

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

**Пономарьова Наталія Георгіївна**

**УДК 622.794.2**

**ГІДРОМЕХАНІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ  
ЗНЕВОДНЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ХІМІЧНОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ У ОСАДЖУВАЛЬНІЙ ШНЕКОВІЙ ЦЕНТРИФУЗІ**

Спеціальність 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2009

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», професор кафедри хімічної техніки та промислової екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

**Камбург Володимир Григорович,**

Пензенський державний університет архітектури та будівництва, м. Пенза, завідувач кафедри прикладної математики та інформатики

кандидат технічних наук, доцент

**Якушко Сергій Іванович,**

Сумський державний університет, м. Суми, доцент кафедри процесів та обладнання хімічних та нафтопереробних виробництв

Захист відбудеться «14» травня 2009р. 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 «09» квітня 2009р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Тимченко В.К.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Внаслідок інтенсивної роботи хімічної промисловості в Україні утворилась величезна кількість рідких відходів, що знаходяться у відкритих сховищах. Тільки невелика частина їх є інертними в екологічному плані. В теперішній час, в умовах певного дефіциту енергетичних та матеріальних ресурсів та з урахуванням розвитку хімічних технологій виникає необхідність переробки цих відходів з метою одержання корисної сировини, рекультивації земель або звільнення місця для відходів поточної переробки.

Сучасні методи переробки хімічних відходів дозволяють одержувати концентрат у вигляді суспензії, яка піддається подальшому механічному зневоднюванню та термічному сушінню. Тому вдосконалення процесу зневоднювання з метою зниження енергетичних витрат на сушіння й зменшення вартості процесу зневоднювання в цілому є актуальним. Існують виробництва, де термічне сушіння осаду кінцевого продукту взагалі неприйнятне із техніко-економічних міркувань. Низький вміст вологи в осаді дозволяє зменшити витрати на транспортування, зберігання отриманих матеріалів. Апарати для механічного зневоднювання повинні забезпечити низьку вологість осаду; високу ефективність уловлювання твердої фази в осаді; стійку роботу в умовах різких змін якості і кількості суспензії, що надходить на переробку. В найбільшій мірі цим вимогам відповідають осаджувальні центрифуги зі шнековим вивантаженням осаду.

Перспективним напрямком вдосконалення процесу зневоднювання в осаджувальних шнекових центрифугах є інтенсифікація механічного ущільнення осаду.

Таким чином дисертаційну роботу спрямовано на вирішення конкретної науково-технічної задачі – виявленню закономірностей процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в осаджувальній шнековій центрифугі із зоною ущільнення та розробка методу розрахунку конструктивних параметрів зони ущільнення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у рамках наукового напрямку кафедри хімічної техніки і промислової екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Здобувач був виконавцем окремих розділів господарчих науково-дослідних договорів «Дослідження процесу зневоднювання шламів Ясинівського КХЗ у відстійній центрифугі та вибір раціонального режиму її роботи» (ТОВ НВП «Екомаш», м. Харків); «Дослідження процесу зневоднювання червоного шламу у відстійній центрифугі » (ТОВ «Техносінтез», м. Харків); «Вибір режимів механічного зневоднювання оксиду титану» (ТОВ «Укрпостач», м. Верхньодніпровськ, Дніпропетровської обл.).

**Мета й задачі дослідження.** Метою дослідження є встановлення гідромеханічних закономірностей процесу зневоднювання високодисперсних

відходів хімічної промисловості в осаджувальних шнекових центрифугах та вдосконалення їхньої конструкції і вибір раціональних режимів роботи.

Для досягнення цієї мети вирішувалися наступні задачі:

- провести літературний аналіз існуючих процесів та апаратів з метою вибору напрямків інтенсифікації процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в осаджувальній шнековій центрифугі;
- теоретично й експериментально дослідити рух осаду в зоні ущільнення осаджувальної шнекової центрифуги;
- експериментально вивчити процес зневоднювання та вплив технологічних та конструкційних параметрів на його результати;
- видати практичні рекомендації щодо раціональних шляхів інтенсифікації процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в осаджувальній шнековій центрифугі.

*Об'єкт дослідження* – процес зневоднювання суспензій з високодисперсною твердою фазою в осаджувальній шнековій центрифугі.

*Предмет дослідження* – рух та відцентровий віджим високодисперсних відходів хімічної промисловості у зоні ущільнення осаджувальної шнекової центрифуги.

**Методи досліджень.** Теоретичні положення дисертації базуються на загальних принципах механіки руху твердих тіл, також використовуються принципи механіки сипкого тіла. Експериментальні дослідження проведені в умовах промислового експерименту у рамках діючої технологічної схеми підприємства за умови різних режимів роботи центрифуги. Визначення властивостей продуктів проводилось за стандартними методиками. Витрати матеріальних потоків визначено ваговим і об'ємним методами. Обробку експериментальних даних виконано методами математичної статистики. Математичне моделювання здійснювалось на підставі положень теорії зневоднювання. Графічна інтерпретація та статистична обробка результатів досліджень проводилася із застосуванням комп'ютерних технологій.

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

- вперше вивчено закономірності процесу зневоднювання в осаджувальній шнековій центрифугі, що має зону ущільнення осаду;
- вивчено механізм пересування й ущільнення осаду при наявності зони ущільнення в осаджувальній шнековій центрифугі.
- вперше експериментально вивчений вплив параметрів зони ущільнення на вологість осаду;
- запропоновано модель процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в осаджувальній шнековій центрифугі, що має зону ущільнення, та враховує структуру вологи в осаді та його гранулометричний состав.

**Практичне значення отриманих результатів для хімічної галузі** полягає у розробці вдосконаленої конструкції осаджувальної шнекової центрифуги, використання якої приводить до зниження вологості осаду, що

зменшує витрати на подальше термічне сушіння. Обґрунтовано галузь раціонального застосування вдосконаленої конструкції осаджувальної центрифуги, розроблено методику розрахунку конструктивних параметрів зони ущільнення. Результати роботи впроваджені у виробництво науково-технічного центру «Екомаш» (м. Харків) та використовуються на кафедрі хімічної техніки та промислової екології НТУ «ХПІ» при викладанні спеціальних дисциплін, у курсовому та дипломному проектуванні за спеціальностями 8.070220 - обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів та 8.070221 - обладнання переробних та харчових підприємств.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи, яка виноситься на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: участь у постановці задачі та вивчення закономірностей процесу зневоднювання в осаджувальній шнековій центрифугі, що має зону ущільнення; вивчення механізму переміщення осаду при наявності зони ущільнення; розробка моделі процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості; експериментальне вивчення впливу параметрів зони ущільнення на вологість осаду; обробка експериментальних даних; отримання функціональних залежностей для розрахунку часу перебування, зусилля і потужності на вивантаження осаду та їх змістовна інтерпретація; розробка методики розрахунку конструктивних параметрів зони ущільнення.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та матеріали дисертації доповідались та обговорювались на: Міжнародній науковій конференції «Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем» (м. Чернівці 2005–2006рр.), II Міжнародній конференції “Співробітництво для рішення проблеми відходів” (2005р., м. Харків), 9-й міжнародній науково-практичній конференції “Ресурси й енергозберігаючі технології при переробці мінеральної сировини”, (2006р., м. Маріуполь).

