічний, проте і найдорожчим бо вимагає значного енергоспоживання. Відомо, що капілярну вологу з матеріалу можливо видалити тільки за допомогою термічної сушки, однак цей метод є найскладнішим та енергоємним.

Одним з основних методів є вібраційне зневоднення на віброгрохотах, який вважається ефективним та економічно доцільним, однак він використовується тільки для попереднього зневоднення, оскільки залишкова вологість у матеріалі сягає близько 15-20 %.

Зневоднення на вакуум-фільтрах різних конструкцій здійснюється в безупинному режимі їхньої роботи, що є перевагою, а головні недоліки – це: досить висока вологість зневодненого осаду, значне віднесення корисного твердого продукту у фільтрат при зневодненні дрібної гірської маси з крупністю часток, менших за 1 мм, та високий опір осаду при вакуумному фільтруванні.

На основі існуючих конструкцій та методів зневоднення виникла необхідність застосування комплексного методу з використанням вібраційного, вакуумного та електроосмотичного. Застосування комплексного методу дозволяє знижувати експлуатаційні витрати, підвищувати ефективність зневоднення і вилучення порової та капілярної вологості з гірської маси.

Таким чином, *встановлення основних залежностей зміни кінцевої вологості від режимних та конструктивних параметрів зневоднюючого пристрою та на цій основі розробка узагальненої математичної моделі, здатної розраховувати зміну кінцевої вологості гірської маси, розробка нової конструкції зневоднюючого пристрою комплексної дії, є актуальним науковим завданням, що має суттєве значення для гірничо-переробної галузі.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Спрямованість дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 року "Раціональне природокористування" і "Енергетика та енергоефективність". Представлені в дисертації дослідження здійснені в рамках робіт, що виконуються в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Автор брав участь у виконанні держбюджетних тем: № III-61-12 "Наукове обґрунтування, розробка та випробування у промислових умовах удосконалених засобів підвищення ефективності видобутку вугілля, шахтного метану та засобів підготовки, переробки і транспортування мінеральної сировини" № ДР 0111U009992 (2012-2015 р. р.), № III-64-15 "Удо-

сконалення технологій та обладнання для підвищення ефективності ведення гірничих робіт за рахунок обґрунтування раціональних параметрів нових технічних рішень" № ДР 0115U002145 (2015-2017 р. р.), № III-70-17 "Динамічні режими геотехнологічних систем" № ДР 0117U003056 (2017-2021 р. р.), № III-71-18 "Розробка ефективних технічних рішень, засобів реалізації і методів розрахунку основних параметрів для підвищення технологічних показників видобутку і переробки гірської маси" № ДР 0118U003599 (2018-2020 р. р.), по яким автор був виконавцем.

Ідея роботи полягає у використанні залежностей зміни кінцевої вологості гірської маси при її комплексному зневодненні, обґрунтуванні режимних та конструктивних параметрів зневоднюючого пристрою для більш ефективного видалення зовнішньої, порової та капілярної вологи, завдяки чому отримувати гірську масу з більш низьким вмістом вологи та мінімальним споживанням електроенергії.

Мета, завдання та методи досліджень. Метою роботи є встановлення основних залежностей зміни кінцевої вологості при комплексному зневодненні гірської маси, обґрунтування режимних та конструктивних параметрів зневоднюючого пристрою для підвищення ефективності зневоднення гірської маси за рахунок використання комплексного методу зневоднення, що включає вібраційний, вакуумний та електрокінетичний.

Відповідно до поставленої мети, вирішуються **такі завдання:**

1. Провести експериментальну оцінку впливу основних режимних та конструктивних параметрів, встановити основні закономірності зміни кінцевої вологості при комплексному зневодненні з урахуванням особливостей гірської маси.
2. Встановити характер залежностей зміни кінцевої вологості від основних режимних та конструктивних параметрів, що впливають на зневоднення.
3. Розробити та впровадити нову конструкцію зневоднюючого пристрою комплексної дії та визначити його працездатність.
4. Розробити узагальнені регресійні математичні моделі, що дозволяють прогнозувати зміну кінцевої вологості в подрібненій гірській масі при комплексному зневодненні.
5. Розробити та впровадити методику визначення раціональних параметрів зневоднюючого пристрою, рекомендацій та технічної пропозиції щодо його використання.

Об'єкт дослідження – процес комплексного зневоднення подрібненої гірської маси.

Предмет дослідження – закономірності впливу режимних та конструктивних параметрів пристрою на процес комплексного зневоднення гірської маси.

Методи досліджень. В роботі використовувалися: аналіз та узагальнення наукової інформації з теорії і практики зневоднення, механіки гірських порід та конструювання гірничих машин, методи та методики досліджень зневоднення гірських порід, методи математичної статистики, у тому числі сучасні пакети комп'ютерних програм для статистичної обробки результатів експериментів.

Наукові положення, що захищаються в дисертації:

1. Продуктивність зневоднюючого пристрою квадратично залежить від кута нахилу робочого органа, площі перфорованої поверхні, початкової вологості, збуджуючої сили та частоти оберту вала віброзбудника та лінійно залежить від напруги на електроді та розрідження у вакуумній камері, так при зміні кута нахилу робочого органу в межах від 5 град до 20 град та збуджуючої сили віброзбудника від 0,5 кН до 0,8 кН продуктивність збільшується з 0,5 т/годину до 2,2 т/годину, в залежності від геометричних параметрів пристрою.

2. При комплексному зневодненні гірської маси величина зміни кінцевої вологості квадратично залежить від площі перфорованої поверхні, початкової вологості матеріалу, кута нахилу робочого органа пристрою та розрідження у вакуумній камері, а також лінійно залежить від напруги на електроді, збуджуючої сили та частоти обертання вала віброзбудника, так при зменшенні кута нахилу робочого органа пристрою з 20 град до 5 град, при збільшенні тиску у вакуумній камері в межах 0,06 мПа до 0,1 мПа, збуджуючої сили 0,6-0,8 кН та при підведенні різниці потенціалів у межах 75-100 В, кінцева вологість у гірській масі складатиме менше 5%.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. На основі теоретичних та експериментальних досліджень була доведена доцільність використання комплексного методу зневоднення, встановлені залежності зміни продуктивності зневоднюючого пристрою від кута нахилу робочого органа, площі перфорованої поверхні, збуджуючої сили та частоти обертання вала віброзбудника, початкової вологості, напруги на електроді та розрідження у вакуумній камері.

2. Експериментальним шляхом були встановлені залежності кінцевої вологості гірської маси від площі перфорованої поверхні, початкової вологості матеріалу, кута нахилу робочого органа пристрою та розрідження у вакуумній камері від збуджуючої сили віброзбудника, напруги на електроді та частоти обертання віброзбудника, які істотно впливають на вміст вологи в кінцевому продукті.

3. На підставі експериментальних досліджень розроблено математичні моделі зміни кінцевої вологості у подрібненій гірській масі від варійованих режимних та конструктивних параметрів при комплексному зневодненні, визначено раціональний режим роботи зневоднюючого пристрою для одержання мінімального вмісту вологи у кінцевому продукті та споживаної електроенергії.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечуються великим обсягом експериментальних даних, застосуванням фундаментальних методів математичної статистики при плануванні й обробці результатів експериментів, визначенні їхньої достатності, а також використанням регресійного аналізу при моделюванні технологічних показників роботи зневоднюючого пристрою. Отримані регресійні залежності з високим рівнем вірогідності й адекватності описують отримані експериментальні дані, що підтверджують високі значення коефіцієнта детермінації $R^2=0,989$. Порівняння експе-

риментальних та розрахункових результатів визначення кінцевої вологості гірської маси не перевищує 15 %.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни кінцевої вологості гірської маси від основних режимних та конструктивних параметрів зневоднюючого пристрою комплексної дії та розробці узагальненої математичної моделі, що дозволяє розрахувати значення кінцевої вологості в гірській масі при заданих технологічних параметрах.

Реалізація результатів роботи.

ПАТ НКМЗ передана "Технічна пропозиція по впровадженню зневоднюючого пристрою у процес переробки відвальної золи-віднесення та визначення його технологічних параметрів в умовах Краматорської ТЕС", відповідно до якого був запропонований комплексний метод зневоднення відвальної золи-віднесення, а також комплекс заходів щодо безвідхідної переробки золи-віднесення. Очікуваний економічний ефект складає 999376 грн/рік для однієї установки (Акт від 30.10.2017).

Національному університету "Львівська політехніка" передано "Методику визначення кінцевої вологості гірської маси на новій конструкції зневоднюючого пристрою та рекомендації з його використання" (Акт від 26.11.2018).

Практичне значення роботи.

1. Розроблені способи зневоднення та нові конструкції зневоднюючих пристроїв комплексної дії та визначені раціональні параметри.

2. Розроблена "Технічна пропозиція по впровадженню зневоднюючого пристрою у процес переробки відвальної золи-віднесення і визначення його технологічних параметрів в умовах Краматорської ТЕС".

3. Розроблена "Методика визначення кінцевої вологості гірської маси на новій конструкції зневоднюючого пристрою та рекомендації по його використанню".

