

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

УДК 622.742:621.928

**ЄРЕМЄЄВ ІГОР ВІКТОРОВИЧ**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ  
ЗНЕВОДНЕННЯ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ  
НА ВИСОКОЧАСТОТНИХ ГРОХОТАХ**

05.15.08 – збагачення корисних копалин

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидати технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в ВП «Укрндівуглезбагачення» ДП «НТЦ «Вуглеінновація» Міністерства енергетики та вугільної промисловості України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор **ПОЛУЛЯХ Олександр Данилович**, начальник науково-дослідної Придніпровської лабораторії удосконалення технологій і методів збагачення вугілля ВП «Укрндівуглезбагачення» ДП «НТЦ «Вуглеінновація» Міністерства енергетики та вугільної промисловості України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **НАДУТИЙ Володимир Петрович**, завідуючий відділом механіки машин і процесів переробки мінеральної сировини Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ);

кандидат технічних наук, доцент **Скляр Людмила Василівна**, доцент кафедри збагачення корисних копалин ДВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України

Захист відбудеться «11» грудня 2015 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.080.02 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, проспект К.Маркса, 19

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

Автореферат розісланий «03» листопада 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
Д. 08.080.02, к. т. н., доцент

В.В. Панченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В умовах ринкових відносин поліпшення якості товарної вугільної продукції сприяє підвищенню її конкурентоспроможності і гарантує її продаж. Одним з основних якісних показників вугільної продукції є вологість, літня гранична норма якої складає 11,0%, зимова – 9,0%.

В зв'язку з різким збільшенням у технологічних схемах вуглезбагачувальних фабрик шламових продуктів та виводом із експлуатації сушильних установок, зросла вологість товарної вугільної продукції, яка, якщо нема сухого відсіву в достатній кількості, в більшості випадках перевищує встановлені норми.

У цих умовах ефективно механічне зневоднення шламових продуктів, які містять основну кількість води, що підлягає відділенню, є важливою науково-виробничою задачею, рішення якої підвищить якість товарної вугільної продукції.

Обладнання, яке застосовується на цій операції, а це, в основному, грохоти, в силу своїх конструктивних та технологічних особливостей не дозволяють отримати надситний продукт з вологою, яка вимагається. Це має місце тому, що існуючі шламові грохоти пристосовані до класифікації зернистого матеріалу за крупністю, а не для його зневоднення.

Перспективним є підхід до розробки конструкції шламового грохота, спеціально пристосованого до зневоднення. Створення таких грохотів стримується відсутністю фізичної моделі зневоднення вугільних шламів на високочастотній ситовій поверхні та методу розрахунку ділянок віброущільнення, який би враховував взаємозв'язок реологічних властивостей структурованої вугільної шламової суспензії з інтенсивністю віброзбудження.

У зв'язку з цим в дисертаційній роботі вирішується **наукова задача**, яка полягає у встановленні закономірностей віброущільнення зневоднюючого матеріалу на віброуючій ситовій поверхні в залежності від його реологічних властивостей та параметрів віброзбудження грохоту, на підставі яких розроблена вдосконалена технологія зневоднення вугільних шламів на високочастотних грохотах з різнопохилими ділянками сит, впровадження якої дозволяє зменшити вологість товарної вугільної продукції за рахунок відділення вільної та частково капілярної вологи з міжпорового простору дрібного концентрату.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Базовими для підготовки дисертаційних досліджень є науково-дослідні роботи, виконані відповідно до плану ВП «Укрндівуглезбагачення» ДП «НТЦ «Вуглеінновація»: «Створити високочастотний грохот для розподілу шламу по крупності» (2003 рік, № ДР 0103U007165); «Розробити технологію зневоднення вугільних шламових суспензій на високочастотних грохотах» (2012 рік, № ДР 0113U002351). Автор дисертації брав безпосередню участь у виконанні цих науково-дослідних робіт, як виконавець та відповідальний виконавець.

### **Мета, ідея і задачі досліджень**

*Мета роботи* – теоретичне обґрунтування технологічних рішень щодо зниження вологи вугільних шламів при механічному зневодненні на високочастотних грохотах.

*Ідея роботи* – створення віброущільнення часток на кінцевій стадії зневоднення шляхом застосування різнопохилих ділянок сит робочої поверхні з відповідними параметрами віброколивань.

Для досягнення зазначеної мети в дисертації були поставлені і вирішені наступні задачі:

- 1) аналіз відомих методів і обґрунтування перспективних підходів щодо підвищення ефективності зневоднення вугільних шламів на вібраційних грохотах;
- 2) теоретичне обґрунтування основних параметрів віброущільнення при зневодненні вугільних шламів на ситовій поверхні високочастотного грохоту;
- 3) встановлення зв'язку ефективності процесу зневоднення з параметрами віброзбудження ситової поверхні в умовах переходу в'язкої суспензії у в'язкопластичний і в'язкопружкопластичний матеріал;
- 4) розробка і промислова апробація технології зневоднення вугільних шламів нефлотажної крупності на високочастотному грохоті з різнопохилими ділянками ситової поверхні з метою зниження вологи дрібного концентрату.

*Об'єктом дослідження є технологія зневоднення вугільних шламів.*

*Предметом дослідження є технологія механічного зневоднення вугільних шламів на ситовій поверхні, що вібрує.*

**Методи дослідження:** 1) наукове узагальнення та систематизація – для визначення сучасного рівня та вибору напрямів підвищення ефективності зневоднення вугільних шламів на ситовій поверхні, яка коливається; 2) аналітичний – для визначення умов переходу в'язкої суспензії у в'язкопластичний і в'язкопружкопластичний матеріал на ситі віброгрохоту; 3) експериментальний – для встановлення зв'язку ефективності зневоднення з технологічними, конструктивними і динамічними параметрами високочастотного грохоту і визначення їх раціональних значень; 4) математичної статистики – для обробки результатів експериментів; 5) лабораторна та дослідно-промислова апробація – для перевірки розроблених технологічних рішень і визначення їх ефективності.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

*Наукові положення, що виносяться на захист:*

1) ефективність зневоднення вугільного шламу на ситовій поверхні, що вібрує, збільшується при віброущільненні часток на кінцевій стадії процесу, яке досягається при вмісті твердого у вихідному матеріалі більше  $900 \text{ кг/м}^3$ , куту похилу ділянки сита до  $+15^\circ$ , частоті та амплітуді коливань, відповідно,  $1500\text{-}2000 \text{ хв}^{-1}$  і  $1,5\text{-}2,0 \text{ мм}$ , при цьому термін ущільнення повинен бути не менше  $35 \text{ с}$ ;

2) для досягнення максимального ефекту зневоднення вугільних шламів на високочастотних грохотах параметри віброзбудження підбираються в залежності від вмісту твердого у вихідному продукті та його гранулометричного складу таким чином, щоб перехід в'язкої суспензії у в'язкопластичний та в'язкопружкопластичний матеріал здійснювався шляхом послідовного згущення, концентрації та ущільнення часток на різнопохилих ділянках ситової поверхні, що вібрує, при наступних значеннях реологічного параметру, відповідно,  $\varepsilon_{\text{Re}} > 1$ ,  $\varepsilon_{\text{Re}} < 1$ ,  $\varepsilon_{\text{Re}} \approx 1$ .

*Ступінь новизни одержаних результатів:*

1) розроблена нова математична модель зневоднення вугільних шламів на ситовій поверхні, що вібрує, яка, на відміну від відомих, ураховує реологічні властивості вихідного матеріалу і вміщує в явному вигляді параметри вібрацій, що дозволяє здійснювати підбір раціонального динамічного режиму роботи віброгрохоту;

2) вперше встановлено, що найбільше значення швидкості віброуцілювання вугільного шламу нефлотаційної крупності досягається при амплітуді і частоті коливань сита, відповідно, 1,5-2 мм і 1500-2000 хв<sup>-1</sup> в залежності від товщини шару вихідного матеріалу. На підставі цього розраховуються конструктивні параметри ділянки віброуцілювання зневоднюючої поверхні грохота;

3) вперше встановлено, що перехід вугільного шламу із в'язкопластичного у в'язкопружнопластичний матеріал здійснюється при вмісті твердого не менше 900 кг/м<sup>3</sup>, що дозволяє визначити довжину ділянки скиду води зневоднюючої поверхні віброгрохоту;

4) вперше встановлено, що для забезпечення максимальної ефективності зневоднення, ситова поверхня шламового високочастотного грохота повинна складатися з трьох різнопохилих ділянок, причому початкова і кінцева ділянки мають відповідно негативний (до -20°) і позитивний (до +15°) похил відносно середньої ділянки, що дозволяє визначити конфігурацію зневоднюючої поверхні у вигляді несиметричної S-образної кривої, яка забезпечує отримання на ній трьох раціональних режимів зневоднення для, відповідно, в'язкого, в'язкопластичного і в'язкопружнопластичного матеріалу при однаковому режимі коливань грохота.

**Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується достатнім обсягом експериментальних і теоретичних досліджень, використанням сучасних методів математичного моделювання і кореляційно-регресійного аналізу, результатами перевірки однорідності та достовірності даних, високим рівнем коефіцієнта кореляції (понад 0,9) встановлених математичних залежностей.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у:

1) розробці методики розрахунку параметрів віброуцілювання при зневодненні вугільних шламів на ситовій поверхні грохота;

2) створенні удосконаленої технології зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності на високочастотному грохоті з різнопохилими ділянками ситової поверхні;

3) створення високочастотного грохоту ГісМх-2,5х1 з різнопохилими ділянками ситової поверхні для зневоднення шламових продуктів;

4) розроблено рекомендації щодо переведення високочастотного грохоту з однаковопохилою робочою поверхнею у високочастотний грохот з різнопохилими ділянками робочої поверхні.

**Впровадження результатів дисертаційної роботи**

Технологія зневоднення вугільних шламів на високочастотному грохоті ГісМх-2,5х1 впроваджена на ЦЗФ «Октябрська» (зниження вологи товарної продукції на 0,3% з 11,6% до 11,3%), на високочастотному грохоті ГВЧ-41М –

на ЦЗФ «Гуковська» (зниження вологи загального концентрату на 0,2% з 7,7% до 6,9%). Загальний розрахунковий економічний ефект від впровадження цих технологій складає 6,8 млн. грн.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійним завершеним дослідженням автора, який виконав аналіз і наукове узагальнення літератури за обраною темою, сформував ціль і задачі досліджень, обґрунтував методи досліджень, провів лабораторні й натурні дослідження, виконав аналіз їх результатів і вирішив поставлені в роботі завдання.

**Апробація результатів роботи.** Матеріали дисертації доповідались та отримали ухвалення на засіданнях Вченої ради ВП «Укрндівуглезбагачення» ДП «НТЦ «Вуглеінновація» (м. Луганськ, 2011-2015 р.р.), на наукових семінарах кафедри збагачення корисних копалин ДВНЗ «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ, 2013-2015 р.р.), XV міжнародній науково-практичній конференції по збагаченню корисних копалин (м. Бердянськ, 20-23 травня 2012 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників – 2012 р.» (м. Дніпропетровськ, 03-06 жовтня 2012 р.), XVI міжнародній науково-практичній конференції по збагаченню корисних копалин (м. Бердянськ, 22-24 травня 2013 р.), XVII міжнародному конгресі по вуглезбагаченню (м. Стамбул, Туреччина, 01-06 жовтня 2013 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників – 2013» (м. Дніпропетровськ, 02-05 жовтня 2013 р.), III міжнародній науково-практичній конференції «Папушинські читання» (м. Донецьк, 12-14 листопада 2013 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників – 2014» (м. Дніпропетровськ, 01-04 жовтня 2014 р.).

**Публікації.** Основні положення виконаних досліджень опубліковані у 19 наукових працях (3 роботи без співавторів), у тому числі 3 статті у наукових фахових виданнях, які включено до міжнародних науково-метричних баз; 4 статті у наукових фахових виданнях; 5 статей у наукових виданнях; 7 тез доповідей у матеріалах Міжнародного конгресу вуглезбагачення і Міжнародних науково-практичних конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 174 найменувань на 16 сторінках, 2 додатків на 27 сторінках. Загальний обсяг основного тексту дисертації – 139 сторінок, у тому числі 31 рисунки, 27 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовані наукова задача, мета і задачі досліджень, об'єкт та предмет досліджень, ідея роботи, відображена наукова новизна отриманих результатів, наведені наукові положення, що виносяться на захист, а також дані щодо апробації й публікації результатів досліджень.

У **першому розділі**, відповідно до першої задачі досліджень, виконано аналіз відомих методів і обґрунтовані перспективні підходи з удосконалення

процесу зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності на вібраційних грохотах. Виконаний аналіз результатів зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності на вуглезбагачувальних фабриках показав, що найбільш перспективним напрямом інтенсифікації цього процесу є ланцюг обладнання, який містить нерухоме сито, високочастотний грохот та центрифугу. Але і в цьому випадку волога зневодненого вугільного шламу складає більше 15-20%, що є незадовільними. Тому, застосування в цьому ланцюгу обладнання замість вібраційного грохоту високочастотного дозволить отримати вологу вугільного шламу менше 15%.

Досвід зневоднення вугільних шламів на грохотах свідчить, що застосування класифікаційних високочастотних грохотів на цих операціях не відповідає технічним і технологічним вимогам цього процесу і потребує розробки спеціальних високочастотних грохотів для зневоднення вугільних шламів, які б мали віброущільнення матеріалу на кінцевій стадії зневоднення.

У зв'язку з цим в дисертаційній роботі вирішується **наукова задача**, яка полягає у встановленні закономірностей віброущільнення зневоднюючого матеріалу на ситовій поверхні, що вібрує, в залежності від його реологічних властивостей та параметрів віброзбудження грохоту, на підставі яких розроблена вдосконалена технологія зневоднення вугільних шламів на високочастотних грохотах з різнопохилими ділянками сит, впровадження якої дозволяє зменшити вологість товарної вугільної продукції за рахунок відділення води з міжпорового простору дрібного концентрату.

За цих умов волога надситного продукту буде відповідати граничному мінімальному значенню механічного зневоднення вугільного шламу на ситовій поверхні, яка вібрує.

Застосування високочастотних грохотів на операціях зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності вимагає структурної підготовки вихідного матеріалу і дотримання відповідних його реологічних параметрів на робочій поверхні.

Аналіз реологічних моделей структурованих вугільних шламових суспензій показав, що вони відповідають інерційному в'язкопластичному тілу, до якого можливе застосування математичного моделювання. Тому інтенсифікація процесу зневоднення на високочастотних грохотах повинна здійснюватися в умовах переводу вугільної суспензії у висококонцентровану, яка відповідає в'язкопластичному тілу, а потім у в'язкопружнопластичне тіло, котре підлягає віброущільненню. Подібна технологія на одному грохоті може бути створена за умови застосування робочої поверхні з трьох ділянок, динамічні режими яких відповідають такій фізичній моделі зневоднення.

Але з аналізу теорії та практики зневоднення слідує, що ні теоретичного обґрунтування, ні методик розрахунку, ні досвіду застосування такої технології немає, тому необхідні відповідні теоретичні та експериментальні дослідження.

За результатами аналізу сформульовані задачі досліджень, вирішення яких дозволило досягнути мети дисертації.

