

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ФРАЙБЕРЗЬКА ГІРНИЧА АКАДЕМІЯ»

ШЕВЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНІЙОВИЧ

УДК [622.794.254:622.794.3] (043.3)

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУВАЛЬНО-ПУЛЬСАЦІЙНОЇ  
МАШИНИ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ГЛИБОКОВОДНИХ  
ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ОСАДІВ**

Спеціальність 05.05.06 – «Гірничі машини»

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро, Фрайберг – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі гірничих машин та інжинірингу Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпро, Україна) Міністерства освіти і науки України та в Інституті гірничої справи та цивільного будівництва Технічного університету «Фрайберзька гірнича академія» (м. Фрайберг, ФРН).

**Наукові керівники:** доктор технічних наук, професор

**Франчук Всеволод Петрович**, професор кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпро, Україна) Міністерства освіти і науки України,

доктор, професор

**Дребенштедт Карстен**, директор інституту гірничої справи та цивільного будівництва Технічного університету «Фрайберзька гірнича академія» (м. Фрайберг, ФРН).

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Замицький Олег Володимирович**, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», завідувач кафедри теплоенергетики;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Семененко Євген Володимирович**, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, завідувач відділу проблем шахтних енергетичних комплексів.

Захист відбудеться «20» червня 2017 р. о 14 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.06 при Державному ВНЗ «НГУ» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «НГУ» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.

Автореферат розісланий « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради, к.т.н.

М.В. Полушина

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Глибоководні органо-мінеральні осади (ГВОМО), прогнозні запаси яких тільки в Чорному морі складають близько 320 млрд. м<sup>3</sup>, представляють значний інтерес для економічного розвитку України. Дослідження зарубіжних і українських вчених підтверджують ефективність використання даного виду сировини в аграрно-хімічному комплексі, медицині, будівництві та інших галузях промисловості, що робить ГВОМО цінним природним ресурсом.

Однією з основних проблем на шляху до промислового освоєння даного виду природних ресурсів є їх зневоднення, що обумовлено дрібнодисперсною структурою (80 – 85% матеріалу складають фракції < 10 мкм), вмістом органічної та мінеральної речовини і солей.

Зневоднення ГВОМО в місці проведення видобувних робіт дозволяє підвищити концентрацію даної сировини, і, таким чином, значно знизити питомі витрати на її транспортування до берегової бази. Однак умови експлуатації зневоднюючого обладнання у відкритому морі (качка плавзасобу, обмежені виробничі площі і енергоресурси та ін.) пред'являють низку специфічних вимог до даного обладнання, яким найбільш повно відповідають механічні фільтр-преси.

Основними параметрами фільтр-пресів є: робочий тиск, площа фільтруючої поверхні, відстань між фільтрувальними перетинками, кількість фільтрувальних камер, геометричні розміри машин та їх конструктивних елементів, питома продуктивність (з одиниці площі фільтрування), час фільтрування (тривалість зневоднення), тривалість допоміжних операцій, а також параметри зневоднення (вологість суспензії, її властивості та тип).

Як правило, сучасні фільтрувальні машини мають значні габаритні розміри і є металоемними, а ефективність їх роботи залежить від властивостей і гранулометричного складу суспензії, тому для підвищення ефективності їх роботи використовують різні методи інтенсифікації процесу фільтрування, що протікає в цих машинах. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності процесу зневоднення та роботи фільтрувальних машин є метод вібраційного впливу на суспензію, за рахунок чого в останній реалізується пульсуючий тиск.

Створення фільтрувальних машин, що працюють при пульсуючому тиску (фільтрувально-пульсаційних машин), для зневоднення дрібнодисперсних суспензій є складною технічною задачею, тому більшість проведених робіт так і не вийшли за рамки лабораторних досліджень, а існуючі фільтрувально-пульсаційні машини не пристосовані для зневоднення морських ГВОМО з високим вмістом дрібнодисперсної фракції, солей і органічної речовини. На сьогоднішній день методи визначення параметрів фільтрувально-пульсаційних машин для зневоднення дрібнодисперсних суспензій відсутні, зважаючи на велику кількість факторів, що впливають на процес фільтрування.

Таким чином, визначення основних режимних та конструктивних параметрів фільтрувально-пульсаційної машини і встановлення їх залежностей від показників процесу фільтрування дрібнодисперсної суспензії ГВОМО є **актуальною науковою задачею**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи пов'язана з науковим напрямком кафедри гірничих машин та інжинірингу Державного ВНЗ «НГУ» і виконана в рамках плану держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки на період з 2012 р. по 2016 р., в яких автор брав участь як відповідальний виконавець: «Розвиток теоретичних основ створення і оптимізації параметрів сучасного гірничого устаткування для підводного видобутку корисних копалин» (ГП-452, № ДР 0112U000871), «Розробка методу проектування перспективних конструкцій гірничих машин на основі рекурентного метамоделювання» (ГП-470, № ДР 0114U006102), «Теоретико-прикладні основи створення енергоефективних та екологічно безпечних систем глибоководного підйому корисних копалин» (ГП-485, № ДР 0116U004622), відповідає напрямкам і завданням «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року», затвердженої законом України № 3268-VI від 21 квітня 2011 р., відповідає темі заявки на отримання гранту Європейського союзу «Горизонт 2020» з номером реєстрації 689446 від 21 квітня 2015 р.

#### **Мета і задачі досліджень**

Мета роботи полягає в обґрунтуванні параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО та підвищенні її питомої продуктивності за рахунок використання пульсуючого тиску і встановлення залежностей основних параметрів машини від показників процесу фільтрування, а також розробці методики визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

1. Аналіз існуючих методів і пристроїв для зневоднення дрібнодисперсних суспензій механічним способом, а також досліджень з обґрунтування параметрів фільтрувальних машин.
2. Визначення основних параметрів фільтрувально-пульсаційної машини і встановлення залежностей цих параметрів від показників процесу фільтрування дрібнодисперсної суспензії при пульсуючому тиску.
3. Визначення параметрів і розробка експериментальної установки для моделювання роботи фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення дрібнодисперсної суспензії.
4. Проведення експериментальних досліджень зневоднення ГВОМО при статичному і пульсуючому тиску в лабораторних умовах.
5. Побудова математичних моделей розрахунку параметрів фільтрувальної машини для процесу фільтрування ГВОМО при пульсуючому і статичному тиску, оцінка адекватності встановлених математичних моделей на основі методів статистичного аналізу.
6. Визначення раціональних параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО.
7. Розробка конструкції і методики розрахунку параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО.

**Ідея роботи** полягає у використанні пульсації та урахуванні впливу статичної складової тиску, коефіцієнта динамічності і частоти пульсації тиску на

технологічні показники процесу зневоднення дрібнодисперсної суспензії, за рахунок чого підвищується питома продуктивність фільтрувально-пульсаційної машини.

**Об'єкт досліджень** – процес зневоднення глибоководних органо-мінеральних осадів в фільтрувально-пульсаційній машині методом фільтрування при пульсуючому тиску.

**Предмет досліджень** – режимні і конструктивні параметри фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення глибоководних органо-мінеральних осадів та їх вплив на процес фільтрування.

**Методи досліджень.** Для вирішення сформульованих задач використовувався комплексний метод. Даний метод включає в себе: теоретичні дослідження процесу фільтрування дрібнодисперсної суспензії при пульсуючому тиску, які базуються на фундаментальних положеннях механіки суцільних середовищ і основних рівняннях руху в'язкої рідини в пористому середовищі (Нав'є-Стокса); методи фізичного моделювання, які використовувалися при створенні лабораторної фільтрувальної установки; метод науково обґрунтованої постановки експерименту з використанням теорії регресійного аналізу і математичної статистики; експериментальні дослідження процесу фільтрування глибоководних органо-мінеральних відкладень при пульсуючому тиску в лабораторних умовах.

#### **Наукова новизна отриманих результатів**

*Наукові положення, які виносяться на захист:*

1. При фільтруванні дрібнодисперсної суспензії ГВОМО у фільтрувально-пульсаційній машині час фільтрування знаходиться в експоненціальній залежності від частоти пульсації тиску і є зворотно пропорційним статичній складовій тиску з показником ступеня, лінійно залежним від частоти.

