

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Трошин Олексій Георгійович

УДК 622.794.2

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗНЕВОДНЕННЯ ЗЕРНИСТИХ
МАТЕРІАЛІВ У ФІЛЬТРУЮЧІЙ ЦЕНТРИФУЗІ З ВИВАНТАЖЕННЯМ ОСАДУ
ДИСКОВИМ УПОРОМ**

Спеціальність 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Моїсєєв Віктор Федорович,
Національний технічний університет “Харківський
політехнічний інститут, доцент кафедри хімічної
техніки та промислової екології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Камбург Володимир Григорович,
Технологічний університет Поділля,
м. Хмельницький, завідувач кафедри
прикладної інформатики

кандидат технічних наук, доцент
Гаєвий Владислав Валерійович
Національний гірничий університет,
м. Дніпропетровськ, доцент кафедри
збагачення корисних копалин

Провідна установа: Сумський державний університет,
Міністерства освіти і науки України, м. Суми.

Захист відбудеться “03” червня 2004р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою:

61002 м. Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “30” квітня 2004р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Тимченко В.К.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми визначається тим, що вона має напрямок на удосконалення фільтруючих центрифуг безперервної дії, що застосовуються у крупнотонажних виробництвах хімічної, переробної, вугільної та інших галузях промисловості для розділення суспензій з зернистою твердою фазою.

Осад центрифуг часто доводиться піддавати термічному сушінню. Зменшення кількості вологи, що видаляється за допомогою сушіння, за рахунок підвищення ефективності механічного зневоднення є важливим енергозберігаючим заходом на підприємствах. Спроби інтенсифікації роботи широко відомих типів фільтруючих центрифуг зустрічаються з обмеженнями фізичного і технічного характеру.

Як альтернатива існуючій техніці запропонована фільтруюча центрифуга безперервної дії з вивантаженням осаду дисковим упором. Попередній аналіз конструкції центрифуги дозволив виявити ряд її позитивних особливостей: можливість регулювання режиму її роботи в широких межах, висока продуктивність по осаду, простота конструкції за відсутності таких складних і дорогих вузлів як шнек, редуктор, вібратор, силова гідросистема, що входять до складу відомих конструкцій. Однак дана центрифуга не є вивченою ні з погляду механізму процесу, ні з погляду визначення області її раціонального застосування.

Тому теоретичне й експериментальне дослідження фільтруючої центрифуги із вивантаженням осаду дисковим упором, розробка методів розрахунку конструктивних параметрів та вдосконалення її конструкції є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: “Процеси розділення у полі відцентрових сил” (держбюджетна тема №4412 “Вивчення енергозберігаючого потенціалу промислово-енергетичного комплексу України, розробка та створення ефективних енергозберігаючих методів та обладнання промислового призначення на основі системного підходу з прогнозуванням скорочення шкідливих викидів”) та господарському договору № 53189 “Розробка теоретичних основ розрахунку технологічних показників центрифуги ФГУ” (НТУ “ХПІ” – НВП “Екомаш”, м. Харків).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження було – встановлення закономірностей процесу зневоднення зернистих матеріалів у фільтруючій центрифугі з вивантаженням осаду дисковим упором і на підставі цього удосконалення її конструкції, вибір раціонального режиму роботи й області застосування.

Для досягнення цієї мети вирішувались наступні задачі:

1. Розробити математичну модель формування та вивантаження осаду, а також модель відцентрового віджиму зернистих матеріалів.

2. Експериментально дослідити особливості формування та вивантаження осаду, відцентровий віджим, уточнити результати теоретичного дослідження.

3. Розробити рекомендації по удосконаленню конструкції, вибору режиму роботи й області застосування центрифуги.

4. Розробити методику розрахунку конструктивних параметрів центрифуги.

Об'єкт дослідження – процес розділення суспензій з зернистою твердою фазою у полі відцентрових сил.

Предмет дослідження – формування та вивантаження осаду, а також відцентровий віджим зернистих матеріалів у роторі центрифуги з дисковим упором.

Методи дослідження Фізичне і математичне моделювання процесу відцентрового фільтрування. Визначення властивостей продуктів (вологості, ситового складу та ін.) проводилося по стандартним методикам. Витрати матеріальних потоків визначались ваговим і об'ємним методами. При обробці результатів іспитів використовувалися методи статистичного аналізу. При математичному моделюванні використовувався ітераційний метод, реалізований на ПЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше вивчені закономірності формування, руху по фільтруючій поверхні, вивантаження осаду в центрифугі з дисковим упором. Показано існування зон формування і вивантаження осаду, положення яких визначається положенням осі обертання дискового упора. Виявлено три режими формування осаду, що характеризуються різною динамікою залежності товщини шару осаду від продуктивності;

– вперше створена математична модель формування і вивантаження осаду в роторі центрифуги з дисковим упором. Отримані залежності для визначення часу перебування осаду в роторі, зусилля і потужності на виштовхування осаду;

– уточнена залежність для визначення мінімальної з умови стійкості товщини шару осаду в роторі центрифуг із примусовим вивантаженням осаду;

– запропоновано модель відцентрового віджиму зернистих матеріалів, що враховує структуру вологи в осаді і його гранулометричний склад.