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно визначені мета й ідея роботи, задачі досліджень, сформульовані наукові положення і наукова новизна, запропонована й обґрунтована нова конструкція зневоднюючого пристрою комплексної дії, проведений комплекс експериментальних досліджень з наступною обробкою результатів та їх аналізом, розроблені узагальнені регресійні залежності кінцевої вологості гірської маси від технологічних показників зневоднюючого пристрою. Запропоновані, на рівні винаходів, нові конструкції зневоднюючих пристроїв. Автором розроблена методика визначення режимних та конструктивних параметрів зневоднюючого пристрою, рекомендації і технічна пропозиція щодо його використання на гірничих підприємствах. Тексти дисертації та автореферату автором викладені самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень розглядалися на: XIII, XV конференціях молодих учених "Геотехнічні проблеми розробки родовищ" (м. Дніпро, 29 жовтня 2015 р., форма участі – очна, 26 жовтня 2017 р., форма участі – заочна); XIV, XVI, XVII Міжнародні конференції "Вібрації в техніці та технологіях" (м. Дніпропетровськ, 21-25 вересня 2015 р., форма участі – очна; м. Вінниця, 26-27 жовтня 2017 р., форма участі – заочна; м. Львів, 11-12 жовтня 2018 р., форма участі – заочна); Міжнародна на-

уково-технічна конференція "Форум гірників" (м. Дніпропетровськ, 01-04 жовтня 2014 р., форма участі – очна); VI Міжнародна науково-практична конференція "Перспективні технології збагачення корисних копалин" (м. Дніпро, 29-31 березня 2018 р., форма участі – очна); Всеукраїнська науково-технічна конференція "Механіка машин – основна складова прикладної механіки" (м. Дніпро, 11-13 квітня 2017 р., форма участі – очна); XIV, XV та XVI Всеукраїнська науково-технічна конференція "Потураївські читання" (м. Дніпро, 19 січня 2016 р., форма участі – очна; 20 січня 2017 р., форма участі – очна, 18 січня 2018 р., форма участі – очна).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 29 друкованих праць, 23 статті у фахових виданнях (серед яких 2 – у закордонному виданні), 3 патенти та 3 тези доповідей на конференціях.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 125 сторінок основного тексту, 144 використаних джерела, 53 малюнки, 29 таблиць, 5 додатків на 13 сторінках. Текст дисертаційної роботи викладено на 173 сторінках друкованого тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі виконано аналіз існуючих конструкцій для зневоднення гірської маси, встановлено область застосування та з'ясовано досвід експлуатації.

Дослідженням кінетики віброзневоднення та класифікацією на грохотах займаються різні наукові інститути: ІГТМ НАН України, Механобр, Держміськхімпроект, Гіпромашзбагачення, ІОТТ (Росія), НГУ, НметаУ, Гіпромашвуглезбагачення, Укрндівуглезбагачення, завод ім. Пархоменка, "Ана-Темс" (Україна) та інші.

Результати виконаних досліджень дозволяють визначати наявність різних факторів, що впливають на процес віброзневоднення на грохотах.

Перспективним методом, з погляду підвищення ефективності процесу видалення вологи з матеріалу, є вакуумний спосіб, оскільки енергоємність цього процесу на порядок нижча, ніж, наприклад, у термічного.

Значна частина питань теорії та практики процесу вакуумної фільтрації досліджена різними установами, такими як: Укрндівуглезбагачення та його філією – Придніпровською лабораторією, інститутами ДонУГІ, ОІТТ, ІГІ та ін. Цими дослідженнями встановлені основні закономірності процесів, що протікають при проходженні фільтрату та повітря через шар осаду, закономірності формування осаду у різних умовах, на їх основі розроблені численні оригінальні конструкції фільтрів і технологічні параметри фільтрування.

У випадку електрокінетичного способу зневоднення (електроосмосу) різноіменність зарядів фаз приводить до переміщення в постійному електричному полі рухливих протіоіонів разом з рідкою фазою до відповідного полюсу джерела струму. Електроосмотичний перенос рідини через поровий простір капілярно-пористого тіла визначається електрокінетичним потенціалом та будівлею по-

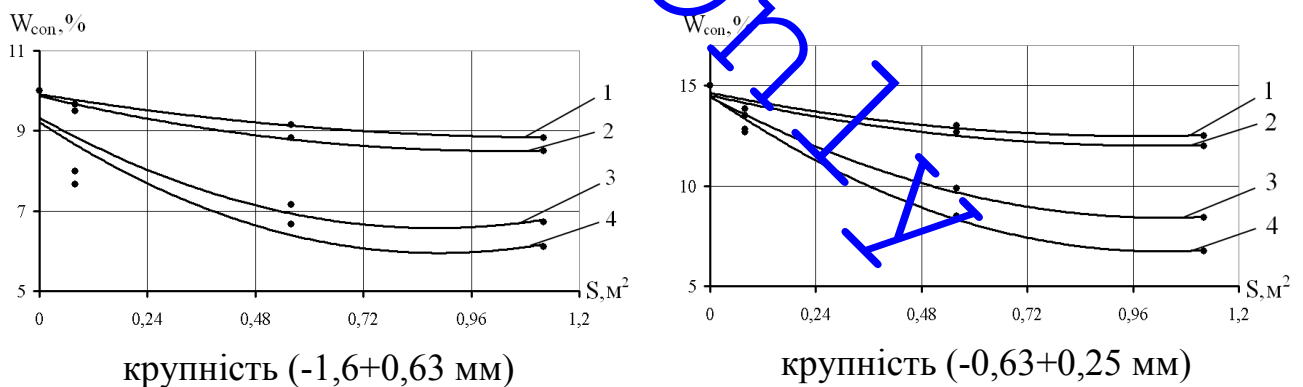
двійного електричного шару на границі фазового розділу. Електрокінетичним явищем займаються такі установи як: ДХТІ, Московський університет, ХПІ та ін. Дослідження цього процесу описані у багатьох наукових статтях та монографіях.

Виконаний аналіз показав, що описані методи зневоднення (крім термічного) дозволяють вилучати зовнішню та порову вологість із подрібненої сипучої гірської маси, при цьому капілярна волога не вилучається. Враховуючи недоліки методів зневоднення та існуючого устаткування виникла ідея створення зневоднюючого пристрою комплексної дії, у якому об'єднані три механізми: вібраційний, вакуумний та електрокінетичний. Проте відсутні будь які дані про використання комплексного методу зневоднення, методи розрахунку та промислова експлуатація подібного устаткування, відсутні дані про вплив режимних та конструктивних параметрів на процес комплексного зневоднення.

З перерахованого вище випливає доцільність розробки та використання комплексного методу зневоднення гірської маси, обґрунтування ефективності використання комплексного методу, встановлення впливу режимних та конструктивних параметрів на процес зневоднення та розробка нової конструкції зневоднюючого пристрою. На підставі проведеного аналізу сформульовані мета і завдання дослідження.

В другому розділі представлені результати експериментальних досліджень комплексного методу на процес зневоднення подрібненої гірської маси.

Для підтвердження ефективності використання комплексного методу зневоднення були проведені порівняльні дослідження взаємодії вібрації, вакуумування та електрокінетичного методів зневоднення залізної руди (рисунок 1). Аналогічні дослідження проводилися на подрібненому вугіллі та гранітному відсіві.

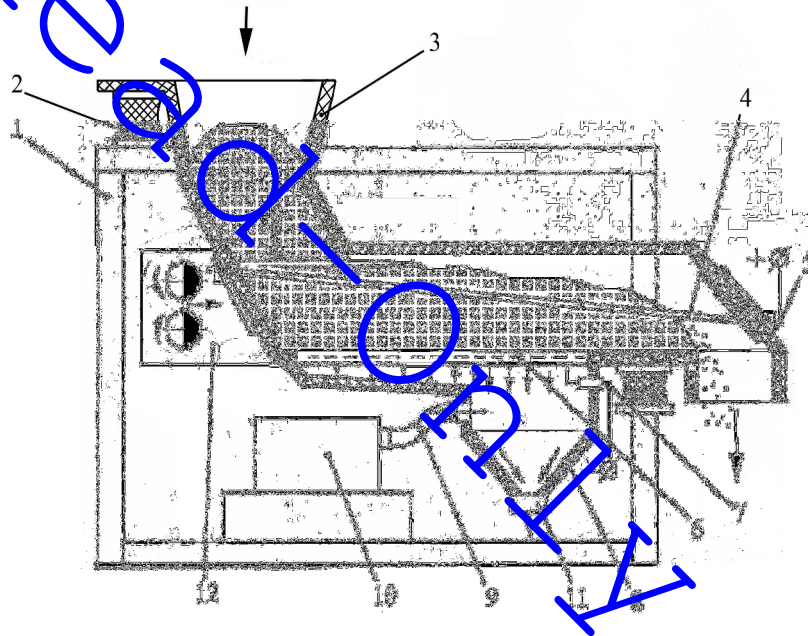


1 – вібрація, 2 – вібрація + електроосмос, 3 – вібрація + вакуум,
4 – вібрація + вакуум + електроосмос

Рисунок 1 - Залежність зміни кінцевої вологості гірської маси від площі поверхні у залізній руді при різному впливі зневоднюючих методів.