**В другому розділі**, відповідно до другої задачі досліджень, складено та обґрунтовано принципову конструктивну схему процесу зневоднення на висо-

кочастотного грохоту з різнопохилими ділянками робочої поверхні та встановлено взаємозв'язок між швидкістю віброуцільнення в'язкопластичного матеріалу та динамічними параметрами віброзбудження на основі прийнятої розрахункової динамічної схеми, що наведена на рис. 1. Розглянута поведінка в'язкопластичного матеріалу на горизонтальній ситовій поверхні, яка гармонічно здійснює коливання у безвідривному режимі, та отримано рівняння руху шару надситного продукту:

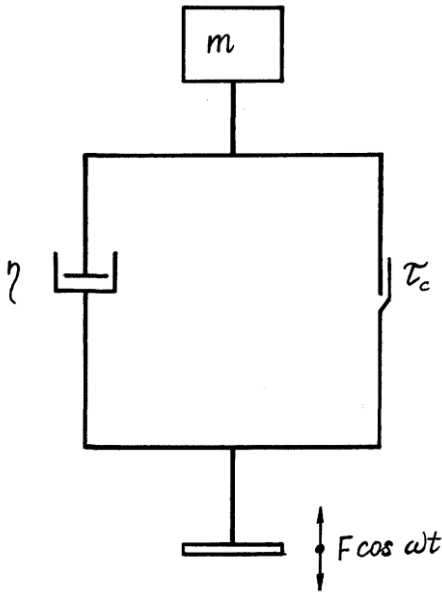


Рис. 1. Розрахункова динамічна схема інерційного в'язкопластичного матеріалу на віброуючій поверхні

$$m\ddot{y} + \eta\dot{y} + 2h\tau_c (\operatorname{sgn} \dot{y} + 1) = k_{\Pi} a_a \cos \omega t, \quad (1)$$

де  $m\ddot{y} = \rho h\ddot{y}$  - сила інерції шару матеріалу, Н/м;  $\eta\dot{y} = \eta h\dot{\varepsilon}$  - сила в'язкого тертя, Н/м;  $\dot{y} = h\dot{\varepsilon}$  - швидкість вертикального переміщення шару, м/с;  $\eta$  - коефіцієнт в'язкості, Н·с/м<sup>2</sup>;  $\dot{\varepsilon}$  - швидкість деформації, м/с;  $h$  - товщина шару матеріалу, м;  $m$  - маса матеріалу у площині перелізу, кг/м;  $\tau_c$  - напруга здвигу, Н/м<sup>2</sup>;  $2h\tau_c (\operatorname{sgn} \dot{y} + 1)$  - сила сухого тертя, Н/м;  $y = h\varepsilon$  - вертикальне переміщення шару, м;  $k_{\Pi} a_a \cos \omega t$  - гармонічна збуджуюча сила, Н/м;  $a_a$  і  $\omega$  - відповідно, амплітуда, м, та частота, с<sup>-1</sup>, коливань збуджуючої сили;  $t$  - час, с;  $k_{\Pi}$  - коефіцієнт пластичності, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho$  - густина матеріалу у площі перетину, кг/м<sup>2</sup>.

На кінцевій стадії процесу зневоднення висота шару змінюється повільно, так що  $dh/dt \ll 1$ .

Рівняння (1) містить нелінійність, яка обумовлена функцією  $\operatorname{sgn} \dot{y}$ . Для приведення рівняння (1) до лінійного виду було застосовано метод енергетичного балансу, відповідно з яким нелінійна сила сухого тертя була замінена еквівалентною силою  $b_0 \dot{y}$ , для якої коефіцієнт  $b_0$  визначається виходячи із умов рівності робіт, що здійснюється двома силами за період коливання, тобто

$$\int_0^T \tau_c \operatorname{sgn} \dot{y} \cdot \dot{y} \cdot dt = \int_0^T b_0 \dot{y}^2 dt. \quad (2)$$

У першому приближенні було прийнято те, що у стаціонарному режимі коливальний процес є гармонічним.

Рішення рівняння (2) у стаціонарному процесі ( $t \rightarrow \infty$ ) є:

$$y = h_0 - \frac{2h\tau_c}{B} t + \frac{k_{\Pi} a_a m}{B^2 + m^2 \omega^2} \left[ \frac{B}{m\omega} \sin(\omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \varphi) - \frac{B^2 + m^2 \omega^2}{m\omega B} \sin \varphi \right], \text{ м}, \quad (3)$$



де  $B = \eta + 2bh\tau_c$ ,  $b = 4/\pi a_a \omega$ ;  $a_a$  і  $\varphi$  - амплітуда і фаза коливань шару матеріалу.

Рішення описує переміщення поверхні шару матеріалу при коливальному режимі течії і містить дві складові:

- еволюційну

$$y_1 = h_0 - \frac{2h\tau_c}{B}t - \frac{k_{\Pi}a_a}{\omega B} \sin \varphi, \text{ м}; \quad (4)$$

- осцилюючу

$$y_2 = \frac{k_{\Pi}a_a m}{B^2 + m^2 \omega^2} \left[ \frac{B}{m\omega} \sin(\omega t + \varphi) - \cos(\omega t + \varphi) \right], \text{ м}. \quad (5)$$

Еволюційна складова швидкості ущільнення у стаціонарному режимі  $dy/dt = 2h\tau_c/B$  (тут висота шару  $h$  присутня як параметр), а коефіцієнт в'язкості концентрованої суспензії  $\eta$  залежить від параметрів вібрації, як

$$\eta = \eta_0 + \frac{k}{a_a \omega^3}, \quad (6)$$

де  $k$  - коефіцієнт, Н/м·с<sup>2</sup>;  $\eta_0$  - коефіцієнт ефективної в'язкості, обумовлений вібраційним тиксотропним руйнуванням дисперсного середовища, Н·с/м<sup>2</sup>;  $a_a$  і  $\omega$  - відповідно, амплітуда, м, і частота, с<sup>-1</sup>, коливань сита грохота.

Тоді швидкість ущільнення шару матеріалу на ситі, що вібрує,

$$\frac{dy}{dt} \approx -2h\tau_c / \left( \eta_0 + \frac{k}{a_a \omega^3} + \frac{8h\tau_c}{\pi a_a \omega} \right). \quad (7)$$

Параметри  $\tau_c$ ,  $\eta_0$  і  $k$  підлягають експериментальному визначенню.

На рис. 2 і 3 наведено криві кінетики швидкості ущільнення шару часток при наступних параметрах  $h = 0,1$  м,  $\tau_c = 10$  Н/м<sup>2</sup>,  $\eta_0 = 10^3$  Н·с/м<sup>2</sup>,  $k = 10^6$  Н/м·с<sup>2</sup>. З рис. 2 і 3 слідує, що термін віброущільнення повинен бути не менше 35 с.

З використанням цих рівнянь та експериментально визначених їх параметрів встановлено, що довжина ділянок різнопохилої ситової поверхні високочастотного грохоту при зневодненні вугільних шламів повинна бути не менше, відповідно, 0,83; 0,84 і 0,875 м.

На рис. 4 наведено залежності швидкості віброущільнення в'язкопружнопластичного матеріалу від амплітуди  $a_a$  і частоти  $\omega$  коливань робочої поверхні. З рис. 4 слідує, що найбільша швидкість віброущільнення досягається при амплітуді 1,5-2 мм та частоті коливань 1500-2000 хв<sup>-1</sup>,  $h_0^*$  - висота ущільненого матеріалу.

На підставі цих результатів обґрунтовано *перше наукове положення*.

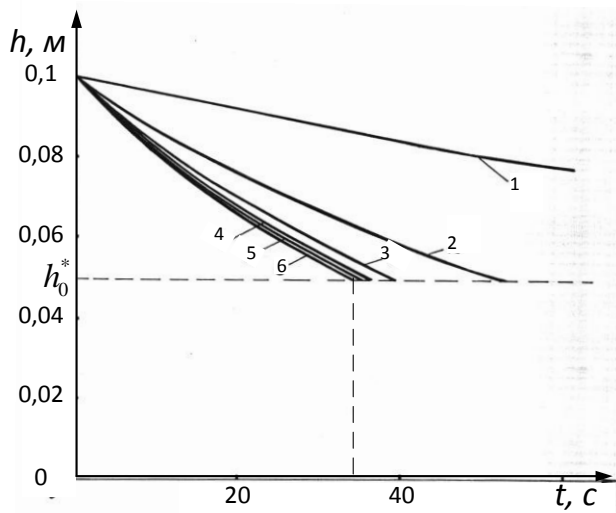


Рис. 2. Кінетика ущільнення шару модельного матеріалу при амплітуді коливань робочої поверхні 2 мм і частотах: 1 – 500 хв.<sup>-1</sup>; 2 – 1000 хв.<sup>-1</sup>; 3 – 1500 хв.<sup>-1</sup>; 4 – 2000 хв.<sup>-1</sup>; 5 – 2500 хв.<sup>-1</sup>; 6 – 3000 хв.<sup>-1</sup>.

