

УДК 621.715

**Очинський Володимир Миколайович** <sup>(1)</sup>, старший викладач  
**Куріс Юрій Володимирович** <sup>(2)</sup>, провідний науковий співробітник, доктор технічних наук  
**Воляр Роман Миколайович** <sup>(1)</sup>, доцент, кандидат технічних наук  
**Воденнікова Ольга Сергіївна** <sup>(1)</sup>, асистент  
**Зайцев Євген Олександрович** <sup>(3)</sup>, провідний інженер з підготовки виробництва

## ТЕХНОЛОГІЇ АВТОКЛАВНОГО ВИЛУГОВУВАННЯ БОКСИТІВ

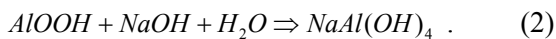
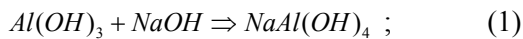
<sup>(1)</sup> Запорізька державна інженерна академія  
<sup>(2)</sup> Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ  
<sup>(3)</sup> ВАТ «Миколаївський глиноземний завод», м. Миколаїв

Проаналізовано головні чинники, що впливають на швидкість, повноту й економічну ефективність процесу автоклавного вилуговування бокситів. Розглянуто головні напрями вдосконалення апаратурно-технологічних схем зазначеного процесу.

Ключові слова: вилуговування бокситу, алюмінатний розчин, обіговий розчин, каустичний модуль, гідроксид алюмінію, автоклав

*Вступ.* Головною метою удосконалення автоклавного переділу в циклі Байєра є скорочення енерговитрат і ковтовного каустичного лугу. Цього сягають як зниженням каустичного модуля алюмінатного розчину за рахунок підвищення температури вилуговування (високотемпературне вилуговування), так і заміною їдкого натру на кальциновану соду (содовапняне вилуговування).

Під час обробки бокситу обіговим лужним розчином відбуваються реакції розкладання гідроксидів алюмінію:



*Підготовка бокситів до вилуговування.* Як відомо, боксити, що вміщують діаспор, найбільш важко подрібнюються, легше подрібнюються бемітові та гібситові боксити. Питома витрата електроенергії на помел бокситів може сягати 20 % від загальних енерговитрат на випуск 1 т товарного глинозему [1].

Для кожного виду сировини порушення оптимальних параметрів помелу спричинюють технологічні порушення на інших переділах. Так, більш крупнистий розмел бокситу призводить до неповного витягання глинозему, а значне подрібнення - до збільшення витрати лугу за рахунок взаємодії з високодисперсним кварцом і підвищення вмісту заліза у розчинах. Залежно від виду бокситу, що переробляють, тверда фаза сирі пульпи повинна містити не більше 4...7 % фракції +315 мкм і не більше 70...90 % фракції -63 мкм.

Окрім кульових млинів, мокрий помел бокситів здійснюють у стержневих млинах у замкнутому циклі з класифікаторами арочного типу, що скорочує витрату електроенергії [2]. Результати безкульового помелу угорських бокситів у суміші з каустичним розчином за швидкості обертання барабану 60 хв.<sup>-1</sup> показали, що 50...55 % бокситів дробиться до необхідного розміру як результат самоподрібнення [3].

*Вплив ступеня подрібнення бокситів.* Швидкість вилуговування бокситу визначається кінетичними особливостями гетерогенних реакцій між його рідкою та твердою фазами. У процесах протікання таких реакцій зазвичай виділяють три стадії [4]: хімічну, яку визначає швидкість хімічної реакції, внутрішня дифузія, яка визначає швидкість відведення продуктів реакції від поверхні розчиненої речовини, та зовнішня дифузія, яка визначає швидкість відведення продуктів реакції від поверхні часточок через пограничний шар.

На початку вилуговування бокситів розчинення мінералів алюмінію відбувається з поверхні [5]. Потім процес переміщується всередину частинок, відбувається витягання глинозему, в першу чергу, з великих пор, що супроводжується диспергуванням. Надалі здійснюється розчинення мінералів алюмінію переважно з дрібніших пор, яке лімітують хімічна або внутрішня дифузійна стадії. За виробничих умов автоклавного вилуговування бокситів, на думку більшості дослідників, процес розчинення лімітує дифузійна стадія [6].