В результаті аналізу отриманих даних видно, що кожний метод з визначеним ступенем впливає на процес зневоднення, але при використанні комплексного методу зневоднення досягається мінімальний зміст вологи в подрібненій гірській масі.

На підставі проведених досліджень була створена експериментальна лабораторна установка для зневоднення подрібненої гірської маси комплексним методом, у якій одночасно використовуються три зневоднюючих методи: вібраційний, вакуумний та електроосмотичний (рисунок 2). Принцип її роботи наступний: у діелектричний корпус 3 безперервно надходить вологий матеріал, що постійно контактує з електропровідним стрижнем 4, до якого підключений анод 5. Завдяки постійному контакту з електропровідним стрижнем, під впливом постійного струму, надлишкова волога рухається до перфорованої поверхні 6, що також є катодом 7. Через різницю потенціалів забезпечується рух води і відбувається електроосмотичне зневоднення матеріалу. На корпусі пристрою встановлений віброзбудник 12, за допомогою якого відбувається безупинний рух матеріалу по перфорованій поверхні. Перфорована поверхня розташована по всій довжині зневоднюючого пристрою та завдяки цьому збільшується процес видалення надлишкової вологи з матеріалу. Розріджене середовище створюється у вакуумній камері 8 вакуумним насосом 10 з'єднаним з нею гнучким шлангом 9. Надлишкова волога виводиться з вакуумної камери 8 за допомогою пристрою для зливу води 11.



1 - опорна рама; 2 - пружні елементи; 3 - діелектричний корпус; 4 - електропровідний стрижень; 5 - анод; 6 - перфорована поверхня; 7 - катод; 8 - вакуумна камера; 9 - гнучкий шланг; 10 - вакуумний насос; 11 - зливальний патрубок; 12 - віброзбудник

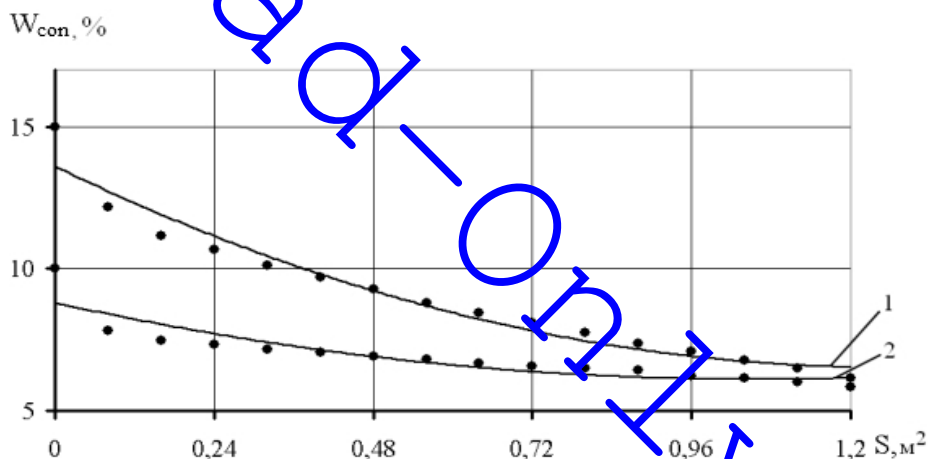
Рисунок 2 – Конструктивна схема зневоднюючого пристрою комплексної дії

При працюючому пристрої його контакти підключені до джерела постійного струму, що створює електричне поле, яке визначає умови електроосмотичного руху рідини від завантаження (від анода) до металевої сітки (катод). Завдяки електроосмотичному впливу на гірську масу відбувається вилучення капіляр-

ної вологи. При вібраційному впливі гірська маса переміщується, сегрегує і, проходячи над сіткою, волога видалається в камеру збору. Процес зневоднення підсилюється за рахунок використання вакууму. Таким чином, у процесі зневоднення беруть участь всі три методи, завдяки чому досягається мінімальний вміст вологи у гірської маси.

Дослідження роботи зневоднюючого пристрою по зневодненню гірської маси показали, що режимні та конструктивні параметри суттєво впливають на процес зневоднення, кінцеву вологість та продуктивність. Був проведений комплекс експериментальних досліджень по встановленню основних параметрів пристрою, з різним діапазоном крупності та властивостями матеріалу, що впливають кінцеву вологість гірської маси (W_{con} , %) та продуктивність (Q , т/годину).

При проведенні експериментальних дослідженнях встановлено, що ефективність проходження рідини (дренування) крізь шар гірської маси до перфорованої поверхні на злив у пропонованому пристрою інтенсифікується за рахунок розрядження у вакуумній камері. В цьому випадку на рідину діє, крім гравітаційних сил повітряного тяга, яка збільшує швидкість зневоднення матеріалу. Таким чином, треба встановити залежність зміни кінцевої вологості гірської маси від площі поверхні зневоднення (рисунок 3). З графіка видно, що зі збільшенням параметра S , у досліджуваних межах, вологість матеріалу знижується.



- 1 - діапазон крупності - $1,6 + 0,63$ мм. W_{ish} - 10%;
 2 - діапазон крупності - $0,63 + 0,25$ мм. W_{ish} - 15%.

Рисунок 3 - Залежність зміни кінцевої вологості залізної руди від площі поверхні зневоднення

При дослідженнях, спрямованих на пошук найбільш ефективного режиму зневоднення гірської маси двох діапазонів крупності - $0,63 + 0,25$ мм і $1,6 + 0,63$ мм на пропонованому пристрої, був проведений комплекс експериментів по встановленню впливу режимних та конструктивних параметрів пристрою на кінцеву вологість (W_{con} , %) та продуктивність (Q , т/годину). До варійованих параметрів відносяться наступні: початкова вологість гірської маси (W_{ish} , %), кут нахилу робочого органа пристрою (α , град.), площа перфорованої поверхні (S , м²), збуджуюча сила віброзбудника (F , кН), частота обертання вала віброзбудника

(ω , об/хв), тиск у вакуумній камері (P , мПа), напруга на електропровідному стрижні (U , В). Для різних гірських мас використовувалася різна початкова вологість: для гранітного відсіву $W_{ish}=30\%$ для крупності +0,25-0,63 мм та $W_{ish}=15\%$ для крупності +0,63-1,6 мм; для вугілля $W_{ish}=40\%$ для крупності +0,25-0,63 мм та $W_{ish}=20\%$ для крупності +0,63-1,6 мм; для залізної руди $W_{ish}=15\%$ для крупності +0,25-0,63 мм та $W_{ish}=10\%$ для крупності +0,63-1,6 мм.

У третьому розділі проведена теоретична оцінка впливу основних параметрів на процес зневоднення гірської маси, а саме отримане рівняння, що описує, вплив електричного поля та розрядження на швидкість фільтрації рідини крізь пористе середовище:

$$\bar{u} = \frac{2}{R_K^2} \int_0^{R_K} r u dr = -\frac{1}{8\mu} \left(\frac{dp}{\rho dx} - g \right) R_K^2 - E \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2\pi R_K^2} \int_0^{R_K} r (\varphi - \varphi_0) dr, \quad (1)$$

де, \bar{u} - усереднена швидкість руху рідини у пористому середовищі, м/с; R - радіус каналу, м; ε_0 - діелектрична постійна вакууму, ф/м; ε - коефіцієнт діелектричній проникності рідини; g - прискорення вільне падаючого тіла, м/с²; μ - коефіцієнт в'язкості, Па·с; $\frac{dp}{\rho dx}$ - перепад тиску по всій довжині каналу.

Також отримане рівняння витрати рідини під впливом електричного поля та розрядження:

$$G = \frac{1}{8\mu} \left(\frac{\Delta p}{\rho L} + g \right) N_K R_K^2 + \frac{\Delta U}{L} N_K \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2\pi R_K^2} \int_0^{R_K} r (\varphi - \varphi_0) dr \quad (2)$$

де, G - витрата рідини, м³/г; N - число каналів, од, ρ - щільність рідини, кг/м³; p - тиск повітря, мПа; g - прискорення вільне падаючого тіла, м/с²; L - довжина каналу, м; ΔU - середнє значення електричної напруги, В; R - радіус каналу, м.

Структура формули (2) вказує на важливі деталі поведінки потоку: витрата рідини лінійно залежить від перепаду тиску (виконується закон Дарсі) та від електричного потенціалу. Відповідно до формули (2) величина залишкової рідини в шарі гірської маси буде дорівнювати:

$$Q = Q_0 - G \Delta t, \quad (3)$$

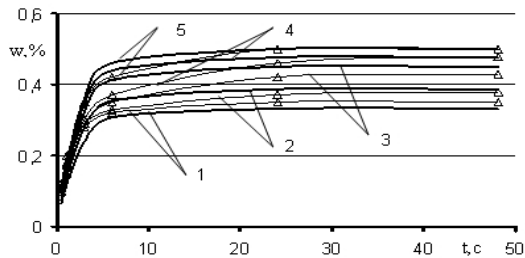
де Q_0 - початкова вологість шару гірської маси, %; G - витрата рідини, м³/г; Δt - час зневоднення, год.

Таким чином, структура формули (2) дає теоретичне обґрунтування для апроксимації отриманих експериментальних результатів лінійними залежностями.