2. Для забезпечення вологості ГВОМО від 45 до 50 % при зневодненні в фільтрувально-пульсаційній машині рекомендованими параметрами є: частота пульсації тиску від 50 до 60 Гц, величина статичної складової тиску від 1 до 2 МПа, коефіцієнт динамічності 0,3, відстань між фільтрувальними перетинками від 8 до 15 мм.

*Наукова новизна отриманих результатів:*

1. Вперше розроблено математичну модель, яка визначає час фільтрування ГВОМО в фільтрувальній машині, що працює в режимі статичного тиску від 1 до 7 МПа і враховує зміну вологості суспензії в діапазоні від 68 до 30%.

2. Вперше отримано математичну модель, яка визначає час фільтрування ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині, що працює в режимі пульсуючого тиску, залежно від статичної складової тиску, що змінюється в діапазоні від 1 до 4 МПа, коефіцієнта динамічності від 0,3 до 0,9, частоти пульсації тиску від 20 до 60 Гц та вологості кінцевого продукту від 68 до 30%.

3. Вперше встановлено, що при фільтруванні ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині при статичній складовій тиску, що змінюється в діапазоні від 1 до 4 МПа з частотою пульсації від 20 до 60 Гц, і коефіцієнтом динамічності 0,3, питома продуктивність машини для режиму її роботи при пульсуючому тиску на 40 – 58 % вища, ніж для режиму роботи без пульсації.

4. Вперше визначено, що при фільтруванні ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині з частотою пульсації тиску від 50 до 60 Гц зі збільшенням статичної складової тиску у проміжку від 1 до 4 МПа, приріст питомого об'єму фільтрату, обумовлений динамічною складовою тиску, буде постійним та залежатиме лише від часу фільтрування.

5. Вперше встановлено, що при зневодненні ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині при пульсуючому тиску від 1 до 4 МПа з частотою пульсації у діапазоні від 20 до 60 Гц, зміна коефіцієнта динамічності в межах від 0,3 до 0,9 має незначний вплив на процес фільтрування.

**Обґрунтованість і достовірність** результатів роботи забезпечені: використанням фундаментальних методів механіки суцільного середовища, механіки ґрунтів; теорією фільтрування; математичною статистикою і регресійним аналізом в поєднанні із застосуванням науково обґрунтованих методів постановки експериментальних досліджень. Достовірність отриманих результатів підтверджується задовільною збіжністю експериментальних і розрахункових даних. Для математичної моделі розрахунку параметрів фільтрувально-пульсаційної машини, що працює в режимі пульсуючого тиску при зневодненні ГВОМО, максимальне відносне відхилення питомого об'єму фільтрату, розрахованого згідно з отриманою математичною моделлю і експериментальними значеннями цього параметру становить не більше 21% при довірчій ймовірності 0,9; середня сумарна відносна похибка апроксимації експериментальних даних розрахунковою моделлю складає 6%, при цьому коефіцієнт детермінації дорівнює 0,98. Відтворюваність результатів досліджень забезпечувалася використанням стандартних вимірювальних приладів і типової реєструючої апаратури, адекватність математичних моделей – методами критеріальної оцінки відповідно до теорії математичної статистики і регресійного аналізу.

**Наукове значення роботи** полягає у встановленні залежності часу фільтрування ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині від тиску, коефіцієнта динамічності, частоти пульсації тиску, вологості матеріалу, висоти фільтрувального шару суспензії і показників, що характеризують властивості осадів.

**Практичне значення роботи** полягає в розробці методики визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО, що дозволяє визначити раціональні конструктивні та режимні параметри машини і методики визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО зі шнековим розвантаженням осаду. На рівні винаходу запропонована конструкція фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення дрібнодисперсних суспензій.

**Реалізація результатів роботи.** Розроблена методика визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення морських органічно-мінеральних осадів, яка прийнята до використання при розробці фільтрувальних машин на підприємстві ПАТ «БМЗ «Прогрес» (акт від 12.04.2016), інституті з проектування гірничих підприємств ДВНЗ «НГУ» (акт від 03.03.2016) та філії «ЦЗФ» Павлоградська» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (акт від 14.04.2016); методика визначення параметрів вібраційної фільтрувальної ма-

шини зі шнековим розвантаженням осаду для зневоднення ГВОМО впроваджені на підприємстві ТОВ «Океанмашенерго» (акт від 13.05.2016).

**Особистий внесок автора.** Автором самостійно сформульовані мета і задачі досліджень, наукові положення і новизна. Виконано теоретичні дослідження процесу фільтрування дрібнодисперсної суспензії при пульсуючому тиску, а також розроблено методичку експериментальних досліджень. За участю автора розроблено й виготовлено конструкцію лабораторної фільтрувальної установки, поставлено й проведено експериментальні дослідження. Розроблено інженерну методичку розрахунку параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення глибоководних органо-мінеральних осадів. Автором визначено перспективні напрямки вдосконалення фільтрувально-пульсаційних машин, а також розроблено математичні моделі, які визначають основні параметри фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО, що працює в режимі пульсуючого та статичного тиску.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи доповідалися і отримали позитивну оцінку на: XII Міжнародній конференції з відкритої і підводної розробки корисних копалин (м. Варна, Болгарія, 2013 р.); Міжнародній конференції «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості та транспорту 2014» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); Міжнародній конференції «Форум гірників – 2014» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); XII Всеукраїнській науково-технічній конференції «Потураївські читання» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); V науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Наукова весна – 2014» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковано у 16 роботах, з яких: 9 – у провідних фахових виданнях (1 – без співавторів), з них 3 – в іноземних виданнях, 1 патент на корисну модель, 1 – в інших наукових виданнях; 5 – у матеріалах конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 128 найменувань на 14 сторінках; містить 122 сторінки машинописного тексту, 44 сторінки, повністю заповнених малюнками і таблицями, та 8 додатків на 34 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукову задачу, визначено об'єкт і предмет досліджень, сформульовано мету й задачі досліджень, наукові положення і новизну, а також наведено характеристику роботи та її загальну структуру.

**Перший розділ** присвячений огляду та аналізу обладнання для зневоднення дрібнодисперсних суспензій механічним способом, конструкцій сучасних фільтрувальних машин, а також сучасному стану досліджень процесу фільтрування, що протікає в даних машинах.

Наведено дослідження властивостей і гранулометричного складу ГВОМО Чорного моря, виконані зарубіжними та українськими вченими, згідно

з якими приведена характеристика ГВОМО як об'єкта зневоднення. Встановлено, що матеріал має такі властивості: високу вологість і в'язкість, має схильність до налипання, в основному складається з фракції  $< 10$  мкм, містить органічну речовину і солі.

Проведений аналіз обладнання для зневоднення дрібнодисперсних суспензій показав, що найбільш перспективними для зневоднення ГВОМО є фільтрувальні машини, що працюють при надлишковому тиску. Значний внесок у розробку теорії створення фільтрувальних машин внесли такі вчені, як В.О. Жужиков, Л. Сваровський, Д.Є. Шкоропад, І.М. Белоглазов, О.О. Березняк, Є.В. Семененко, Х. Анлауф, Й. Томас, Ширато, Чі Тієн, А. Рустон та інші. У роботах вчених відзначено, що процес фільтрування дрібнодисперсних суспензій з високим вмістом фракції  $< 10$  мкм в фільтрувальних машинах протікає повільно і вимагає реалізації високих тисків, а також є складним в теоретичному описі. Тому в промисловості звертаються до методів інтенсифікації процесу фільтрування за рахунок впливу на суспензію різними методами.

Перспективним методом інтенсифікації процесу фільтрування дрібнодисперсної суспензії є використання пульсуючого тиску, що реалізується за рахунок вібрації. Дослідженням процесу фільтрування суспензії з накладанням вібрації і розробкою фільтрувально-пульсаційних машин займалися С.М. Стоєв, Ю.Г. Єрбомін, В.Д. Варсанюк та інші.

На практиці для обґрунтування параметрів фільтрувально-пульсаційних машин, як правило, використовують емпіричні залежності, які застосовуються лише для певного (конкретного) типу суспензії, а отримання надійних теоретичних методів, що описують процес фільтрування суспензії при пульсуючому тиску в фільтрувальній машині, є складним, зважаючи на велику кількість впливових факторів і різноманітність властивостей суспензій.