Зерна гідроксидів алюмінію у бокситах, як правило, є дуже малими і тому потрібно виконувати досить тонкий помел. Необхідний ступінь подрібнення залежить від мінералогічного та хімічного складу бокситів, їх структури і може змінюватися у досить широких межах [4].

Рихлі каолінітові боксити не потребують тонкого подрібнення, оскільки мають багато пор і тріщин, через які луг проходить всередину шматочків руди. Діаспор-бемітові боксити є щільнішими та їх необхідно подрібнювати тонше. Для таких бокситів під час подрібнення важливо зруйнувати зростки між зернами різних мінералів.

Для кожного окремого випадку тонину помелу необхідно підбирати експериментальним шляхом. Для рихлих бокситів подрібнення можливо обмежувати розміром часточок до 1,0 мм, для щільних діаспорових і діаспор-бемітових бокситів за оптимальним помелом вміст фракції +53 мкм (0,053 мм) не повинен перевищувати 25...30 % [7].

*Вплив перемішування пульпи.* Перемішування пульпи сприяє прискоренню процесу вилугування, оскільки одночасно зменшується товщина пограничного дифузійного шару. Збільшення швидкості перемішування позитивно впливає на процес на початковій стадії вилугування. В цей час розчинюється головна маса мінералів алюмінію та починається диспергування частинок, що сприяє створенню нових активних поверхонь. Наприклад, змінювання швидкості перемішування бокситу за температури 230 °С після 40...60 хв. і загальної тривалості вилугування 90...120 хв. вже не впливає на витягання глинозему за часом. У процесі перемішування пульпи частинки бокситу можуть стикатися, що полегшує руйнування захисних плівок на поверхні гідроксиду алюмінію [8].

*Вплив концентрації розчинів і каустичного модуля.* Під час збільшення концентрації оборотного розчину за постійним каустичним модулем підвищується його в'язкість, що призводить до зменшення швидкості дифузії [9]. В той же час підвищення концентрації розчину негативно позначається на переділі випаровування, оскільки потрібно більше води на промивання червоного шламу. Окрім того, використання міцних розчинів призводить до підвищення корозії апаратури та трубопроводів і зменшення швидкості відстоювання червоного шламу через високу в'язкість рідкої фази.

Критерієм оптимальності концентрації алюмінатного розчину можуть бути сумарна вартість витрати теплової енергії на випаровування маточного розчину та вилугування бокситу [10].

У процесі вилугування бокситу бере участь не весь луг, який присутній в обіговому розчині. Кількість інертного луку визначають за формулою [4,9]:

$$Na_2O_{\text{ін}} = \frac{n \cdot \alpha_{\text{к.ал}}}{\alpha_{\text{к.об}}} \quad (3)$$

де  $n$  - вміст  $Na_2O_{\text{к}}$  в обіговому розчині, г/дм<sup>3</sup>;  $\alpha_{\text{к.ал}}$  - каустичний модуль алюмінатного розчину, г/дм<sup>3</sup>;  $\alpha_{\text{к.об}}$  - каустичний модуль обігового розчину, г/дм<sup>3</sup>.

Тоді кількість активного луку в обіговому розчині буде складати:

$$Na_2O_{\text{акт}} = n - n \cdot \frac{\alpha_{\text{к.ал}}}{\alpha_{\text{к.об}}} = n \cdot \left( \frac{\alpha_{\text{к.об}} - \alpha_{\text{к.ал}}}{\alpha_{\text{к.об}}} \right) \quad (4)$$

Одним з найважливіших показників процесу вилугування є ефективність обігу луку, що показує, скільки оксиду алюмінію витягається з бокситу активним лугом обігового розчину:

$$\Xi_o = 1,645 n \cdot \left( \frac{\alpha_{\text{к.об}} - \alpha_{\text{к.ал}}}{\alpha_{\text{к.об}} \cdot \alpha_{\text{к.ал}}} \right) \quad (5)$$

Підвищення каустичного модуля алюмінатного розчину збільшує швидкість вилугування, проте значно знижує ефективність оберту, оскільки одночасно у формулі (5) зменшується чисельник і зростає знаменник. Тому треба прагнути до зниження каустичного модуля отриманого алюмінатного розчину, що ефективніше, ніж підвищення каустичного модуля обігового розчину.

