

11. Алгоритми адаптації в системах управління енергоблоками / Ротач В.Я., Кузицин В.Ф., Бутирев В.П., Солодовников В.Н. *Теплоэнергетика*. 1981. №10. С. 11–15.
12. Хобін В.А., Марчук О.А. Самоналагоджувальна система [Текст]: патент на корисну модель UA 36671, МПК2006 G05B13/02. / (Україна); заявник Одеська національна академія харчових технологій. № u200801328; заявл. 04.02.2008; опубл. 10.11.2008. Бюл. 21. 5 с.
13. Astrom K.D., R.D. Bell Drum - boiler Dynamics. *Automatica*, 36(2000), pp. 363-378.
14. Хобін В.А., Левінський М.В. Вдосконалення алгоритмів самоналагоджувальної системи керування для забезпечення ефективності її пускових режимів [Текст] // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 3. С. 120–129. ISSN 1607-3274.
14. O'Dwyer A. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules, 2nd edition, Imperial College Press, 2006 – 564 p.
15. Адаптивне та робастне управління з компенсацією невизначеностей / під ред. Бобцов О.О., Пиркін А.О.: Вид.: НГУ ITMO 2013. 132с.
16. Rejection of sinusoidal disturbance of unknown frequency for linear system with input delay / Pyrkın A., Smyshlyaev A., Bekiaris-Liberis N., Krstic M. American Control Conference. Baltimore, USA, 2010.
17. Хобін В.А., Левінський М.В. Автоматична самоналагоджувальна система керування об'єктом технологічного типу. Одеська національна академія харчових технологій.
18. Ardell G. G., Gumovski B. Model Prediction for Reactor Control. *Chemical Engineering Progress*. 1983. V.79. №6. P.77–83.
19. Ed. by Tariq Samada. John Weyrauch Automation, control and complexity: An integrated approach. Chichester [etc.]: Wiley, Cop. 2000. 328 с., ил.
20. Ed. William, S. Levine Control system fundamentals. Boca Raton [etc.]: CRC press, Cop. 2000. 466 с., ил.
21. Соколов С.В. Оптимальні та адаптивні системи : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2018. 221 с. ISBN 978-966-657-725-5

Рукопис подано до редакції 23.04.2023

УДК 622. 7

В. ГАРБЕР, Dr.-Ing Büro Feuerung- und Trocknungstechnologien, Німеччина

В.І. ГОЛОВАНЬ, незалежний консультант АГНУ, Україна

Л.В. СКЛЯР, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет, Україна

ЗНЕВОДНЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ ТА СУЧАСНІ СУШИЛЬНІ ПРОЦЕСИ

Мета. Мета даних досліджень - аналіз використання процесів фільтрації суспензій залізрудних концентратів та сучасних методів термічного сушіння та встановлення основних тенденцій у розвитку обладнання для зневоднення залізрудних концентратів.

Методи дослідження. Обробка статичних даних технічних та економічних характеристик роботи фільтрувального обладнання механічного та термічного видалення води.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів дослідження полягає у визначенні вартості процесів зневоднення залізрудних концентратів залежно від типу фільтрувального обладнання, кінцевої вологості після фільтрації, визначення економічно обгрунтованої межі переходу від механічного зневоднення до термічного сушіння за умов підвищення тонини помелу залізної руди при збагаченні

Практичне значення. Аналіз технологічних та економічних показників процесів механічного та термічного сушіння показав, що при зменшенні тонини помелу збільшується кінцева вологість осаду на фільтрах і частина процесу зневоднення повинна передаватися термічному сушінню.

