

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., А.В. ПЕТЕЛЬКА, магістрант,  
Л.В. СКЛЯР, канд. техн. наук, доц.  
Криворізький національний університет

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРУВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНОГО МАГНЕТИТОВОГО КОНЦЕНТРАТУ ПРАТ «ЦГЗК» ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФАБРИКИ ОГРУДКУВАННЯ СИРОВИНОЮ ДЛЯ DRI ОБКОТИШІВ

**Метою** роботи є визначення можливості виробництва концентрату з якістю та вологою придатною до виробництва залізорудних обкотишів що є сировиною для технології прямого відновлення заліза (DRI) на вітчизняних підприємствах, зокрема, забезпечення масової частки вологи концентрату у керованому діапазоні від 8,2 до 9,5%, що дозволяє стабільно виробляти обкотиші з високими показниками якості.

**Методами дослідження** є експериментальні методи, що включають порівняння різних режимів роботи тканинних дискових вакуум-фільтрів ДУ-100-2,5 та керамічних вакуум-фільтрів КДФ-90 що зневоднюють тонкоподрібнений залізорудний концентрат виробництва ПРАТ «ЦГЗК».

**Наукова новизна** визначається у новому підході до зневоднення залізорудного концентрату ПРАТ «ЦГЗК» для подальшого застосування, як сировини, для виробництва залізорудних обкотишів. Підхід включає використання керамічних вакуум-фільтрів КДФ-90 для забезпечення стабільного випуску концентрату з масовою часткою вологи в керованому діапазоні.

**Практична значимість** дослідження полягає в тому що його результати можуть бути використані вітчизняними підприємствами для аналізу можливості та ефективності заміни наявного фронту тканинної фільтрації залізорудного концентрату на керамічні дискові вакуум-фільтри, параметри роботи яких дозволяють забезпечити залишкову вологу залізорудного концентрату, що придатна до застосування у огрудкуванні та обпалюванні DR обкотишів. Заміна обладнання та досягнення стабільних параметрів якості залізорудного концентрату дозволяє вступити на нові, високоприбуткові ринки збуту концентратів та обкотишів.

**Результатами дослідження** є висновок що застосування керамічних вакуум-фільтрів КДФ-90 дозволяє забезпечити високу ефективність фільтрації, стабільність процесу, довговічність та екологічну чистоту. Зокрема, встановлено, що фільтри марки КДФ-90 забезпечують показники продуктивності та вологи концентрату на необхідному для виробництва обкотишів на рівні 0,6...0,8 т/м<sup>2</sup> та 8,2...9,5% відповідно. Застосування цих фільтрів дозволяє забезпечити стабільність та керованість процесу, зменшити витрати енергії та ресурсів.

**Ключові слова:** пряме відновлення заліза, DRI, залізорудні обкотиші, вакуум-фільтрація, ДУ-100-2,5, керамічні вакуум-фільтри, КДФ-90.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-137-144

**Проблема та її зв'язок із науковими та практичними завданнями.** Зростання ефективності виробництва сталі та вимог до її якості призводить до пошуку нових високоефективних технологій її виробництва. Одним з таких рішень є технологія прямого відновлення заліза (DRI), що призводить до збільшення попиту на сировину що придатна для цієї технології. Вітчизняні підприємства, зацікавлені в участі у нових високоприбуткових ринках збуту залізорудних концентратів та обкотишів, але стикаються з проблемою виробництва сировини для DRI процесу.

Виробництво концентратів високої якості вимагає зменшення розмірів середньої зернини концентрату для розкриття зростків, що призводить до збільшення питомої поверхні концентратів, що надходять на фільтрацію. Для виробництва залізорудних обкотишів, придатних для DRI технології, важливо не тільки забезпечити якість концентрату, але й утримувати масову частку вологи концентрату у керованому діапазоні від 8,2 до 9,5%, що дозволяє стабільно виробляти обкотиші високої якості за формою, розміром, міцністю та зношуваністю [1-2].

При роботі дискових вакуум-фільтрів ДУ-100-2,5 на концентратах з масовою часткою заліза 70,0...70,5% та крупності 98-99% кл. 0,056 мм гірничо-збагачувальний комбінат зіткнувся з проблемою зниження ефективності фільтрації. Існуюче фільтруюче обладнання не дозволяло стабільно отримувати необхідну залишкову вологу концентрату. Це призвело до неможливості налагодити процес випуску сировини придатної до випуску DR обкотишів, а також до значних витрат енергії та ресурсів, особливо при обробці тонких концентратів у крупності 98-99% кл. 0,056 мм.