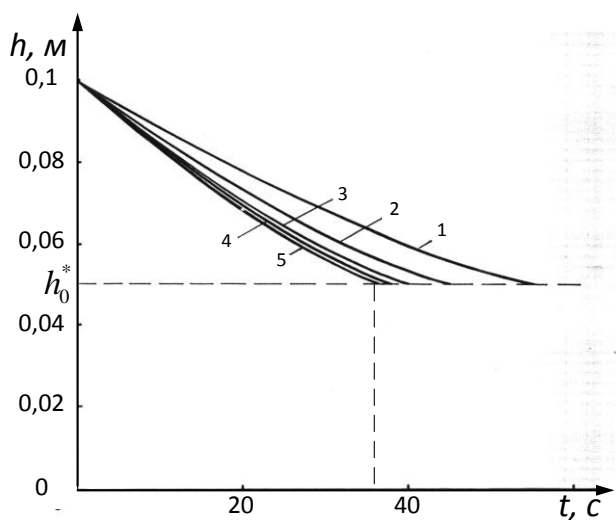


Рис. 3. Кінетика ущільнення шару модельного матеріалу при частоті коливань робочої поверхні 1500 хв.<sup>-1</sup> і амплітудах: 1 – 0,5 мм; 2 – 1,5 мм; 3 – 2,5 мм; 4 – 3,5 мм; 5 – 4 мм

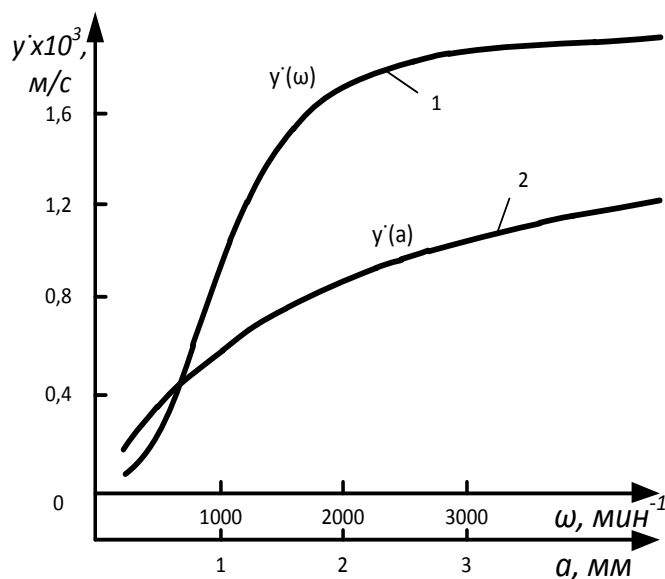


Рис. 4. Залежність швидкості віброущільнення в'язкопластичного матеріалу  $\dot{y}$  від амплітуди  $a_a$  і частоти коливань  $\omega$  робочої поверхні:  $\dot{y}(\omega)$  при  $a_a = 1,5$  мм;  $\dot{y}(a_a)$  при  $\omega = 1500$  хв.<sup>-1</sup>

**Третій розділ** присвячено вирішенню третьої задачі досліджень, а саме визначенню зв'язку між ефективністю зневоднення та параметрами віброзбудження ситової поверхні в умовах переходу в'язкої суспензії у в'язкопластичний і в'язкопружнопластичний матеріал з урахуванням фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу.

Дослідження виконувалися на лабораторній установці моделі високочастотного грохоту, принципова схема якої приведена на рис. 5.

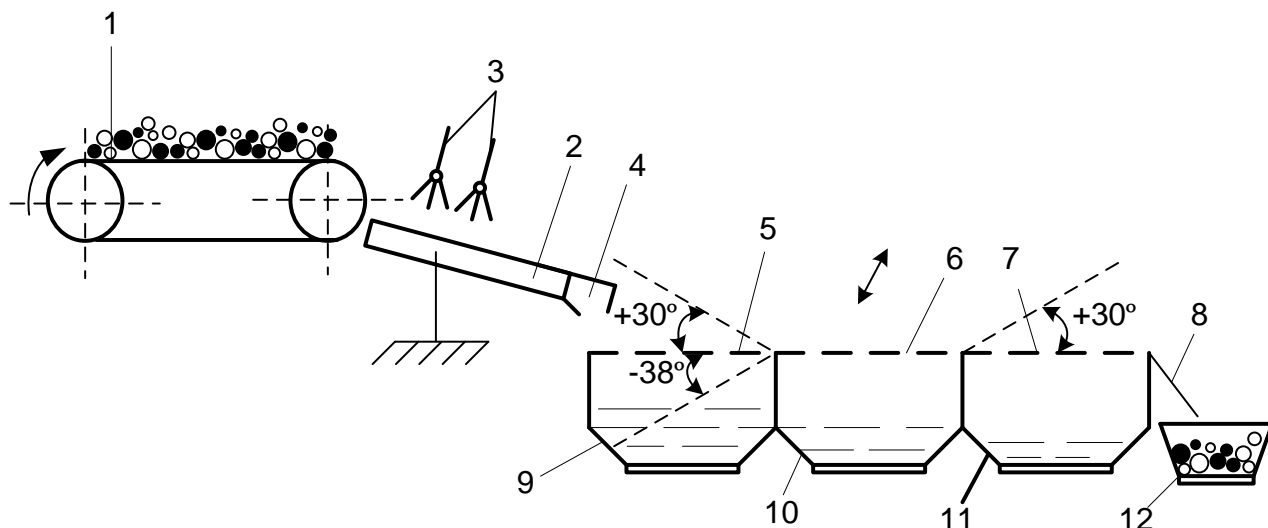


Рис. 5. Принципова схема лабораторної установки моделі високочастотного грохоту з різнопохилими ділянками сит для зневоднення вугільних шламів нефлотажної крупності

Дослідження здійснювалися на шламовому продукті марки «Г» (згущений продукт пірамідальних згущувачів) при наступних постійних параметрах:

- кількість ділянок зневоднюючої поверхні  $K = 3$  шт.;
- середній діаметр часток вихідного матеріалу  $d_{cp} = 0,72$  мм;
- розмір отворів зневоднюючої поверхні  $d_m = 0,5$  мм;
- об'ємне навантаження  $P = 3,0$  м<sup>3</sup>/год.;
- амплітуда коливань  $a_a = 0,5$  мм;
- частота коливань  $\omega = 2800$  хв.<sup>-1</sup>.

Дослідження здійснювалися у два етапи.

На першому етапі кут нахилу ділянок № 2 і № 3 були постійними і дорівнювалися 0°. Кут нахилу ділянки № 1 змінювався від -30° до +30° з інтервалом 10°, при цьому вміст твердого у вихідному матеріалі коливався від 50 кг/м<sup>3</sup> ( $W^r = 95\%$ ) до 500 кг/м<sup>3</sup> ( $W^r = 58,2\%$ ).

На другому етапі досліджень, після вибору кута нахилу ділянки № 1 з найменшою вологою надситного продукту, змінювався кут нахилу ділянки № 3 від 0° до +30° з діапазоном 5°.

Результати досліджень наведені на рис. 6 і 7.

На підставі цих даних визначені наступні раціональні параметри: кут нахилу ділянки № 1  $\alpha_1 = -20^\circ$ , ділянки № 2  $\alpha_2 = 0^\circ$ , ділянки № 3  $\alpha_3 = +10^\circ - +15^\circ$ .

При дослідженні реологічних параметрів встановлено (рис. 8), що мають місце три характерних області зневоднення, на яких залежність  $\tau_c = f(\varepsilon Re)$  має пря-  
 молінійний характер, але різні кути нахилу. Ці області характеризуються значен-  
 ням реологічного параметра  $\varepsilon Re > 1$ ,  $\varepsilon Re < 1$  і  $\varepsilon Re \approx 1$ , при цьому вміст твердого  
 у надситному продукті збільшується відповідно з 200 до 600, з 600 до 900, з 900 до  
 1100 кг/м<sup>3</sup> і більше. У цьому разі напруження здвигу на початковій стадії зневод-  
 нення не перевищує 35 Н/м<sup>2</sup>, потім при переході на рівень  $\varepsilon Re < 1$  воно робить  
 стрибок у 2 рази з 35 до 70 Н/м<sup>2</sup> і зростає помірно до 95 Н/м<sup>2</sup>, потім робить другий  
 стрибок з 95 до 110 Н/м<sup>2</sup> і подалі прямолінійно збільшується до 120 Н/м<sup>2</sup> і більше.