**Публікації.** Основний зміст роботи викладений в 12 наукових працях, які опубліковані в 6 фахових виданнях ВАК України, отримано авторське свідоцтво, подано заявку і отримане позитивне рішення про видачу патенту України.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 6 розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації 137 сторінок, 3 ілюстрацій на 2 сторінках, 42 ілюстрацій і 9 таблиць по тексту, 7 додатків на 42 сторінках, список використаних джерел з 103 найменувань на 10 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.**

**У вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована основна її мета, наведені основні дані про структуру і задачі досліджень, зв'язок з науковими програмами, структуру і апробацію роботи, публікації.

У першому розділі виконано аналіз конструкцій осаджувальних центрифуг зі шнековим вивантаженням осаду для поділу суспензій з високодисперсною твердою фазою й основними тенденціями їхнього розвитку. Обґрунтовано мету й задачі досліджень.

Типова схема роботи осаджувальної шнекової центрифуги - вихідний продукт (суспензія) надходить у трубу живлення центрифуги й проходить у внутрішню порожнину циліндро-конічного ротору (рис.1), де під впливом відцентрової сили частки твердої фази осаджуються на його внутрішній поверхні. У середині ротора коаксіально розташовано транспортуючий шнек. Шнек, що обертається із трохи меншою частотою, ніж ротор, переміщає тверду фазу по ротору в конічну частину, де й відбувається зневоднювання осаду. З конічної частини осад видаляється шнеком через вікна вивантаження зневодненого осаду. Очищена рідка фаза суспензії (фугат) виводиться через вікна вивантаження фугату.

Ротор шнекової осаджувальної центрифуги по довжині розподіляють на зони осадження й зневоднювання (рис.1). Границі зон визначаються діаметром зливу фугату і діаметром та кутом конуса ротора.

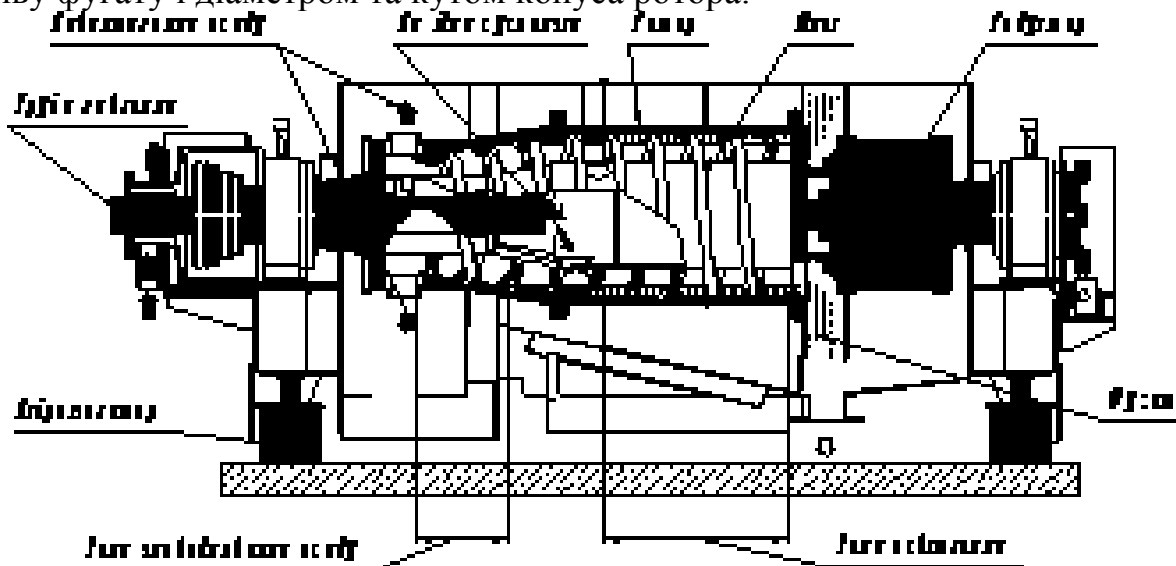


Рис.1 - Осаджувальна шнекова центрифуга

Найчастіше процес зневоднювання високодисперсного осаду закінчується другою стадією відцентрового відтискання, коли пори осаду заповнені рідкою фазою, тому вдосконалення процесу зневоднювання в осаджувальних шнекових центрифугах можливе за рахунок інтенсифікації механічного ущільнення осаду.

На підставі проведеного аналізу обґрунтовано мету та задачі дослідження.

У другому розділі представлено використані методи дослідження процесу поділу високодисперсних суспензій у центрифугі зі шнековим вивантаженням осаду. Описано схему промислового експерименту, яка

дозволила змінювати конструктивні та технологічні параметри процесу зневоднювання, що найбільш впливають на його результати. Наведено методи аналізів продуктів центрифугування, обробки експериментальних даних, і методи, які вживалися в теоретичному дослідженні.

**У третьому розділі** описано дослідження процесу відцентрового зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в осаджуючій центрифугі.

Показано, що волога в осаді після відцентрового відтискання представлена у вигляді суми двох складових.

1. Волога, що у принципі не може бути виділена при відцентровому віджимі. Вміст цієї вологи характеризується показником максимальної молекулярної вологоємності (ММВ).

2. Капілярна волога, що перебуває в порах осаду. Причому існує капілярна волога, що не може бути вилучена при даному факторі поділу, вміст якої визначається за рівнянням Бателя. Також існує капілярна волога, вміст якої зменшується із часом при ущільненні осаду. Вміст цієї вологи залежить від розміру й форми часток, модуля пружності часток, коефіцієнта внутрішнього тертя, змочуваності, а також від інтенсивності й тривалості механічного впливу на осад.

Таким чином, загальна вологість описується рівнянням

$$W = MMB + \frac{A}{Fr^{0,25}} + \frac{B}{Fr^{0,5}\tau^{0,5}}, \quad (2)$$

де  $A = a \frac{\rho_p}{\rho_m} \left( \frac{\sigma \cos \nu}{\rho_p} \cdot \frac{f_0}{d} \right)^{0,25}$  і  $B = f \sigma, k_{вн}, d, f_0, E, \cos \nu$  – комплекси, які

враховують властивості осаду, що впливають відповідно на вміст капілярної вологи при нескінченному часі перебування і вміст капілярної вологи, кількість якої зменшується із часом при ущільненні осаду;  $\sigma$  - поверхневий натяг;  $\rho_p$  і  $\rho_m$  - щільність рідкої і твердої фаз;  $f_0$  - питома поверхня твердої фази;  $d$  - середній діаметр часток,  $k_{вн}$  - коефіцієнт внутрішнього тертя,  $E$  модуль Юнга,  $\cos \nu$  - крайовий кут змочуваності.

Якщо розподілити продукт тільки на два класи - крупніше і дрібніше певного розміру, то на підставі адитивності вологості полідисперсних матеріалів отримаємо залежність

$$W = MMB_{-}\gamma_{-} + 1 - \gamma_{-} MMB_{+} + \frac{A_{-}\gamma_{-} + A_{+} 1 - \gamma_{-}}{Fr^{0,25}} + \frac{B_{-}\gamma_{-} + B_{+} 1 - \gamma_{-}}{Fr^{0,5}\tau^{0,5}}, \quad (3)$$

де  $\gamma_{+}$  й  $\gamma_{-}$  - вміст в осаді часток крупніше й дрібніше певного розміру;  $MMB_{+}$  та  $MMB_{-}$ ,  $A_{+}$  та  $A_{-}$ ,  $B_{+}$  та  $B_{-}$  - комплекси, що враховують характеристики відповідні класів крупності.