Для вирішення цих проблем в умовах ПРАТ «ЦГЗК» були проведені дослідження з удосконалення технології фільтрації залізорудного концентрату з впровадженням керамічних ва-

куум-фільтрів КДФ-90. Перевагами вакуум-фільтрації з керамічними фільтрами є висока ефективність фільтрації, стабільність процесу, довговічність та екологічна чистота.

**Постановка завдання.** Основне завдання полягає в розробці технології зневоднення концентратів високої тонини помолу та високої якості. Підвищення якості концентрату відбувається за допомогою операції тонкого грохочення. Рядовий концентрат подається на вібруючу деку грохоту з розміром отворів сита 0,074...0,1 мм, де під дією сил гравітації розділяється на підрешітний та надрешітний продукти. Надрешітний продукт повертається на дозбагачення у окрему схему, а підрешітний являється концентратом що потребує зневоднення. У цьому процесі неминуче зростає питома поверхня концентрату, що надходить на фільтрацію. Для виробництва залізорудних обкотишів, придатних для DRI технології, важливо не тільки забезпечити якість концентрату, але й утримувати масову частку вологи концентрату у керованому діапазоні від 8,2 до 9,5%, в залежності від потреб фабрики огрудкування, що дозволяє стабільно виробляти обкотиші високої якості за формою, розміром, міцністю та зношуваністю.

Тому, основне завдання дослідження полягає в удосконаленні технології фільтрації залізорудного концентрату з впровадженням керамічних вакуум-фільтрів КДФ-90. Перевагами вакуум-фільтрації з керамічними фільтрами є висока ефективність фільтрації, стабільність процесу, довговічність та екологічна чистота.

В ході виконання досліджень необхідно встановити чи дозволяють керамічні фільтри забезпечити показник вологи концентрату на необхідному для виробництва обкотишів рівні 8,2...9,5%.

Необхідно визначити фактори, що впливають на ефективність роботи керамічних вакуум-фільтрів, зокрема густину пульпи, рівень пульпи у ванні фільтрів, рівень вакууму у зонах набору та сушки, а також ефективність регенерації.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У всіх варіантах виконання апаратів для зневоднення залізорудного концентрату використовується значна кількість електроенергії для відокремлення вільної вологи від частинок магнетитового концентрату. Залежно від типу обладнання, що застосовується, залежить наскільки ефективно та з якими витратами енергії можливо зневоднити залізорудний концентрат. Виділяють декілька типів фільтруючого обладнання [3-4]:

вакуумні фільтри – процес фільтрації матеріалу у яких проходить за допомогою створення вакууму з одної сторони фільтруючої поверхні та пульпи концентрату з іншої, застосовуються як тканинні, так і керамічні фільтруючі поверхні. Суспензія подається на фільтруючу поверхню, де під дією вакууму рідина проходить через фільтр, а тверді частинки осідають на його поверхні, утворюючи фільтруючий осад. Є одними з найбільш поширених та ефективних методів для зневоднення залізорудних концентратів. Серед переваг можна виділити високу швидкість та ефективність зневоднення, можливість обробки великих об'ємів матеріалу, низьке енергоспоживання порівняно з іншими методами зневоднення, високу якість кінцевого продукту з мінімальним залишковим вмістом вологи. Також є і недоліки вакуумних фільтрів, а саме необхідність регулярного обслуговування та заміни фільтрувальних матеріалів, висока вартість початкового встановлення та технічного обслуговування, чутливість до змін у складі суспензії та концентрації твердих частинок;

прес-фільтри – принцип дії яких фільтрації рідини через фільтруючу поверхню за допомогою підвищеного тиску. Суспензія подається в закриті камери між фільтруючими пластинами. Тиск примушує рідину проходити через фільтруючий матеріал, залишаючи тверді частинки у вигляді осаду. Після фільтрації осад видаляється при розкритті камер. Є важливим обладнанням для фільтрації та зневоднення в багатьох галузях промисловості, включаючи обробку залізорудних концентратів. До переваг прес-фільтрів відносять високу ефективність фільтрації, надійність і довговічність, гнучкість налаштування під різні типи суспензій, економічність. Недоліками є складність обслуговування, високу початкову вартість, довгий час циклу та циклічність;