Практичне значення одержаних результатів. Обґрунтована область раціонального застосування центрифуги з дисковим упором, визначено напрямки розробки й удосконалення її конструкції, сформульовано напрямки удосконалення технології зневоднювання зернистих продуктів вуглебагачення з застосуванням центрифуг, розроблено методику інженерного розрахунку конструктивних параметрів центрифуги, розроблено технічне завдання на розробку і виготовлення центрифуги ФГУ–1201Л для зневоднювання зернистого антрацитового шламу продуктивністю 60т/ч.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методики та проведенні експериментальних досліджень центрифуги, розробці математичної моделі формування та вивантаження осаду, моделі відцентрового віджиму, одержанні залежності для розрахунку часу перебування, зусилля та потужності на вивантаження осаду; розробці методики інженерного розрахунку конструктивних параметрів центрифуги, вдосконаленні конструкції центрифуги, уточненні залежності для визначення мінімальної з умови стійкості товщини шару осаду в роторі центрифуг з примусовим вивантаженням осаду, виборі раціонального режиму роботи та області застосування.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідалися на міжнародній науково-технічній конференції “Сучасні проблеми технології неорганічних речовин” (м. Одеса, 2001 р.), першій обласній конференції молодих науковців “Тобі Харківщино – пошук молодих” (м. Харків, 2002 р.), міжнародній науковій конференції “Молодь України у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем” (м. Чернівці, 2002 р.), 11-ій міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров’я, MicroCAD-2003” (м. Харків, 2003 р.).

Публікації. Основний зміст роботи викладений у 6 наукових працях, що опубліковані у наукових фахових виданнях ВАК України, одержано 1 патент України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації 228 сторінок, 20 ілюстрацій на 18 сторінках, 30 ілюстрацій та 8 таблиць по тексту, 8 додатків на 57 сторінках, список використаних джерел із 118 найменувань на 10 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано основну її мету, наведено основні дані про структуру та задачі досліджень, зв’язок з науковими програмами, структуру та апробацію роботи, публікації.

У **першому** розділі виконано аналіз конструкцій фільтруючих центрифуг безперервної дії для розділення суспензій с зернистою твердою фазою та основних тенденцій їх розвитку. Показана перспективність конструкції фільтруючої центрифуги (рис.1) з горизонтальним розташуванням ротору та вивантаженням осаду дисковим упором (ФГУ).

Основний вузол центрифуги – ротор, поверхня якого утворена колосниковим ситом. Вал ротора, порожній. Усередині валу ротора в підшипниках розташовується центральний вал, що утримується від обертання кронштейном, який кріпиться до станини. На центральному валу похило встановлений дисковий упор, що має можливість обертання навколо власної осі. Розгінний конус виконаний фільтруючим. Центрифуга працює в такий спосіб. Суспензія по трубі живлення надходить у розгінний конус, де частково втрачає рідку фазу. Далі матеріал попадає на фільтруючу по-

верхню ротора, де відбувається його подальше зневоднювання. Видалення осаду, що формується на поверхні ротора, здійснюється за допомогою дискового упора.

Розглянутий стан досліджень процесу відцентрового віджиму зернистих матеріалів при малому часі перебування, що є характерним для фільтруючих центрифуг безперервної дії. Сформульовано мету та задачі досліджень.

У **другому** розділі подано загальні методи дослідження процесу розділення суспензії у центрифугі з вивантаженням осаду дисковим упором. Описано експериментальну установку. Наведено методи аналізів матеріалів, обробки експериментальних даних, та методи, що використалися у теоретичному дослідженні.

У **третьому** розділі описано дослідження процесу відцентрового віджиму.

Експериментально встановлено, що розгінний конус забезпечує відділення гравітаційної вологи, а в роторі центрифуги має місце процес відцентрового віджиму, що відповідає другій та третій стадії відцентрової фільтрації.

Волога, в осаді після відцентрового віджиму, представлена трьома складовими:

- волога, що у принципі не може бути вилучена при відцентровому віджимі. Її вміст характеризується показником максимальної молекулярної вологоємності (ММВ).
- стикова волога, що не видаляється при даному факторі поділу і нескінченному часі перебування, відповідно до рівняння Бателя.
- динамічна плівкова волога, що стікає з поверхні твердих часток. Для випадку зернистих продуктів з малов'язкою рідкою фазою було зроблене перетворення рівняння Б.М. Терьошина. Отримано рівняння для середньої товщини плівки рідкої фази:

$$\bar{\delta} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\nu h}{Fr g \tau}}, \quad (1)$$

де ν - кінематична в'язкість; h - товщина шару осаду; τ - час перебування;

Fr - фактор поділу.

Загальна вологість дається рівнянням:

$$W = MMB + \frac{A}{Fr^{0,25}} + B \frac{h^x}{Fr^y \tau^z}, \quad (2)$$

де $A = a \frac{\rho_{ж}}{\rho_m} \left(\frac{\sigma \cos \nu}{\rho_{ж}} \cdot \frac{f_0}{d} \right)^{0,25}$ та $B = b f_0 \frac{\rho_p}{\rho_m} \nu^q$ - комплекси, що враховують властивості осаду, які впливають відповідно на вміст стикової вологи при нескінченному часі перебування та вміст динамічної плівкової вологи; σ - поверхневий натяг; ρ_p та ρ_m - густина рідкої та твердої фаз; f_0 - питома поверхня твердої фази; d - середній діаметр часток, a, b, q, x, y, z - постійні коефіцієнти.