Границя відцентрового відтискання при даному факторі поділу

$$W_{\infty} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} W = MMB_{-\gamma_-} + 1 - \gamma_- MMB_{+} + \frac{A_{-}\gamma_- + A_{+} 1 - \gamma_-}{Fr^{0,25}} \quad (4)$$

Формули (2) і (3) враховують вплив об'ємних сил на осад. Результат впливу залежить від інтенсивності (а значить від фактора поділу) і від тривалості впливу. У той же час фактор поділу і час перебування в сучасних конструкціях промислових центрифуг перебувають у межах  $Fr \leq 1500$  а  $\tau \leq 10c$  виходячи з конструктивних і технологічних міркувань, отже зниження вологості можна домогтися, якщо використати додаткове механічне ущільнення осаду. Відомо, що структурно-механічні властивості осаду визначаються змістом у ньому води (вологістю). Стійкість осаду при стискуванні підвищується при зниженні його вологості. Тому найбільше стискуєче зусилля може бути прикладене в зоні, де осад має найменшу вологість, тобто в зоні вікон вивантаження осаду.

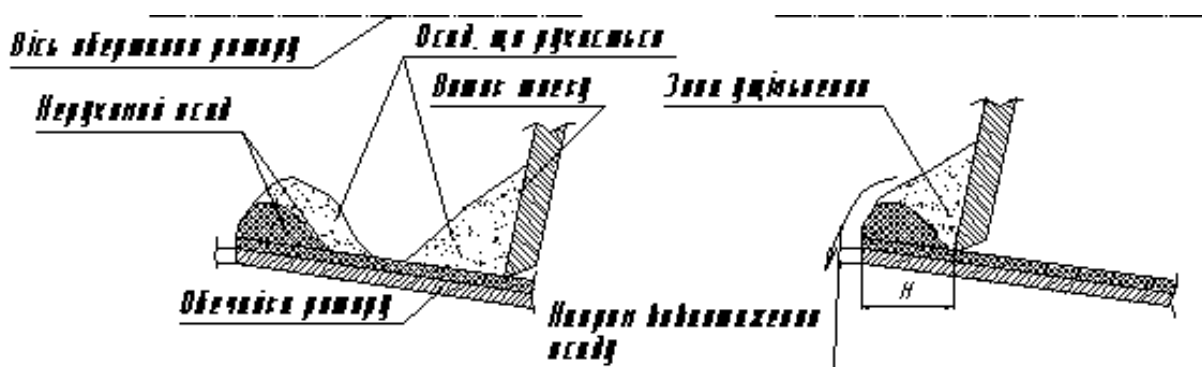
У цьому випадку залежність вологості осаду буде мати вигляд

$$W = MMB_{-\gamma_-} + 1 - \gamma_- MMB_{+} + \frac{A_{-}\gamma_- + A_{+} 1 - \gamma_-}{Fr^{0,25}} + \frac{B_{-}\gamma_- + B_{+} 1 - \gamma_-}{Fr^{0,5}\tau^{0,5}} - F(p; \Gamma_i; \gamma_-; k_{\text{вн}}) \quad (5)$$

де  $F(p; \Gamma_i; \gamma_-; k_{\text{внутр}})$  - вплив зони ущільнення;  $p$  - тиск, що розвивається при механічному ущільненні;  $\Gamma_i$  - геометричні параметри зони ущільнення.

Виходячи з цих міркувань, була запропонована конструкція центрифуги, у якої кінець витка шнека розташований на віддаленні від краю вікон вивантаження осаду. Традиційна конструкція передбачає вихід кінця витка за край вікна вивантаження.

В цьому випадку на поверхні ротора перед вікном вивантаження осаду утвориться стійкий валик з матеріалу осаду (рис. 2). Осад, що транспортується шнеком, повинен подолати цей місцевий опір для того, щоб потрапити у вікна вивантаження осаду.

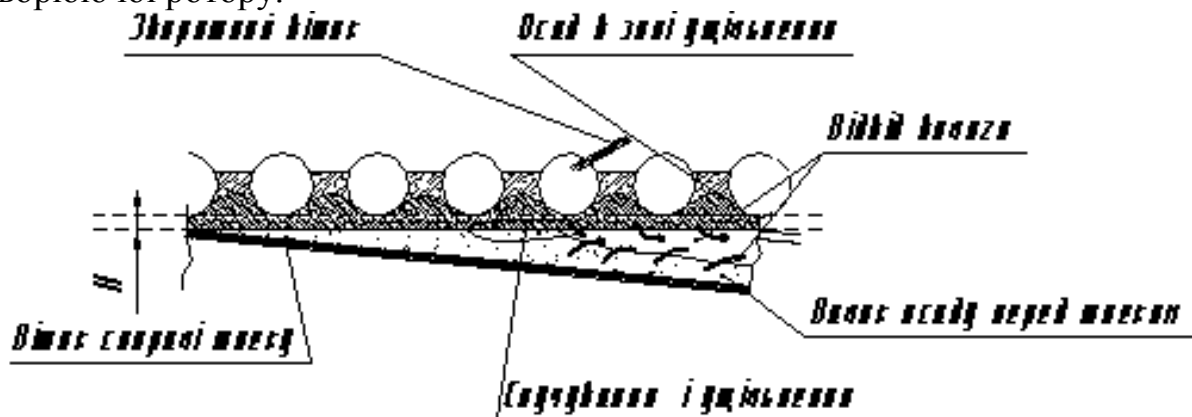


**Рис.2 - Рух та ущільнення осаду в центрифугі, якщо кінець витка шнеку не доходить до краю вікна вивантаження осаду**

На рис.3 схематично зображений процес зневоднювання осаду в зоні ущільнення осаду шнекової центрифуги. Останній виток шнека показаний у розгорнутому виді.



На відміну від традиційної конструкції осад, що вивантажується шнеком, не відразу попадає у вікно вивантаження, а залишається перед ним. У цьому випадку, волога, що виділяється із цього осаду, відводиться уздовж утворюючої ротору.

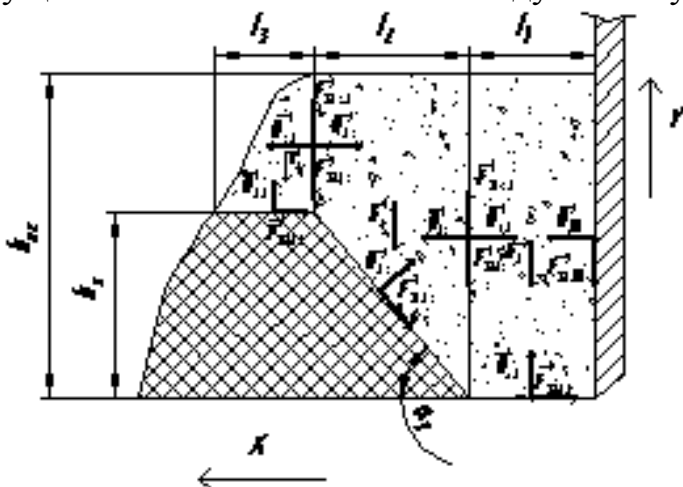


**Рис.3 - Процес зневоднювання осаду в зоні ущільнення осаджувальної шнекової центрифуги**

Нова порція осаду, що подається шнеком, витісняє осад, що залишався після попереднього оберту шнека. Зусилля, які необхідно прикласти для витиснення осаду, істотно зростають через наявність місцевого опору. За рахунок цього між поверхнею стійкого валика й витком шнека відбувається додаткове ущільнення осаду. У свою чергу, ущільнення осаду викликає вижимання вологи з його пор.