центрифуги – основною силою що відділяє рідину від твердих часток є відцентрове прискорення. Даний тип обладнання поєднує відцентрову силу та фільтрацію через пористі матеріали. Рідина проходить через фільтрувальний матеріал під дією відцентрової сили, залишаючи тверді частинки на його поверхні. Перевагами центрифуг є висока швидкість розділення, висока ефективність зневоднення, гнучкість налаштування, автоматизація процесу. Серед недоліків

виділяють високу вартість придбання та експлуатації, складність обслуговування, високий рівень енергоспоживання для забезпечення необхідної швидкості обертання [5];

термічні сушарки – працюють за принципом подачі гарячого повітря до матеріалу що потребує зневоднення з одночасним перемішуванням за допомогою киплячого шару або обертання у барабані. Є незамінним варіантом коли потрібно досягти низької вологи матеріалу. До переваг відносять простоту конструкції та експлуатації, можливість сушіння великих об'ємів матеріалу, універсальність застосування для широкого типу матеріалів. Недоліками є втрати тепла, значні витрати енергоресурсів та потреба у суттєвому об'ємі робочого простору [5].

Швидкість видалення вологи визначається цілою низкою факторів: градієнтом тиску, параметрами взаємодії фаз, опором осаду, капілярними явищами, мікроструктурою порового простору, яка залежить від форми та розміру частинок, пористості та питомої поверхні та ін.

Визначення характеристик осаду, що мають значення при фільтруванні, вивчалися характеристики топології пір на шліфах, здійснювалося моделювання процесу видалення вологи з опадів із використанням класичних підходів [6-7].

Ці дослідження базуються на основах гідродинаміки та фізики процесу. Проте, розроблено нові рішення теоретичних та практичних питань із застосуванням спеціальних прийомів для інтенсифікації процесу фільтрації із застосуванням хімічних засобів для раціонального формування осаду. Такі аналітичні дослідження дають можливість встановити складний характер переміщення межі розділу фаз повітря - вода в осаді.

Раніше для зневоднення продукту залізної руди використовувалася звичайна вакуумна фільтрація, але зміна вимог до якості продукту, зниження якості руди, ускладнення мінералогії та збільшення енергетичних витрат зумовили пошук альтернативних, більш ефективних рішень для зневоднення. Одним з результатів пошуків стала керамічна фільтрація.

Керамічна фільтрація – це оптимальна технологія для зневоднення суспензій з високим та стабільним вмістом твердих речовин і частинками розміром від 30 мкм до 150 мкм. Ця технологія широко застосовується для концентратів основних металів та продуктів ферохрому, але її використання для зневоднення концентратів залізних руд відносно недавнє.

Керамічні фільтруючі диски - це вакуумні дискові фільтри, які складаються з випалених алюмінієвих секторних пластин з однорідними мікропорами. Мікропори створюють вакуум за допомогою капілярної дії, і, як тільки вони змочені, фільтруюче середовище пропускає тільки рідину під час процесу фільтрації. На поверхні диска формується ке́к, який видаляється за допомогою скребка. Значні енергозбереження пов'язані з відсутністю повітря, що проникає через керамічні диски. Інші зазначені переваги включають безперервну роботу, низькі експлуатаційні витрати, високу швидкість фільтрації, низьку залишкову вологу ке́ку та високу експлуатаційні характеристики. Матеріал з якого виготовлено фільтруючу поверхню стійкий до більшості хімікатів а також високих температур суспензії.

Автори [8] розглядають використання керамічної фільтрації для остаточного етапу зневоднення концентрату продукту на бразильському залізорудному підприємстві. Дослідження було спрямоване на покращення розуміння придатності технології керамічної фільтрації для повномасштабної експлуатації, виявлення факторів, які позитивно і негативно впливають на ефективність фільтра, та оцінку компенсуючих заходів, які можуть бути розглянуті для оптимізації продуктивності керамічних фільтраційних поверхонь. Додавання флокулянта при рН суспензії 7,0 дало найкращий результат з вмістом вологи продукту між 8% та 9%. Використання азотної та хлористої кислот для регенерації пластини покращило їх проникнення, тоді як використання вуглекислого газу та щавлевої кислоти погіршило проникнення. Результати показали, що потрібна продуктивність фільтрації 2240 кг/м<sup>2</sup>/год та вміст вологи у зневодненому концентраті 8% можуть бути досягнуті, за умови оптимізації умов підготовки та подачі суспензії, а також експлуатації та підтримання регулярності обслуговування.