Проведені експериментальні дослідження капілярних властивостей різних гірських мас для визначення ступеня їх водонасичення (рисунках 4-6). Експериментальне дослідження проходило таким чином: досліджуваний матеріал з ну-

льовою вологістю та різною крупністю був поміщений у ємність з водою і через визначений відрізок часу робився контрольний вимір вологості, і матеріал назад містився у водне середовище до повного насичення водою. Після повного насичення порового простору в матеріалі вологість стала постійною.

для базальту



1 - $M = 438$ г; 2 - 590г; 3 - 913г;
4 - 1240г; 5 - 2800г

Рисунок 4 - Залежність насичення кусків базальту різної маси водою від часу

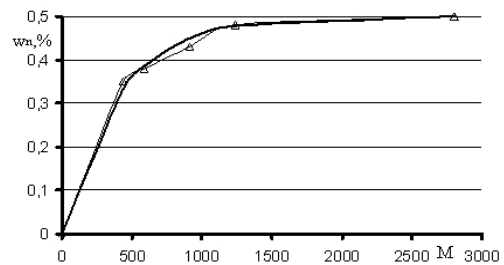
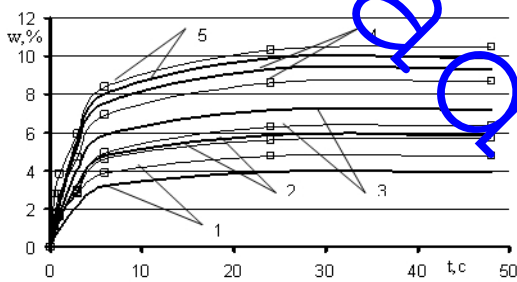


Рисунок 7 – Залежність граничного насичення шматків базальту від їхніх мас

для туфу



1 - $M = 315$ г; 2 - 535г; 3 - 735г;
4 - 1220г; 5 - 1430г

Рисунок 5 - Залежність насичення кусків туфу різної маси водою від часу

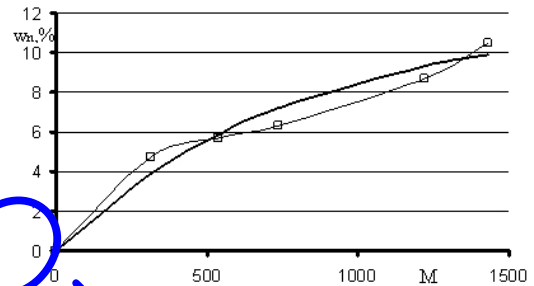
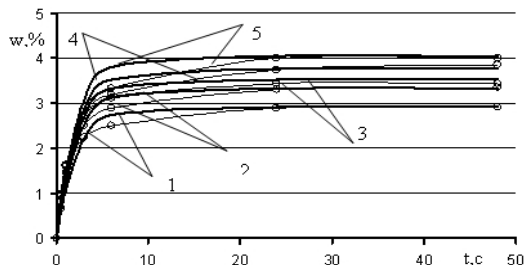


Рисунок 8 - Залежність граничного насичення шматків туфу від їхніх мас

для антрацитового вугілля



1 - $M = 300$ г; 2 - 387г; 3 - 445г;
4 - 527г; 5 - 685г

Рисунок 6 - Залежність насичення кусків вугілля різної маси водою від часу

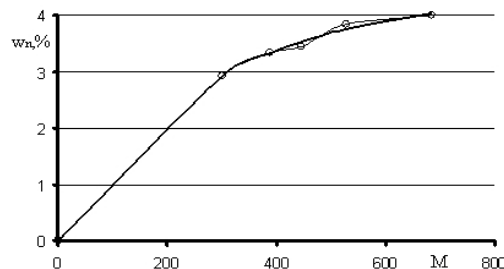


Рисунок 9 - Залежність граничного насичення шматків вугілля від їхніх мас

На рисунках 7-9 видно, що для базальту крива w_n за своїм характером близька до експонентного (асимптотично приближаються до деякої величини) і практично досягає свого однорідного значення, що відповідає більшому куску. Для вугілля крива не досягає своєї однорідної величини, а у випадку з туфом вона зовсім далека від такого значення. З метою одержання математичних залежностей, необхідних у подальших дослідженнях, по всім експериментальним даним була проведена апроксимація кривих. В основу базових залежностей, приймаючи в увагу експоненціальний характер кривих, показаних на рисунках 4 - 9, була покладена формула виду $w = w_n [1 - \exp(-\lambda t)]$, де $w_n = W [1 - \exp(-\gamma M)]$, при цьому коефіцієнти визначаються методом найменших квадратів з використанням експериментальних крапок. В результаті обчислення цих коефіцієнтів були знайдені наступні формули визначення водонасичення подрібненої гірської маси, в залежності від часу та маси кусків:

для базальту

$$\begin{aligned} w &= w_n [1 - \exp(-0.425 t)], \\ w_n &= 0.5 [1 - \exp(-M / 400)]; \\ \sigma_n &= 0,0118, \quad \sigma = 0,0328; \end{aligned} \quad (4)$$

для туфу

$$\begin{aligned} w &= w_n [1 - \exp(-0,278 t)], \\ w_n &= 11,8 [1 - \exp(-M / 780)]; \\ \sigma_n &= 0,665, \quad \sigma = 0,696; \end{aligned} \quad (5)$$

для вугілля

$$\begin{aligned} w &= w_n [1 - \exp(-0,469 t)], \\ w_n &= 4,4 [1 - \exp(-M / 275)]; \\ \sigma_n &= 0,0612, \quad \sigma = 0,202; \end{aligned} \quad (6)$$

де σ_n і σ - середні квадратичні помилки для кривих w_n і w ;

w_n - обсяг рідини у поровому каналі; W - початкова вологість, %.

Виконаний комплекс досліджень дозволяє визначити час водонасичення досліджуваного матеріалу, з урахуванням маси кусків та характеристики пористості цих матеріалів. Отримані аналітичні залежності дозволяють прогнозувати водонасичення подрібненої гірської маси при підготовці її до використання чи подальшій переробці.

Визначена ступінь впливу електрокінетичного впливу на зневоднення гірської маси, а саме - проведене математичне моделювання процесу зневоднення вологої гірської маси у полі комбінованих фізичних сил.

При моделюванні процесу зневоднення у пристрою комплексної дії було виявлено, що при гравітаційному витіканні рідини з порових каналів дисперсного середовища вся область поділяється на дві частини: зверху утвориться газорідинне середовище зі складною геометрією (H), а внизу (h) залишається прошарок суцільної рідини (див. рисунок 10).

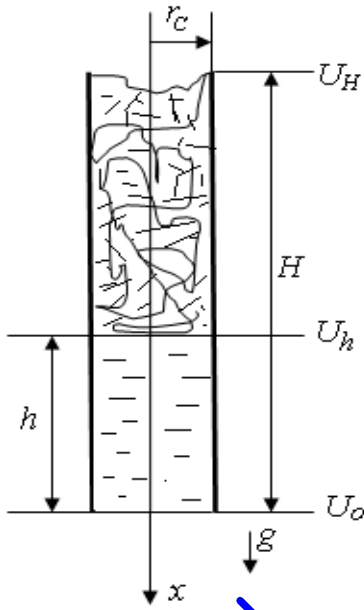


Рисунок 10. Схе-
ма
розрахункової області гірсь-
кої маси

У цьому випадку рівняння руху в рамках моделі вузького каналу можна записати у виді:

$$\alpha \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \alpha \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial r} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \alpha \rho g + \frac{\partial}{\partial r} \left(\alpha \mu r \frac{\partial u}{\partial r} \right) - \alpha \rho \rho_E E_X^{\Sigma} \quad (7)$$

$$\frac{\partial(\alpha \rho)}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \rho r u)}{\partial x} + \frac{\partial(\alpha \rho r v)}{\partial r} = 0, \quad (8)$$

де x, r - циліндрична система координат; u, v - компоненти швидкості, що відповідають координатам; ρ - щільність рідини, кг/м^3 ; p - тиск, МПа ; g - прискорення вільне падаючого тіла, м/с^2 ; ρ_E - щільність зарядів, ф/м ; α - об'ємна частка рідини у поровому каналі (в області h $\alpha=1$).

З огляду на те, що у вузьких каналах швидкість рідини повинна бути невеликою, то рівняння газорідного середовища під впливом електричного поля виглядає таким чином:

$$8\mu\alpha S(H-h) \frac{dh}{dt} = 2\pi\sigma(R_C - r_C) - \rho g \alpha S(H-h) - 8\rho S \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_f}{2\pi R_C^4} \int_0^H \left[\int_0^{r_C} r(\varphi^I - \varphi_0^I) dr \right] \frac{dU}{dx} dx, \quad (9)$$

Рівняння обводненого середовища під впливом електричного поля:

$$8\mu S h \frac{dh}{dt} = 2\pi\sigma r_C - \rho g S h - 8\rho S \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{2\pi R_C^4} \int_0^h \left[\int_0^{r_C} r(\varphi^{II} - \varphi_0^{II}) dr \right] \frac{dU}{dx} dx \quad (10)$$

Розрахунок залишкової вологості у гірській масі під впливом електричного поля:

$$W_C = 2\pi\sigma \frac{R_C}{\rho g S H} - 8 \cdot \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_f}{2\pi R_C^4} \cdot \left\{ K + K_1 \frac{(U_H - U_0)}{H} \right\} \frac{(U_H - U_0)}{gH} \quad (11)$$

де, K - коефіцієнт різниці потенціалу; U - напруга, В; ρ - щільність рідини, кг/м^3 ; p - тиск, МПа ; g - прискорення вільне падаючого тіла, м/с^2 ; ρ_E - щільність зарядів, Кл/м^2 ; α - об'ємна частка рідини у поровому каналі; S - площа, м^2 ; ε_0 - діелектрична постійна вакууму, ф/м ; ε - коефіцієнт діелектричної проникності рідини; H - висота області I, м; h - висота області II, м; μ - коефіцієнт в'язкості рідини, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Апроксимуючи експериментальні дані за допомогою отриманих рівнянь видно, що максимальна відносна помилка не перевищує 2 %, що вказує на справедливність цих допущень.