Тому визначення основних параметрів фільтрувально-пульсаційної машини і встановлення залежностей цих параметрів від показників процесу фільтрування ГВОМО є **актуальною науковою задачею**.

У **другому розділі** представлено теоретичні дослідження впливу параметрів фільтрувально-пульсаційної машини на процес фільтрування дрібнодисперсної суспензії при пульсуючому тиску, визначено найбільш важливі параметри фільтрувально-пульсаційної машини, обрано її компоновальну схему, а також визначено параметри експериментальної лабораторної установки для дослідження впливу параметрів машини на процес фільтрування суспензії при статичному і пульсуючому тиску.

За базову конструкцію фільтрувально-пульсаційної машини прийнятий камерний фільтрпрес горизонтального виконання, в конструкцію якого включено пульсатор (рис. 1). Таким чином синтезовано нову конструкцію фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення суспензій.

Основними параметрами фільтрувально-пульсаційної машини є: статична складова тиску  $p_{st}$  (Па), динамічна складова тиску  $p_d$  (Па) (або коефіцієнт динамічності  $K_d$ ), частота пульсації тиску  $\Omega$  (Гц), час фільтрування  $t$  (с), відстань між фільтрувальними перетинками (ФП)  $\delta_k$  (м).



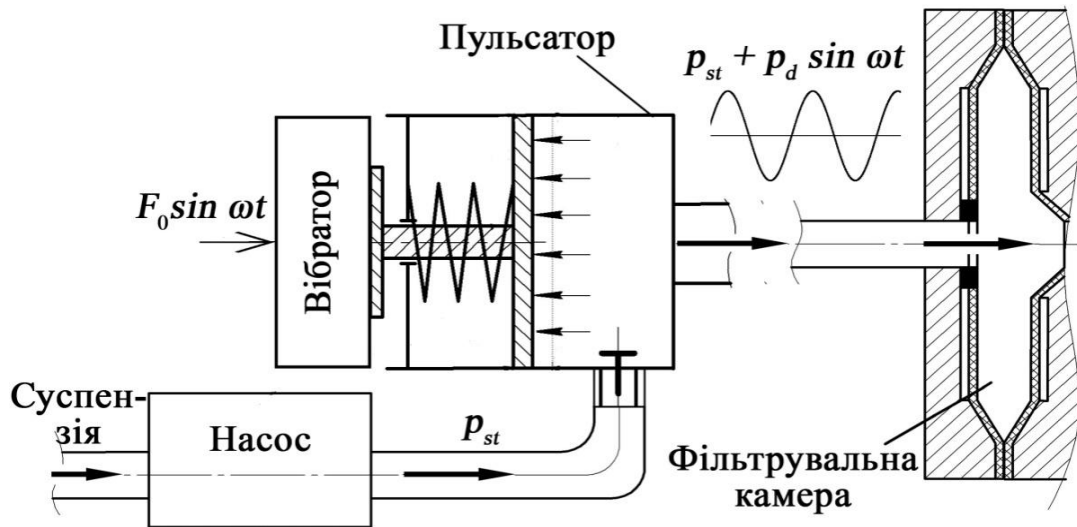


Рис. 1 – Схема реалізації пульсуючого тиску в фільтрувально-пульсаційній машині

Робота пульсатора (рис. 1) описується диференціальним рівнянням:

$$m\ddot{x} + \xi\dot{x} + cx = F_0 \sin \omega t,$$

де  $m$  – сумарна маса вібробудника з поршнем та його елементами (кг);  $\ddot{x}$  – прискорення поршня ( $\text{м/с}^2$ );  $\xi$  – сумарний коефіцієнт опору, який залежить від коефіцієнту динамічності, статичної складової тиску, площі поршня та властивостей суспензії ( $\text{Н}\cdot\text{с/м}$ );  $\dot{x}$  – швидкість ( $\text{м/с}$ );  $c$  – жорсткість пружини ( $\text{Н/м}$ );  $x$  – переміщення ( $\text{м}$ );  $F_0$  – зусилля вібробудника ( $\text{Н}$ );  $\omega$  – кругова частота вібрації ( $\text{рад/с}$ );  $t$  – час.

Для встановлення залежностей основних параметрів фільтрувально-пульсаційної машини від показників процесу фільтрування розглянуто процес фільтрування суспензії при пульсуючому тиску, який протікає в одній фільтрувальній камері фільтрпресу. При цьому складено розрахункову схему (рис. 2), що описує рух в'язкої нестисливої рідини в ідеалізованому пористому середовищі, представленому у вигляді трубок з еквівалентним діаметром  $d_{eq}$  ( $\text{м}$ ).

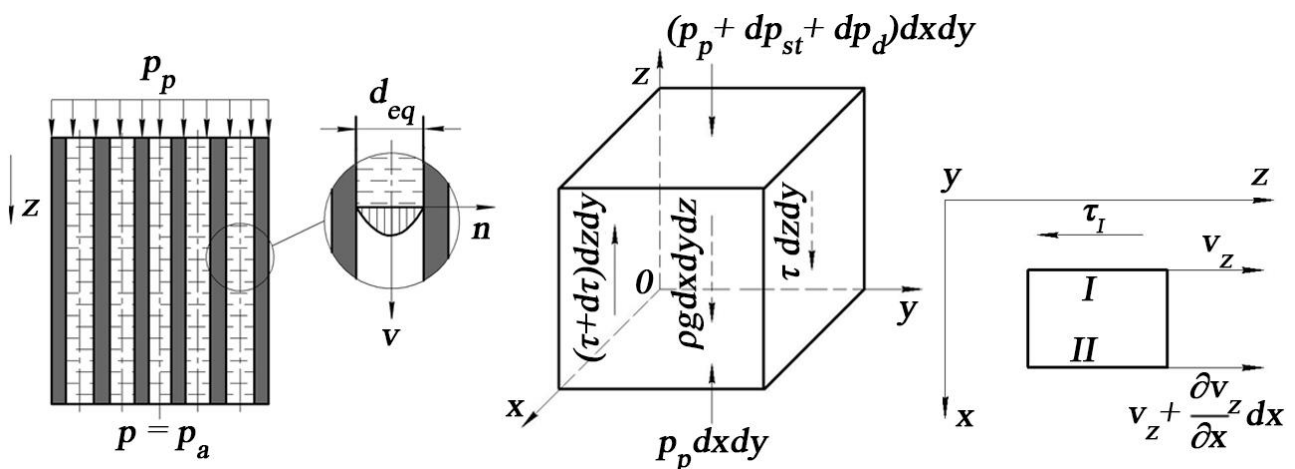


Рис. 2 – Ідеалізована схема руху рідини в пористому середовищі та сили, діючі на елементарний об'єм рідини, який рухається в порі

На рис. 2 позначено:  $p_p$  – сумарний пульсуючий тиск (Па);  $p_a$  – атмосферний тиск (Па);  $n$  – нормаль;  $v$  – швидкість рідини (м/с);  $\tau$  – дотичні напруження (Па);  $g$  – гравітаційна постійна (м/с<sup>2</sup>).

Згідно зі схемою (рис. 2) отримано рівняння руху одновимірного потоку нестисливої в'язкої рідини в каналі, що представляє собою рівняння Нав'є-Стокса, в якому додатково враховується динамічна складова тиску:

$$\rho \frac{\partial v_z}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} - \left( \frac{\partial p_{st}}{\partial z} + \frac{\partial p_d}{\partial z} \right), \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина рідини (кг/м<sup>3</sup>);  $\mu$  – динамічна в'язкість рідини (Па·с);  $v_z$  – проекція швидкості на вісь  $z$  (м/с).

Згідно з методами критеріального моделювання, рівняння (1) приведено до залежності Е. Дарсі, що враховує вплив динамічної складової тиску:

$$\frac{dV}{Sdt} = \frac{p_p}{\mu r_o l'} \quad (2)$$

де  $V$  – об'єм фільтрату (м<sup>3</sup>);  $S$  – площа фільтрувальної поверхні (м<sup>2</sup>);  $r_o$  – питомий об'ємний опір осаду (м<sup>-2</sup>);  $l'$  – довжина каналів (м).