Результати. Розглянуто тенденції у розвитку обладнання для фільтрування залізрудного концентрату. Показано можливість та недоліки використання дискових вакуум-фільтрів з керамічними секторами, що фільтрують. Проведено техніко-економічне порівняння зарубіжних фільтрів та встановлено, що вологість осаду та високі питомі енергетичні витрати зумовили тенденцію впровадження нових конструкцій фільтрів імпорного виробництва, незважаючи на незначне зниження кінцевої вологості залізрудних концентратів з 9,5 до 7,5%. Такі концентрати не можна використовувати у наступних металургійних процесах. Розраховані питомі вартості механічного зневоднення (0,224 US\$/тонн. вологого. концентрату) та термічного сушіння (0,256 US\$/тонн. вологого. концентрату) близькі, що дозволяє розраховувати зневоднення залізрудних концентратів як єдиний процес з економічно обгрунтованою межею переходу, фільтрації вологості залізрудного концентрату

Ключові слова: зневоднення, сушіння, вологість, фільтрування, фільтри, термічна сушіння

Проблема та її зв'язок із науковими та практичними завданнями. Аналіз сучасного стану залізрудної галузі промисловості у світі показує, що з другої половини ХХ століття зро-

сли обсяги видобутку та споживання залізних руд при випереджаючих темпах приросту розвіданих запасів. Так, світове виробництво товарних залізняку зросло в 3,5 рази, а розвідані запаси за той же період збільшилися в 6,2 рази [1,2].

Видобуток і переробку залізняку здійснюють більш ніж у 50 країнах. Це зумовлює високий рівень конкуренції та, як наслідок, підвищення вимог до якості магнетитового концентрату. На світовому ринку користуються попитом концентрати з масовою часткою заліза 69-70 %, діоксиду кремнію не більше 2,5-3 % та сірки не більше 0,06-0,08 % [3], оскільки висока якість магнетитових концентратів дозволяє значно скоротити витрати у металургійному переділі. Водночас якість залізородної сировини у світі постійно знижується і за останні 25 років вміст заліза у рудах, що добуваються, зменшився в 1,3 рази [1,4].

Відомо, що на збагачувальних фабриках широко застосовуються процеси, що здійснюються у водних середовищах (збагачення у важких суспензіях, флотація та ін.), під час яких у залізородний концентрат запроваджується значна кількість баласту - вода. Тому заключними операціями у процесах збагачення є механічне та термічне зневоднення продуктів збагачення, насамперед - залізородних концентратів. Останніми роками багатьох гірничо-збагачувальних комбінатах загострилася проблема забезпечення якісних показників зневоднення концентратів, зазначених вище [5,6]. Вологість відфільтрованого матеріалу не відповідає вимогам наступного переділу. Це зумовлено, зокрема, зростанням вимог металургійного переділу до якості концентрату за змістом корисного компонента, що тягне за собою збільшення тонини помелу руди. У процес збагачення залучаються концентрати з більш розвиненою питомою поверхнею (понад 220 м²/кг).

Аналіз досліджень та публікацій. Операція зневоднення концентратів у вигляді суспензій (згущених пульп) є заключною у циклі збагачення корисних копалин мокрим способом та пов'язана зі значними енергетичними та матеріальними витратами [7, 8]. Від вологості продукту, що отримується після зневоднення, залежать витрати на його подальший переділ.

Залізородний концентрат приймається до перевезення водним транспортом вологістю: у період від 15 травня до 30 вересня – не більше 8%, у решту пори року – не більше 2%.

При вологості понад 8% під дією вібрації корпусу та хитавиці може переходити в розріджений стан і переміщатися в судні. При температурі повітря нижче - 5°C концентрат промерзає в порожнині судна на глибину до 50 см (це пояснюється термостатуючою дією води навколо судна). У залізничних вагонах концентрат може промерзати на усю глибину вагона, що значно ускладнює розвантажувальні роботи. При складуванні концентрат зберігається на відкритих майданчиках, що зумовлює процеси вторинного зволоження на рівні максимальної молекулярної вологоємності 8%-10% залежно від атмосферних умов.

Операція зневоднення обводнених концентратів корисних копалин пов'язана зі значними енергетичними витратами - у циклі збагачення посідає друге місце за енергоємністю після подрібнення. Подорожчання енергетичних ресурсів вимагає зниження енерговитрат на всіх етапах збагачення, зокрема фільтрації та подальших переділах.