Із збільшенням температури вилугування можливо вести дозування бокситу на нижчий допустимий каустичний модуль алюмінатного розчину, не знижуючи необхідного для високого витягання та швидкості вилугування різниці між модулем, на який розраховували дозування, і рівноважним гранично можливим модулем розчину [9]. На практиці розрахунковий каустичний модуль має бути вищим за рівноважний не менше ніж на 0,1...0,2 [7].

Для вилугування гібсит-бемітових бокситів зазвичай використовують обіговий розчин з 205...230 г/дм<sup>3</sup>  $Na_2O_o$ , 175...210 г/дм<sup>3</sup>  $Na_2O_{\text{к}}$  та 110...140 г/дм<sup>3</sup>  $Al_2O_3$ . Алюмінатний розчин після вилугування має значення каустичного модуля 1,51...1,57. Для вилугування діаспорбемітових бокситів обіговий розчин повинен містити 315...325 г/дм<sup>3</sup>  $Na_2O_o$ , 285...295 г/дм<sup>3</sup>  $Na_2O_{\text{к}}$  та 145...155 г/дм<sup>3</sup>  $Al_2O_3$ . Одержаний алюмінатний розчин має каустичний модуль 1,55...1,65.

*Вплив температури.* Підвищення температури має вирішальний вплив на швидкість вилугування бокситів, оскільки від неї безпосередньо залежать значення коефіцієнта дифузії, товщини дифузійного шару та концентрації насичення алюмінатного розчину. Із зростанням температури збільшується коефіцієнт дифузії та відповідно швидкість вилугування.

Достатню для практичних умов швидкість вилуговування для гібситових бокситів можна досягати за температури 95...105 °С, для бемітових бокситів – за 150...200 °С, а для діаспорових – за 230...240 °С. Тривалість вилуговування складає 2...3 години.

Підвищення температури вилуговування до 260...300 °С дозволяє виконати вилуговування бокситів, що важко розкриваються за декілька хвилин. Окрім того, таке вилуговування дозволяє підвищити витягання глинозему за рахунок практично повного розкладання таких мінералів як алюмогетит та алюмогематит, а також виконувати вилуговування слабкими алюмінатними розчинами [12].

*Вплив додавань вапна.* На вилуговування практично всіх видів бокситів додають вапно у кількості 1,5...5,0 % від їх маси.

Позитивна роль вапна полягає в усуненні пасивуючої дії мінералів титану, що містяться у бокситах, на кінетику процесу, в активізації вилуговування всіх форм гідроксиду алюмінію та зниженні втрат лугу. Так, за наявності вапна частина діоксиду кремнію утворює гідрогранат кальцію  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot (6-2m)H_2O$ . Окрім того, одночасно зафіксовано зниження втрати лугу та зростання втрати глинозему.

За невеликих дозувань вапна до бокситу в шлаках після вилуговування відмічається відносно велика кількість луги, тобто гідроалюмосилікату натрію (ГАСН). Його присутність негативно впливає на вилучення кремнію з алюмінатного розчину вапном, оскільки під час утворення гідрогранату зменшується вміст діоксиду кремнію в розчині, що спричинює розчинення ГАСН [13].

Додаванням вапна під час вилуговування можна сягати значного зниження вмісту лугу в червоному шламі. Показано, що під час додавання до північно-уральського бокситу вапна у кількості, яка є достатньою для зв'язування оксиду титану в  $CaO \cdot TiO_2$ , а діоксиду кремнію – в  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O$  можна понизити вміст лугу в червоному шламі з 2,2 % до 0,4...0,6 % за одночасних додаткових втрат глинозему. Під час підвищення дозування вапна з 3 % до 7 % за вилуговуванням діаспорових бокситів витягання глинозему знижується з 87,6 % до 86,7 % з одночасним зниженням вмісту лугу в шламі з 3,9 % до 1,6 % [14].

Також становить практичний інтерес вирішення питання зниження втрат глинозему за підвищеного дозування вапна на вилуговування, оскільки одночасно знижуються не лише втрати лугу, але і відбувається очищення розчинів алюмінатів від таких домішок, як кремній.