Для побудови узагальненої регресійної залежності кінцевої вологості від семи параметрів, необхідно провести аналіз бази експериментальних даних отриманих у ході проведення досліджень з різною вологою гірською масою.

Були використані результати досліджень зміни вологості двох проб залізної руди, вугілля та гранітного відсіву: крупності $-0,25+0,63$ мм, далі позначених як "дрібний клас", його середня крупність $0,44$ мм і $0,63+1,6$ мм та "великий клас", середньої крупністю $1,115$ мм. Великий та дрібний класи мали різну початкову вологість, дрібний - W_{ish} - 15% (залізна руда), W_{ish} - 40% (вугілля), W_{ish} - 30% (гранітний відсів); великий W_{ish} - 10% (залізна руда), W_{ish} - 20% (вугілля), W_{ish} - 15% (гранітний відсів). Експериментальні дослідження при варіюванні параметрів для кожного матеріалу включали 91 вимір для залізної руди, 112 - для вугілля та 88 - для гранітного відсіву.

Спочатку досліджувався вплив площі перфорованої поверхні на зневоднення гірської маси. Аналізуючи експериментальні данні видно, що ця залежність нелінійна і має параболічний вид. Вибір параболічного тренда дає значення R^2 для дрібного класу крупності - 0,96, для великого класу крупності R^2 - 0,82 (рисунок 11).

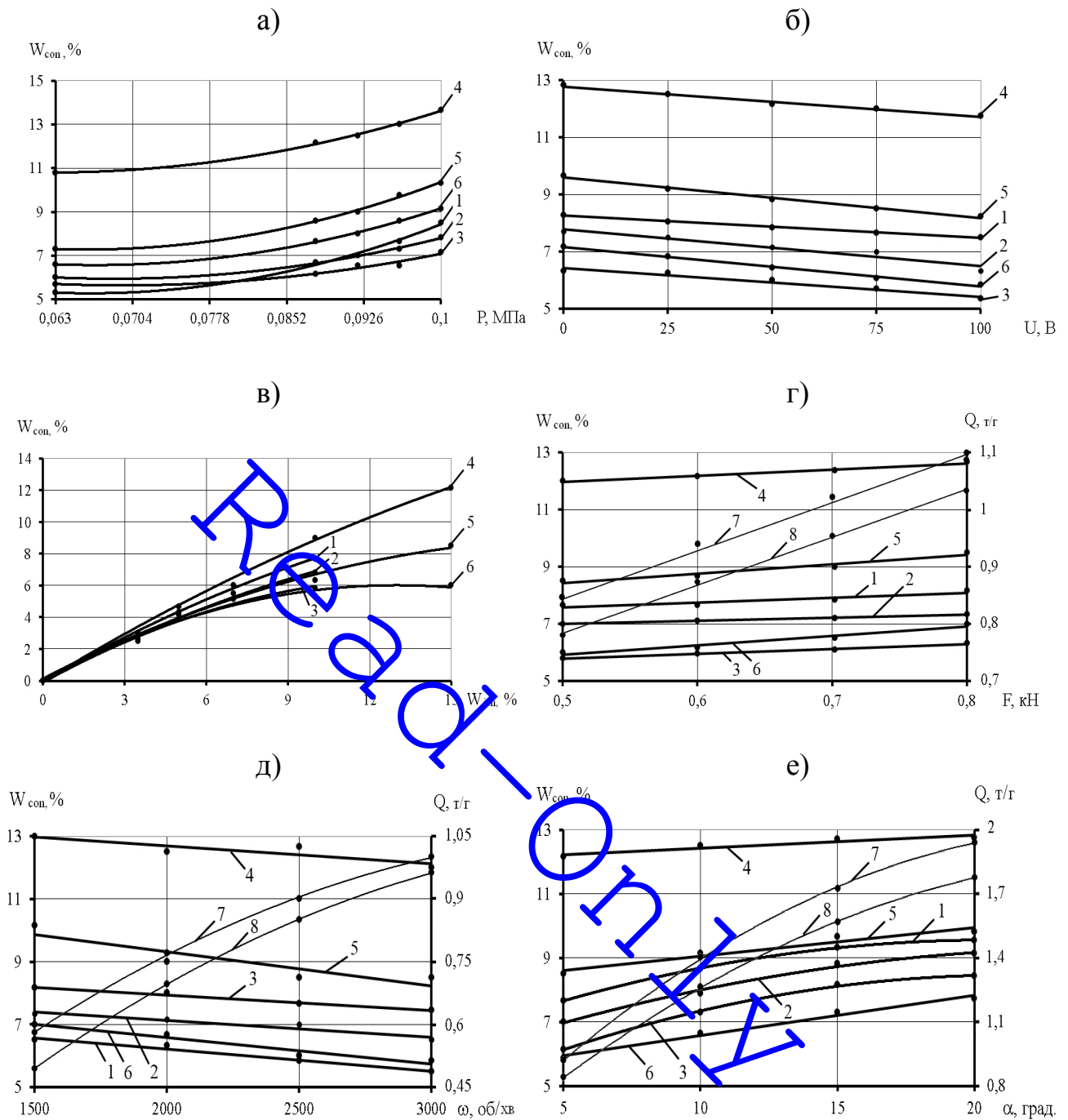
Очевидно, що чим нижче початкова волога, тим складніше зневоднювати зразок. Так, для площі зневоднення $1,2$ м² досягнуте зниження вологості для дрібного класу з 15 до 6 % та з 5 до 4,16 %, для більш великого - з 10 до 5,83% та з 3,33 до 2,5 %.

Далі, для різної площі перфорованої поверхні ($0,08$ м², $0,56$ м² та $1,2$ м²) досліджувався вплив на вологість одного з параметрів при фіксованих інших, з постійними значеннями, таких як: $P=0,063$ мПа; $U=75$ В; $F=0,5$ кН; $\omega=3000$ об/хв; $\alpha=5$ град.

Ці залежності приведені на рисунку 11 (а, б, в, г, д, е), залежності 1, 2 та 3 відносяться до великої фракції, 4, 5 та 6 - до дрібного класу, криві 7 і 8 - продуктивність.

З рисунка 11 видно, що величина кінцевої вологості гірської маси при комплексному зневодненні квадратично залежить від початкової вологості матеріалу (W_{ish}), кута нахилу робочого органу пристрою (α , град) та розрідження у вакуумній камері (P , мПа), а також лінійно залежить від збуджуючої сили вібробудника (F , кН), напруги на електроді (U , В) та частоти обертання вібробудника (ω , об/хв).

Як видно з рисунка 11 збільшення параметрів ω , U веде до зниження кінцевої вологості, тому в експериментах вони були фіксованими на рівні раціональних значень: 3000 об/хв. та 75 В. Збільшення параметрів P , F , α веде до збільшення кінцевої вологості, тому раціональними є $P=0,063$ мПа, $F=0,5$ кн, $\alpha=5$ град.



крупність (+0,63-1,6 мм): 1 - $S=0,08 \text{ м}^2$; 2 - $S=0,56 \text{ м}^2$; 3 - $S=1,2 \text{ м}^2$; 7 - $f(Q)$
 крупність (+0,25-0,63 мм): 4 - $S=0,08 \text{ м}^2$; 5 - $S=0,56 \text{ м}^2$; 6 - $S=1,2 \text{ м}^2$; 8 - $f(Q)$

Рисунок 11 - Залежність зміни кінцевої вологості гірської маси від комплексу варійованих параметрів пристрою

Узагальнена регресійна модель, що описує зміну кінцевої вологості (W_{con}), повинна включати лінійні та квадратичні залежності технологічних параметрів, тобто повинна мати наступний вид:

$$\begin{aligned}
W_{con} = & a_0 + a_1S + a_2W_{ish} + a_3U + a_4\omega + a_5F + a_6\alpha + a_7P + \\
& + a_8S^2 + a_9W_{ish}S + a_{10}US + a_{11}\omega S + a_{12}FS + a_{13}\alpha S + a_{14}PS + \\
& + a_{15}W_{ish}^2 + a_{16}W_{ish}U + a_{17}W_{ish}\omega + a_{18}W_{ish}F + a_{19}W_{ish}\alpha + \\
& + a_{20}W_{ish}P + a_{21}\omega^2 + a_{22}\omega U + a_{23}\omega F + a_{24}\omega\alpha + a_{25}\omega P + a_{26}\alpha^2 + \\
& + a_{27}\alpha U + a_{28}\alpha F + a_{29}\alpha P + a_{30}P^2 + a_{31}PU + a_{32}PF + a_{33}F^2 + a_{34}FU
\end{aligned} \tag{12}$$