Підвищення ефективності роботи фільтрувального обладнання, зниження сукупних витрат на процес зневоднення та забезпечення вимог до одержуваного концентрату мають важливе значення для підвищення конкурентоспроможності та стабільності роботи ГЗК в умовах ринкової економіки.

Перший етап зневоднення - фільтрація, в якій шар осаду (кек-фільтрувальний пиріг), отриманий в результаті поділу суспензії на фільтрі, має досить жорстку структуру і не деформується в процесі зневоднення.

Основною характеристикою фільтрації є - обсяг фільтрату (рідини), або питома продуктивність в кг/м²*годину - вага осаду (вологого концентрату), який отримується за одиницю часу з одиниці поверхні фільтра. Швидкість фільтрування прямо пропорційна різниці тисків, обернено пропорційна в'язкості фільтрату і опору фільтруючого середовища, тобто. сумі місцевих опорів шару осаду та фільтруючої перегородки (фільтротканини). Товщина осаду, отже, та її опір у процесі фільтрування збільшується, зокрема і з допомогою його стискування під впливом тиску і закупорки каналів дрібними частинками. Види пов'язаної вологи різних представлені в табл. 1 [9]. В результаті вакуумної фільтрації під час сушіння осаду відбувається видалення вільної, осмотично пов'язаної вологи та вологи мікрокапілярів.

Кінцева вологість осаду залежить від крупності, мінералогічного складу (кількості глинистих частинок) концентрату та способу фільтрування. Величина і форма твердих фракцій концентрату визначає величини питомої поверхні та питомого опору.

Таблиця 1

Класифікація форм вологи в осадах

Концентрат магнетитовий	Масова доля вологи, %					Максимальна молекулярна вологостійкість
	Форми вологи за термограмами сушіння					
	осмотична мікрокапілярна, каналного стану	мікрокапілярний стикувальний стан	мікрокапілярів	молекулярної адсорбції		
поли-				моно-		
ІнГЗК	22,5-20,1	20,1-8,6	8,6-0,21	0,21-0,12	0,12-0	10,5
АМКР	15,8-14,4	14,4-7,3	7,3-0,17	0,17-0,045	0,045-0	9,3
ПівнГЗК	18,4-15,6	15,6-7,1	7,1-0,2	0,2-0,049	0,049-0	9,2
ЦГЗК	18,7-16,3	16,3-6,9	6,9-0,13	0,13-0,032	0,032-0	7,8

Кінцева крупність подрібнення визначається мінералогічними характеристиками руд, розмірами вкраплень корисного матеріалу, технологією збагачення і якістю концентратів, що випускаються.

Вимоги до якості концентратів безперервно підвищуються, що призводить до зниження їхньої крупності [7]. Чим тонший концентрат, тим вище його питома поверхня та питомий опір. Питомий опір осаду є важливою характеристикою фільтрації рудних концентратів: чим вище питомий опір, тим нижче питома продуктивність при фільтруванні і вище вологість осаду. Фізико-хімічні характеристики концентратів та результати зневоднення (наведено у табл. 2).

У результаті зростання вимог металургійного переділу до якості концентрату за змістом корисного компонента, процес зневоднення залучаються концентрати з більш розвинутою питомою поверхнею.

Загальні тенденції зі збільшенням питомої поверхні (тонини поломи) концентратів:

a - зі збільшенням питомої поверхні зростає та питомий опір концентрату механічному зневодненню;

b - чим вищий питомий опір, тим нижча питома продуктивність при фільтруванні і вище вологість осаду.