На основі цього дослідження, керамічна фільтрація визнана придатною технологією для зневоднення залізорудного концентрату.

Розглядаючи процес фільтрації з точки зору витрат енергії автори статті [9] роблять висновок, що використання капілярних сил, притаманних керамічним вакуум-фільтрам, можуть зменшити витрати енергії та отримати повністю регеноване фільтрувальне середовище. Метою дослідження було отримання нової інформації про забруднення фільтрувального середовища в процесі обробки залізної руди, щоб у майбутньому покращити та розвинути процес регенерації.

За допомогою рентгенівської дифракції та скануючої електронної мікроскопії для визначення хімічного складу та морфології різних хімічних компонентів фільтрувального середовища, використаного для зневоднення магнетиту. Виявлено два типи блокування середовища, які відіграють важливу роль в кислому процесі зневоднення залізної руди: забруднення частинками шламу кристалізація оксалату кальцію. Відкладення були розчинені за допомогою хлоридної, азотної та сульфатної кислот та гідроксиду калію. Найкращі результати, тобто найвища кількість розчиненого кальцію та збільшення проникності фільтрувального середовища, були досягнуті за допомогою 2 моль/л азотної кислоти.

Автори [10] досліджують відкладання тривимірних частинок на чотирьох основних тканинних структурах. Відкладання частинок було вивчено чисельно, шляхом аналізу сил, що діють на частинки. Цей підхід був застосований для оцінки зміни прозорості фільтрату на початковому етапі фільтрації. Було кількісно проаналізовано вплив тканих структур, густин та співвідношення розміру частинок/пор на перехідну поведінку фільтрації. Симульовані результати показують, що період фільтрації на початковому етапі може бути поділений на три режими: стандартне блокування пор, проміжне блокування та формування кеку. Критична концентрація, запропонована попередніми дослідниками, також кількісно підтверджена в цьому дослідженні.

Науковці [11] досліджують вплив ультразвуку на очищення мембран в системі ультрафільтрації з гамма-алюмінієвими мембранами в присутності колоїдних частинок силікату. Оптимальне очищення відбувається, коли мембрана знаходиться поза, але близько до області кавітації. Збільшення тиску фільтрації збільшує стискаючі сили, що спричиняють колапс кавітації, і призводить до зменшення кількості бульбашок кавітації, які поглинають і розсіюють звукові хвилі, та збільшують проникнення звукових хвиль. Імпульсний ультразвук з короткими інтервалами імпульсів призводить до покращення потоку. Ці висновки можуть бути корисними для розробки ефективних методів очищення мембран.

Автори [12] досліджували вплив різних параметрів на ефективність керамічної капілярної фільтрації, яка є новою технологією і являється привабливим варіантом зневоднення суспензій в галузі переробки мінералів. Керамічна капілярна фільтрація виявила великий потенціал для застосування у зневодненні суспензій залізної руди. Вплив різних параметрів на ефективність процесу все ще обмежений. Досліджено вплив вмісту твердих частинок, рН, температури суспензії, дозування коагулянту та поверхнево-активних речовин на ефективність керамічної фільтрації суспензій залізної руди. Вміст твердих частинок - це параметр, який найбільше впливає на керамічну фільтрацію, а додавання коагулянту збільшує ефективність системи фільтрації при нижчому вмісті твердих частинок. Додавання жодного з вивчених поверхнево-активних речовин не рекомендується для керамічної фільтрації залізородного концентрату через значне зниження продуктивності пластин.