Таким чином, розглянуто залежність вологи отриманого осаду від його властивостей та гранулометричного складу. Розглянуто механізм ущільнення та вивантаження осаду із осаджувальної центрифуги. Показано, що у існуючій залежності вологи осаду від гранулометричного складу не враховується вплив додаткового ущільнення осаду, тобто, є потреба в подальших дослідженнях для отримання нової залежності вологи осаду від гранулометричного складу із врахуванням додаткового ущільнення.

У четвертому розділі описані результати теоретичного дослідження ущільнення й вивантаження осаду в зоні ущільнення.



**Рис.4 - Зусилля, що діють на осад**

Зусилля, що впливають на осад, і необхідні для ущільнення і вивантаження осаду, визначалися на підставі механіки сипучого тіла. Для визначення зусиль, що впливають на осад, який перебуває в зоні ущільнення, осад умовно розбили на три сегменти. На кожний сегмент діє відцентрова сила, сили тертя, а також сили нормальної реакції між сегментами, з боку шнека, і нерухомого осаду.

Для кожного сегмента складені рівняння рівноваги по осях:

$$\text{Сегмент I: } x: N_{ш1} - F_{TPn1} - N_{21} = 0 \quad (6)$$

$$y: N_{n1} + F_{TP21} - F_{TPш1} - G_1 = 0 \quad (7)$$

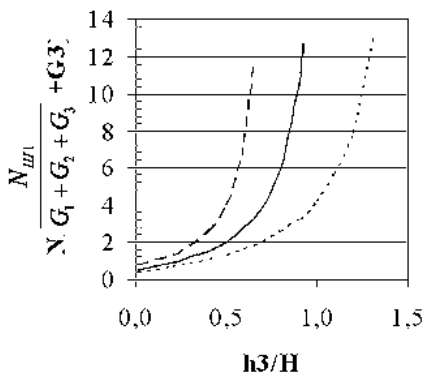
$$\text{Сегмент II: } x: N_{12} - F_{TPn2} \cdot \cos \alpha_2 - N_{n2} \cdot \sin \alpha_2 - N_{32} = 0 \quad (8)$$

$$y: N_{n2} \cdot \cos \alpha_2 - F_{TPn2} \sin \alpha_2 - F_{TP12} - F_{TP32} - G_2 = 0 \quad (9)$$

$$\text{Сегмент III: } x: N_{23} - F_{TPn3} = 0 \quad (10)$$

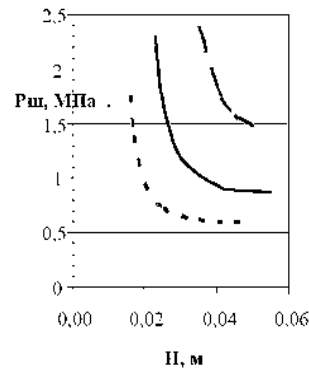
$$y: F_{TP23} + N_{n3} - G_3 = 0 \quad (11)$$

Рішення рівнянь (6) - (11) дозволило визначити в безрозмірному вигляді залежність стискаючого зусилля від висоти стійкого валика. Стискаюче зусилля, що зазнає осад, нелінійно зростає при збільшенні висоти стійкого валика (мал.5). Розрахунки показали, що тиск в осаді може досягати 1,5-2,0 МПа, у той час як при відсутності зони ущільнення, що має ширину  $H$ , і тих же умовах процесу він не перевищує 0,5 МПа. (рис.6).



..... Квн=0,3 ————— Квн=0,4 - - - - - Квн=0,5

**Рис.5 – Залежність стискаючого зусилля, від висоти сталого валика осад**



**Рис. 6 – Залежність тиску в осаді від ширини зони ущільнення**

Слід зазначити, що не всі матеріали, що зневоднюються, утворюють стійкий валик необхідних геометричних параметрів, що отримані при моделюванні, а, отже, не у всіх випадках буде досягатися необхідні розраховані тиск і ступінь ущільнення.

З метою підвищення інтенсивності ущільнення і більш раціонального використання об'єму ротора запропонована й захищена патентом України конструкція центрифуги, що передбачає установку заставок перед вікнами вивантаження осад, при цьому край витка шнека розташовується на певній відстані від заставки.



При початкових умовах  $L = 0 = t_{uu} + H$  інтегрування рівняння приводить до залежності:

$$L = \varphi = H + t_{uu} \left( 1 - \frac{\varphi}{2\pi} \right) \quad (14)$$

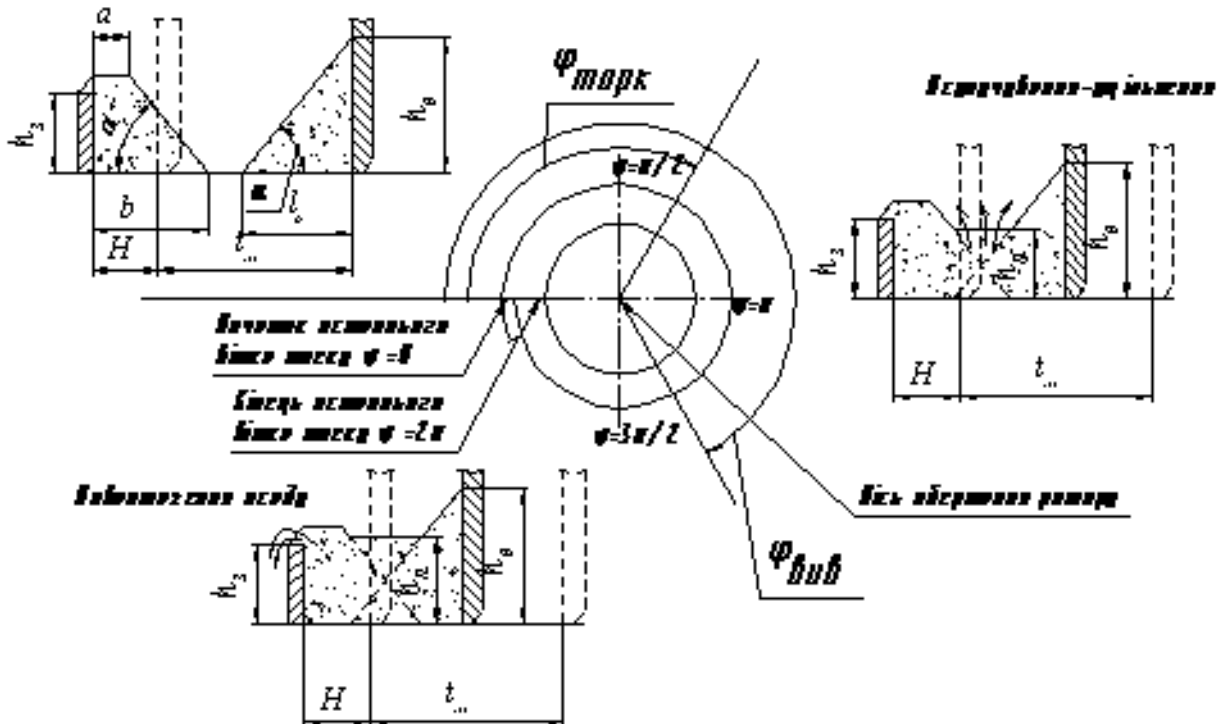


Рис.8 - Зони формування і вивантаження осаду

Зміна величини  $L$  означає, що валик осаду, що перебуває перед шнеком, рухається у бік вивантаження. У певний момент цей осад торкнеться валика осаду перед заставкою. Кутова координата торкання валиків

$$\varphi_{\text{торк}} = 2\pi \cdot \left( 1 - \frac{l_g + b - H}{t_{uu}} \right), \quad (15)$$

де  $l_g$  - довжина валика осаду біля шнеку у напрямку вісі, м;  $b$  - довжина нижньої основи трапецієдного валику осаду, м;  $H$  - ширина зони ущільнення, м.

Після торкання валиків починається зона випинання і ущільнення осаду. Між валиками утворюється перешийок товщиною  $h_n$ . Зміна товщини перешийка буде відбуватися відповідно до рівняння:

$$\frac{dh_n}{d\varphi} = -\frac{dL}{d\varphi} \cdot \text{tg}\alpha \quad (16)$$

При досягненні певної «критичної» товщини перешийка, міцність його зросте настільки, що випинання припиниться, і почнеться рух усього осаду у бік вивантаження.

Для оцінки «критичної» товщини шару осаду в дисертаційній роботі запропоновано залежність, що дозволяє завдання механіки сипучого тіла звести до розгляду геометричних характеристик осаду

$$h_{кр} = \sqrt{h_{\min}^2 + h_{\min}h} \quad (17)$$

де  $h$  - товщина шару осаду, що рухається (відповідає товщині валика осаду перед заставкою)  $h_{\min}$ ; - мінімально можлива товщина шару осаду, що рухається, яка визначається з умови стійкості або виходячи з експериментальних даних.

Після підстановки (14) у (16) при проведенні інтегрування рівняння (16) по змінній  $h_n$  в межах від 0 до  $h_{кр}$ , а по куту  $\varphi$  в межах від  $\varphi_{торк}$  до  $\varphi_{вив}$ , визначимо кутову координату початку зони вивантаження осаду  $\varphi_{вив}$ :

$$\varphi_{вив} = \frac{2\pi h_{кр}}{t_{ш} \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \varphi_{торк} \quad (18)$$

Якщо продуктивність по осаду дуже мала, то може виявитися, що  $h_{кр} > h_v$ . Для цього випадку кутова координата  $\varphi'_{вив}$  визначається залежністю

$$\varphi'_{вив} = 2\pi \left( \frac{h - h_{кр}^2 / 2 \operatorname{tg} \alpha - H + t_{ш} - a \cdot h - h_{кр} + S'_n}{h_{кр} t_{ш}} + \frac{\varphi' h}{h_{кр}} \right). \quad (19)$$

У безрозмірному виді отримана залежність площі перетину осаду, що перебуває в зоні ущільнення від площі перетину валика осаду перед шнеком для різних значень відносної висоти заставки (рис. 9).

З огляду на те, що площа перерізу валика осаду перед шнеком залежить від продуктивності центрифуги, щільності осаду, радіуса ротора, відносної частоти обертання шнека, то наведена на рис.9 залежність може використовуватися для різних режимних параметрів.

Залежність на рис.10 зіставляє кількість осаду в зоні ущільнення і на одному витку шнека. Таким чином, можна визначити час перебування осаду перед заставкою (у цьому випадку час виражається в кількості обертів шнека). При невеликій площі перерізу валика осаду перед шнеком можна одержати різке збільшення часу перебування.

Таким чином, запропоновано та захищено патентом України конструкцію центрифуги, що передбачає установку заставок перед вікнами вивантаження осаду, при цьому край витка шнека розташовується на певній відстані від заставки. Розглянуто механізм формування й вивантаження осаду із центрифуги при наявності зони ущільнення. Отримано залежності для визначення кутових координат початку зон ущільнення та вивантаження осаду, а також для визначення кількості осаду, що вивантажується.

Експериментальні дослідження, які описані в п'ятому розділі, проведені на серійних центрифугах ОГШ-459 і ОГШ-469 у промислових умовах при зневоднюванні пінного продукту флотації вугілля.

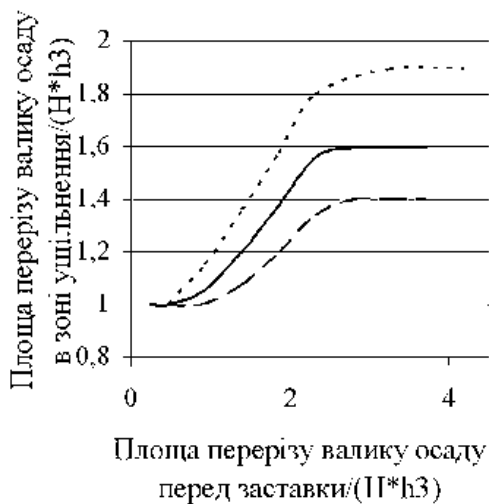
Досліджувалися центрифуги як з радіальними, так і радіально-осьовими вікнами, і осьовими вікнами вивантаження осаду (рис.11).

У випадку використання радіальних вікон вивантаження осаду (ОГШ-469) для зміни відстані між кромкою вікна вивантаження й витком шнека, і висоти заставки, використовувалися спеціальні вставки.

У випадку використання радіально-осьових вікон вивантаження осаду (ОГШ-459) використовувалася додаткова пластина, що продовжує спіраль шнека, а також вставки, що продовжують поверхню ротора.

При використанні осьових вікон (ОГШ-321) на зовнішню поверхню встановлювалися заставки, що закривають частину вікна.

Примусове спрацьовування механізму захисту редуктора призводило до зупинки відносного руху шнека усередині ротора. Далі відбувався вибіг ротора центрифуги з осадом, що перебуває в ньому (як єдиного цілого зі шнеком) до повної зупинки.