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики концентратів та результати зневоднення [21]

Концентрат магнетитовий	Масова доля твердого, %			Питома поверхня, м ² /кг	Масова доля вологи осаду, %			Питома продуктивність, кг/м ² *год	
	-45 мкм	-20 мкм	глини		вакуум-фільтр	прес-фільтр	центрифуга	вакуум-фільтр	прес-фільтр
ІнГЗК	94,33	12,71	0,2	205,8	12,5	8,8	8,5	350	140
АМКР	78,92	8,4	0,1	156,7	9,1	7,3	7,2	420	200
ПівнГЗК	85,31	13,5	0,1	142,3	11,0	7,2	7,0	500	200
ЦГЗК	61,61	7	0,1	127,4	10,0	7,0	7,0	400	240

Для отримання продукту, за якістю, що задовольняє вимогам наступного переділу, виникає необхідність інтенсифікації процесу зневоднення, використання систем зневоднення з більш високою рушійною силою процесу.

Перепад тиску у вакуумних фільтрах (рушійна сила зневоднення) обмежений 1 атм. (760 мм. рт. ст.). Фактично вакуум під фільтрувальною поверхнею ДВФ становить 400-600 мм. рт. ст. Природною була думка використовувати як вакуум, а й зовнішній тиск над фільтрувальною поверхнею. Німецькі фірми «Vokela Krupp Fördertechnik» пропонують дискові фільтри з тиском 6 атм. над поверхнею до 168 м² безперервної дії.

Серйозним, активно розвивається у вдосконаленні дискових вакуум-фільтрів є роботи пов'язані з реалізацією нового механізму фільтрації, заснованого на використанні нетканинних типів фільтруючих поверхонь [12-14]. Для забезпечення процесу фільтрації та безперервного видалення води в цьому випадку потрібна незначна витрата електричної енергії для підтримки необхідного вакууму, оскільки капіляри, що постійно заповнені водою, не пропускають ні повітря, ні тверді частинки.

У цьому напрямі активно ведуться роботи фірмами: Outokumpu (Фінляндія) [11], НВКФ «БАКОР-Фільтр Кераміка» (Казахстан) [12]. Досвід експлуатації фільтрувальних установок CER-АМЕС фірми Outokumpu та дискових вакуум-фільтрів з керамічними фільтруючими секторами при зневодненні мідних, нікелевих та цинкових концентратів визначив їх можливості [13]:

ступінь зневоднення на 2-3% вище ніж при використанні фільтротканини, що скорочує витрати на подальше сушіння і підвищує якість одержуваного осаду;

термін служби керамічних елементів, що фільтрують, - не менше 1,5 роки, тканинних - 17-20 діб;

витрата електроенергії на етапі набору осаду - у 10-15 разів менша, так як рушійна сила процесу фільтрації створюється капілярними силами в порах керамічної перегородки, і немає необхідності застосування високопродуктивних вакуум-насосів;

отримання практично чистих фільтратів, що виключає втрати цінних продуктів, що містяться в твердій фазі;

висока термостійкість керамічних елементів, що фільтрують, що дозволяє застосовувати їх для обробки суспензій з високою температурою.

Водночас цей напрямок має суттєві недоліки [15]:

необхідно здійснювати регенерацію керамічних елементів, що фільтрують. Комбінована ультразвукова та кислотна очистка повинна проводитись періодично, 1-2 рази на добу протягом 30-60 хв., залежно від ступеня заростання капілярів різними відкладеннями;

розвантаження осаду провадиться за допомогою керамічних ножів, встановлених з високою точністю. Відстань між ножем та поверхнею кераміки становить 0,5-0,8 мм. На поверхні елемента, що фільтрує, залишається тонкий шар твердих частинок (підкладка);

компоненти концентрату можуть шкідливо впливати на керамічні фільтруючі елементи з точки зору заростання капілярів відкладеннями солей;

потрібна додаткова технологічна операція в межах кожного обороту валу - зворотне промивання. Після проходження ножів у керамічні фільтруючі елементи зсередини має подаватися невелика порція води під тиском 0,07-0,12 МПа протягом 2-5 сек. для видалення осаду, що залишився, і очищення капілярів.