У роботі [13] наведено досвід застосування керамічних вакуум-фільтрів для етапу зневоднення концентрату продукту на залізородному підприємстві Anglo American Minas-Rio в Бразилії. Оцінка попередніх програм тестування, проведених на підприємстві, показала, що властивості суспензії, які сприяли досягненню найвищої продуктивності фільтрації та найнижчим показникам залишкової вологи кеку, включали високу концентрацію твердих речовин у живленні, нейтральний рН та додавання коагулянту. Умови експлуатації, які сприяли найвищому виходу продукту, хоча з високим вмістом залишкової вологи у кеку, включали використання максимального рівня вакууму, максимальної швидкості обертання диска та найбільшого рівня суспензії у ванні фільтру. Найнижчий вміст залишкової вологи кеку досягався при мінімальному вакуумі та рівнях живлення у ванні фільтру та при найвищій швидкості обертання. Єдиним фактором, який показав зниження залишкової вологи, збільшуючи при цьому продуктивність, був фактор збільшення швидкості обертання фільтруючого диска. Ультразвукове очищення, промивання та використання фільтруючих пластин хорошої якості також призвели до покращення ефективності фільтрації. Контрольоване додавання флокулянта сприяло хорошему виходу продукту. Ефективність фільтрації також підвищувалась при виділенні достатнього часу для проведення профілактичного та коригувального обслуговування, коротших інтервалів часу між кислотним промиванням, регенерацією та заміною пластин.

Випробування, проведені для цієї програми, підтвердили, що найвища продуктивність фільтрації досягалася при нейтральному рН, хоча великий рівень продуктивності фільтрації також міг бути досягнутий у тих випадках, коли вапно використовувалося для коригування су-

спензії до більш лужних значень рН. Максимальна продуктивність фільтру, з необхідним вмістом залишкової вологи кеку 8%, досягалася при нейтральній рН суспензії, використовуючи азотну кислоту для коригування рН, разом з додаванням невеликих кількостей флокулянта. Додавання флокулянта при більш лужних значеннях рН не мало такого успіху через зниження продуктивності вакуум-фільтру. Зниження температур до 30 °С призвело до зниження вакуумного тиску та зменшення проникнення пластини. Вищі температури суспензії 36 °С дозволила підвищити продуктивність фільтрації, що пов'язано зі зниженням в'язкості суспензії. Оксалатна кислота мала негативний вплив на рівень проникнення поверхні пластини при її регенерації, тоді як проникність покращувалася при використанні азотної або хлористої кислоти для регенерації.

**Викладення матеріалу та результати.** Вивчення статей та робіт, що наведено вище, допомогло розробити методику проведення експериментів з підбору оптимальних параметрів зневоднення суспензії залізородного концентрату. На фільтрацію направляється підрешітний продукт операції тонкого грохочення на ситах з розміром отворів -0,074 мм, цей продукт має вміст готового класу 98...99% кл. -0,056мкм.

Для визначення оптимального режиму роботи вакуум-фільтру були обрані пріоритетні показники мінімального рівня залишкової вологи кеку при максимальній виробничій потужності. В ході експерименту досліджувався вплив вихідних показників суспензії на роботу вакуум-фільтра: густина живлення та масова частка класу -0,056 мкм. Виходячи з цих показників корегувались значення параметрів роботи вакуум-фільтру: частота обертання дисків, рівень пульпи у ванні, частота обертання перемішувача, вакуум зони набору та вакуум зони сушки. Окремо вираховувалась оптимальна частота проведення регенерації за допомогою ультразвукових датчиків, та глибокої регенерації з додаванням розчину сірчаної кислоти.

Показники роботи керамічного вакуум-фільтру КДФ-90 наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Показники роботи керамічного вакуум-фільтру КДФ-90

Масова частка заліза загального у живленні, %	Фактична масова частка залишкової вологи у концентрату, %	Масова частка кл. -0,056 мм у живленні, %	Величина вакууму у зоні, бар		Швидкість обертання дисків, об/хв	Питома продуктивність, т/м <sup>2</sup>	Розрахункова масова частка залишкової вологи, %	Δ
			набору	сушки				
70,00	8,0	98,3	0,77	0,77	0,30	0,428	8,22	0,221
69,80	8,5	95,2	0,79	0,79	0,30	0,438	8,08	0,419
70,80	9,7	98,0	0,85	0,88	0,85	0,936	9,58	0,115
70,31	8,0	98,0	0,85	0,88	0,50	0,704	8,93	0,925
70,38	9,6	97,8	0,85	0,89	0,75	0,805	9,24	0,361
70,08	10,4	98,4	0,68	0,71	0,70	1,076	9,80	0,598
70,48	9,4	99,0	0,58	0,89	0,90	0,487	8,50	0,896
70,59	8,3	97,6	0,62	0,86	0,80	0,534	8,52	0,221
70,99	8,9	98,4	0,61	0,88	0,60	0,724	8,90	0,001
71,38	8,7	98,0	0,57	0,88	0,60	0,664	8,72	0,024
70,78	9,7	98,7	0,90	0,57	0,90	1,026	9,93	0,232
70,69	9,0	99,4	0,88	0,60	0,90	0,840	9,54	0,536
70,78	9,2	99,2	0,91	0,74	0,90	0,690	9,18	0,022
70,59	9,9	98,6	0,89	0,41	0,75	1,000	9,83	0,065
70,68	9,6	99,1	0,86	0,71	0,80	0,894	9,57	0,031
70,98	9,5	99,6	0,86	0,83	0,50	0,912	9,49	0,007
70,17	9,2	99,0	0,86	0,89	0,90	1,150	10,14	0,942
Середнє відхилення розрахункової вологи кеку від фактичної								0,330