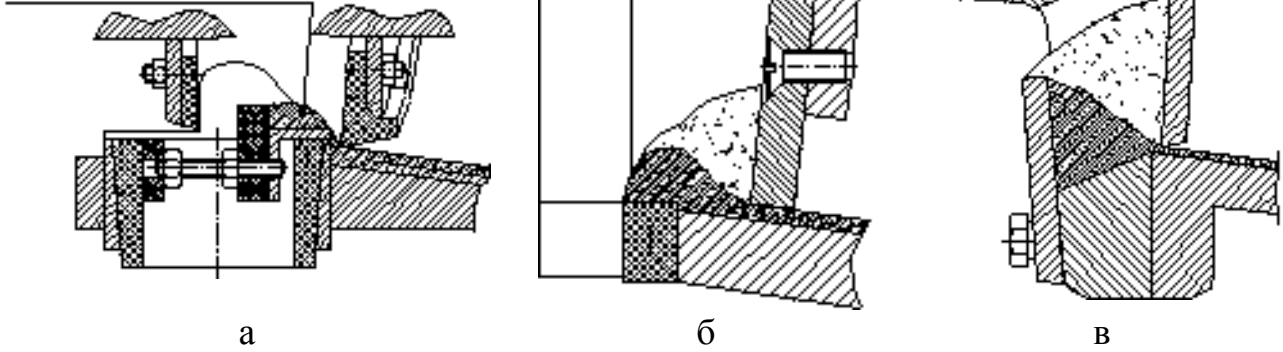
—  $h3/H=1$  - - -  $h3/H=0,67$  — —  $h3/H=1,5$

**Рис.9 – Залежність площі перерізу осаду, що знаходиться в зоні ущільнення від площі перерізу валику осаду перед шнеком**

**Рис. 10 – Залежність площі перерізу осаду в зоні ущільнення від площі перерізу валику осаду перед шнеком**

Осад зберігає свою форму при нерухомому шнеку. Таким чином, була можливість безпосереднього виміру геометричних параметрів осаду, його форми й структури.

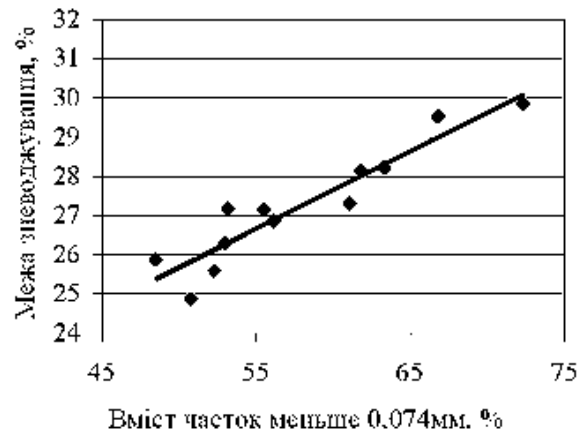
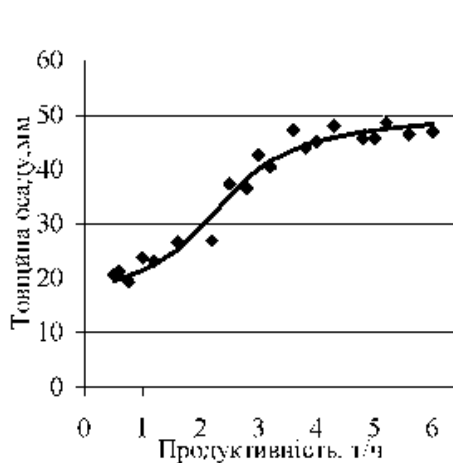
Будова і розміщення механізмів



**Рис.11 - Зміна геометричних параметрів зони ущільнення**  
**а-радіальні вікна вивантаження; б-радіально-осьові вікна вивантаження;**  
**в- осьові вікна вивантаження**

Досліджено, що товщина осаду, що вивантажується, залежить від продуктивності центрифуги по осаду (рис.12).

Наведена залежність отримана для ОГШ-469, що має радіальні вікна, при частоті обертання ротора 1600 об/хв, частоті обертання шнека 21 об/хв, висоті заставки 20мм, ширина зони ущільнення 50мм.



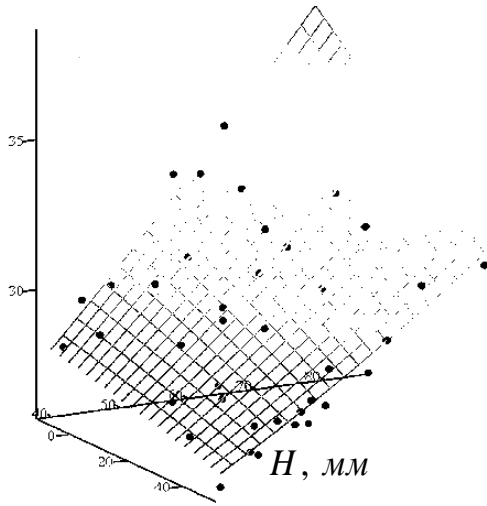
$$h_{oc} = 32,4 + 12,14 \arctg(G - 2,27) \pm 2,14 \quad W_{\infty} = 19,77 \gamma_{-} + 15,79 \pm 0,55$$

**Рис.12 – Залежність товщини осаду від продуктивності центрифуги по осаду**

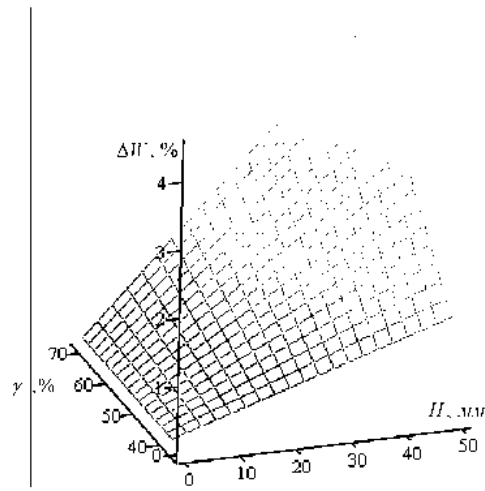
**Рис.13 - Залежність межі зневоднювання від вмісту часток менше -0,074мм.**

Отримано залежність межі зневоднювання від змісту часток дрібніше 74мкм (рис.13).

Визначено коефіцієнти математичної моделі процесу відцентрового відтискування рис14. Крім того, у дане рівняння уведені члени, які враховують вплив ширини зони ущільнення на вологість осаду.



**Рис.14 - Залежність вологості осаду від вмісту часток дрібніше 74мкм і ширини зони ущільнення**



$$\Delta W = 40H - 1700\gamma_-H$$

**Рис.15 - Залежність ефекту зниження вологості від вмісту часток дрібніше 74 мкм при наявності зони ущільнення**

$$W = \underbrace{\frac{18,9\gamma_- + 5,8}{Fr^{0,25}} + \frac{76,96\gamma_- + 46,2}{Fr^{0,25}}}_{\text{Межа зневоднювання при даному } Fr} + \underbrace{\frac{428\gamma_- + 218}{Fr^{0,5}\tau^{0,5}}}_{\text{Капілярна волога, яку можливо відвести протягом часу}} + \underbrace{40H - 1700\gamma_-H}_{\text{Ефект зони ущільнення}}$$

Рівняння описує отримані експериментальні дані в межах зміни фактора поділу  $Fr = 300 \dots 1100$ ; часу перебування  $\tau = 3 \dots 12$  сек; змісту часток дрібніше 0,074мм в осаді;  $\gamma_- = 0,35 \dots 0,75$  (35 – 75%); ширині зони ущільнення  $H = 0 \dots 0,05$  м, відносній висоті заставки  $h_3 / H = 0,5$ . Як видно, найбільший ефект зниження вологості досягається для осадів, які утримують значну кількість високодисперсних часток. (рис.15).