Враховуючи зміну вологості суспензії в процесі її фільтрування, на підставі залежності (2) отримана залежність, що визначає час фільтрування:

$$t = r_{пр}(p_p) \cdot H^2 \cdot W_{\Delta}^2, \quad (3)$$

де  $r_{пр}(p_p)$  – приведений питомий опір осаду (с/м<sup>2</sup>);  $H$  – початкова висота шару суспензії (м);  $W_{\Delta}$  – параметр, що характеризує зміну вологості суспензії і залежить від її властивостей.

Параметр  $W_{\Delta}$  в залежності (3) визначається як:

$$W_{\Delta} = \frac{\rho_s (W_0 - W_k)}{(W_k - 1)(\rho - W_0 \rho + W_0 \rho_s)}, \quad (4)$$

де  $\rho_s$  – густина дисперсної фази суспензії (кг/м<sup>3</sup>);  $W_0$  – початкова вологість суспензії;  $W_k$  – вологість зневодненої суспензії (осаду).

**У третьому розділі** дисертації представлено методики проведення лабораторних досліджень процесу зневоднення дрібнодисперсної суспензії при пульсуючому і статичному тиску, обробки результатів експерименту і побудови математичних моделей розрахунку параметрів фільтрувально-пульсаційної машини, а також виконано аналіз даних, отриманих в ході проведення експериментальних досліджень зі зневоднення ГВОМО.

При постановці експериментальних досліджень процес фільтрування дрібнодисперсної суспензії, який протікає в камері фільтрувально-пульсаційної машини при пульсуючому тиску, був представлений у вигляді структурної діаграми (рис. 3) з вхідними та вихідними параметрами машини. Для кожного вхідного параметра визначено рівні та інтервали варіювання (табл. 1).

В таблиці 1 позначено: «0» – нульовий рівень варіювання параметра (початок координат); «+1» – верхній рівень; «-1» – нижній рівень;  $p_r = p_{st}/p_a$ ;

$\omega_r = \omega/\omega_{min}$  (де  $\omega_{min} = 125,6$  рад /с – мінімальне значення кругової частоти вібрації);  $K_d = p_d/p_{st}$ ;  $T = t/t_0$  (де  $t_0$  – час умовної стабілізації процесу фільтрування);  $q_L = V/(SH)$  – приведений об'єм фільтрату.

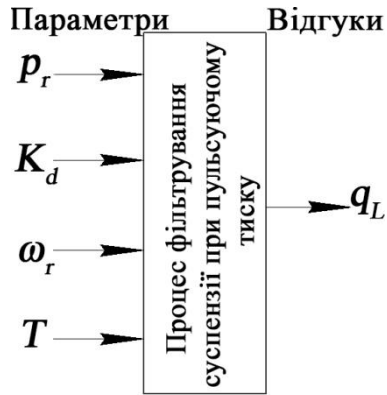


Рис. 3 – Структурна схема параметрів, які варіюються при експерименті

Таблиця 1 –  
Значення рівнів та інтервалів варіювання факторів (параметрів) при експерименті

Фактор	Кодоване позначення	Інтервали варіювання $c_i$	Рівні факторів		
			«0»	«+1»	«-1»
$p_r$	$X_1$	15	25	40	10
$\omega_r$	$X_2$	1,0	2,0	3,0	1,0
$K_d$	$X_3$	0,3	0,6	0,9	0,3
$T$	$X_4$	4,5	5,5	10	1

Експериментально визначено основні властивості досліджуваних зразків ГВОМО: початкова вологість  $W_0 \approx 68\%$ ; густина твердої фази суспензії  $\rho_s \approx 2387$  кг/м<sup>3</sup>; густина суспензії  $\rho_0 \approx 1250$  кг/м<sup>3</sup>; середня масова концентрація дисперсної фази в суспензії 0,32. Також виконано аналіз гранулометричного складу ГВОМО, згідно з яким встановлено, що більш ніж 80% об'єму матеріалу складає фракція < 10 мкм.

Експериментальні дослідження впливу основних параметрів фільтрувально-пульсаційної машини на процес фільтрування ГВОМО при пульсуючому тиску проводилися відповідно до обраного некомпозіційного плану експерименту (плану Бокса) для чотирьох факторів. Вимірюваним в ході дослідів параметром була маса фільтрату, яка перераховувалась в об'єм  $V$ . Кількість повторних дослідів дорівнює 3.

Для проведення експериментальних досліджень була розроблена і виготовлена лабораторна фільтрувальна установка (рис. 4), яка дозволяє активно змінювати параметри в процесі проведення досліджень: статичну складову тиску, коефіцієнт динамічності, частоту пульсації тиску, початкову висоту шару суспензії і тип фільтрувальної перетинки.

На рис. 4 позначено: 1 – опора; 2 – коромисло; 3 – вібробудник; 4 – гирі; 5 – фільтрувальна камера; 6 – частотний перетворювач; 7 – чаша для фільтрату; 8 – лабораторні ваги; 9 – основа; 10 – комп'ютер; 11 – шток; 12 – стінка фільтрувальної камери; 13 – стакан; 14 – суспензія; 15 – фільтрувальна перетинка.

На підставі результатів експериментальних досліджень режиму роботи фільтрувальної машини для зневоднення ГВОМО при пульсуючому тиску отримано регресійно-статистичну математичну модель:

$$\begin{aligned}
 Y = & 1,77 + 0,021(X_1 - 25) + 0,11(X_2 - 2) + 0,224(X_4 - 5,5) - \\
 & - 0,018(X_1 - 25)(X_3 - 0,6) + 0,003(X_1 - 25)(X_4 - 5,5) + \\
 & + 0,024(X_2 - 2)(X_4 - 5,5) - 2,7 \cdot 10^{-4}(X_1 - 25)^2 - \\
 & - 0,06(X_2 - 2)^2 - 0,33(X_3 - 0,6)^2 - 0,003(X_4 - 5,5)^2,
 \end{aligned} \tag{5}$$

де  $Y = q_L$ ;  $S = 0,001 \text{ м}^2$ ;  $H = 0,02 \text{ м}$ ;  $t_0 = 60 \text{ с}$  (визначено в ході експериментальних досліджень).

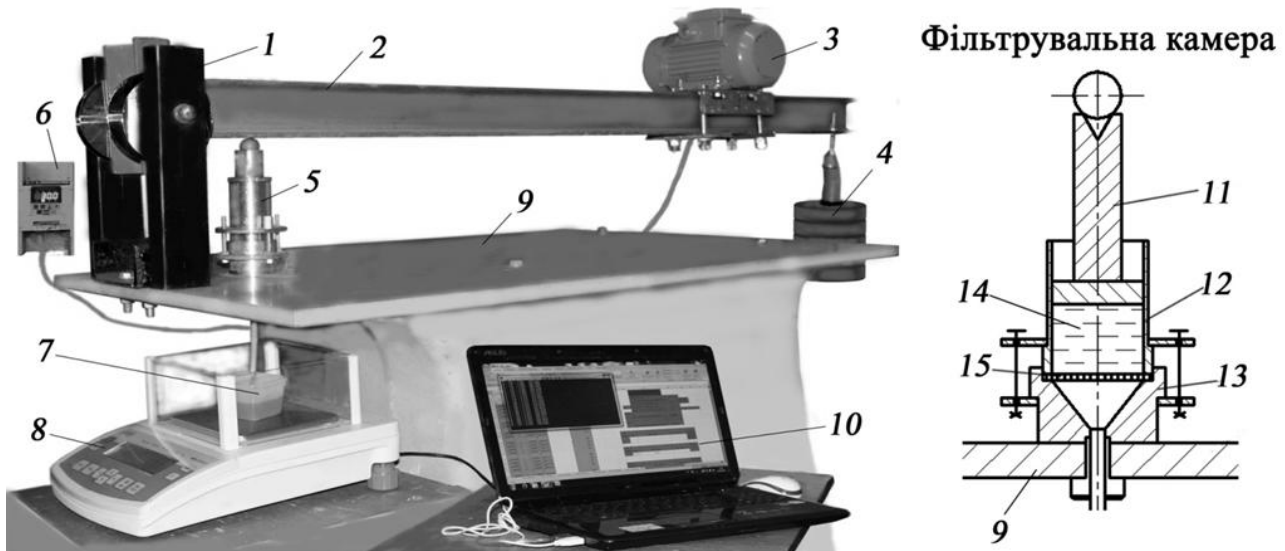


Рис. 4 – Лабораторна фільтрувальна установка

Середня сумарна похибка апроксимації експериментальних даних моделю (5) склала 11% при коефіцієнті детермінації 0,98. Адекватність моделі підтверджена критерієм Фішера.