Слід зазначити, що фільтри іноземного виробництва, значно дорожчі за капітальними та експлуатаційними витратами. Найбільшу вартість має фільтрувальне обладнання з інтенсифікацією процесів, що здійснюються на ньому. Техніко-економічне порівняння зарубіжних фільтрів наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Техніко-економічне порівняння закордонних фільтрів

Продукт: залізорудний концентрат	Вакуумний дисковий фільтр	Vokela дисковий вакуум фільтр	Vokela фільтр під тиском до 6 бар	Автоматичний прес-фільтр-	Керамічний фільтр
Вологість після фільтрації, %	9,5	9	7,5	7,5	9
Питома продуктивність, т/(год*м ²)	1,75	2,5	7,5	2,5	1,75
Загальна поверхня фільтрів на ділянці	480	360	180	360	480
Вартість одного фільтра, US\$	250.000	400.000	1.000.000	2.250.000	800.000
Площа одного, м ²	60-160	до 176	до 168		
Діаметр дисків, м	2,5	4,1; 5,6	3,2		

У ДВФ імпортного виробництва мають місце тенденції:

збільшення площі фільтрування (до 300 м²), переважно рахунок збільшення діаметр дисків;

модернізація вже встановлених ДВФ за збереження зовнішньої інфраструктури;

зниження вторинного зволоження осаду;

перехід від осередкової структури валу до трубчастої конструкції, що дозволяє спростити конструкцію і зменшити масу частин, що обертаються.

Основні показники, за якими ДВФ поступаються іншим типам фільтрувальних апаратів, - вологість осаду та високі питомі енергетичні витрати. Ці фактори зумовили тенденцію впровадження нових конструкцій фільтрів імпортного виробництва, навіть незважаючи на більш високу вартість.

У даний час на залізорудних збагачувальних фабриках працюють дискові вакуум-фільтри (ДВФ) з поверхнею від 60 до 160 м² типу ДК, ДШ (з подачею перегрітої пари в зону сушіння) та ДТЗ (до 250 м²), виробництва заводів «Прогрес», м. Бердичів.

Дані табл. 1-4 показують, що використання механічних фільтрів, незалежно від їх досконалості та вартості, не вирішують загального завдання зневоднення залізорудних концентратів до вологості

менше 2% з метою використання в подальших металургійних процесах (агломерація, отримання окатишів, плавка тощо). Значні зусилля розробників нових конструкцій фільтрів (прес-фільтрів, фільтрів під тиском, фільтрів з керамікою тощо) призвели до значного зростання вартості фільтрувального обладнання та підвищення інтенсивності процесу фільтрації, зниження питомих витрат на фільтрацію. Основний підсумковий цільовий результат виявився вкрай незначним - у кращому разі зниження кінцевої вологості осаду залізородних концентратів із 9,5 до 7,5%. Такі концентрати не можна використовувати у наступних металургійних процесах, а також більшу частину року вони не дозволені до транспортування морськими суднами.

Таблиця 4

Технічні показники дискових вакуум фільтрів під час реконструкції

Показник по рокам	2003	2004	Після 2005
Питома продуктивність, т/(м ² *ч)	0,524	0,678	0,723
Вологість концентрату на виході, %	9,23	9,43	9,57
Питома витрата фільтротканини, м ² /(1000 т концентрату)	5,4	5,0	4,5
Питома витрата по переділу, кВт год/тону концентрату	7,28	5,86	5,33

Постановка задачі. Зниження вологості залізородних концентратів до рівня менше 2% на основі розгляду економічних та технічних показників спільного використання процесів механічного та термічного (термічного контактного сушіння) видалення вологи.

Викладення матеріалу та результати. У результатах розрахунків, показаних у табл. 5, враховано показники механічного зневоднення відповідно до табл. 3-4, а також показники установки термічного сушіння з використанням вертикальної трубної сушарки SRT-1000, з генератором гарячих газів, що працює на пиловугільному паливі (ПВТ), природному газі та мазуті.

Питомі вартості механічного зневоднення (0,224 US\$/тонна вологого концентрату) та термічного сушіння (0,256 US\$/тонна вологого концентрату) близькі. Це дозволяє розраховувати зневоднення залізородних концентратів як процес.