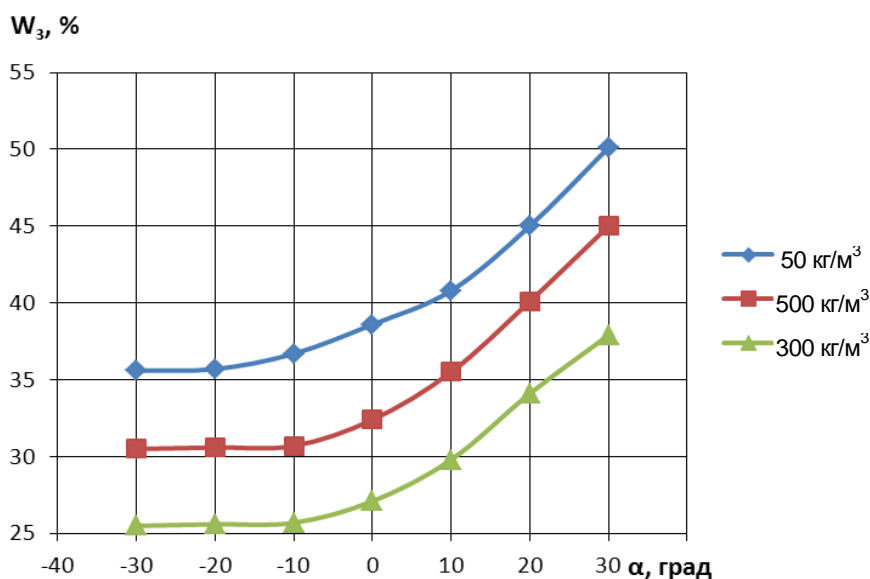


Рис. 6. Залежність вологи надситного продукту  $W_3$  від кута нахилу ділянки № 1  $\alpha_1$  при різному вмісті твердого в вихідній суспензії

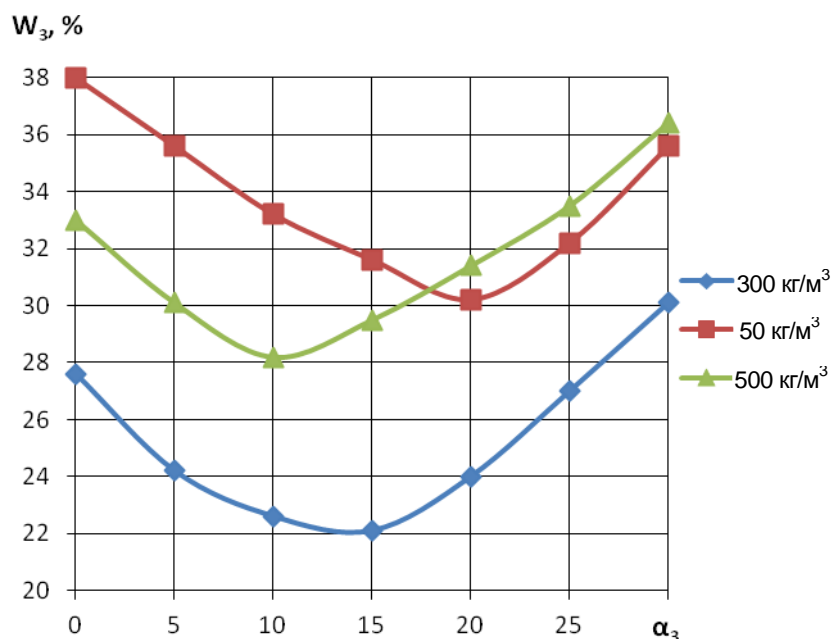


Рис. 7. Залежність вологи надситного продукту  $W_3$  від кута нахилу ділянки № 3  $\alpha_3$  при різному вмісті твердого в вихідному

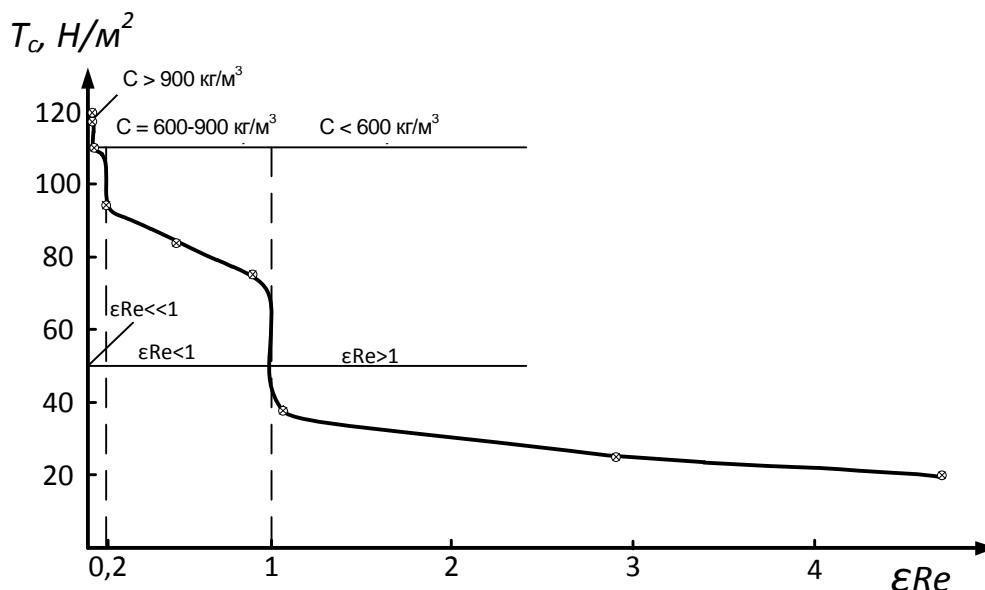


Рис. 8. Вплив реологічного параметру  $\varepsilon Re$  на напругу здвигу  $\tau_c$  при зневодненні вугільного шламу нефлотажної крупності на високочастотному грохоті з різнопохилими ділянками робочої поверхні

На підставі цих результатів обґрунтовано *друге наукове положення*.

Ці параметри і залежності покладені в конструкцію експериментального зразка пристрою для зневоднення шламу, на підставі промислових досліджень якого встановлено залежність вологи надситного продукту  $W^r$  від технологічних та конструктивних параметрів у вигляді

$$W^r = 25,2 \left( \frac{Q}{\mu \omega t} \right)^{0,5} \times \left( \frac{a_a}{d_{\text{щ}}} \right)^{0,1} \times \left( \frac{0,5\alpha_g - \alpha_1}{\alpha_3} \right)^{0,15} \times \left( \frac{\gamma_{-0,25}}{C} \right)^{0,42}, \% \quad (8)$$

де  $Q$  - питоме навантаження, кг/с·м;  $t$  - час зневоднення, с;  $\omega$  - швидкість коливань, с<sup>-1</sup>;  $\mu$  - динамічна в'язкість, Н·с/м<sup>2</sup>;  $a_a$  - амплітуда коливань, мм;  $d_{\text{щ}}$  - розмір отворів поверхні, мм;  $\alpha_1$  - кут похилу ділянки № 1 робочої поверхні, град;  $\alpha_3$  - кут похилу ділянки № 3 робочої поверхні, град.;  $\alpha_g$  - кут нахилу на прямому коливань сита до горизонталі, град;  $C$  - вміст твердого у вихідному матеріалі, %;  $\gamma_{-0,25}$  - вихід класу менше 0,25 мм у вихідному матеріалі, %. Коефіцієнт кореляції 0,904.