На підставі адитивності вологості полідисперсних матеріалів отримане рівняння, що враховує вміст часток окремих класів крупності в осаді:

$$W = \sum MMB_i \gamma_i + \sum A_i \gamma_i \frac{1}{Fr^{0,25}} + \sum B_i \gamma_i \frac{h^x}{Fr^y \tau^z}, \quad (3)$$

де γ_i – вміст часток i -го класу крупності в осаді (по масі), MMB_i , A_i , B_i – відповідні характеристики i -го класу крупності.

Якщо розділити матеріал тільки на два класи – крупніше і дрібніше певного граничного розміру, то вологість осаду після відцентрового віджиму складатиме:

$$\begin{aligned} W &= MMB_{-\gamma_-} + MMB_{+\gamma_+} + \frac{A_- \gamma_- + A_+ \gamma_+}{Fr^{0,25}} + \frac{B_- \gamma_- + B_+ \gamma_+}{Fr^y \tau^z} h^x = \\ &= MMB_{-\gamma_-} + \gamma_- \bar{MMB}_+ + \frac{A_- \gamma_- + A_+ \gamma_-}{Fr^{0,25}} + \frac{B_- \gamma_- + B_+ \gamma_-}{Fr^y \tau^z} h^x, \end{aligned} \quad (4)$$

де γ_+ та γ_- вміст в осаді часток крупніше та дрібніше певного граничного розміру.

Межа відцентрового віджиму при даному факторі поділу:

$$W_\infty = \lim_{\tau \rightarrow \infty} W = MMB_{-\gamma_-} + \gamma_- \bar{MMB}_+ + \frac{A_- \gamma_- + A_+ \gamma_-}{Fr^{0,25}}. \quad (5)$$

У четвертому розділі описані результати теоретичного дослідження формування та вивантаження осаду в роторі центрифуги з дисковим упором.

На рис.2 зображений ротор, і шар осаду, що знаходиться в ньому. При $\varphi=0$ осад, прилягає до похилої поверхні дискового упора. Обертаючись разом з ротором осад відходить від поверхні дискового упора і залишається нерухомим в осьовому напрямку. При $\varphi \geq \pi$ осад насувається на дисковий упор, відштовхується від його поверхні, та починає рух в осьовому напрямку з відносною швидкістю

$$v_{omh} = -\frac{\omega H}{2} \cdot \sin \varphi, \quad (6)$$

де $\omega = d\varphi/dt$ - кутова швидкість ротора по координаті φ (при нерухомій осі обертання дискового упора $\omega = \omega_{ром}$), H - нахил дискового упора (см. рис.2).

Виділені дві основні зони: зона формування і зона вивантаження (рис.3). У зоні формування основний масив осаду нерухомий в осьовому напрямку. Перед дисковим упором спочатку мається надлишок осаду, потім утворюється незаповнений простір, западина, куди безупинно надходить вихідний продукт ($0 \leq \varphi \leq \pi$). При зміні напрямку відносної швидкості крайки диска, відбувається спучування осаду й ущільнення за рахунок перегрупування його часток ($\pi \leq \varphi \leq \pi + \psi$). Формується осад з товщиною і щільністю упакування часток достатньої для передачі зусилля, що виштовхує, і починається зона вивантаження $\pi + \psi \leq \varphi \leq 2\pi$.

При нерухомій осі дискового упора описані зони будуть також залишатися нерухомими, відносно станини центрифуги.

На межі зони формування і зони вивантаження осад буде зазнавати деформації зсуву уздовж напрямку утворюючої ротора, оскільки в безпосередній близькості знаходяться рухомий і нерухомий осад.

Кут зони спучування-ущільнення ψ є важливою характеристикою процесу формування і вивантаження осаду оскільки він визначається станом осаду перед дисковим упором і, у той же час, зв'язаний з макроскопічними параметрами – продуктивністю і товщиною осаду:

$$G = H\omega r h \rho_{oc} \cos^2(\psi/2), \quad (7)$$

де G - продуктивність, r - радіус ротора, м; h - товщина шару осаду; ρ_{oc} - насипна густина осаду.

Якщо $\psi=0$, то маємо максимальну спроможність центрифуги по виштовхуванню осаду при даній товщині його шару: $G' = H\omega r h \rho_{oc}$.

Рух осаду в осьовому напрямку почнеться при виконанні умови стійкості шару перед дисковим упором, у супротивному випадку буде відбуватися спучування. З позицій механіки сипучого тіла визначено товщину шару осаду перед дисковим упором h_0 , необхідну для передачі зусилля, що виштовхує, і мінімальну з умови стійкості товщину шару осаду h_{min} :

$$h_0 = h_{min} = \sqrt{\frac{2f lh + k_c h^2}{0,7\lambda_{nx}}}, \quad (8)$$

$$\frac{l}{h_{min}} = \frac{0,7\lambda_{nx} - k_c}{2f}, \quad (9)$$

де $k_c = \operatorname{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\chi}{2}\right) \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\chi}{2}\right) \operatorname{tg}\chi$ - коефіцієнт, що враховує явище зсуву осаду; χ - кут внутрішнього тертя; l - довжина фільтруючої поверхні f - коефіцієнт тертя осаду по поверхні ротора; λ_{nx} - коефіцієнт пасивного тиску, що визначається по методу В.В.Соколовського.