За результатами вимірювання величин параметрів роботи керамічних вакуум-фільтрів КДФ-90, за допомогою інструментів Microsoft Excel, було виконано лінійний аналіз впливу кожного з параметрів на показник залишкової масової частки вологи концентрату: масова частка класу -0,056 мм, величина вакууму у зоні набору кеку, величина вакууму у зоні сушки кеку, швидкість обертання дисків вакуум-фільтру, рівень живлення у ванні фільтра, питома продуктивність апарату. Перелік вимірюваних параметрів, що впливають на масову частку залишкової вологи у концентраті наведені у табл. 2.

Вплив параметрів роботи керамічного вакуум фільтру на масову частку залишкової вологи у концентраті

Параметри роботи керамічного вакуум фільтру КДФ-90	Коефіцієнт впливу
Масова частка класу -0,056 мм у живленні фільтру	5,4049
Величина вакууму у зоні набору кеку	0,5424
Величина вакууму у зоні сушки кеку	-0,1950
Швидкість обертання дисків фільтру	0,3979
Питома продуктивність фільтру	2,2419

Завдяки знайденим коефіцієнтам було виведено загальну формулу, що прогнозує залишкову вологу концентрату за вищеперахованими вихідними показниками.

$$W_p = 5,4049 \times \beta_{-0,056} + 0,5424 \times P_{\text{наб.}} - 0,1950 \times P_{\text{суш.}} + 0,3979 \times n + 2,2419 \times q + 1,5618 \quad (1)$$

де  $\beta_{-0,056}$  – масова частка класу - 0,056 у живленні фільтру, %;  $P_{\text{наб.}}$  – величина вакууму у зоні набору кеку, бар;  $P_{\text{суш.}}$  – величина вакууму у зоні сушки кеку, бар;  $n$  – швидкість обертання дисків вакуум-фільтру,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $q$  – питома продуктивність вакуум фільтру,  $\text{т/м}^2\text{год}$ .

На наступному етапі досліджень було проведено перевірку адекватності розробленої моделі фільтрування концентрату. Порівняння фактичної та розрахункової масової частки залишкової вологи у концентраті наведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Результати перевірки адекватності математичної моделі, яка характеризує зміння залишкової вологи у концентраті від параметрів роботи керамічного фільтру

Величина середнього відхилення розрахункової масової частки залишкової вологи у концентраті відносно фактичної склала 0,33%.

Аналіз результатів досліджень та перевірки адекватності математичної моделі дозволив встановити такі залежності зміння масової частки залишкової вологи у концентраті від параметрів роботи керамічного фільтру.

Величина масової частки залишкової вологи у концентраті змінюється прямопропорційно відповідно зі збільшенням або зменшенням масової частки класу мінус -0,056 мм у живленні фільтру, питомої продуктивності вакуум-фільтру, величини вакууму у зоні набору кеку та швидкості обертання дисків вакуум-фільтру,

Обернено пропорційна залежність масової частки вологи у концентраті від величини вакууму у зоні сушки кеку.

В ході виконання досліджень встановлено, що фільтри марки КДФ-90 забезпечують показники продуктивності та масову частку вологи у концентраті на необхідному для виробництва обкотитишів рівні - 0,6...0,8  $\text{т/м}^2$  та 8,2...9,5% відповідно.