Отримана залежність (8) чинна при наступних обмеженнях:

$$2,78(10 \text{ т/ч}\cdot\text{м}) \leq Q \leq 5,56(20 \text{ т/ч}\cdot\text{м}) \text{ кг/с}\cdot\text{м}; \quad 0,5 \leq a_a \leq 2,5 \text{ мм};$$

$$54 \leq t \leq 90 \text{ с}; \quad 5 \leq \alpha_3 \leq 15 \text{ град};$$

$$0,001321 \leq \mu \leq 0,002264 \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2; \quad 5 \leq \alpha_1 \leq 25 \text{ град};$$

$$20 \leq \omega \leq 30 \text{ с}^{-1}; \quad 26,7 \leq C \leq 54,3\% ;$$

$$0,25 \leq d_{\text{щ}} \leq 0,75 \text{ мм}; \quad 15,0 \leq \gamma_{-0,25} \leq 45,0\% .$$

$$\alpha_g = 50 \text{ град} = \text{const};$$

З залежності (8) слідує, що з збільшенням частоти коливань, розміру отворів робочої поверхні, кута похилу ділянки № 3 робочої поверхні і вмісту твердого у вихідному матеріалі волога зневодненого продукту зменшується, та навпаки при збільшенні питомого навантаження, амплітуди коливань, кута нахилу ділянки № 1 робочої поверхні і виходу класу менше 0,25 мм у вихідному матеріалі – зростає.

Результатами досліджень у промислових умовах підтверджено, що зневоднююча поверхня шламових високочастотних грохотів повинна складатися з трьох різнопохилих ділянок, причому початкова та кінцева ділянки повинні мати відповідно негативний (до  $-20^\circ$ ) та позитивний (до  $+15^\circ$ ) похил відносно до середньої ділянки, що дозволяє визначити конфігурацію зневоднюючої поверхні у вигляді несиметричної S-образної кривої.

Експериментально визначено умови переходу в'язкої вугільної шламової суспензії нефлотаційної крупності у висококонцентровану і далі у в'язкопластичний і в'язкопружнопластичний матеріал на ситі високочастотного грохоту, які мають місце при вмісті твердого, відповідно,  $>200$ ,  $>600$  і  $>900$  кг/м<sup>3</sup>, при цьому частота вібрацій повинна бути 1500-2000 хв<sup>-1</sup>, а амплітуда коливань 1,5-2,0 мм в залежності від гранулометричного складу вихідного матеріалу.

На підставі результатів лабораторних та промислових досліджень створено високочастотний грохот з різнопохилими ділянками робочої поверхні ГісМх-2,5х1, та розроблена технологія зневоднення на ньому вугільних шламів нефлотаційної крупності. Видані рекомендації щодо модернізації існуючих високочастотних грохотів, які застосовуються для зневоднення аналогічних продуктів шляхом переведення їх ситових поверхонь у несиметричний S-образний вигляд.

**У четвертому розділі**, в рамках вирішення *четвертої задачі досліджень*, приведено результати промислових випробувань удосконаленої технології зневоднення вугільних шламів з використанням грохоту ГісМх-2,5х1 на ЦЗФ «Октябрьська» та грохоту ГВЧ-41М на ЦЗФ «Гуковська».

Застосування на ЦЗФ «Октябрьська» грохоту ГісМх-2,5х1 на операції зневоднення згущеного продукту гідроциклонів ГЦ-1000 замість грохоту ГК-3 знизило вологу шламу на 29,6% з 53,4% до 24,3%, що дозволило зменшити вологість товарного продукту фабрики на 0,3% з 11,6% до 11,3%.

Використання на ЦЗФ «Гуковська» модернізованого високочастотного грохоту ГВЧ-41М на операції зневоднення концентрату і відходів гвинтових сепараторів замість високочастотного грохоту ГВЧ-41 знизило вологість концентрату гвинтових сепараторів на 6,0% з 28,0% до 22,0%, відходів на 5,3% з 21,3% до 16,0%, що дозволило зменшити вологу загального концентрату фабрики на 0,2% з 7,1% до 6,9%.

Загальний розрахунковий економічний ефект від впровадження розроблених технологій зневоднення вугільних шламів на цих фабриках складає 6,8 млн. грн.

## ВИСНОВКИ

В дисертації, що є завершеною науково-дослідною роботою, сформульована та вирішена актуальна *наукова задача*, яка полягає у встановленні закономірностей віброущільнення вугільних шламів залежно від їх реологічних властивостей та параметрів віброзбудження ситової поверхні. На основі цих закономірностей розроблена удосконалена технологія механічного зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності та створено високочастотний грохот з різнопохилими ділянками робочої поверхні, впровадження у виробництво яких дозволило зменшити вологість товарної вугільної продукції за рахунок часткового відділення капілярної води з порового простору матеріалу.

Найбільш важливі наукові та практичні результати, висновки і рекомендації полягають в наступному.

1. Збільшення кількості дріб'язку у водно-шламових схемах вуглезбагачувальних фабрик і необхідність більш повного уловлювання шламових продуктів нефлотаційної крупності зумовило необхідність зменшення отворів зневоднюючих сит грохотів з 0,5(1) мм до 0,1(0,2) мм і менше, що збільшило фронт зневоднення як найменше у 6 разів. Для вирішення цієї задачі є приклади застосування високочастотних грохотів, але відсутність уяви про фізичну сутність зневоднення вугільних шламів на віброповерхні, методів визначення відповідності параметрів віброзбудження з реологічними властивостями вихідного матеріалу утримує їх впровадження;

2. Вирішення цієї задачі здійснюється застосуванням високочастотного грохоту з різнопохилими ділянками робочої поверхні, технологія зневоднення на якому розроблена на основі теоретичних і експериментальних досліджень закономірностей переходу в'язкої суспензії у в'язкопластичний і далі у в'язкопружнопластичний матеріал.

3. Розроблена фізична модель, на підставі якої встановлено, що процес зневоднення вугільних шламів на ситі віброгрохота складається з трьох етапів: на першому відбувається перевід вугільної суспензії у висококонцентровану (до 600 кг/м<sup>3</sup>) за рахунок скиду вільної води під гідростатичним тиском шару рідинної фази; на другому – перевід висококонцентрованої суспензії у в'язкопластичний матеріал (до 900 кг/м<sup>3</sup>) за рахунок відділення зовнішньої поверхової води під дією інерційної складової віброколивань; на третьому – перевід в'язкопластичного матеріалу у в'язкопружнопластичний (більше 900 кг/м<sup>3</sup>) за рахунок часткового відділення капілярної води з порового простору матеріалу під дією віброущільнення.

4. У діапазоні динамічних параметрів існуючих грохотів інтенсифікація процесу зневоднення найбільш ефективна шляхом збільшення частоти коливань робочої поверхні до величини, яка обмежена реологічними властивостями матеріалу. При цьому необхідною умовою переходу в'язкої суспензії в концентровану і далі у в'язкопластичний та в'язкопружнопластичний матеріал є відповідні наступні значення реологічного параметру  $\varepsilon Re > 1$ ,  $\varepsilon Re < 1$ ,  $\varepsilon Re \approx 1$ .

5. Зневоднююча ситова поверхня шламових високочастотних грохотів повинна складатися з трьох різнопохилих ділянок, причому початкова і кінцева ділянки мають відповідно негативний (до  $-20^\circ$ ) і позитивний (до  $+15^\circ$ ) нахил відносно до середньої ділянки.

6. Розроблена математична модель процесу віброущільнення шару матеріалу у процесі зневоднення, яка містить реологічні параметри матеріалу і у явному вигляді амплітуду та частоту коливань ситової поверхні, з якої слідує, що найбільше значення швидкості ущільнення зневоднюючого матеріалу досягається при амплітуді та частоті коливань сита грохота, відповідно, 1,5-2,0 мм і  $1500-2000 \text{ хв}^{-1}$  в залежності від товщини шару надситного продукту, при цьому термін ущільнення повинен бути не менше 35 с.

7. Встановлено, що загальна довжина робочої поверхні високочастотного грохоту при зневодненні вугільного шламу повинна бути не менше 2,5 м.

8. Встановлена залежність вологи надситного продукту від технологічних і конструктивних параметрів процесу зневоднення вугільних шламів на високочастотному грохоті з різнопохилими ділянками робочої поверхні.

9. Удосконалено технологію зневоднення вугільних шламових суспензій нефлотаційної крупності за рахунок застосування віброущільнення матеріалу, для впровадження якої створено високочастотний грохот з різнопохилими ділянками робочої поверхні ГісМх-2,5х1 та розроблені рекомендації щодо переведення високочастотного грохоту з однаковопохилою робочою поверхнею у високочастотний грохот з різнопохилими ділянками робочої поверхні.