Явище зсува підвищує мінімальну товщину шару осаду приблизно на 10% (при $\chi=15..40^\circ$, $k_c / 0,7\lambda_{nx} = 0,07...0,12 \approx 0,1$).

Рівняння (10) зводить задачу визначення стійкості до розгляду геометричних характеристик позовжнього перетину осаду:

$$h_0 \approx \sqrt{0,9h_{min}h + 0,1h^2}. \quad (10)$$

На підставі матеріального балансу осаду складені рівняння, що описують площу позовжнього перетину осаду S_{oc} :

$$0 < \varphi < \pi + \psi : \frac{dS_{oc}}{d\varphi} = \theta, \quad (11)$$

$$\pi + \psi < \varphi < 2\pi : \frac{dS_{oc}}{d\varphi} = \theta + \frac{Hh}{2} \cdot \sin \varphi \quad (12)$$

де $\theta = \frac{G}{2\pi\omega R\rho_{oc}}$ – збільшення площі перетину осаду за рахунок надходження вихідного продукту з розгінного конуса, м²/рад.

Рівняння (11) показує надходження вихідного продукту, а рівняння (12) – надходження вихідного продукту і вивантаження осаду з ротора.

При розгляді стану осаду перед дисковим упором площу перетину шару осаду, що лежить над поверхнею його основного масиву позначено параметром $S_{\partial o\partial}$ (див.рис.3), в цьому випадку $S_{\partial o\partial} > 0$. Якщо перед дисковим упором існує западина, то $S_{\partial o\partial} < 0$. Відповідно

$$0 < \varphi < \pi + \psi : \frac{dS_{\partial o\partial}}{d\varphi} = \theta - \frac{H}{2} \cdot h \cdot \sin \varphi, \quad (13)$$

$$\pi + \psi < \varphi < 2\pi : \frac{dS_{\partial o\partial}}{d\varphi} = \theta \quad (14)$$

На підставі припущень про форму осаду перед дисковим упором отримане рівняння для визначення кутової ширини зони спучування ψ_c :

$$(h - h_0) \left(a_3 - H \sin^2 \psi_c / 2 - \frac{(h - h_0)}{2 \operatorname{tg} \chi} \right) = -S_{\partial o\partial} - \theta(\pi + \psi_c) + hH \cos^2 \psi_c / 2, \quad (19)$$

де $a_3 = \sqrt{-\frac{2S_{\partial o\partial} + \theta\varphi_1 - hH}{\operatorname{tg}(\chi)}}$; $\varphi_1 = \arcsin\left(\frac{2\theta}{Hh}\right)$.

Відношення переміщення за один цикл осаду, що ущільнюється к переміщенню осаду, що не ущільнюється позначено коефіцієнтом ущільнення $\Delta X_y / \Delta X = k_3 < 1$. Отримано рівняння, для визначення кутової ширини зони спучування-ущільнення:

$$\psi = \arccos(k_3(1 + \cos \psi_c) - 1) \quad (20)$$

Рішення системи рівнянь (15-20) проводилося ітераційним методом.

Узагальнення результатів розрахунків зроблено у виді залежності кута спучування-ущільнення від відносної продуктивності – безрозмірного комплексу, що дорівнює відношенню продуктивності по осаду до спроможності центрифуги по виштовхуванню осаду при мінімальній товщині шару осаду (рис.4). Мінімальне значення кута ψ досягається при $\psi_c = 0$. Отримано залежність відносної товщини шару осаду від відносної продуктивності (рис.5а). Матеріал, що більше ущільнюється формує товстіший шар осаду. Кут нахилу лінійної ділянки графіка пов'язаний з коефіцієнтом ущільнення.

Виділено три режими формування осаду (рис.5б):

Третій режим відповідає мініальному значенню кута спучування-ущільнення.

Отримано залежності для визначення часу перебування осаду в роторі

$$\text{1-й режим:} \quad \tau = \frac{2\pi r l h_{\min} \rho_{oc}}{G}, \quad (24)$$

$$\text{2-й режим:} \quad \tau = 0,392 \frac{2\pi l}{\omega H k_3} + 0,785 \frac{2\pi r l h_{\min} \rho_{oc}}{G}, \quad (25)$$

$$\text{3-й режим:} \quad \tau = \frac{2\pi l}{\omega H k_3}, \quad (26)$$

зусилля взаємодії осаду і дискового упора

$$F = \left(\pi - \frac{\psi}{2} \right) Fr g r \rho_{oc} f l h, \quad (27)$$

потужності на вивантаження осаду.

$$N = \frac{Fr g G f l}{2 \cos^2 \psi / 2} \cdot \left[\frac{\sin \psi}{\psi} + 1 \right]. \quad (28)$$

Питомі витрати енергії на вивантаження осаду (мал.6) у першому режимі значно вище, ніж у другому і третьому.

Запропоновано та захищено патентом України конструкцію центрифуги, що має привод центрального вала. У цьому випадку вісь дискового упора буде робити прецесуючий рух, зі швидкістю обертання центрального вала $\omega_{ЦВ}$. Тоді

$$\omega = \omega_{rot} - \omega_{ЦВ}. \quad (29)$$

Обертаючи центральний вал, можна здійснити регулювання товщини шару осаду та часу перебування, знизити витрати енергії на вивантаження осаду.