Одним з можливих шляхів зниження втрат лугу є обробка шлаків розчинами, які містять соду. Стійкість гідрогранатів у содових розчинах знижується із збільшенням температури та концентрації соди, а також підвищується із зростанням ступеня насичення їх діоксидом кремнію [15].

Дослідженням щодо зниження втрат глинозему введенням соди у промивну систему червоного шламу [16] встановлено, що витягання глинозему підвищується майже на три відсотки, але одночасно зростає, хоча і небагато, вміст лугу у шламі.

Одним із шляхів зниження втрат глинозему за підвищених дозувань вапна є підбирання оптимальної тривалості витримки пульпи перед вилуговуванням [14]. Наприклад, під час вилуговування діаспор-бемітового бокситу з дозуванням вапна 3,5 % за промислових умов мінімальний вміст  $Na_2O$  в шламі склав 2,1 %, а вміст  $Al_2O_3$  близько 10 %.

*Апаратурно-технологічні схеми вилуговування.* Для вилуговування гібситових бокситів частіше рекомендують температуру 140...160 °С, за якої потрібно використання автоклавів.

У промисловості, в основному, використовують автоклави двох типів: з мішалками та нагріванням пульпи «глухою» парою через трубки та без перемішуючих пристроїв з нагріванням «гострою» парою, що подають безпосередньо до пульпи і конденсують у ній [17].

Головним напрямом на пострадянському просторі було використання апаратурно-технологічних схем, заснованих на застосуванні автоклавів з нагріванням «гострою» парою. До найбільш типових відносять схему вилуговування бокситів з використанням двох ступенів сепарації автоклавної пульпи. За такою схемою вилуговування для нагрівання початкової пульпи використовують лише третину теплоти автоклавної пульпи. Тому на деяких заводах збільшили кількість ступенів сепарації до семи-дев'яти, що дозволило здійснити регенерацію теплоти автоклавної пульпи на 70...80 % і, відповідно, нагрівати сиру пульпу до температури 180...190 °С за реакційної температури близько 240 °С.

З метою регенерації теплоти вилуженої пульпи пропонують використовувати її теплоту для нагрівання початкової пульпи у пульпо-пульповому теплообміннику приблизно до температури 150 °С за один цикл. За однією із схем пульпу після нагрівальних автоклавів подають в автоклави ізотермічної витримки та далі – у кожухотрубні двоходові теплообмінники для пульпо-пульпового обміну із сирію пульпою [18].

Запропонована та знайшла промислове застосування паро-пульпо-пульпова схема регенеративного нагрівання сирової пульпи з використанням теплообмінників нової конструкції [19,20]. Відмінністю є те, що окрім пульпо-пульпового теплообмінника, застосовують ще паро-пульповий теплообмінник з використанням пари першого ступеню самовипаровування вилуженої пульпи. Промислове застосування такої схеми дало можливість підвищити температуру сирової пульпи на 10...12 °С і, відповідно, понизити витрату пари високого тиску на 10 % [21].

На ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» для вилуговування використовують автоклави з мішалками та нагріванням «глухою» парою, Сиру пульпу підігрівають у двох послідовно сполучених трубчастих підігрівачах, потім насосами через компенсатор подають до батареї автоклавів. У підігрівачах і в перших за ходом руху пульпи семи автоклавах для нагрівання використовують вторинну пару, одержану у відповідних самовипаровувачах пульпи. При цьому температура пульпи сягає приблизно 160 °С. В останніх чотирьох автоклавах за ходом пульпи нагрівання до 225...230 °С виконують свіжою парою, що одержують з ТЕЦ. Після автоклавів пульпа проходить відповідно вісім ступенів сепарації з метою зниження температури та надмірного тиску.

Суттєвими перевагами автоклавів-підігрівачів є менша швидкість утворення осадів на теплообмінних трубках, оскільки частина їх виділяється на поверхні твердих часточок в об'ємі автоклаву, а також відсутність розбавлення вареної пульпи «гострою» парою, що призводить до зменшення витрати теплової енергії під час її випарювання.

На деяких підприємствах використовують двофазову схему нагрівання бокситової пульпи [4]. Головну частину обігового розчину (80...85 % від загального потоку) нагрівають у трубчастих теплообмінниках сепараторною парою до температури, близької до оптимальної. Іншу частину потоку (15...20 %) спрямовують безпосередньо на мокрий помел бокситу.