Особливістю механічного зневоднення є обмеження кінцевої вологості концентрату – на рівні близько 7,5 %. Зі зниженням кінцевої вологості або тонини частинок у залізородному концентраті інтенсивність зневоднення різко знижується.

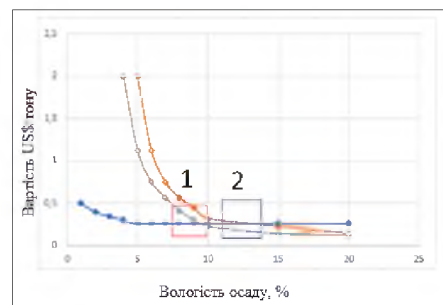
Таблиця 5

Питомі експлуатаційні витрати на процеси зневоднення

Механічне зневоднення	Апарат	ДВФ Прогрес	ДВФ імпорт	ДВФ ВОКЕЛА	ДДФ ВОКЕЛА +6 бар	Фільтр Пресс	Керамічний фільтр
Питома вартість одержання вологого концентрату	US\$/тонна вол. конц.	0,224	0,205	0,208	0,216	0,234	
Термічне зневоднення	Апарат/паливо	SRT-1000 вугілля	SRT-1000 газ	SRT-1000 мазут			
Питома вартість термічного сушіння на тону вологого концентрату.	US\$/тонна вол. конц.	0,256	0,270	0,306			

Рис. 1. Залежність вартості зневоднення від кінцевої вологості концентрату та тонини помелу

На рис. 1 на якісному рівні показано основні тенденції зміни вартості процесів зневоднення (фільтрація та термічна сушка) від кінцевої вологості залізородного концентрату. Термічна сушіння (синя крива) йде з однаковою інтенсивністю у широкому діапазоні від 30% до 1-3%. Інтенсивність фільтрації змінюється залежно як від кінцевої вологості концентрату, яку потрібно отримати, так і від тонини помелу (сіра крива - концентрат 72 мкм, коричнева крива – концентрат 32 мкм). Характерним є експонентне зростання вартості фільтрації при досягненні певного рівня вологості осаду. Зменшення тонини помелу концентратів призводить до зміщення зони початку зростання вартості фільтрації в область більшої вологості, наприклад, в зону 12-15%, див. зону 2. Причини цього явища описані вище.



У практиці зневоднення концентратів, за різкого зростання вартості процесу фільтрації (див. зони 1 і 2 на рис. 1), економічно доцільно переходити від фільтрації до термічної сушіння. Розрахунки показують, що при переході до підвищеної тонини помелу, спроби забезпечити колишній звичний рівень вологості, наприклад, 7,5-9,5% з використанням дорогих фільтрів підвищеної інтенсивності, не є економічно обґрунтованим. Питома вартість зневоднення (фільтрації та термічного сушіння) у зоні переходу приблизно однакові – 0,24 та 0,256 US\$/тону вологого концентрату. Перехід до термічної сушіння може виконуватися, наприклад, при вологості 7,5-9,5% концентратів помелу 72 мкм, і при вологості 10-13% концентратів помелу до 32 мкм. Отж, механічне зневоднення (фільтрація) і термічна сушка гармонійно доповнюють один одного. У випадках, коли зменшення частинок концентрату веде до підвищення вологості кеків після фільтрації, видалення залишкової вологи переймає на себе термічна сушка.

Вертикальна трубна сушарка в даний час є апаратом, що найбільш пристосований для сушіння залізородних концентратів. Вертикальні трубні сушіння працюють із високими до 900-1000°C температурами гарячих газів на вході, відсутність рухливих частин забезпечує герметизацію корпусу. Час перебування концентрату в сушильному апараті 2-3 сек. Поряд із концентратами можливе сушіння шламів з підвищеною вологістю, а також шматкових матеріалів з частинками до 25 мм.