Для проведення експериментальних досліджень, що описані в **п'ятому** розділі, центрифуга була включена в діючу схему Центральної збагачувальної фабрики “Комендантська” (Луганська обл.), де зневоднювання зернистого антрацитового шламу відбувається в такий спосіб: суспензія, що надходить з пірамідальних відстійників, згущається в гідроциклоні; згущений продукт гідроциклона подається на вібраційний грохот, де проходить його попереднє зневоднювання. Надрешетний продукт грохоту, надходить у центрифугу ФВИ-1001, осад якої вологістю 13-15%. подається на термічне сушіння, оскільки технічними умовами потрібно мати 9%.

Схема підключення дослідної центрифуги (табл.1) дозволяла подавати в неї надрешетний продукт грохоту, або згущений продукт гідроциклона, або безпосередньо, продукт пірамідальних відстійників (табл.2).

Виявлено особливості вивантаження осаду з ротора. При нерухомому центральному валу осад вивантажується у виді потоку часток, положення якого визначається точкою максимального наближення крайки дискового упора до краю ротора. При обертанні центрального вала потік обертається з тією же швидкістю й у тім же напрямку, що і центральний вал.

Частота обертання дискового упора навкруги власної осі при усталеному режимі роботи центрифуги близька до частоти обертання ротора .

При зупинці ротора осад зберігав свою форму, що дозволяло здійснити безпосередній вимір його товщини та насипної густини

По лінійній ділянці залежності товщини шару осаду в роторі від відносної продуктивності (рис.7), визначений коефіцієнт ущільнення антрацитового шламу. Мінімальна товщина шару осаду складала 32мм. Теоретична крива для $k_3=0,85$, що показана суцільною лінією, відповідає даним експерименту з відносною похибкою 9%.

Робота центрифуги при $k_2 > 0,5$ досягалася тільки за рахунок обертання центрального вала супутно ротору, тому що розрахункова здатність центрифуги по виштовхуванню осаду перевищує 50 т/ч. Проведені експерименти підтверджують можливість регулювання товщини шару осаду і часу перебування шляхом створення прецесійного руху осі дискового упора.

При дослідженні відцентрового віджиму зернистого антрацитового шламу в якості граничного розміру часток прийнятий розмір 0,2мм.

Залежність межі відцентрового віджиму від вмісту часток дрібніше 0,2мм (рис.8) має лінійний характер.

Вміст динамічної плівкової вологи, визначався як різниця між вологістю осаду та межею відцентрового віджиму (мал.9).

Отримані також залежності вмісту динамічної плівкової вологи від фактора поділу і часу перебування (рис.10,11)

Залежності вологості осаду від товщини його шару (у межах від 30 до 60мм) у роторі не виявлено.

Рівняння (30) описує отримані експериментальні дані в межах зміни фактора поділу $Fr=100\dots500$, часу перебування $\tau=2\dots14$ с, вмісту часток дрібніше 0,2мм в осаді $\gamma=3\dots18\%$ з відносною похибкою 6%.

$$W = 12,25\gamma + 3,52 \left(1 - \gamma\right) + \frac{77,6\gamma + 3,6 \left(1 - \gamma\right)}{Fr^{0,25}} + \frac{248,6\gamma + 49,3 \left(1 - \gamma\right)}{Fr^{0,5} \tau^{0,5}} \quad (30)$$

На підставі рівняння (30) можна зробити висновки про співвідношення у осаді різних видів вологи, зв'язаної з частками крупніше і дрібніше 0,2мм (рис.12,13).

У класі часток крупніше 0,2мм основне місце займає волога, що не видаляється відцентровим віджимом. У класі часток дрібніше 0,2мм переважне значення грає стикова волога. При зневоднюванні часток крупніше 0,2мм підвищення фактора поділу більш 250 не є доцільним, оскільки подальше зниження вологості буде несуттєвим. У той же час для зневоднювання часток дрібніше 0,2мм підвищення фактора поділу від 100 до 500 дає зниження вмісту стикової вологи на 8%, а

плівкової – на 7%. Таким чином, вміст часток дрібніше 0,2мм в осаді буде визначати вибір фактора поділу центрифуги.

Наявність фільтруючого розгінного конусу дозволяє знизити вміст часток менш 0,2мм в осаді відносно вихідного продукту. При розмірі отворів у фільтруючій поверхні розгінного конусу 0,34x4мм в середньому:

$$\gamma_{-} = 0,85 \gamma_{-}^{вих}, \quad (31)$$

де $\gamma_{-}^{вих}$ вміст часток дрібніше 0,2мм у вихідному продукті.

Центрифуга ФГУ забезпечує необхідну вологість осаду, без попередньої обробки матеріалу на грохоті (рис.14). У порівнянні з діючим устаткуванням, центрифуга дає більш низьку вологість осаду при більш високих питомих показниках продуктивності за рахунок більш високих фактору поділу (у 2-5разів) та часу перебування (1,5-3разів), класифікації продукту у розгінному конусі.