На одному із зарубіжних заводів встановлено дві батареї автоклавів, кожна з яких складається з чотирьох автоклавів місткістю 150 м<sup>3</sup>, десяти теплообмінників і дев'яти сепараторів [22,23]. Максимальна температура – 240 °С. Автоклави мають перемішуючі пристрої та розділені на шість камер для збільшення часу перебування в них великих часточок. Боксит, розмолотий з меншою частиною обігового розчину, подають на вилуговування спільно з головною частиною обігового розчину, нагрітого сепара-

торною парою та парою високого тиску в теплообмінниках.

Під час вилуговування гібситових бокситів, що містять частину оксиду алюмінію у вигляді алюмогетиту, який важко розкривається, можливим є використання двох схем двохстадійного вилуговування [24]. За однією схемою на першій стадії здійснюють низькотемпературне вилуговування (температура ~100 °С), а потім пульпу після підігрівання в контактних підігрівачах подають на автоклавне вилуговування (температура ~230 °С). Друга схема, на відміну від першої, передбачає відділення від алюмінатного розчину шламу першої стадії вилуговування та вилуговування його свіжим обіговим розчином в автоклавах. Одержані розчини алюмінату поєднують і подають на декомпозицію.

До основи високотемпературного процесу вилуговування бокситів покладено результати теоретичних досліджень системи  $Na_2O-Al_2O_3-H_2O$ , згідно із якими під час взаємодії беміту та діаспора з розчинами лужних алюмінатів з підвищенням температури від 200 до 300 °С можна одержати рівноважні алюмінатні розчини з каустичним модулем 1,55 і нижче в діапазоні концентрацій  $Na_2O_k$  – 10...20 %. За однієї і тієї же концентрації вільного лугу відношення  $Al_2O_3 : Na_2O$  (за масою) у рівноважному алюмінатному розчині з підвищенням температури зростає. Можливість використання для вилуговування обігових розчинів низької концентрації  $Na_2O_k$  дозволяє понизити до мінімуму різницю між концентраціями лугу в обіговому й алюмінатному розчинах, тобто випаровувати найменшу кількість води у процесі Байєра.

Процес високотемпературного вилуговування здійснюють у трубчастому автоклаві, що є довгим трубопроводом, складеним із секцій «труба у трубі». Бокситову пульпу, що нагрівається, рухають внутрішньою трубою зі швидкістю 1,5...3,0 м/с, а в кільцевий простір спрямовують вторинну пару з відповідного сепаратора. Догрівання до максимальної температури процесу здійснюють у аналогічній секції за допомогою високотемпературних органічних або солевих теплоносіїв. У міру підвищення температури вилуговування бокситу використання водної пари як теплоносія стає менш ефективним. За різниці температур 20 °С питома витрата пари, по мірі збільшення температури вилуговування, швидко зростає, складаючи за температури 105 °С – 0,48; за 200 °С – 0,62; за 300 °С – 0,94 т/т  $Al_2O_3$  [24].

Як високотемпературний органічний теплоносій використовують евтектичну суміш дифенілу (26,5 %) і дифенілоксиду (73,5 %) [25,26].

За атмосферним тиском температура кипіння такої суміші складає 258 °С, а тиск пари за температури 320 °С – 0,332 МПа.

Сольові нагрівачі є нітрит-нітратними сумішами нітриту натрію  $NaNO_2$ , нітрату натрію  $NaNO_3$  та нітрату калію  $KNO_3$  [27,28]. Найбільший практичний інтерес має потрійна евтектична суміш, що вміщує 40 %  $NaNO_2$ ; 7 %  $KNO_3$  і 53 %  $NaNO_3$  та має температуру плавлення 142 °С і температуру розкладання – 500 °С.

*Висновки.* Високотемпературне вилуговування бокситів призводить до інтенсифікації не лише самого автоклавного процесу, але й інших переділів способу Байера. В цьому разі пароспоживання знижується приблизно вдвічі, а доля

теплових витрат у собівартості глинозему зменшується з 12...15 до 6...7 %. Високотемпературне вилуговування діаспорових бокситів супроводжується повнішим розкриттям сировини, підвищенням витягання оксиду алюмінію на 2...4 % і наближенням його до теоретичної величини за скороченням у 5...6 разів часу вилуговування. Зниження каустичного модуля алюмінатного розчину під час високотемпературного вилуговування дозволяє зменшити питомі матеріальні потоки у процесі. Червоні шлами після високотемпературного вилуговування характеризуються ліпшими седиментаційними властивостями, краще ущільнюються та більш повно відмиваються від адсорбованого луку.