Особливістю термічного сушіння вертикальних трубних сушарках є повна незалежність процесу від зменшення тонини частинок концентрату. Зі зменшенням розмірів частинок збільшується площа їхньої сумарної поверхні, що взаємодіє з гарячими газами, що служить інтенсифікації процесу випаровування вологи. Питома напруга сушильного об'єму по випареній волозі (кг/м³) дозволяє порівняти інтенсивність процесів з використанням сушарок різних конструкцій. Для вертикальних трубних сушарок цей показник дорівнює 300-900 кг/м³ для сушильних барабанів близько 70 кг/м³ [16].

Європейські трубні сушарки конструктивно відрізняються за ефективністю та надійністю. Ремонт сушарки не потрібний 5-10 років.

В останні десятиліття європейські трубні сушарки використовувалися для сушіння доменного шлаку, що підсушується перед помелом у технології одержання шлакоцементів. Доменний шлак містить високо абразивні частинки розміром 0,5-3 мм.

Внутрішня поверхня труби сушарки покрита кам'яним литтям товщиною 25 мм, посадженим на шар пінобетону легкий товщиною 30-50 мм. Кам'яне лиття приблизно в 10 разів стійкіше проти абразивного зношування, ніж сталь. Це дозволяє вертикальній трубній сушарці працювати без заміни протиабразивного захисту багато років. Захист вертикальної трубної сушарки від абразивного зношування наведено на рис. 2.

Рис. 2. Захист вертикальної трубної сушарки від абразивного зношування

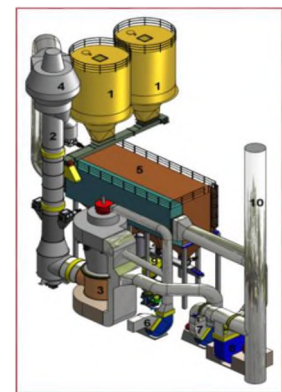
Малоінерційні генератори гарячих газів, що працюють на вугільно-му пилу, рідкому або газоподібному паливі, є сучасними повністю автоматизованими апаратами.

Діапазон регулювання 1:5. Зола, що залишається в газах, що відходять, після спалювання вугілля вловлюється системою газоочищення технологічної лінії.

Мінерали, що входять до складу золи, позитивно впливають на процеси агломерації, обкатування та плавлення концентратів металів [17].

Рис. 3. Установа труби-сушарки SRT1000: 1 - бункер сировинного матеріалу; 2 - вертикальна сушарка SRT; 3 - генератор гарячих газів; 4 - розвантажувальний сепаратор; 5 - рукавний фільтр; 6 - вентилятор повітря на горіння; 7 - вентилятор повітря на змишування; 8 - основний димосос; 9 - подача вугільного пилу до пальника; 10 - димова труба; габарити L×B×H = 34×14×30 м

Суше очищення газів, що відходять, виконується в рукавних фільтрах. Це особливо важливо для уловлювання абразивних частинок залізородного концентрату. У тих умовах, коли сталеві вузли батарейних мультициклонів зношуються за 4-6 місяців, тканина фільтраційних рукавів витримує кілька років роботи при правильній експлуатації. Пояснюється це тим, що на поверхні фільтраційної тканини утворюється шар найдрібніших частинок концентрату, який не видаляється при імпульсному очищенні та оберігає тканину [16].



Висновки та напрямок подальших досліджень. 1. Механічне зневоднення залізрудних концентратів до вологості 7,5-9,5% і термічне сушіння концентратів до кінцевої вологості 1-2% є взаємно доповнюючими процесами, які гармонійно доповнюють один одного. 2. При зменшенні тонини помелу збільшується кінцева вологість осаду на фільтрах і частина процесу зневоднення повинна передаватися термічному сушінню. 3. Розрахункові питомі експлуатаційні витрати на механічне зневоднення та термічне сушіння становлять 0,224-0,256 US\$/тону вологого концентрату. Це дозволяє розраховувати зневоднення суспензій залізрудного концентрату з 50% вмістом твердого до товарного концентрату з вологістю 1-2% як єдиний процес. 4. Незважаючи на значущість процесів фільтрації та сушіння, ми вважаємо, що основні перспективні технології збагачення залізних руд пов'язані з процесами прямого термічного відновлення руд та концентратів до чавуну, минаючи виробництво високоякісних концентратів 68-70% вмісту заліза, або залізрудних окатишів. Це дозволить на тих самих виробничих площах підвищити капіталізацію збагачувальних фабрик України у кілька разів. Цим шляхом йдуть основні дослідження в європейській металургії [18].