Шостий розділ присвячений розрахунку й оптимізації конструктивних і технологічних параметрів центрифуги ФГУ

Для розгінного конуса оптимальною буде робота у режимі напірного фільтрування при максимально можливій продуктивності по вихідній суспензії (нормальний чи перехідний режим). На основі відомих даних для центрифуг з відцентровим вивантаженням осаду, а також експериментальних досліджень запропонована розрахункова залежність для визначення параметрів фільтруючого розгінного конусу, що забезпечить видалення гравітаційної вологи з суспензії:

$$D_K = 5,3 V^{0,33} n^{-0,66} \eta^{-0,5}, \quad (32)$$

де D_K - більший діаметр фільтруючої поверхні розгінного конуса, м; V - продуктивність по вихідній суспензії (при об'ємній концентрації твердої фази 50-60%), м³/ч; n - частота обертання об/хв; η - вільний перетин фільтруючої поверхні.

Областю режимних параметрів ротору, що рекомендується, є: фактор поділу – у межах від 250 до 500, час перебування від 2,5 до 6 секунд. У цьому випадку при центрифугуванні антрацитового шламу зі вмістом часток дрібніше 0,2мм 10% буде забезпечуватися вологість осаду не більш 9%.

Ротор повинен працювати у другому режимі ($0,5 < K_4 < 1,25$). Діаметр ротору в цьому випадку визначається за рівнянням:

$$D = 1 \dots 1,25 \sqrt{\frac{G\tau}{\pi c \rho_{oc} h^2}}, \quad (33)$$

Висока спроможність центрифуги ФГУ по вивантаженню осаду дозволяє при проектуванні крупнотоннажних машин (50-100т/г) утримати діаметр ротору в рамках 1000-1200 мм, і, таким чином, мати фактор поділу на рівні 400-600. Такий комплекс показників не може бути досягнутий відомими типами центрифуг.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється у встановленні закономірностей процесу зневоднення зернистих матеріалів у фільтруючій центрифuzі з вивантаженням осаду дисковим упором і на підставі цього удосконаленні її конструкції, виборі раціонального режиму роботи и області застосування.

1. Вивчено закономірності формування, руху по фільтруючій поверхні, вивантаження осаду в центрифuzі з дисковим упором. Показано існування зон формування і вивантаження осаду, положення яких визначається положенням осі обертання дискового упора. Виявлено три режими формування осаду, що характеризуються різною динамікою залежності товщини шару осаду від продуктивності.

2. Розроблена математична модель формування і вивантаження осаду в роторі центрифуги з дисковим упором. Безрозмірний комплекс, що дорівнює відношенню продуктивності к здібності центрифуги по виштовхуванню осаду є характеристичним при визначенні режиму формування осаду. Отримані залежності для визначення часу перебування осаду в роторі, зусилля і потужності на виштовхування осаду.

3. Уточнено залежність для визначення мінімальної з умови стійкості товщини шару осаду в роторі центрифуг із примусовим вивантаженням осаду.

4. Запропоновано модель відцентрового віджиму зернистих матеріалів, що враховує структуру вологи в осаді та його гранулометричний склад. Показано співвідношення у осаді різних видів вологи.

5. Розроблено методику розрахунку основних конструктивних параметрів фільтруючої центрифуги з вивантаженням осаду дисковим упором.

6. Область раціонального застосування центрифуги:

– зневоднювання зернистих продуктів з розміром часток твердої фази до 6мм при вмісті часток менш 0,2 мм до 20 %.

– рідка фаза – вода чи близькі по в'язкості рідини;

– об'ємний вміст твердої фази в суспензії не менш 40 % (також попередньо збездоднені матеріали);

– інтенсивність навантаження на фільтруючу поверхню від 25 до 100 т/г на 1 м².

7. Визначено напрямки розробки й удосконалення конструкції центрифуги:

– забезпечення роботи фільтруючого ротора при факторі поділу від 300 до 500; особливу увагу при цьому необхідно приділити зносостійкості фільтруючої поверхні;

– збільшення товщини шару осаду в роторі і відповідне збільшення часу перебування, забезпечення роботи центрифуги у режимі, що характеризується нелінійною залежністю товщини шару

осаду в роторі від навантаження, за рахунок підбору конструктивних параметрів ротору, а також створення прецесійного руху вісі дискового упора;

– оптимізація класифікації матеріалів на розгінному конусі, за рахунок регулювання числа обертів конуса, ширини щілин фільтруючого сита, кута конусності;

8. Сформульовано напрямки удосконалення технології зневоднювання зернистих продуктів вуглезбагачення з застосуванням центрифуг ФГУ:

– відмова від попереднього зневоднення зернистих шламів на грохоті; проведення класифікації в гідроциклонах для зменшення вмісту класу часток менш 0,2 мм у матеріалі перед центрифугою;

– відмова від термічного сушіння збезводненого в центрифuzі осаду.

9. На підставі проведених досліджень та виконаних розрахунків для НВП “Екомаш” розроблено технічне завдання на проектування центрифуги ФГУ–1201Л для зневоднювання зернистого антрацитового шламу продуктивністю 60 т/г.

10. Проведено оцінку економічної ефективності заміни центрифуг ФВИ-1000 на центрифуги ФГУ-1201Л для умов ЦЗФ “Комендантська”. Тільки за рахунок економії палива в сушильному відділенні додатковий економічний ефект складає біля 950 тис. грн. у рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Трошин А.Г., Моисеев В.Ф., Мацак А.Ф. Центрифуга для обезвоживания мелкого угля // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2002. –№16. – С. 27-34.

Здобувач провів аналіз конструкції центрифуги з вивантаженням осаду дисковим упором, розглянув кінематику вузла вивантаження осаду, показана наявність відносного руху кромки дискового упора та поверхні ротору.