Для розрахунку коефіцієнтів рівняння (12) для кожного класу крупності підготовлена таблиця вихідних даних. За допомогою програми Microsoft Office Excel кожному значенню кінцевої вологості (залежна перемінна) згідно 75 опитам відповідали свої параметри, їхні квадрати і добутки - всього 34 незалежних перемінних, усього в базі даних 2550 незалежних перемінних для великого класу і стільки ж для дрібного. Ці бази даних оброблялися засобами програми обробки статистичних даних "IBM SPSS Statistics". Використовувалася вбудована функція: "Лінійна регресія", критерій: "Використовувати імовірність F - включення 0,05, виключення 0,1"

В результаті застосування комбінованого методу для діапазону крупності - 1,6+0,63 мм отримані 6 моделей, з яких обрана шоста, що має найбільше значення R^2 . В цю модель, у виді лінійної залежності, увійшли всі сім параметрів процесу, а п'ять додаткових доданків враховують не лінійність зв'язку параметрів з кінцевою вологістю та підвищують адекватність лінійної моделі по рівнянню (12) з $R^2 = 0,963$ до 0,994:

- для діапазону крупності -1,6+0,63 мм.

$$\begin{aligned}
W_{con} = & 16,223 - 0,138S + 1,158W_{ish} - 0,01U - 0,0004\omega + \\
& + 1,539F + 0,357\alpha - 458,67P - 0,182W_{ish}S - 0,037W_{ish}^2 + \\
& + 3030,1P^2 - 0,009\alpha^2 + 0,05\alpha S
\end{aligned} \quad R^2 = 0,994 \tag{13}$$

Аналогічна методика побудови узагальненої регресійної моделі зміни кінцевої вологості (W_{con}) застосовувалася для дрібного класу -0,63+0,25 мм. Опускаючи аналіз використання різних методів, приводиться підсумкове регресійне рівняння, отримане комбінованим методом:

- для діапазону крупності -0,63+0,25 мм:

$$\begin{aligned}
W_{con} = & 35,624 - 3,64S + 1,164W_{ish} - 0,012U - 0,001\omega + \\
& + 2,148F + 0,086\alpha - 971,73P - 0,402W_{ish}S - 0,022W_{ish}^2 + \\
& + 5950,4P^2 - 2,416S^2 + 20,82SP
\end{aligned} \quad R^2 = 0,989 \tag{14}$$

Рівняння (13) та (14) якісно відрізняються двома останніми доданками, це говорить про те, що на більш великий клас сильніше впливає кут нахилу робочого органу, а на дрібний - площа перфорованої поверхні.

На закінчення приводиться об'єднана регресійна модель, яка описує зміну кінцевої вологості (W_{con}), для різного діапазону крупності, отриману аналогічно комбінованим методом. Коефіцієнт детермінації цієї моделі складає лише 0,972, але, у ряді випадків, для практичного використання цього досить.

- для діапазону крупності -1,6+0,25 мм:

$$\begin{aligned}
 W_{con} = & 28,311 - 0,934S + 0,967W_{ish} - 0,01U - 0,0004\omega + \\
 & +1,51F + 0,282\alpha - 753,5P - 0,417W_{ish}S - 0,017W_{ish}^2 + \\
 & +4571,77P^2 - 1,372S^2 + 16,687SP - 0,016W_{ish}\alpha + 3,7W_{ish}P + \\
 & +0,068S\alpha + 16,687SP
 \end{aligned}
 \quad R^2 = 0,972 \quad (15)$$

Розроблена узагальнена регресійна модель зміни кінцевої вологості (W_{con}) (15) придатна для оцінки зниження вологості дробленої гірської маси при зміні параметрів процесу в діапазоні: $S=0,08\div 1,2$ м², $U=10\div 100$ В, $F=0,5\div 0,8$ кН, $P=0,063\div 0,1$ мПа, $\alpha = 5\div 20$ град., $\omega=1500\div 3000$ об/хв.

У четвертому розділі обґрунтована раціональна область режиму роботи зневоднюючого пристрою з мінімальним споживанням електроенергії та з максимальною ефективністю, а також показані результати та приклад розрахунку кінцевої вологості матеріалу при заданих технологічних параметрах пристрою. Представлені методика визначення кінцевої вологості гірської маси на новій конструкції зневоднюючого пристрою та рекомендації з його використання, обґрунтовані режимні та конструктивні параметри різних гірських масах та діапазонах крупності.

Представлений порівняльний аналіз між комплексним методом зневоднення і термічною сушкою гірської маси. При дослідженнях враховувався головний фактор - це витрати енергії на видалення вологи з матеріалу. Порівняльний аналіз проводиться між зневоднюючим пристроєм комплексної дії і стрічковою сушаркою (конвеєрною). У них схожі габаритні розміри, але різне споживання електроенергії. Приведена таблиця технічних характеристик та схематичний графік зневоднення гірської маси.

Для практичного застосування зневоднюючого пристрою комплексної дії виконувався аналіз золи - добової та відвальної, з наступним розсівом вихідних проб на шість класів крупності, у кожному з яких визначався вміст у золі силікатної частини і вміст зростків заліза після вигорання вуглецю. Кожна з проб розсіювалась на вузькі класи крупності, після чого визначалась зольність для кожного класу. Методом магнітної сепарації у кожному класі крупності встановлювався вміст заліза.

Виконані дослідження показують, що продуктами комплексної переробки сухої та відвальної золи-віднесення є: силікатна частина, вуглець і залізо (частково у виді зростків). Вуглецева частина представлена у виді пилюватих часточок коксу, що відразу після вилучення з золи може бути використана для подальшого спалювання на ТЕС.

Обґрунтована доцільність комплексної безвідхідної переробки золи теплових електростанцій, а також розроблена технологічна схема (рисунок 12) підготовки золи віднесення до безвідхідної переробки з урахуванням її міцності, мінерального складу та необхідної крупності. Проведено економічне обґрунтування доцільності впровадження зневоднюючого пристрою у лінію по безвідхідній переробці золи віднесення ТЕС.

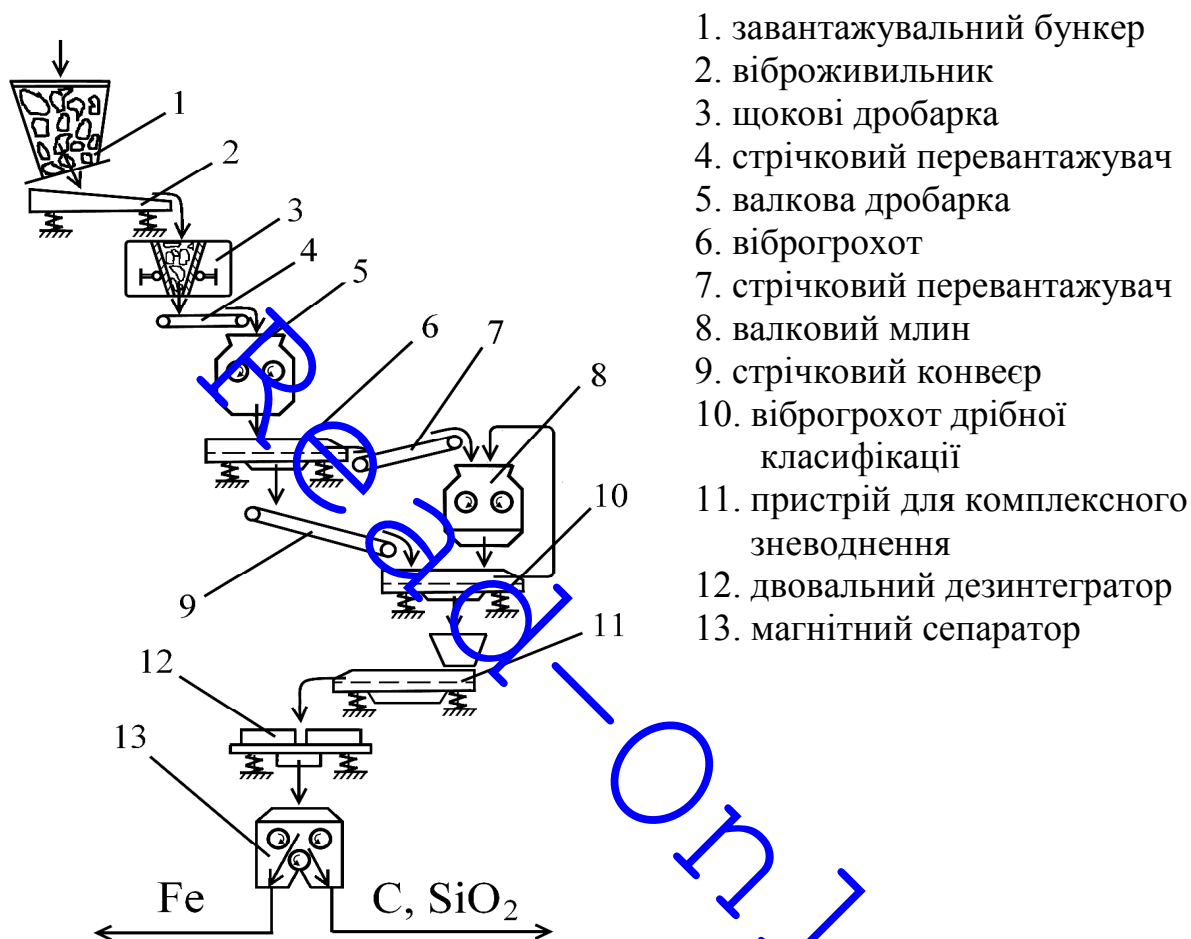


Рисунок 12 - Схема підготовки золи-віднесення до безвідхідної переробки

Передана до ПАТ "Новокраматорський машинобудівний завод" "Технічна пропозиція по впровадженню зневоднюючого пристрою у процес переробки відвальної золи-віднесення та визначення його технологічних параметрів в умовах Краматорської ТЕС", відповідно до якого був запропонований комплексний метод зневоднення відвальної золи-віднесення, а також комплекс заходів щодо безвідхідної переробки золи-віднесення.