В ході аналізу моделі (5) встановлено, що зміна коефіцієнта динамічності  $K_d$  в досліджуваному діапазоні варіювання практично не впливає на процес зневоднення ГВОМО, тому його значення можна приймати постійним. Приймавши  $K_d = 0,3$  (мінімальне значення), для режиму роботи фільтрувально-пульсаційної машини при пульсації тиску отримано математичну модель:

$$t = \frac{b_r e^{-k_2 \omega_r}}{p_r^{0,752 - 0,138 \omega_r}} (K_s - HW_\Delta)^2, \tag{6}$$

де  $b_r = 3,19 \cdot 10^8 \text{ с/м}^2$ ;  $K_s = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$  (для  $t_0 = 60 \text{ с}$ );  $k_2 = 0,61$ .

Область застосування моделі (6) обмежена інтервалами варіювання параметрів та властивостями суспензії ГВОМО. Максимальне відносне відхилення розрахункових згідно залежності (6) та експериментальних значень параметру  $t$  складає 21% при довірчій ймовірності 0,9.

Для параметрів  $H = 7,0 \text{ мм}$  і  $W_k = 45\%$  згідно моделі (6) побудовано графіки залежностей часу фільтрування від частоти пульсації тиску і статичної складової тиску, які представлені на рис. 5.

На підставі моделі (6) та графіків (рис. 5) сформульовано **перше наукове положення**.

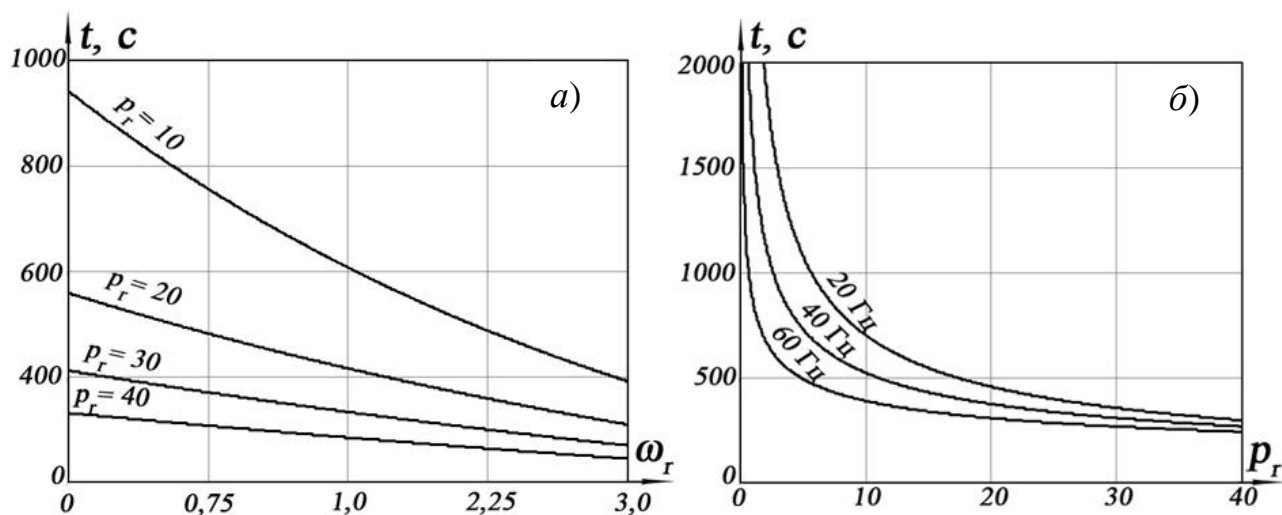


Рис. 5 – Залежності часу фільтрування  $t$  від частоти пульсації тиску  $\omega_r$  (а) та статичної складової тиску  $p_r$  (б)

Для режиму роботи фільтрувально-пульсаційної машини без пульсації тиску отримано математичну модель, яка визначає час фільтрування ГВОМО:

$$t = a_r p_r^{-k_1} H^2 W_\Delta^2, \quad (7)$$

де  $a_r = 3,109 \cdot 10^8 \text{ с/м}^2$ ;  $k_1 = 0,58$ .

Область застосування моделі (7) обмежена інтервалами варіювання параметрів та властивостями суспензії ГВОМО. Максимальне відносне відхилення розрахункових згідно (7) та експериментальних значень для параметра  $t$  склало 19% при довірчій ймовірності 0,9.

У четвертому розділі наведено методику визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО. На рівні винаходу розроблено конструкцію фільтрувально-пульсаційної машини зі шнековим розвантаженням осаду та методику визначення її параметрів стосовно ГВОМО.

На підставі проведеного аналізу отримано залежності: питомої продуктивності фільтрувально-пульсаційної машини  $v_p$  (м/с) від енергоємності процесу зневоднення ГВОМО  $W_F$  (Н·м/с) та статичної складової тиску при частоті пульсації 20 і 60 Гц (рис. 6, а і б); залежності параметру  $v_p$  від частоти пульсації тиску (рис. 6, в); та залежності часу фільтрування ГВОМО від відстані між ФП при частоті пульсації тиску 50 Гц (рис. 6, г).

Згідно із залежностями (рис. 6, а і б) встановлено, що при підвищенні статичної складової тиску від 1 до 4 МПа енергоємність процесу зневоднення ГВОМО збільшується в 5 разів, а продуктивність фільтрувально-пульсаційної машини підвищується лише на 32,5%. Отже для фільтрувально-пульсаційної машини підвищення статичної складової тиску понад 2 МПа є недоцільним.

З графіків (рис. 6, в) видно, що найбільша відносна продуктивність фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО досягається при частоті пульсації тиску від 50 до 60 Гц. При цьому підвищення частоти пульсації тиску від 50 до 60 Гц, згідно експериментальним даним, не призводить до значного підвищення питомої продуктивності машини.