2. Трошин А.Г., Моисеев В.Ф., Мацак А.Ф. К определению технологических характеристик центрифуги типа ФГУ // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2003.– №3. – С. 68-75.

На основі теоретичного аналізу здобувач запропонував кутову ширину зони спучування й ущільнення в якості характеристики процесу формування осаду у роторі центрифуги, показав зв’язок продуктивності та ширини зони спучування й ущільнення, одержав розрахункові залежності для зусилля та потужності на вивантаження осаду.

3. Трошин А.Г., Моисеев В.Ф., Мацак А.Ф. Применение комбинированных центрифуг в углеобогащении // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2003.– №11.– т. 2.– С.110–121.

Здобувач розглянув основні тенденції розвитку фільтруючих центрифуг безперервної дії для розділення суспензій з зернистою твердою фазою в крупнотонажних виробництвах на прикладі вуглезбагачення та зробив висновок про перспективність комбінованої центрифуги з вивантаженням осаду дисковим упором.

4. Трошин А.Г., Мацак А.Ф., Моисеев В.Ф., Никитин И.Н. Опытнo-промышленные испытания фильтрующей центрифуги для обезвоживания угля // Углекимический журнал.– Харків: УХІН.– 2003.– №5-6. – С.37-41.

Здобувач брав безпосередню участь у створенні промислової установки, розробці програми-методики досліджень, проведенні експериментальних досліджень, виконав математичну обробку результатів досліджень, зробив висновки про раціональні режимні параметри роботи установки.

5. Хайдакин В.И., Корнеева В.Н., Трошин А.Г. Применение центробежных аппаратов в угольной промышленности // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. збірник. - Дніпропетровськ: НГА України. – 2003. – №17(58). – С.133 – 143.

Здобувач розробив рекомендації щодо вдосконалення технології збезводнювання зернистих продуктів вуглезбагачення з використанням центрифуги з вивантаженням осаду дисковим упором.

6. Трошин А.Г., Моисеев В.Ф., Мацак А.Ф. Механика осадка в роторе центрифуги с выгрузкой осадка дисковым упором.// Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2003. – №13.–С.49-64.

Здобувач розробив математичну модель формування та вивантаження осаду з ротора центрифуги, розробив методику та провів експериментальне дослідження формування та вивантаження осаду, уточнив відомі розрахункові залежності щодо мінімальної з умови стійкості товщини шару осаду.

7. Пат. 1731U, МПК 7B04B3/00. Центрифуга фільтруюча безперервної дії/ Трошин Г.П., Мацак О.Ф., Трошин О.Г., Моисеев В.Ф., Тичинська В.В. Заявл. 25.06.2002; Опубл. 15.04.2003, Бюл.№4.

Здобувач запропонував застосування приводу внутрішнього валу з метою регулювання часу перебування осаду у роторі центрифуги.

АНОТАЦІЇ

Трошин О.Г. Закономірності процесу зневоднення зернистих матеріалів у фільтруючій центрифугі з вивантаженням осаду дисковим упором. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Робота присвячена дослідженню процесу зневоднення зернистих матеріалів у фільтруючій центрифугі з вивантаженням осаду дисковим упором. Вивчено формування, рух по фільтруючій поверхні та вивантаження осаду в у роторі центрифугі. Показано існування зон формування і вивантаження осаду, положення яких визначається положенням осі обертання дискового упора. Виявлено три режими формування осаду, що характеризуються різною динамікою залежності товщини шару осаду від продуктивності. Отримані залежності для визначення часу перебування осаду в роторі, зусилля і потужності на виштовхування осаду. Запропоновано модель відцентрового віджиму зернистих матеріалів, що враховує структуру вологи в осаді та його гранулометричний склад. Показано співвідношення у осаді різних видів вологи. Визначено напрямки розробки й удосконалення конструкції центрифуги. Розроблено методику розрахунку основних конструктивних параметрів центрифуги.

Ключові слова: центрифуга, відцентровий віджим, формування осаду, зернистий матеріал; вивантаження осаду дисковим упором.

Трошин А.Г. Закономерности процесса обезвоживания зернистых материалов в фильтрующей центрифуге с выгрузкой осадка дисковым упором. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и оборудование химической технологии. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Фильтрующий разгонный конус центрифуги обеспечивает отделение гравитационной влаги и, соответственно, работу ротора в режиме центробежного отжима. На основании свойства аддитивности влагосодержания полидисперсных материалов получено уравнение для влажности осадка после центробежного отжима, учитывающее гранулометрический состав осадка, и структуру влаги.

Впервые изучено формирование и движение осадка по фильтрующей поверхности ротора центрифуги с выгрузкой осадка дисковым упором. Показано существование во вращающемся роторе зон формирования и выгрузки осадка, положение которых определяется положением оси вращения дискового упора. Зоне выгрузки осадка предшествует зона вспучивания-уплотнения, которая является частью зоны формирования. На границе зоны вспучивания-уплотнения и зоны выгрузки осадок испытывает деформации сдвига, поскольку в непосредственной близости находятся движущийся и неподвижный осадок. Движение осадка в осевом направлении (в сторону выгрузки) начинается при соблюдении условия устойчивости осадка перед дисковым упором. С позиций механики сыпучего тела определена толщина слоя осадка перед дисковым упором, достаточная для преодоления сил трения осадка по сити, а также осуществления деформации сдвига. Определена минимальная из условия устойчивости толщина слоя осадка в роторе центрифуги.