У шостому розділі дисертаційної роботи розроблено методику розрахунку ширини зони ущільнення й висоти заставки. Наведений алгоритм містить у собі ітераційний підбір конструктивних параметрів зони ущільнення, що забезпечують заданий тиск при ущільненні осаду, а також перевірку підібраних параметрів, виходячи із припустимих значень потужності, висоти шару осаду й міцності шнеку. Розроблений алгоритм базується на отриманих раніше залежностях стискаючого зусилля від висоти заставки та співвідношення площин валиків біля заставки та перед шнеком.

На підставі проведених досліджень було проведено удосконалення конструкцій осаджувальних шнекових центрифуг. Удосконалені конструкції впроваджені у виробництва для поділу різних суспензій (табл.1). При цьому ефект від використання запропонованої конструкції склав від 1,5 до 7 відсотків.



**Табл.1 Ефект зниження вологості осаду на різних суспензіях**

Поділювана суспензія, склад твердої фази; характеристика	Вологість осаду, %	Ефект зниження вологості	Тип машини
Червоний шлам ( $Fe_2O_3$ – 44%, $FeO$ – 5%, $SiO_2$ , $Al_2O_3$ і ін.); 80% часток дрібніше 74 мкм	30–31	2–3	ОГШ-350
Металургійний шлам ( $Fe_2O_3$ – 85%, $FeO$ – 5%, $CaCO_3$ , $SiO_2$ і ін.) 90% часток дрібніше 74 мкм	18–18,5	1–1,5	ОГШ-350
Гідроокис титана $Ti_2 \cdot (1,5-2)H_2O$ , 90% часток дрібніше 40 мкм; суспензія оброблена флокулянтном	62–65	4–6	ОГШ-460
Високодисперсний кремній, 80% часток дрібніше 10 мкм	25–28	7–9	ОГШ-460
Осади комунальних стічних вод, осад первинних відстійників	62–65	3–6	ОГШ-450 ОГШ-750
Осади комунальних стічних вод, суміш осадів первинних і вторинних відстійників. Суспензія оброблена флокулянтном.	65–70	3–5	ОГШ-450 ОГШ-750

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і отримано рішення наукової задачі, що полягає у встановленні закономірностей процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в осаджувальній центрифугі зі шнековим вивантаженням осаду і на підставі цього вдосконалення її конструкції, зроблено вибір раціонального режиму роботи та обґрунтування області застосування удосконаленої конструкції.

1. Вивчення закономірностей процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в у зоні вивантаження осаду шнекової центрифуги показало, що ущільнення осаду за рахунок додаткового стискаючого впливу буде найбільше ефективно впливати на вологість осаду, якщо воно зосереджено в області вікон вивантаження осаду.

2. С позицій механіки сипучого тіла визначені зусилля необхідні для ущільнення і вивантаження осаду. Показано, що при наявності зони ущільнення, тиск із боку шнека може бути збільшений в 3-4 рази і при факторі поділу рівному 1000 становить біля 15-20 атм.

3. Розроблено математичну модель формування і вивантаження осаду в осаджувальній шнековій центрифугі вдосконаленої конструкції. Показано існування зон ущільнення і вивантаження осаду. Отримано залежності для визначення меж цих зон, а також для визначення кількості і часу перебування осаду в області перед заставками.

4. Експериментально досліджений вплив конструктивних параметрів центрифуги і гранулометричного складу осаду на результати зневоднювання. Показано, що ущільнення осаду найбільше ефективно знижує вологість високодисперсних відходів хімічної промисловості.

5. Запропоновано вдосконалену конструкцію осаджувальної шнекової центрифуги, що передбачає установку заставок перед вікнами вивантаження осаду, при цьому в зоні між заставками і крайнім витком шнека створюються умови для додаткового ущільнення осаду.

6. На підставі проведених досліджень розроблена методика визначення конструктивних параметрів зони ущільнення в осаджувальних шнекових центрифугах

7. Галузі раціонального застосування нової конструкції:

-осади, що містять понад 50 відсотків часток дрібніше 74 мкм;

-осади, одержувані при поділі суспензій, оброблених флокулянтами;

-осади, що складаються з м'яких часток біологічного походження.

8. Проведено оцінку економічної ефективності застосування центрифуг удосконаленої конструкції, наприклад, для виробництва гідроокису титана, при продуктивності по осаду 3 т/год, економічний ефект становить не менше 700 тис.грн у рік, за рахунок економії палива в сушильному відділенні.

9. Розроблена конструкція осаджувальної шнекової центрифуги впроваджена в виробництво науково-технічного центру «Екомаш» (м. Харків)

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Трошин О.Г., Моїсєєв В.Ф., Пономарьова Н.Г.. До уточнення розрахунку критичної товщини шару осаду в центрифугах безперервної дії із примусовим вивантаженням. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2005, --№47.-С.33-38.

Здобувач провів аналіз існуючих закономірностей для розрахунку та розробив власну залежність .

2. Трошин О. Г., Пономарьова Н. Г., Мацак О. Ф. Переробка сховищ стічних вод із застосуванням відстійних центрифуг зі шнековим вивантаженням облогу //Вісник Сумського державного університету. - Суми: Сумду, 2006.- №5(89).

Здобувач провів аналіз обладнання, яке використовується в галузі.

3. Пономарьова Н.Г., Трошин О.Г., Моїсєєв В.Ф., Мацак О.О. Оцінка змісту плівкової вологи в осаді при відцентровому віджимі// Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків: Технологічний центр. – 2005 - № 6/2. -С.193-196.

Здобувач проаналізував зміст плівкової вологи в осаді при відцентровому віджимі та його вплив на вологість одержаного осаду.

4. Пономарьова Н.Г., Трошин О.Г., Моїсєєв В.Ф., Мацак О.О. Напрямки вдосконалення процесу зневоднювання полідисперсних матеріалів в осаджувальних центрифугах зі шнековим вивантаженням осаду.// Вісник

Національного технічного університету “ХПІ”. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2005, - №26.-С.150-156.

Здобувач проаналізував існуючі конструкції апаратів, які використовуються для зневоднювання за допомогою літературних джерел та патентними базами даних. Було визначено основні напрямки вдосконалення процесу зневоднювання.

**5.** Мацак О.Ф., Трошин О.Г., Мишанина А.В., Шкоп А.О., Пономарьова Н.Г.. Обогащение угольного шлама на осадительных центрифугах.// Горная промышленность.-М., 2007.- №2(71).

Здобувач запропонував використовувати удосконалену конструкцію осаджувальної центрифуги та провів попередній аналіз її роботи.

**6.** Трошин О. Г., Моїсеєв В. Ф., Пономарьова Н. Г., Василь’єв М. І. Вибір способів механічного поділу суспензії гідроокису титана // Вісник Національного технічного університету«ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008.- №13.

Здобувач дав рекомендації, щодо вибору обладнання для механічного поділу суспензії гідроокису титана

**7.** А.С. №15922 від 01.03.2006р, Способ снижения влажности осадка, выгружаемого из осадительных горизонтальных центрифуг со шнековой выгрузкой осадка / Трошин О.Г., Пономарьова Н.Г., З.№15918 від 17.01.2006р.