Список літератури

1. Журавлева Е.С. Научное и экспериментальное обоснование электрохимических методов повышения технологических показателей переработки черновых магнетитовых концентратов. Диссертация. МИСИС, 2013.
2. Гзогян Т. Н. Теоретические и экспериментальные исследования получения высококачественных концентратов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. - №4. - С. 389–393.
3. Гзогян Т.Н., Губин С.Л. Влияние физико-химических факторов на флотационную доводку магнетитовых концентратов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2008. - № 1. - С. 118-125.
4. Гзогян Т.Н., Губин С.Л., Гзогян С.Р., Мельникова Н.Д. О формах потерь железа с отходами обогащения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2005. - № 6. - С. 100-105.
5. Садыков В.Х. Совершенствование процесса фильтрования железорудного концентрата на основе выбора рациональной структуры и параметров дисковых трубчатых вакуум-фильтров. Диссертация, Магнитогорский ТУ, 2013.
6. Козырь А.В., Кутлубаев И.М., Садыков В.Х. Опыт разработки и эксплуатации трубчатых дисковых вакуум-фильтров //Топорковские чтения. Международная научная конференция. Рудный: Рудн. индустриальный ин-т. - 2008. - Выпуск VIII. Том I. - С. 178-181.
7. Campbell Q.P. The influence of coal quality on the de watering of fine coat by vacuum filtration //14 International Coal Preparation Congress and Exhibition, Sandton, 11-15 March. - 2002, Johannesburg: S. Afr. Inst.Mining and Met., 2002. -Р. 199-202.
8. Жужиков В. А. Фильтрование. -М.: Химия, 1980. - 398 с.
9. Пухнатый А.Е. Исследование закономерностей и интенсификация процесса обезвоживания пульпы марганцевых и железорудных концентратов. - М.: ИПКОН РАН, 1993. - 17с.
10. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1980. - 440 .
11. Состояние и перспективы применения дисковых фильтров с керамическими фильтрующими элементами в технологии обезвоживания обогатительных производств /В.В.Бондарь, Р.К.Дохов, В.Т. Ефремов и др. // Материалы VI Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 19-21 марта 2007г. Т.2. - М.: Альтекс, 2007. -С. 58-61.
12. Красный Б.Л. Новые возможности фильтровальных агрегатов с керамическими фильтрующими элементами// Цветные металлы. - 2003.-№8-9.-С.68-71.
13. Красный Б.Л., Бондарь В.В., Буртовой А.Г. Опыт промышленного применения дисковых вакуум-фильтров нового поколения// Черная металлургия: Бюл. НТ и ЭИ /Ин-т “Черметинформация”2004.-№8.- С.22-25.
14. Разработка и освоение производства дисковых фильтров нового поколения с использованием керамических фильтрующих элементов для обезвоживания продуктов переработки горнорудного сырья //Материалы IV Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 19-21 марта 2003г. Т.2. - М.: Альтекс, 2003. -С. 161-163.
15. Применение современной фильтрующей керамики — эффективный способ энергосбережения /Б.Л. Красный, В.В. Бондарь, А.Г. Буртовой, П.Н. Рубцов // Металлург. - 2004. - № 5. - С.26-29.
16. <http://www.ftt-ing.de>. Брошюра. Современная сушка промпродуктов.
17. <http://www.ftt-ing.de>. Брошюра. Генераторы горячих газов.
18. <http://www.ftt-ing.de>. Главная ошибка при обогащении железной руды. Главная ошибка при получении металла

Рукопис подано до редакції 24.04.2023