Получена зависимость угловой ширины зоны вспучивания-уплотнения от относительной производительности – безразмерного комплекса, равного отношению производительности по осадку к выталкивающей способности узла выгрузки при минимальной толщине слоя осадка. Выявлено три режима формирования осадка, характеризующиеся разной динамикой зависимости толщины слоя от относительной производительности. В первом режиме толщина слоя не зависит от производительности и равна минимальной из условия устойчивости; во втором имеется пологая нелинейная зависимость, а в третьем режиме имеется прямая пропорциональная зависимость. Во втором и третьем режиме время пребывания осадка в роторе зависит от частоты вращения ротора. В третьем режиме, время пребывания не зависит от производительности. Получены зависимости для определения усилия и мощности на выталкивание осадка.

Предложена и защищена патентом Украины конструкция центрифуги, предусматривающая привод центрального вала. В этом случае ось вращения дискового упора будет совершать прецессирующее движение со скоростью вращения центрального вала. Благодаря чему можно осуществить регулирование времени пребывания осадка в роторе, снизить затраты энергии на выгрузку осадка.

Во время экспериментальных исследований, которые проводились в промышленных условиях (ЦОФ “Комендантская”), центрифуга применялась для обезвоживания зернистого антрацитового шлама.

При неподвижной оси вращения дискового упора осадок выгружается из ротора в виде неподвижного локализованного потока. При повороте центрального вала поток выгружаемого осадка поворачивается на тот же угол. Описанные эффекты подтверждают наличие зон формирования и выгрузки осадка.

Получена зависимость предела центробежного отжима от содержания частиц мельче 0,2мм при различных значениях фактора разделения. Получены зависимости содержания динамической пленочной влаги от фактора разделения, времени пребывания, содержания частиц мельче 0,2мм. Показано, что в классе частиц крупнее 0,2мм основное место занимает влага, не удаляемая центробежным отжимом. В классе частиц мельче 0,2мм преобладающее значение играет стыковая влага.

За счет классификации продукта на фильтрующем разгонном конусе обеспечивается снижение содержания частиц менее 0,2мм в осадке по сравнению с питанием центрифуги. Для разгонного конуса оптимальной будет работа в режиме напорного фильтрования при максимально возможной производительности по исходной суспензии при условии, что режим будет нормальным или переходным.

Областью режимных параметров центробежного отжима в роторе центрифуги при обезвоживании антрацитового шлама являются: фактор разделения от 250 до 500, время пребывания от 2,5 до

бс, толщина слоя осадка от 30 до 60мм. В этом случае обеспечивается влажность осадка не более 9% (при содержании частиц мельче 0,2 мм в осадке 10%), что позволяет исключить его дальнейшую сушку.

Областью рационального применения центрифуги с выгрузкой осадка дисковым упором является обезвоживание зернистых материалов содержащих до 20% частиц мельче 0,2мм, жидкая фаза – вода или близкие по вязкости жидкости, объемное содержание твердой фазы в питании не менее 40% интенсивность нагрузки на фильтрующую поверхность 25-120т/ч на 1м².

Разработана методика расчета основных конструктивных параметров центрифуги. Высокая способность центрифуги по выгрузке осадка позволяет при проектировании крупнотоннажных машин (50-100т/ч) удерживать диаметр ротора в рамках 1000-2000мм, и, таким образом, иметь фактор разделения на уровне 400-600.

Ключевые слова: центрифуга, центробежный отжим, формирование осадка, зернистый материал; выгрузка осадка дисковым упором.

A.G. Troshin Regularity of granular substances dehydration process in a filtrating centrifuge with deposit unloading by thrust disk. - Manuscript.

Thesis for the scientific degree of the candidate of engineering science in speciality 05.17.08 – processes and equipment of chemical technology. – National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Kharkov, 2004.

The work is dedicated to research of granular substances dehydration in a filtrating centrifuge with deposit unloading by thrust disk. The deposit formation, motion on filtering surface and unloading in centrifuge rotor are studied. The existence of deposit formation and unloading zones is shown. And their location are determined by a position of thrust disk rotation axis. Three modes of deposit formation are discovered that are characterized by different dynamic correlation between thickness of deposit layer and productivity. The relations for definition of time of deposit stay in rotor, effort and powers on deposit pushing are obtained. The model of granular substances centrifugal drying is offered, that takes into account structure of moisture in deposit and deposit granulometric composition. The ratio of different moisture kinds in deposit is shown. The directions for development and centrifuge design improvement are formulated. The method for centrifuge design value calculation is developed.

Keywords: a centrifuge, a deposit, centrifugal drying, deposit formation, granular substance, deposit unloading by thrust disk.

Трошин Олексій Георгійович

**Закономірності процесу зневоднення зернистих
матеріалів у фільтруючій центрифугі з вивантаженням осаду дисковим упором**

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Підп. до друку 16.04.2004 р. Формат видання 145x215
Формат паперу 60x90/16. Папір офісний. Друк – різнографія.
Обсяг 0,9 авт. арк. Наклад 100 прим. Зам. № 198 .

Видавничий центр НТУ “ХПІ” Свідоцтво ДК №116 від 10.07.2000 р.
Друкарня НТУ “ХПІ”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21