### Бібліографічний список

1. Суцс, А. Г. Влияние показателей размола на удельную производительность [Текст] / А. Г. Суцс, А. Б. Панов, Е. П. Коваленко, М. Б. Столяр // Цветные металлы. – 2000. – № 1. – С. 17-20.
2. Modifiziertes Bayer – Verfahren spart 40% Energie bei der Aluminiumoxid-Herstellung [Text] // Metall (W.-Berlin). – 1977. – 31. – № 6.
3. Гейзоболь, М. Размалываемость венгерских бокситов [Текст] / М. Гейзоболь, З. Киш, Б. Саго // Вторая международная конференция ICSOVA. – М. : ЦИИИЦветмет, 1971. – С. 24-25.
4. Лайнер, А. И. Производство глинозема. [Текст] / А. И. Лайнер, Н. И. Еремин, Ю. А. Лайнер, И. З. Певзнер – М. : Metallurgiya, 1978. – 344 с.
5. Абрамов, В. Я. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья (щелочные способы) [Текст] / В. Я. Абрамов, Г. Д. Стельмакова, И. В. Николаев. – М. : Metallurgiya, 1985. – 287 с.
6. Лапин, А. А. Особенности кинетики выщелачивания гвинейских бокситов [Текст] / А. А. Лапин, Н. С. Мальц, В. П. Мельникова, Н. Н. Быданова / Совершенствование технологии получения глинозема и повышение комплексности использования сырья. – Л. : ВАМИ, 1980. – С. 90-96.
7. Мальц, Н. С. Автоклавное выщелачивание бокситов [Текст] / Н. С. Мальц. – М.: Metallurgiya, 1980. – 80 с.
8. Манвелян, М. Г. Обескремнивание щелочных алюминатных растворов [Текст] / М. Г. Манвелян, А. А. Ханамирова. – Ереван : Изд-во АН АрмССР, 1973. – 300 с.
9. Певзнер, И. З. Автоклавные процессы в производстве глинозема [Текст] / И. З. Певзнер, В. Л. Райзман. – М. : Metallurgiya, 1983. – 128 с.
10. Берх, В. И. Об экономической эффективности концентрации алюминатного раствора в производстве глинозема [Текст] / В. И. Берх, Т. М. Злоказова, Е. Д. Краснопольский, Е. И. Старков // Цветные металлы. – 1971. – № 3. – С. 48-51.
11. Кузнецов, С. И. Физическая химия производства глинозема по способу Байера. [Текст] / С. И. Кузнецов, В. А. Деревянкин. – М. : Metallurgiya, 1964. – 352 с.
12. Humphreys, D. Aluminium [Text] / D. Humphreys // Metals Miner.-Annu. Rev. – 1996. – Pp 47-53.
13. Федяев, Ф. Ф. Влияние примеси хлорида натрия в алюминатных растворах на технологические показатели производства глинозема [Текст] / Ф. Ф. Федяев, Т. Б. Гаврилова, А. А. Бахтеев, Д. Н. Еремеев // Цветные металлы. – 1989. – № 5. – С. 49-56.
14. Новоженев, В. М. Оптимальная продолжительность выдержки боксит-известковой пульпы перед автоклавным выщелачиванием [Текст] / В. М. Новоженев, Т. И. Татаурова, С. И. Кузнецов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 1980. – № 5. – С. 41-44.
15. Сизяков, В. М. Исследование системы  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot (6-2n)H_2O - Na_2CO_3 - H_2O$  при 50-175° С [Текст] / В. М. Сизяков, Г. М. Высоцкая, О. А. Борзенко // Цветные металлы. – 1977. – № 8. – С. 41-43.
16. Троицкий, И. А. Металлургия алюминия [Текст] / И. А. Троицкий, В. А. Железнов. – М. : Metallurgiya, 1984. – 398 с.
17. Еремин, Н. И. Процессы и аппараты глиноземного производства [Текст] / Н. И. Еремин, А. Н. Наумчик, В. Г. Казаков. – М. : Metallurgiya, 1980. – 360 с.
18. Казаков, В. Г. Регенерация теплоты при автоклавном выщелачивании боксита с пульпо-пульповыми теплообменниками [Текст] / В. Г. Казаков, Н. Г. Потапов, А. Е. Бобров и др. // Цветные металлы. – 1988. – № 4. – С. 69-71.
19. Копытов, Г. Г. Совершенствование регенеративного нагрева сырой пульпы при автоклавном выщелачивании боксита [Текст] / Г. Г. Копытов, К. Ф. Завадский, Г. Г. Завьялова // Цветные металлы. – 1998. – № 6. – С. 31-32.