Розроблена "Методика визначення кінцевої вологості гірської маси на новій конструкції зневоднюючого пристрою та рекомендації по його використанню" впроваджена і використана в Національному університеті "Львівська політехніка".

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, де вирішено актуальну наукову задачу, що полягає у встановленні закономірностей зміни величини кінцевої вологості гірської маси та продуктивності при комплексному зневодненні, яка квадратично залежить від площі перфорованої поверхні, початкової вологості, кута нахилу та розрідженні у вакуумній камері, а також лінійно залежить від напруги на електроді, збуджуючої сили та частоти обертання вібробудника, розробці математичної моделі та обґрунтуванні ефективності використання комплексного методу зневоднення, що дозволило розробити зневоднюючий пристрій комплексної дії, використання якого у технологічній лінії з переробки відвальної золи-віднесення дозволяє отримати очікуваний економічний ефект у 999376 грн/рік, що має суттєве значення для гірничопереробної галузі.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному:

1. Виконано аналіз стану питання по використанню в промисловості зневоднюючих пристроїв та методам їхнього розрахунку і встановлено, що практично відсутні відомості про конструкції, розрахунків і промислової експлуатації зневоднюючих пристроїв з комбінацією декількох механізмів, здатних виконувати глибоке зневоднення сипучої гірської маси. Крім цього, відсутні які-небудь відомості про характер впливу режимних і конструктивних параметрів таких пристроїв, а також технічних характеристик, що впливають на технологічні показники процесу зневоднення.

2. Вперше, на основі теоретичних та експериментальних дослідженнях було доведено доцільність використання комплексного методу зневоднення (вібраційний, вакуумний та електрокінетичний) реалізованого в одному пристрої, встановлено, що продуктивність зневоднюючого пристрою квадратично залежить від кута нахилу робочого органу, площі перфорованої поверхні, збуджуючої сили та частоти обертання вала вібробудника та лінійно залежить від початкової вологості, напруги на електроді та розрідження у вакуумній камері.

2. Експериментальним шляхом була встановлена експоненціальна залежність в процесі зневоднення гірської маси від часу впливу та маси кусків, залежності зміни кінцевої вологості у гірській масі, що квадратично залежить від площі перфорованої поверхні, початкової вологості матеріалу, кута нахилу робочого органу пристрою та розрідження у вакуумній камері, а також лінійно залежить від збуджуючої сили вібробудника, напруги на електроді та частоти обертання вібробудника, які істотно впливають на вміст вологи в кінцевому продукті.

4. Вперше отримано узагальнену математичну модель зміни кінцевої вологості та продуктивності у виді нелінійних регресійних залежностей кінцевої вологості при варіюванні основними домінуючими конструктивними та режимними параметрами пристрою, а також початковою вологістю гірської маси. Розрахункові залежності з високою точністю й адекватністю описують отримані експериментальні дані. Отже, можна прогнозувати зміну величини кінцевої вологості при різних умовах експлуатації.

5. Визначені найбільш ефективні режими роботи зневоднюючого пристрою є діапазони частот обертання вала віброзбудника - 2500÷3000 об/хв та збуджуюча сила віброзбудника - 0,5÷0,6 кН. Мінімальна кінцева вологість досягається з кутом нахилу робочого органа в 5 град., розрідженням у вакуумній камері 0,063-0,088 мПа та напругою на електроді 75 В. Площа перфорованої поверхні та довжина зневоднюючого пристрою вибирається з розрахунку необхідної кінцевої вологості та продуктивності.

6. На рівні винаходів розроблені спосіб зневоднення гірської маси та дві конструкції зневоднюючих пристроїв комплексної дії, які відрізняються тим, що в них об'єднані одразу три зневоднюючих механізми: вібраційний, вакуумний та електрокінетичний.

7. Порівняння експериментальних та теоретичних результатів визначення кінцевої вологості гірської маси показало, що розбіжність між ними не перевищує 15 %, що вказує на достовірність отриманих регресійних моделей.

8. Розроблено та впроваджено в ПАТ "Новокраматорський машинобудівний завод" "Технічна пропозиція по впровадженню зневоднюючого пристрою у процес переробки відвальної золи віднесення та визначення його технологічних параметрів в умовах Краматорської ТЕС". При використанні зневоднюючого пристрою комплексної дії у технологічній лінії очікуваний економічний ефект складає 999 376 грн/рік для одного зневоднюючого пристрою за рахунок низької вартості пристрою, відсутності використання теплоносіїв, легкістю технічного обслуговування та низького споживання електроенергії.

9. Розроблена та впроваджена "Методика визначення кінцевої вологості гірської маси на новій конструкції зневоднюючого пристрою і рекомендації з його використання" у Національний університет "Львівська політехніка".

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО У НАСТУПНИХ РОБОТАХ

1. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Результаты комплексного зневоднення гірської маси на вібраційному пристрої // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2014. – Вип. 1(73). – С. 88-94.

2. Надутый В.П., Левченко П.В., Костыря С.В. Результаты комплексного обезвоживания измельченной базальтовой горной массы // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, (21-25 вересня 2015 р.) – Вип. № 2(75) – С. 97-102.

3. Надутый В.П., Левченко П.В., Костыря С.В. Результаты исследования эффективности комплексного обезвоживания угольных шламов на вибрационном устройстве // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015. – № 41. – С. 44-48.

4. Jamil Sami Haddad, Sukharev V.V., Kostyrya S.V. Complex Dehydration of Rock Mass // International Journal of Engineering and Science: Vol.5, Issue 9 (September 2015), pp.-07-10.

5. Надутый В.П., Челышкина В.В., Костыря С.В. Анализ комплексного обезвоживания мелких фракций гранита // Підводні технології: Міжн. Наук.-Вироб. журнал. – Київ. – 03/2016. – С.41-47.

6. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Обработка результатов экспериментальных исследований вибрационного комплексного обезвоживания угольных шламов // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2016. – Вип. 1(81). – С.86-91.

7. Надутый В.П., Севастьянов В.С., Севастьянов Б.В., Костыря С.В. Перспективы комплексной безотходной переработки золы дымов при сжигании углей на тепловых электростанциях // Природо-технические комплексы: современное состояние и перспективы восстановления: - Из-во Сиб. отдел. РАН. – Новосибирск, 2016. – С.211-216.

8. Надутый В.П., Челышкина В.В., Костыря С.В. Разработка схемы виброустройства и выбор его параметров для реализации комплексного обезвоживания горной массы // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2016. – Вип. 3(83). – С.122-127.

9. Надутый В.П., Костыря С.В. Обоснование использования комплексного метода обезвоживания горной массы // Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: Міжнародна науково-технічна конференція. Кривий Ріг. 2016 – С.261.

10. Надутый В.П., Костыря С.В. Разработка метода импульсного воздействия на горную массу для повышения эффективности обезвоживания// Механіка машин – основна складова прикладної механіки: Всеукраїнська науково-технічна конференція // НМетАУ, Дніпро, 2017, С. 294-296.

11. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Повышение эффективности комплексного обезвоживания горной массы на основе использования синхронного импульсного воздействия // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, 2017. – Вип. 2(85) – С. 16-19.

12. Надутый В.П., Елисеев В.И., Луценко В.И., Костыря С.В. Экспериментальное определение зависимости водонасыщения измельченной горной массы // Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НПУ «ХПИ». – 2017. - №23 (1245). – С. 36-40.

13. Надутый В.П., Костыря С.В. Результаты исследования процесса комплексного обезвоживания туфов после подземной гидродобычи и переработки отвалов // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Збагачення корисних копалин. – Дніпро, 2018. – 70(111). – С. 58-63.

14. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Обгрунтування ефективності використання комплексного зневоднення дрібної вологої гірської маси// Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ. (01-04 жовтня 2014 р.) – Вип. 119. – С. 63-69.

15. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Обоснование эффективности использования комплексного метода виброобезвоживания железной руды// Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, (29 жовтня 2015р.) – Вип. 4(80) – С.156-161.

16. Надутый В.П., Левченко П.В., Костыря С.В. Регрессионный анализ результатов комплексного обезвоживания железной руды // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, (21-25 вересня 2015) – Вип. 123. – С. 153-159.