**8.** З.№ 2008 12588 від 27.10.2008, Центрифуга з безперервним вивантаженням осаду / Мацак О. Ф.,Трошин О. Г, Шкоп А.А., Трошин Г.П, Пономарьова Н.Г., рішення про видачу патенту України 1286/1 від 16.01.2009р.

**9.** Мацак О.Ф., Горохов В.А., Трошин О.Г., Пономарьова Н.Г.. Застосування осаджуючих центрифуг для переробки вугільних шламів зі шламонакопичувачів. //Тези ІІ Міжнародної конференції “Співробітництво для рішення проблеми відходів”, м. Харків. - Х.: ИД “ИНЖЭК”, 2005. -С.138-142.

Здобувач проаналізував застосування центрифуг у галузі та їх переваги та недоліки.

**10.** Мацак О.Ф. Трошин О.Г., Пономарьова Н.Г.. Вплив режимних і конструктивних параметрів осаджуючих центрифуг на вологість флотоконцентратів вугілля. // Тези 9-й міжнародної науково - практичної конференції “Ресурси й енергозберігаючі технології при переробці мінеральної сировини”, м. Маріуполь, 2006р. - С.150-156.

Здобувач проаналізував вплив різноманітних параметрів на вологість осаду, що одержано та провів порівняння із існуючими залежностями.

**11.** Трошин О.Г., Моїсеєв В.Ф., Мацак О.О., Пономарьова Н.Г. Переробка шламонакопичувачів вуглезбагачення із застосуванням відстійних центрифуг зі шнековим вивантаженням осаду. // Матеріали Четвертої Міжнародної наукової конференції “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки”, м. Чернівці. 2005 р. - С.320-324.

Здобувач проаналізував переваги та недоліки застосування удосконаленої конструкції при переробці шламонакопичувачів вуглезбагачення.

**12.** Пономарьова Н.Г., Трошин О.Г., Моисеев В.Ф., Мацак О.О. Технологія переробки шламонакопичувача Ясинівського коксохімзаводу із застосуванням відстійної центрифуги зі шнековим вивантаженням осаду. // Тези конференції «Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки».- Чернівці, 2006. – С.302-307.

Здобувач проаналізував технологічну схему процесу переробки та дав рекомендації щодо її удосконалення.

## АНОТАЦІЇ

**Пономарьова Н.Г. Гідромеханічні закономірності процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості у осаджувальній шнековій центрифугі. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2009р.

Робота присвячена дослідженню процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості у осаджувальній шнековій центрифугі. Вивчено закономірності процесу зневоднювання в осаджувальній шнековій центрифугі, що має зону ущільнення осаду, механізм переміщення й ущільнення осаду при наявності зони ущільнення в осаджувальній шнековій центрифугі. Показано існування зон ущільнення та вивантаження осаду, положення яких визначається положенням осі обертання ротору. Отримані залежності для визначення часу перебування осаду у зоні ущільнення осаджуючої шнекової центрифуги, зусилля і потужності на виштовхування осаду. Запропоновано модель процесу зневоднювання високодисперсних відходів хімічної промисловості в осаджувальній шнековій центрифугі, що має зону ущільнення, та враховує структуру вологи в осаді та його гранулометричний склад. Розроблено методику розрахунку конструктивних параметрів зони ущільнення осаджуючої шнекової центрифуги.

Ключові слова: процес зневоднювання суспензій, центрифуга, ущільнення осаду, високодисперсні відходи хімічної промисловості, зона ущільнення осаду.

**Пономарева Н. Г. Гидромеханические закономерности процесса обезвоживания высокодисперсных отходов химической промышленности в осадительной шнековой центрифуге. - Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 - процессы и оборудования химической технологии. - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, 2009г.

Работа посвящена исследованию процесса обезвоживания высокодисперсных отходов химической промышленности в осадительной шнековой центрифуге. На основании свойства аддитивности влагосодержания для высокодисперсных материалов получено уравнение для влажности осадка после центробежного отжима, учитывающее гранулометрический состав осадка и влияние зоны уплотнения осадительной шнековой центрифуги. Изучены закономерности процесса обезвоживания в осадительной шнековой центрифуге, которая имеет зону

уплотнения осадка, механизм перемещения и уплотнение осадка при наличии зоны уплотнения в осадительной шнековой центрифуге. Показано существование зон уплотнения и выгрузки осадка, положения которых определяется положением оси вращения ротора. С позиций механики сыпучего тела определены усилия, необходимые для уплотнения и выгрузки осадка. Получены зависимости для определения времени пребывания осадка в зоне уплотнения осадительной шнековой центрифуги, усилия и мощности на выгрузку осадка. Показано, что при наличии зоны уплотнения, давление, со стороны шнека может достигать 1,5-2 МПа, что в 3-4 раза выше, чем в традиционной конструкции. Предложена и подана заявка на получение патента Украины конструкция осадительной шнековой центрифуги, у которой предусмотрена установка заслонок около окна выгрузки осадка, причем кромка витка шнека находится на некотором расстоянии от окна выгрузки. Областью рационального применения осадительной шнековой центрифуги с зоной уплотнения является обезвоживание высокодисперсных осадков, содержащих более 50 % частиц мельче 0,074 мм, а также для обработанных флокулянтами осадков. Разработана методика расчета конструктивных параметров зоны уплотнения осадительной шнековой центрифуги.

Ключевые слова: процесс обезвоживания суспензий, центрифуга, уплотнение осадка, высокодисперсные отходы химической промышленности, зона уплотнения осадка.

**N.G.Ponomareva. Hydromechanical regularity of process of dehydration of superfine waste of the chemical industry in a sedimentation scroll conveyor centrifuge. - Manuscript.**

Dissertation on competition of a scientific degree of candidate of engineering science on a speciality 05.17.08 - processes and equipment of chemical technology. - National technical university « Kharkov polytechnical institute », Kharkov, 2009г.

The thesis is devoted to research of dehydration process of superfine waste of the chemical industry in sedimentation scroll conveyor centrifuge. It is investigated regularity of dehydration process in a sedimentation scroll conveyor centrifuge which has a zone of compression sludge, the mechanism of moving and consolidation sludge at presence of a zone of compression sludge in a sedimentation scroll conveyor centrifuge. Existence of zones of compression sludge and discharge of a sludge which positions it is defined by position of fulcrum pin of a rotor is shown. Dependences for definition of residence time of sludge in a zone of compression sludge in a sedimentation scroll conveyor centrifuge, effort and capacity on a discharge of sludge are received. The model of process dehydration of superfine waste of the chemical industry in sedimentation scroll conveyor centrifuge which has a zone of compression sludge is offered. This model takes into consideration the structure of moisture in sludge and its distribution of sizes. The design procedure of constructional factor zone of compression sludge in a sedimentation scroll conveyor centrifuge is developed.

Keywords: superfine waste of the chemical industry, process of dehydration of suspensions, a centrifuge, compression sludge, a zone of compression sludge.

Підписано до друку 16.03.08 р Формат 60×90/16.  
Папір офсетний. Друк ризографія.  
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 068-69  
Надруковано СПД ФО Бровін О.В. Св.-во 2708608999.  
М. Харків, майдан Свободи, 7. Т. (057) 758-01-08, (8066) 822-71-30

---