10. Впровадження удосконаленої технології зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності на ЦЗФ «Октябрьська» (на базі високочастотного грохоту ГісМх-2,5х1) і ЦЗФ «Гуковська» (на базі високочастотного грохоту ГВЧ-41М) дозволило зменшити вологу товарної продукції фабрик, відповідно, на 0,3% з 11,6% до 11,3% та на 0,2% з 7,1% до 6,9%. Сумарний розрахунковий річний економічний ефект, отриманий за рахунок збільшення реалізаційної вартості більш якісної товарної вугільної продукції, складає 6,8 млн. грн.

11. Результати, які отримані в дисертаційній роботі, можуть бути рекомендовані для використання у практичній діяльності технічної служби вуглезбагачувальних підприємств, в науково-дослідних установах та закладах вищої освіти гірничого напрямку.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у наукових фахових виданнях:**

1. Еремеев И.В. Физическая модель обезвоживания угольного шлама на сите виброгрохота / А.Д. Полулях, И.В. Еремеев // Вибрации в технике и технологиях. - 2013. - № 3(71). – С. 29-32 (входить до науково-метричної бази SCOPUS).

2. Еремеев И.В. Виброуплотнение как способ интенсификации обезвоживания на грохотах / П.И. Пилов, А.Д. Полулях, И.В. Еремеев и [др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. - № 3. – С. 91-94 (входить до науково-метричної бази SCOPUS).



3. Eremeyev I. Substantiation of coal slurry thickening rate during dewatering on vibrating screen with multi-slope working surface / D. Polulyakh, O. Polulyakh, A. Tarnovskyi, I. Eremeyev // Theoretical and practical solutions of mineral re-sources mining. – 2015 Taylor & Francis Group, London, UK. – 349-352 pp.

4. Еремеев И.В. Течение водоугольной суспензии по ситовой поверхности / А.Д. Полулях, В.Г. Сансиев, И.В. Еремеев // Уголь Украины. – 2013. - № 7. – С.46-49.

5. Еремеев И.В. Особенности обогащения рядового антрацита на ЦОФ «Гуковская» / А.Д. Полулях, И.В. Еремеев // Уголь Украины. – 2014. - № 1. – С.41-44.

6. Еремеев И.В. Сравнительные промышленные испытания технологии обезвоживания угольных шламовых суспензий нефлотационной крупности на грохотах ГВЧ-41 и ГВЧ-41М в условиях ЦОФ «Гуковская» / А.Д. Полулях, А.М. Берлин, И.В. Еремеев // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип.56(97). – С. 169-174.

7. Еремеев И.В. Складирование жидких отходов углеобогащения в породных отвалах / А.Д. Полулях, А.Н., Корчевський, И.В. Еремеев // Уголь Украины. – 2015. – № 6. – С. 48-51.

#### **Тези доповідей:**

8. Еремеев И.В. Определение условий перехода вязкой суспензии в вязкопластичный материал на сите виброгрохота / А.Д. Полулях, И.В. Еремеев // Материалы XV международной научно-практической конференции по обогащению полезных ископаемых. – Бердянск: Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 51(92). – С. 74-82.

9. Еремеев И.В. Анализ результатов обезвоживания угольных шламов нефлотационной крупности / И.В. Еремеев // Материалы Международной научно-практической конференции «Форум горняков-2012». – Днепропетровск: Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 51(92). – С. 178-184.

10. Еремеев И.В. Исследование процесса обезвоживания угольных шламовых суспензий на лабораторной модели высокочастотного грохота с разнонаклонными участками сит / А.Д. Полулях, Д.А. Полулях, И.В. Еремеев // Материалы XVI международной научно-практической конференции по обогащению полезных ископаемых. – Бердянск: Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 53(94). – С. 138-148.

11. Еремеев И.В. Физическая модель процесса обезвоживания угольных шламовых суспензий на высокочастотном грохоте с разнонаклонными участками рабочей поверхности / И.В. Еремеев // Материалы Международной научно-практической конференции «Форум горняков – 2013». – Днепропетровск: Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 54(95). – С. 132-136.

12. Eremejev I. Determination Of Coal Slurry Thickening Rate At Dewatering On Vibrating Screen / A. Polulyakh, D. Polulyakh, I. Eremejev, V. Garus // Proceedings XVII international COAL Preparation Congress. – Istanbul/Turkey. - 2013. - S.421-424.

13. Еремеев И.В. Принцип подбора параметров вибровозбуждения при обезвоживании угольных суспензий / А.Д. Полулях, И.В. Еремеев, А.Н. Иванченко // Материалы III международной научно-практической конференции «Папушинские

чення». – Донецьк: ГВУЗ «ДНТУ», Известия горного института. – 2013. - № 2. – С. 184-188.

14. Еремеев И.В. Особенности обогащения углей ООО ШУ «Садкинское» с большим содержанием легкоразмокаемой породы на ЦОФ «Гуковская» / А.Д.Полулях, И.В. Еремеев // Материалы Международной научно-практической конференции «Форум горняков – 2014». – Днепропетровск: Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 57(98). – С. 54-61.

#### **Статті в наукових виданнях:**

15. Еремеев И.В. Изменение структуры механических свойств угольного шлама в процессе обезвоживания на сите грохота / А.Д. Полулях, И.В. Еремеев // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 52(93). – С.96-106.

16. Еремеев И.В. Анализ уравнения скорости уплотнения слоя материала на вибрирующем сите / И.В. Еремеев // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 53(94). – С. 148-153.

17. Еремеев И.В. Особенности обработки угольного шлама на ГОФ «Гуковская» / А.М. Берлин, И.В. Еремеев // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 54(95). – С. 137-144.

18. Еремеев И.В. Математическое моделирование виброуплотнения угольного шлама при обезвоживании на сите вибрационного грохота / А.Д. Полулях, Д.А. Полулях, И.В. Еремеев // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 55(96). – С.79-88.

19. Еремеев И.В. Изменение структурно-механических свойств угольного шлама в процессе обезвоживания на сите грохота: В кн. Научные труды ГП «Укрниуглеобогащение». Часть 2. Обогащение и переработка углей: сб. статей / А.Д. Полулях, И.В. Еремеев. – Донецьк: ООО «Східний видавничий дім». – 2013. – С.607-616.

**Особистий внесок автора у роботах, написаних у співавторстві:** [1-3, 15, 19] - теоретичне обґрунтування зміни реологічної структури шару вугільного шламу при його зневодненні на віброповерхні; [4, 8] – визначення реологічних параметрів потоку матеріалу на ситі віброгрохота; [10, 13, 17] – дослідження технологій, узагальнення і аналіз результатів, розробка рекомендацій; [5, 12] – теоретичне обґрунтування застосування віброущільнення часток матеріалу при його механічному зневодненні на грохоті; [6, 18] – розробка програм досліджень і проведення лабораторних та промислових експериментів, встановлення закономірностей процесу зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності, обробка та узагальнення результатів, розробка конструкції високочастотного грохоту з різнопохилими ділянками робочої поверхні; [7, 14] – аналіз та розробка рекомендацій по застосуванню еластичних сит на зневоднюючих віброгрохотах.

## АНОТАЦІЯ

**Еремеев І.В. «Обґрунтування параметрів технології зневоднення вугільних шламів на високочастотних грохотах».** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.08 – «Збагачення корисних копалин». - Державний ВНЗ «Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2015.

У дисертації вирішено актуальну наукову задачу вдосконалення процесу механічного зневоднення вугільних шламів нефлотаційної крупності на основі розробки технології віброущільнення шару матеріалу на кінцевій стадії процесу та створення для неї високочастотного грохота з різнопохилими ділянками робочої поверхні.

На базі теоретичних досліджень розроблено фізичну модель процесу зневоднення вугільного шламу на віброгрохоті, яка містить явища переходу в'язкої суспензії у в'язкопластичний і далі у в'язкопружнопластичний матеріал за рахунок відповідно згущення, концентрації і ущільнення, та математичну модель віброущільнення шару матеріалу на кінцевій стадії процесу зневоднення, яка враховує його реологічні властивості.