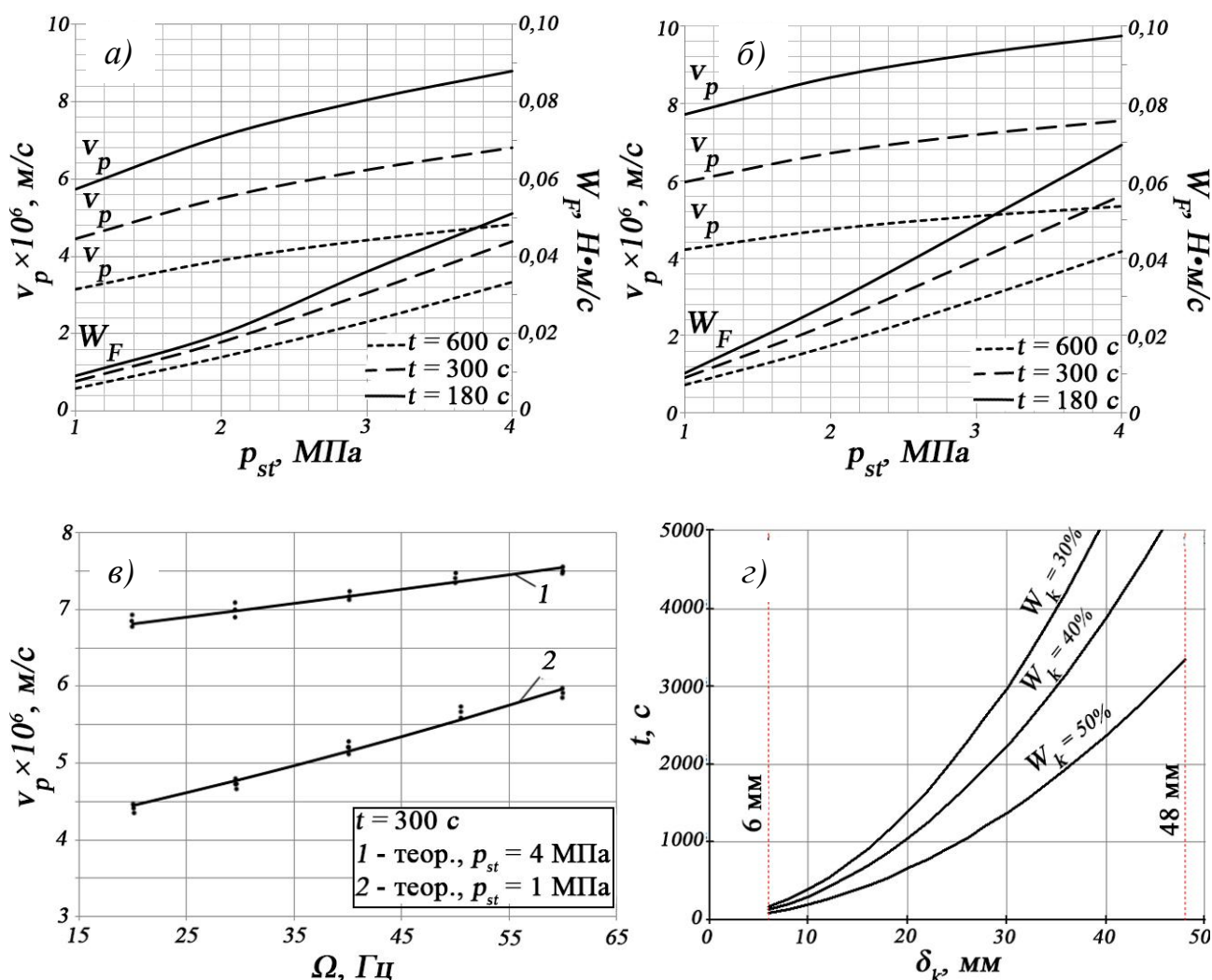


Рис. 6 – Основні результати досліджень зневоднення ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині

На основі аналізу залежностей (рис. 6) сформульовано **друге наукове положення**.

Для оцінки ефективності використання пульсації тиску при зневодненні ГВОМО виконано порівняння режимів роботи фільтрувально-пульсаційної машини при пульсуючому та статичному тиску. При цьому на основі розроблених математичних моделей, що описують режими роботи фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО, отримано залежності відносного підвищення питомої продуктивності  $\Delta v_p$  (%) машини (в порівнянні з режимом її роботи без пульсації) від статичної складової тиску і частоти (рис. 7).

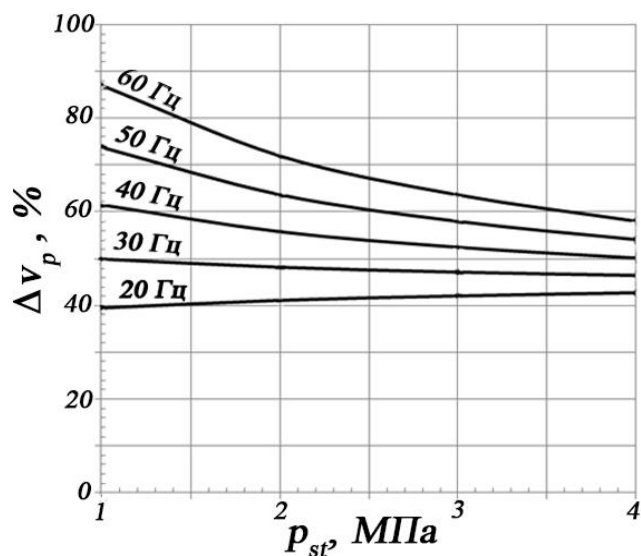


Рис. 7 – Залежності  $\Delta v_p$  від тиску  $p_{st}$

З аналізу залежностей (рис. 7) слідує, що при фільтруванні ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині, що працює в режимі пульсації тиску від 20 до 60 Гц при статичній складовій тиску від 1 до 4 МПа, підвищення питомої продуктивності склало понад 40% в порівнянні з режимом без пульсації.

Основні параметри фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО представлені в табл. 2.

Таблиця 2 –

Основні параметри фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО

Параметри	Діапазон значень	Рац. значення
Відстань між ФП $\delta_k$ , мм	6...48	8...15
Статична складова тиску $p_{st}$ , МПа	1,0...4,0	1,0...2,0
Кінцева вологість продукту $W_k$ , %	30...50	45...50
Частота пульсації тиску $\Omega$ , Гц	20...60	50...60
Коефіцієнт динамічності $K_d$	0,3...0,6	0,3
Початкова вологість суспензії $W_0$ , %	68	–

Згідно з результатами проведених досліджень розроблено методику визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО, що впроваджено на підприємствах: ПАТ «БМЗ «Прогрес», Інституті з проектування гірничих підприємств ДВНЗ «НГУ»; філії «ЦЗФ» Павлоградська ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» при розробці фільтрувальних машин. Крім того, розроблено нову конструкцію фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення дрібнодисперсної суспензії зі шнековим розвантаженням осаду (рис. 8) та методику визначення параметрів цієї машини для суспензії ГВОМО, яку впроваджено на підприємстві ТОВ «Океанмашенерго».

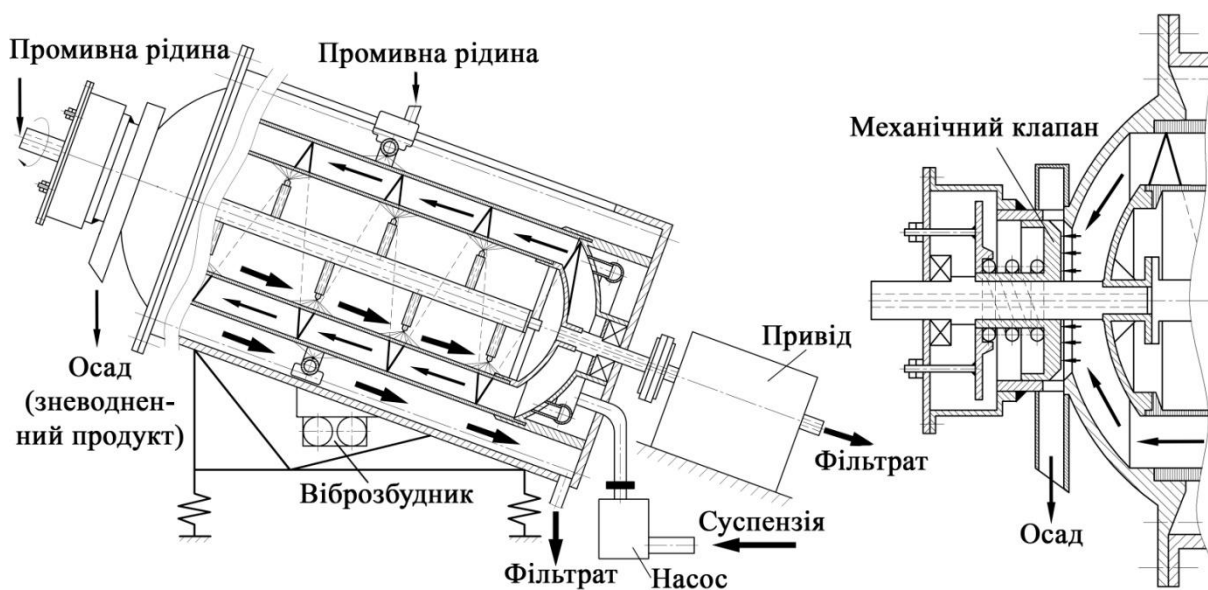


Рис. 8 – Принципова схема фільтрувально-пульсаційної машини зі шнековим розвантаженням осаду (патент №104312 UA)

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача, яка полягає у обґрунтуванні основних параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення дрібнодисперсної суспензії ГВОМО у вигляді статичної складової тиску, коефіцієнта динамічності, частоти пульсації тиску, часу фільтрування і відстані між фільтрувальними перетинками і встановленні їх залежностей від показників процесу фільтрування ГВОМО, що дозволило визначити час фільтрування суспензії, який знаходиться в експоненціальній залежності від частоти пульсації тиску і є зворотно пропорційним статичній складовій тиску з показником ступеня, лінійно залежним від частоти; встановити кількісну оцінку параметрів машини та розробити інженерну методику визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО.