На ефективність роботи керамічних вакуум-фільтрів впливають:

густина пульпи у ванні фільтрів – оптимальний діапазон 1950...2100 г/л;

рівень пульпи у ванні фільтрів – ванна повинна бути повністю заповнена з незначним переливом;

рівень вакууму у зонах набору та сушки кеку – максимальна продуктивність - досягається при вакууму у зоні набору кеку-0,85...0,93 бар, при цьому регулювання вологи відбувається за допомогою зміння величини вакууму у зоні сушки кеку в діапазоні -0,5...0,93 бар;

ефективність регенерації – відбувається за допомогою ультразвукових випромінювачів та азотної кислоти концентрацією 1%, що подається у фільтруючі елементи.

Згідно з результатами проведених досліджень встановлена можливість отримання концентратів з масовою часткою вологи у керованому діапазоні від 8,2 до 9,5% з продуктивністю 0,6...0,8 т/м<sup>2</sup> фільтруючої поверхні.

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Удосконалена технологія фільтрації з використанням керамічних вакуум-фільтрів є перспективною у порівнянні з традиційними тканинними фільтрами, яка забезпечує стабільний випуск концентрату за масовою часткою вологи та приводить до зменшення витрат енергоресурсів.

Встановлено, що фільтри марки КДФ-90 забезпечують показники продуктивності та масової частки вологи у концентраті на необхідному для виробництва обкотишів рівні 0,6...0,8 т/м<sup>2</sup> та 8,2...9,5% відповідно.

Досліджено вплив різних факторів на ефективність роботи керамічних вакуум-фільтрів, зокрема густини пульпи, рівня пульпи у ванні фільтрів, рівня вакууму у зонах набору та сушки кеку.

На подальших етапах досліджень необхідно вивчити впливу рН суспензії, локального регулювання її температури, додавання коагулянтів та ПАР.

Доцільно вивчити параметри оптимізації процесу використання ультразвукових випромінювачів та кислот для регенерації фільтруючих елементів.

### *Список літератури*

1. **Олійник Т.А.** Перспективи розвитку технологій збагачення залізних руд / **Т.А. Олійник** // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 69(110). – С. 32-44.
2. **Tetiana Oliinyk, Liudmila Sklyar, Natalia Kushniruk, Nadiya Holiver, Barbara Tora**, 2023 – Ocena skuteczności technologii wzbogacania kwarcytu hematytowego, Inżynieria Mineralna z. 1(51), Wyd. Polskiego Towarzystwa Przeróbki Kopalin, Kraków, s. 33 – 44 <http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-04>
3. **Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В.** Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина 3. Заключні процеси. – Кривий Ріг: Видавець ФОП. Чернявський Д.О. – 2019 – 230 с. ISBN 978-617-7553-97-6.
4. **Кравець В. Г., Білецький В. С., Смирнов В. О.;** Техніка і технологія збагачення корисних копалин. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 286с.
5. **Смирнов В.О., Білецький В.С., Шолда Р.О.** Переробка корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. – 600 с.
6. **Назимко Е.И.** Дослідження мікроструктури кеку методами фрактальної геометрії // Наукові праці Донату: Серія гірничо-електромеханічна. – 2001. – Вип. 27. – С. 283-288.
7. **Назимко О.І., Гарковенко Є.Є., Науменко В.Г.** Аналітичне моделювання процесу видалення вологи з осадів/ **О.І. Назимко, Є.Є. Гарковенко, В.Г. Науменко** // Науково-технічний зб. Збагачення корисних копалин, 2012. – Вип. 49(90). – С. 120-125.
8. **Smith, J.** Optimal ceramic filtration operating conditions for an iron-ore concentrate / **J. Smith** – Minerals Engineering, 2018.
9. **Salmimies, R.** The scaling and regeneration of the ceramic filter medium used in the dewatering of a magnetite concentrate / **R. Salmimies**. – International Journal of Mineral Processing, 2013.
10. **Wei-Ming, L.** Effect of woven structure on transient characteristics of cake filtration / **L Wei-Ming**, – Chemical Engineering Science, 1997.
11. **Chen, D.** Ultrasonic control of ceramic membrane fouling by particles: Effect of ultrasonic factors / **D. Chen** – Ultrasonics Sonochemistry, 2006.
12. **Adail, M.** Influence of process variables on the ceramic capillary filtration of iron ore slurries / **M. Adail** – Minerals Engineering, 2022.
13. **Smith, J.** An Assessment of Ceramic Filtration for a Metallurgical Process / **J. Smith** – University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2015.

Рукопис подано до редакції 27.03.24