У результаті лабораторних та промислових досліджень встановлені закономірності переходу в'язкої вугільної суспензії у в'язкопластичний і далі в'язкопружнопластичний матеріал, на підставі яких розроблена удосконалена технологія зневоднення вугільного шламу нефлотаційної крупності, а для її впровадження створено високочастотний грохот з різнопохилими ділянками робочої поверхні та запропоновані технічні рішення щодо модернізації існуючих високочастотних грохотів.

Впровадження удосконаленої технології зневоднення вугільних шламів здійснено на ЦЗФ «Октябрьська» та ЦЗФ «Гуківська» з загальним річним розрахунковим економічним ефектом 6,8 млн. грн.

**Ключові слова:** вугільний шлам, суспензія, зневоднення, високочастотний грохот, ситова поверхня, кут нахилу, віброущільнення матеріалу, удосконалена технологія, ефективність.

## АННОТАЦИЯ

**Еремеев И.В. «Обоснование параметров технологии обезвоживания угольных шламов на высокочастотных грохотах».** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.08 – «Обогащение полезных ископаемых». - Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2015.

В диссертации решена актуальная научная задача совершенствования процесса механического обезвоживания угольных шламов на основе разработки технологии виброуплотнения слоя материала на конечной стадии процесса для частичного удаления капиллярной воды из порового пространства материала и создания для нее высокочастотного грохота с разнонаклонными участками рабочей поверхности.

На базе теоретических исследований разработана физическая модель процесса обезвоживания угольного шлама на виброгрохоте, которая содержит явления перехода вязкой угольной суспензии в вязкопластичный и далее вязкоупругопластичный материал за счет, соответственно, сгущения, концентрации и уплотнения.

Установлено, что процесс обезвоживания суспензии на сите виброгрохота состоит из трех этапов: на первом этапе, характеризуемом значительным содержанием жидкой фазы, происходит предварительное обезвоживание за счет сброса свободной воды, обусловленное главным образом гидростатическим давлением слоя суспензии; на втором этапе процесс обезвоживания обусловлен инерционной составляющей виброколебаний, обеспечивающий отрыв внешней поверхностной воды, на третьем этапе процесс обезвоживания происходит за счет виброуплотнения материала, сопровождающимся частичным выделением капиллярной воды из его порового пространства. На первом этапе происходит перевод угольной суспензии в высококонцентрированную (до  $600 \text{ кг/м}^3$ ); на втором – перевод высококонцентрированной суспензии в вязкопластичный материал (до  $900 \text{ кг/м}^3$ ); на третьем – перевод вязкопластичного материала в вязкоупругопластичный материал (более  $900 \text{ кг/м}^3$ ).

На конечных двух этапах обезвоживания материал характеризуется вязкопластическими свойствами и может быть описан реологической моделью Бингама-Шведова.

Разработанная математическая модель процесса виброуплотнения слоя материала в процессе обезвоживания, содержащая реологические параметры материала и включающая в явном виде амплитуду и частоту колебаний рабочей поверхности, позволила установить, что в диапазоне динамических параметров существующих грохотов интенсификация процесса обезвоживания наиболее эффективна путем повышения частоты колебаний рабочей поверхности до величины, ограничиваемой реологическими свойствами материала. При этом необходимым условием перехода вязкой суспензии в концентрированную и далее в вязкопластичный и вязкоупругопластичный материал являются соответствующие значения реологического параметра  $\varepsilon Re > 1$ ,  $\varepsilon Re < 1$ ,  $\varepsilon Re \ll 1$ , где  $\varepsilon$  - скорость деформации слоя;  $Re$  - число Рейнольдса.

В результате экспериментальных исследований установлено: наибольшее значение скорости уплотнения обезвоживаемого материала достигается при амплитуде и частоте колебаний сита грохота, соответственно, 1,5-2,0 мм и 1500-2000  $\text{мин}^{-1}$  в зависимости от толщины слоя, при этом время уплотнения должно быть не менее 35 с. Обезвоживающая поверхность шламовых высокочастотных грохотов должна состоять из трех разнонаклонных участков, причем начальный и конечный участки имеют, соответственно, отрицательный (до  $-20^\circ$ ) и положительный (до  $+15^\circ$ ) наклон по отношению к среднему участку. Общая длина рабочей поверхности высокочастотного грохота при обезвоживании угольных шламов должна быть не менее 2,5 м.

Разработана конструкция высокочастотного грохота ГісМх-2,5х1 для обезвоживания угольных шламов нефлотационной крупности, который выдержал

приемочные испытания и рекомендован серийному производству. Определено направление модернизации существующих высокочастотных грохотов путем изменения плоской обезвоживающей поверхности в не симметричную S-образную.

Внедрение усовершенствованной технологии обезвоживания угольных шламов осуществлено на ЦОФ «Октябрьская» (на базе высокочастотного грохота ГісМх-2,5х1) и ЦОФ «Гуковская» (на базе высокочастотного модернизированного грохота ГВЧ-41М).

Применение на ЦОФ «Октябрьская» высокочастотного грохота ГісМх-2,5х1 на операции обезвоживания сгущенного продукта гидроциклонов ГЦ-1000 вместо грохота ГК-3 снизило влажность шлама на 29,6% с 53,9% до 24,3%, что позволило уменьшить влажность товарной продукции фабрики на 0,3% с 11,6% до 11,3%.

Использование на ЦОФ «Гуковская» модернизированного высокочастотного грохота ГВЧ-41М на операции обезвоживания концентрата и отходов винтовых сепараторов вместо высокочастотного грохота ГВЧ-41 позволило снизить влажность концентрата винтовых сепараторов на 6% с 28,0% до 22,0%, отходов на 5,3% с 21,3% до 16,0%, что позволило уменьшить влажность общего концентрата фабрики на 0,2% с 7,1% до 6,9%.

Суммарный расчетный экономический эффект от применения высокочастотных грохотов ГісМх-2,5х1 на ЦОФ «Октябрьская» и ГВЧ-41М на ЦОФ «Гуковская», полученный за счет увеличения реализационной стоимости товарной угольной продукции, составил 6,8 млн. грн.

**Ключевые слова:** угольный шлам, суспензия, обезвоживание, высокочастотный грохот, ситовая поверхность, угол наклона, виброуплотнение материала, усовершенствованная технология, эффективность.

## ANNOTATION

**Eremeev I.V. «Basing of Technologies' Operation Factors of the Unflotation's Size Coal's Mud Dehydration by a high-frequency Sczreen». – On rights for a manuscript.**

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.15.08 is «Enriching of minerals». - SHG the «National mining university, Dnepropetrovsk, 2014.

In dissertation the actual research task of perfection of process of mechanical dehydration of unflotation's size coal's mud is decided size on the basis of development of technology of vibrocompression of layer of material on the final stage of process and creation for it high-frequency screen with the different slopes areas of working surface.

On the base of theoretical researches the physical model of process of dehydration of coal's mud is developed on a vibrocscreen, which contains the phenomena of transition of viscid suspensoids in visco-plastic and farther in visco-spring-plastic material due to accordingly concentration, concentrations and compressions, and mathematical model of vibrocompression of layer of material, on the final stage of process of dehydration, which takes into account him rheological properties.

As a result of laboratory and industrial researches conformities to the law of transition of viscid coal suspensions are set in visco-plastic and farther visco-spring-plastic material, on the basis of which the developed is improved technology of dehydration of unfloated size coal's mud, and for its introduction a high-frequency screen is created with the different slopes areas of working surface and technical solutions are offered in relation to modernization of existent high-frequency screens.

Introduction of the improved technology of dehydration of coal's mud is carried out on CPP «Oktyabr'ska» and CPP «Gukivska» with a general annual calculation economic effect 6,8 million uah

**Keywords: coal's mud, dehydration, high-frequency screen, working surface, angle of slope, vibrocompression of material, technology, efficiency, is improved.**

**СРЕМЄЄВ ІГОР ВІКТОРОВИЧ**

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЇ  
ЗНЕВОДНЕННЯ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ  
НА ВИСОКОЧАСТОТНИХ ГРОХОТАХ**

(Автореферат)

Підписано до друку \_\_\_\_\_. Формат 60x90/16.

Папір друкарський. Ум. друк. арк. 1,0.

Тираж 100 прим. Замовлення № \_\_\_\_\_

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