Основні науково-практичні результати роботи.

1. За результатами аналізу патентів і літературних джерел встановлено, що для зневоднення ГВОМО найбільш перспективним є застосування камерних фільтрпресів, а також фільтрпресів з циліндричними фільтрувальними перетинками. Найбільш перспективним напрямком підвищення продуктивності фільтрувальних машин є використання пульсуючого тиску.

2. Встановлено, що при фільтруванні ГВОМО в камері фільтрувально-пульсаційної машини час фільтрування прямо пропорційний добутку приведенного питомого опору матеріалу на висоту фільтрувального шару суспензії і комплексний параметр, що характеризує зміну вологості суспензії.

3. Розроблено схему та конструкцію експериментальної установки для проведення лабораторних досліджень процесу зневоднення суспензії в камері фільтрувально-пульсаційної машини при статичному і пульсуючому тиску та виконано розрахунок параметрів даної установки.

4. Розроблено методику та проведено лабораторні дослідження процесу зневоднення ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині.

5. Розроблено математичну модель, що дозволяє визначити час фільтрування ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині, яка працює в режимі пульсуючого тиску, в залежності від статичної складової тиску, що змінюється в діапазоні від 1 до 4 МПа, коефіцієнта динамічності 0,3, частоти пульсації тиску від 20 до 60 Гц і висоти шару суспензії від 3 до 24 мм, яка враховує зміну вологості суспензії в діапазоні від 30 до 68%. Максимальне відносне відхилення розрахункових – згідно з отриманою моделлю – і експериментальних значень для часу фільтрування становить 21% при довірчій ймовірності 0,9.

6. Встановлено, що при фільтруванні дрібнодисперсної суспензії ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині час фільтрування знаходиться в експоненціальній залежності від частоти пульсації тиску і є зворотно пропорційним статичній складовій тиску з показником ступеня, лінійно залежним від частоти.

7. Розроблено математичну модель, що дозволяє визначити час фільтрування ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині, яка працює в режимі статичного тиску від 1 до 7 МПа, висоти шару суспензії від 3 до 24 мм, і враховує



зміну вологості суспензії в діапазоні від 30 до 68%. Максимальне відносне відхилення розрахункових – згідно з отриманою моделлю – і експериментальних значень для часу фільтрування становить 19% при довірчій ймовірності 0,9.

8. Визначено раціональні конструктивні та режимні параметри (для досліджуваного діапазону) фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО до вологості від 45 до 50%: частота пульсації тиску від 50 до 60 Гц, величина статичної складової тиску від 1 до 2 МПа, коефіцієнт динамічності 0,3, відстань між фільтрувальними перетинками від 8 до 15 мм.

9. На рівні винаходу розроблено конструкцію і інженерну методику розрахунку параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО зі шнековим розвантаженням осаду, що дозволяє визначити основні конструктивні та режимні параметри машини, яка впроваджена на підприємстві ТОВ «Океанмашенерго».

10. Розроблено конструкцію і інженерну методику визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО, яка використовується при проектуванні фільтрувальних машин на підприємстві ПАТ «БМЗ «Прогрес», інституті з проектування гірничих підприємств ДВНЗ «НГУ» та філії «ЦЗФ» Павлоградська» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

11. Встановлено, що при частоті пульсації від 50 до 60 Гц і статичній складовій тиску 1 МПа питома продуктивність фільтрувально-пульсаційної машини за однаковий проміжок часу підвищиться більш ніж на 48% в порівнянні з режимом роботи без пульсації тиску. Для діапазону тисків від 3 до 4 МПа підвищення питомої продуктивності складає в середньому 21%.

**Основні наукові результати і положення дисертації опубліковані в 16 роботах, з яких:**

1. Шевченко А.Е. Моделирование процесса фильтрации тонкодисперсной суспензии при пульсирующем давлении / С.В. Тынына, А.Е. Шевченко, И.И. Чоботко // Физико-технические проблемы горного производства. – Выпуск 18. – 2016. – с. 50-59 .

2. Shevchenko O. Wege zur Weiterentwicklung der Filteranlagen für fest-flüssig-Trennung von Feindispersen Suspensionen / O. Shevchenko, S. Tynyna // 11 Freiberg – St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler (BHT 2016). – Scientific Reports on Resource Issues 2016 Volume 1. – TU Bergakademie Freiberg. – p-p. 264-268.

3. Шевченко А.Е. Особенности обезвоживания глубоководных органоминеральных осадков Черного моря методом фильтрации / А.Е. Шевченко // Геотехническая механика. – Выпуск 120. – 2015. – с. 113-124.

4. Шевченко А.Е. Обезвоживание органоминеральных осадков Черного моря при комбинированном статическом и динамическом нагружении // Франчук В.П., Шевченко А.Е. // Вибрации в технике и технологиях. – №4 (80). – 2015 г. – с. 191-199.

5. Shevchenko O. Sapropel in the Black Sea – Prospect for an unconventional raw material / С. Drebenstedt, T. Shepel, O. Shevchenko // World of Mining – Surface & Underground (67). – 2015. – № 1. – p-p. 19-29.

6. Shevchenko O. Ye. Aktueller Stand der Technik für die Mechanische Entwässerung von marinen organisch-mineralischen Sedimenten des Schwarzen Meeres / O. Ye. Shevchenko, C. Drebenstedt // 10 Freiberg – St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler (BHT 2015). – Scientific Reports on Resource Issues 2015 Volume 1. – TU Bergakademie Freiberg. – p-p. 205-213.

7. Шевченко А.Е. Использование вибрационного воздействия для повышения эффективности фильтрования глубоководных органо-минеральных осадков Черного моря / В.П. Франчук, А.В. Анциферов, А.Е. Шевченко // Вибрации в технике и технологиях. – №3 (75). – 2014 г. – с. 136-144.

8. Shevchenko O.E. Deep-water organic-mineral sediments of the Black Sea as the object of mining and dewatering / V.P. Franchuk, T.V. Shepel, O.E. Shevchenko // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2014. – №44. – с. 86-91.

9. Шевченко О.Є. Проблеми створення обладнання для видобутку та первинної переробки глибоководних органо-мінеральних відкладень Чорного моря / В.П. Франчук, Т.В. Шепель, О.Є. Шевченко // Вісник ЖДТУ. – 2013. – №4 (67). – С. 139 – 145

10. Пат. 104312 Україна, B01D 33/11, B01D 33/50, B01D 33/06, B01D 36/00. Фільтр / В.П. Франчук, О.Є. Шевченко (Україна); заявн. і патентовл. Державний ВНЗ «НГУ» – U201506486; заяв. 01.07.2015; опубл. 25.01.2016, Бюл. №2.

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

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

13. Шевченко А.Е. Перспективы использования канатно-ковшового оборудования для добычи глубоководных органо-минеральных осадков в Черном море / Т.В. Шепель, А.Е. Шевченко // Форум гірників – 2014: матеріали міжнар. конф., 1 – 4 жовт. 2014р.: тез. доп. – Д.: НГУ, 2014. – Т. 1. – С. 80 – 87.

14. Шевченко А.Е. Лабораторные исследования обезвоживания глубоководных органо-минеральных осадков Черного моря прессованием / А.Е. Шевченко // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014: материалы междунар. конф., 27 – 28 мар. 2014 г.: тез. докл. – Д.: НГУ, 2014. – С. 133 – 136.

15. Шевченко А.Е. Обезвоживание глубоководных органо-минеральных осадков Черного моря методом фильтрования [Электронный ресурс] / А.Е. Шевченко // Потураївські читання: матеріали XII всеукр. наук.-техн. конф., 20 січ. 2014 р. [присвяч. 92-й річниці з дня нар. акад. НАН України

В.М. Потураєва: тези доп.] – Д.: НГУ, 2014. – Режим доступу: [http://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/Publications/2014/poturaev\\_2014.php](http://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/Publications/2014/poturaev_2014.php)

16. Шевченко О.Є. Особливості зневоднення морських мулів методом фільтрування / О.Є. Шевченко // Наукова весна – 2014: 5-та наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених, 26 – 27 бер. 2014 р.: тез. доп. – Д.: НГУ, 2014. – С. 74 – 75.