17. Надутый В.П., Елисеев В.И., Луценко В.И., Костыря С.В. Теоретические оценки влияния некоторых параметров процесса комплексного обезвоживания горной массы // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, (19 січня 2016) – Вип. 126. – С. 36-42.

18. Надутый В.П., Севастьянов В.С., Костыря С.В. Обоснование целесообразности комплексной переработки золы уноса теплоэлектростанций // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, (20 січня 2016) – Вип.131. – С. 59-66.

19. Надутый В.П., Елисеев В.И., Луценко В.И., Костыря С.В. Оценка влияния электроосмоса и вибрации на обезвоживание влагонасыщенной горной массы // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, (26-27 жовтня 2017) – Вип. 3(86). – С.86-91.

20. Надутый В.П., Челышкина В.В., Костыря С.В. Обезвоживание влажной железорудной массы в поле комбинированных физических сил // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – Дніпро, (26 жовтня 2017) – Вип.134. – С. 105-115.

21. Надутый В.П., Костыря С.В. Выбор рациональных методов комплексного обезвоживания влажной горной массы // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – (Дніпро, 18 січня 2017) – Вип.135. – С. 56-61.

22. Надутый В.П., Левченко П.В., Костыря С.В. Регрессионный анализ экспериментальных результатов комплексного обезвоживания горной массы на вибрационном устройстве // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб./ НГУ (01-04 жовтня 2014) – Вип. 45 (86). – С. 43-48.

23. Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. Анализ минерального состава и эффективность комплексного метода обезвоживания золы-уноса при сжигании углей на теплоэлектростанциях // Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця, (11-12 жовтня 2018) – Вип. 3(90). – С.68-74.

24. Пристрій для зневоднення сипких матеріалів: Пат. № 89501 Україна, № у 2013 12652; Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В. заявл. 29.10.2013; опубл.25.04.2014, Бюл. №8.- 5 С.

25. Пристрій для зневоднення: Пат. № 92897 Україна; № у 2014 03312; Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В.; заявл. 01.04.2014; опубл.10.09.2014, Бюл. №17. – 5 С.

26. Спосіб зневоднювання сипучої гірської маси: Пат. №101478 Україна; № у 2015 03530; Надутый В.П., Сухарев В.В., Костыря С.В.; заявл. 15.04.2015; опубл.10.09.2015, Бюл. №17. – 6 С.

Особистий внесок здобувача у роботах написаних у співавторстві: [1, 2, 4, 8] - запропонував нові варіанти конструкцій та обґрунтовано використання нового способу комплексного зневоднення; [3, 6, 7, 9] – участь у експериментальних дослідженнях по встановленню основних закономірностей впливу режимних та конструктивних параметрів пристрою; [13, 16, 18, 25, 26] – проведення теоретичних досліджень і обробка результатів; [5, 10, 12, 23] – розробка узагальненої регресійної моделі, встановлення характеру залежностей зміни кінцевої вологості від домінуючих технологічних параметрів зневоднюючого пристрою; [12, 19, 20, 24] – розробка нового способу зневоднення, а також підвищення ефективності використання комплексного методу.

АНОТАЦІЯ

Костира С.В. Обґрунтування режимних та конструктивних параметрів пристрою комплексної дії для зневоднення гірської маси. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.06 "Гірничі машини". Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро, 2019 р.

Дисертація присвячена рішенням наукової задачі по дослідженню впливу параметрів нового зневоднюючого пристрою зі стійким безперервним режимом роботи комплексного зневоднення гірської маси. Дослідження ефективності зневоднення гірської маси при використанні комплексного методу, що включає вібраційний, вакуумний та електроосмотичний методи, втілений в одному пристрої. Встановлені основні закономірності впливу домінуючих факторів на процес зневоднення та побудована математичну модель, здатна спрогнозувати кінцеву вологість у подрібненій гірській масі.

Проведені дослідження показали, що при використанні комплексного методу зневоднення гірської маси можна досягати до 5% кінцевої вологості в готовому продукті. Безперервність процесу забезпечується вібраційним переміщенням зневоднюючої гірської маси.

Для обґрунтування конструктивних та режимних параметрів зневоднюючого пристрою був проведений комплекс експериментальних досліджень по встановленню ступеня впливу кожного параметра на основні показники - кінцеву вологість (W_{con} , %) та продуктивність (Q , т/г). Встановлений характер залежностей зміни кінцевої вологості від ряду варійованих технологічних параметрів та визначений раціональний режим роботи зневоднюючого пристрою, при якому досягається мінімальний вміст вологи в гірській масі.

Порівняння експериментальних та теоретичних результатів визначення кінцевої вологості гірської маси показало, що розбіжність між ними не перевищує 15 %, що вказує на достовірність опису процесу зневоднювання за допомогою отриманих моделей.

Розроблена технічна пропозиція по впровадженню зневоднюючого пристрою у процес переробки відвальної золи-віднесення та методика визначення

кінцевої вологості гірської маси на новій конструкції зневоднюючого пристрою та рекомендації з його використання.

Ключові слова: зневоднення, електроосмос, вібрація, комплексний метод, вакуумування, капілярна волога.

АННОТАЦИЯ

Костыря С.В. Обоснование режимных и конструктивных параметров устройства комплексного действия для обезвоживания горной массы. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06-«Горные машины». Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, г. Днепр, 2019 г.

Диссертация посвящена решению научной задачи по исследованию влияния параметров нового обезвоживающего устройства с устойчивым непрерывным режимом работы на процесс комплексного обезвоживания горной массы. Исследование эффективности обезвоживания горной массы при использовании комплексного метода, включающего вибрационное, вакуумное и электроосмотическое воздействие, воплощенные в одной установке. Установить основные закономерности влияния доминирующих факторов на процесс обезвоживания и построить математическую модель, способную прогнозировать конечную влажность в измельченной горной массе.

Проведенные исследования показали, что при использовании комплексного метода обезвоживания горной массы можно достигать до 5% конечной влажности в готовом продукте. Непрерывность процесса обеспечивается вибрационным перемещением обезвоживаемой горной массы.

Для обоснования конструктивных и режимных параметров обезвоживающего устройства был проведен комплекс экспериментальных исследований по установлению степени влияния каждого параметра на основные показатели – конечную влажность (W_{con} , %) и производительность (Q , т/ч). Установлен характер зависимостей изменения конечной влажности от ряда варьируемых технологических параметров и определен рациональный режим работы обезвоживающего устройства, при котором достигается минимальное содержание влаги в горной массе.

Сравнение экспериментальных и теоретических результатов определения конечной влажности горной массы показало, что расхождение между ними не превышает 15 %, что указывает на достоверность описания процесса обезвоживания с помощью полученных моделей.

Разработано техническое предложение по внедрению обезвоживающего устройства в процесс переработки отвальной золы-уноса и методика определения конечной влажности горной массы на новой конструкции обезвоживающего устройства и рекомендации по его использованию.

Ключевые слова: обезвоживание, электроосмос, вибрация, комплексный метод, вакуумирование, капиллярная влага.

ABSTRACT

Kostyrya S.V. Justification of Operating and Design Parameters of a Complex Action Device of Rock Mass Dewatering. - Qualification scientific work as a manuscript.

The thesis for obtaining a scientific degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.05.06 - "Mining Machines". – The M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, 2019.

The thesis is devoted to the solution of a scientific problem of studying the influence of the parameters of a new dewatering device with a stable continuous operation mode on the process of complex of the rock mass dewatering. Investigation of the effectiveness of the rock mass dewatering using a complex method, including vibration, vacuum and electroosmotic effects, embodied in one installation. To establish the basic laws of influence of the dominant factors on the process of dewatering and to build a mathematical model capable of predicting the final moisture content in the crushed rock mass.

The studies have shown that when using a comprehensive method of the rock mass dewatering, it is possible to achieve up to 5% of the final moisture content in the finished product. The continuity of the process is ensured by the vibratory movement of the rock mass to be dewatered.

To substantiate the design and operating parameters of the dewatering device, a set of experimental studies was conducted to determine the degree of influence of each parameter on the main indicators – final moisture (W_{con} , %) and productivity (Q , t/h). The nature of dependences of the change in the final humidity on a number of varying technological parameters is established and a rational mode of operation of the dewatering device is determined, at which the minimum moisture content in the rock mass can be reached.

Comparison of the experimental and theoretical results of determining the final moisture content of the rock mass showed that the discrepancy between them does not exceed 15%, which indicates the reliability of the description of the dewatering process using the obtained models.

A technical proposal for introduction of a dewatering device in the process of waste fly ash and the methods for determining the final moisture content of the rock mass on a new design of a dewatering device and recommendations for its use.

Keywords: dewatering, electroosmosis, vibration, complex method, vacuuming, capillary moisture.

Реєстра-ОПНУ

Підписано до друку 12.11.19. Формат 60x84 ¹/₁₆. Спосіб друку – плоский.
Ум. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 1119/04-2.

Видавець та виготовлювач СПД Біла К. О.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єктів видавничої справи ДК № 3618 від 06.11.09

Надруковано на поліграфічній базі видавця Білої К. О.
Україна, 49000, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 111, офіс 2
тел. +38 (067) 210 02 56