#### **Особистий внесок здобувача в роботи, опубліковані в співавторстві:**

[1] – проведено аналіз та теоретичні дослідження процесу фільтрування дрібнодисперсної суспензії при пульсуючому тиску; [2] – розроблено конструкцію фільтрувальної машини для розділення дрібнодисперсних суспензій, що працює при пульсуючому тиску; [4, 7] – розроблено лабораторну фільтрувальну установку та проведено експериментальні дослідження по зневодненню морських осадів при пульсуючому тиску; [5] – визначено основні фізико-механічних властивості та гранулометричний склад ГВОМО; [6, 10] – виконано огляд сучасних фільтрувальних машин для зневоднення дрібнодисперсних суспензій та розроблено схему конструкції фільтрувальної машини; [9] – проведено експериментальні дослідження зневоднення дрібнодисперсної суспензії ГВОМО фільтруванням та аналіз їх результатів; [11, 12, 13] – розглянуто усереднені характеристики ГВОМО як об'єкта зневоднення.

#### **АНОТАЦІЯ**

Шевченко А.Є. «Обґрунтування параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення глибоководних органо-мінеральних осадів». На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.06 – гірничі машини. – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпро, 2017; Технічний університет «Фрайберзька гірнична академія», Фрайберг, 2017.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень процесу зневоднення ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині встановлено основні параметри машини: статична і динамічна складові тиску, частота пульсації тиску, час фільтрування, та їх залежності від показників процесу фільтрування – вологості матеріалу, висоти шару суспензії і фізико-механічних властивостей суспензії.

Розроблено методики: проведення експериментальних досліджень процесу зневоднення дрібнодисперсної суспензії в фільтрувально-пульсаційній машині, що працює в режимах пульсуючого та статичного тиску; обробки результатів експерименту; визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО; визначення параметрів фільтрувально-пульсаційної машини зі шнековим розвантаженням осаду для зневоднення суспензії ГВОМО. Розроблено нову конструкцію фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення дрібнодисперсних суспензій із шнековим розвантаженням осаду.

Наведено результати лабораторних досліджень процесу зневоднення ГВОМО при статичному і пульсуючому тиску, властивостей суспензії і її гранулометричного складу. Визначено раціональні конструктивні та режимні параметри

фільтрувально-пульсаційної машини для зневоднення ГВОМО до вологості від 45 до 50%.

Встановлено, що ефективність зневоднення ГВОМО в фільтрувально-пульсаційній машині для режиму роботи при пульсуючому тиску в порівнянні з режимом статичного тиску при однакових параметрах склала: для частоти пульсації 20 Гц – близько 40%, для частоти пульсації 60 Гц – більше 58%.

Ключові слова: глибоководні органо-мінеральні осади, зневоднення, фільтрування, пульсуючий тиск, суспензія, фільтрувально-пульсаційна машина, раціональні параметри.

## АННОТАЦІЯ

Шевченко А.Е. «Обоснование параметров фильтровально-пульсационной машины для обезвоживания глубоководных органо-минеральных осадков» На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – горные машины. – Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепр, 2017; Технический университет «Фрайбергская горная академия», Фрайберг, 2017.

В результате теоретических и экспериментальных исследований процесса обезвоживания глубоководных органо-минеральных осадков (ГВОМО) в фильтровально-пульсационной машине определены основные параметры машины: статическая и динамическая составляющие давления, частота пульсации давления, время фильтрования, а также установлены зависимости этих параметров от показателей процесса фильтрования – влажности материала, высоты слоя суспензии и ее физико-механических свойств.

Разработаны методики: проведения экспериментальных исследований процесса обезвоживания тонкодисперсной суспензии в фильтровально-пульсационной машине, работающей при пульсирующем и статическом давлении; обработки результатов эксперимента; определения параметров фильтровально-пульсационной машины для обезвоживания ГВОМО; определения параметров фильтровально-пульсационной машины со шнековой выгрузкой осадка для обезвоживания ГВОМО. Методики определения параметров фильтровально-пульсационных машин внедрены на предприятиях: ПАО «БМЗ «Прогресс», ООО «Океанмашэнерго», филии «ЦЗФ» Павлоградская» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» и Институте проектирования горных предприятий ГВУЗ «НГУ». Разработана конструкция фильтровально-пульсационной машины нового технического уровня для обезвоживания тонкодисперсных суспензий и получен патент на полезную модель.

Приведены результаты лабораторных исследований процесса фильтрования ГВОМО при статическом и пульсирующем давлении, свойств суспензии и ее гранулометрического состава. Разработаны математические модели, описывающие режимы работы фильтровально-пульсационной машины для обезвоживания ГВОМО при статическом и пульсирующем давлении, а также выполнен их статистический анализ.

Установлено, что при фильтрации тонкодисперсной суспензии ГВОМО в фильтровально-пульсационной машине время фильтрации находится в экспоненциальной зависимости от частоты пульсации давления и обратно пропорционально статической составляющей давления с показателем степени, линейно зависимым от частоты. Кроме того установлено, что при обезвоживании ГВОМО в фильтровально-пульсационной машине при пульсирующем давлении в диапазоне от 1 до 4 МПа с частотой пульсации от 20 до 60 Гц, изменение коэффициента динамичности в пределах от 0,3 до 0,9 имеет незначительное влияние на процесс фильтрации.

Определены рациональные (для исследуемого диапазона) конструктивные и режимные параметры фильтровально-пульсационной машины для обезвоживания ГВОМО до влажности от 45% до 50%: частота пульсации давления от 50 до 60 Гц; величина статической составляющей давления от 1 до 2 МПа; коэффициент динамичности 0,3; расстояние между фильтровальными перегородками от 8 до 15 мм.

Эффективность обезвоживания ГВОМО в фильтровально-пульсационной машине для режима работы при пульсирующем давлении в сравнении с режимом статического давления при одинаковых параметрах составила: для частоты пульсации 20 Гц – порядка 40%, для частоты пульсации 60 Гц – более 58%.

Ключевые слова: глубоководные органо-минеральные осадки, обезвоживание, фильтрация, пульсирующее давление, суспензия, фильтровально-пульсационная машина, рациональные параметры.

## ABSTRACT

Shevchenko A.Ye. "Determining parameters of a filtering machine utilizing the pulsating pressure for dewatering deep-water organic-mineral sediments". The manuscript.

Thesis for the degree of the Candidate of Engineering Sciences on the specialty 05.05.06 – Mining Machines. – National Mining University, Dnipro, 2017; Technical University "Bergakademie Freiberg", Freiberg, 2017.

As a result of theoretical and experimental investigations of the process of dewatering deep-water organic-mineral sediments with a filtering machine utilizing pulsating pressure, the following main parameters of the machine were established: static and dynamic components of the pressure, the frequency of the pressure pulsation, the duration of the filtration, as well as dependences of these parameters on parameters of the filtration, namely, on the moisture of the material, the suspension layer thickness, and physical-and mechanical properties of the suspension.

The following techniques were developed: of the experimental investigation of the process of filtering the fine suspension with a filtering machine utilizing both static and dynamic pressures; of the experimental data processing; of determining parameters of the filtering machine for dewatering deep-water organic-mineral sediments utilizing the pulsating pressure; of determining parameters of the filtering machine equipped with a screw for unloading the dewatered material. The design of the filtering machine utilizing the pulsating pressure for dewatering the fine suspension

equipped with a screw for unloading the dewatered material was developed; a utility model patent was obtained.

The results of laboratory investigations on dewatering deep-water organic-mineral sediments under the static and dynamic pressures, as well as properties of the suspension and its particles size distribution are given. Rational design and operation parameters of the filtration machine for dewatering deep-water organic-mineral sediments to their moisture of 45-50 % are determined.

It was established that the efficiency of dewatering the deep-water organic-mineral sediments with the filtering machine utilizing the pulsating pressure with the frequency of 20 Hz is app. by 40% higher in comparison with the static mode; for the frequency of 60 Hz this value is above 58%.

Keywords: deep-water organic-mineral sediments, dewatering, filtration, pulsating pressure, suspension, filtering machine, rational parameters.