20. **Копытов, Г. Г.** Теплообменник для новой схемы нагрева бокситовой пульпы [Текст] / Г. Г. Копытов. // Цветные металлы. – 2000. – № 5. – С. 30-33.
21. **Аминов, А. Н.** Новые технические решения по развитию глиноземного производства [Текст] / А. Н. Аминов, К. Ф. Завадский, В. С. Смирнов, В. Г. Тесля // Цветные металлы. – 1998. – № 6. – С. 24-25.
22. **Пустильник, Г. Л.** Алюминиевая промышленность капиталистических и развивающихся стран [Текст] / Г. Л. Пустильник, Т. Е. Нестерова. Производство глинозема. – М.: Цветметинформация, 1973. Ч. 2. – 87 с.
23. **Герман, Е.** Непрерывное выщелачивание бокситовых и гидраргиллитовых бокситов при высоких давлениях двухпоточным способом [Текст] / Е. Герман / Вторая международная конференция ICISOVA. – М. : ЦИ-ИНЦветмет, 1971. – С. 35-36.
24. **Алкицева, В. М.** Оптимизация процесса низкотемпературного выщелачивания гвинейского боксита [Текст] / В. М. Алкицева, В. Ф. Кокаева, Т. Н. Кудинова, Л. К. Сизякова // Известия Вузов. Цветная металлургия. – 1991. – № 3. – С. 18-23.
25. **Мальц, Н. С.** Высокотемпературное выщелачивание бокситов - основное направление сокращения тепло-энергетических затрат [Текст] / Н. С. Мальц, Н. С. Шморгуненко, В. Я. Чупраков // Цветные металлы. – 1986. – № 1. – С. 57–61.
26. **Вехальман, Д. Г.** Установки с высокотемпературными органическими теплоносителями [Текст] / Д. Г. Вехальман, А. И. Ильченко. – Киев : Техника, 1968. – 149 с.
27. **Долинин, Н. П.** Нагревательные элементы реакционных аппаратов [Текст] / Н. П. Долинин. – М. : Машиностроение, 1967. – 148 с.
28. **Долинин, Н. П.** Установки с высокотемпературными теплоносителями [Текст] / Н. П. Долинин. – М. : Машиностроение, 1973. – 271 с.

**Очинский Владимир Николаевич**, старший преподаватель кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: ochinskiy@ukr.net

**Курис Юрий Владимирович**, доктор технических наук ведущий научный сотрудник отдела теплофизических основ энергосберегающих технологий, Институт технической теплофизики НАНУ (Киев, Украина). E-mail: analytic@rambler.ru

**Воляр Роман Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: voron@meta.ua

**Воденникова Ольга Сергеевна**, ассистент кафедры городского строительства и хозяйства, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: olga.vodennikova09@gmail.com

**Зайцев Евгений Александрович**, ведущий инженер по подготовке производства, ОАО «Николаевский глиноземный завод» (Николаев, Украина). E-mail:

## ТЕХНОЛОГИИ АВТОКЛАВНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ БОКСИТОВ

Проанализированы основные факторы, оказывающие влияние на скорость, полноту и экономическую эффективность процесса автоклавного выщелачивания бокситов. Рассмотрены главные направления совершенствования аппаратурно-технологических схем указанного процесса.

Ключевые слова: автоклав, выщелачивание боксита, алюминатный раствор, оборотный раствор, каустический модуль, гидроксид алюминия

**Ochinskiy Volodymir**, Senior Teacher of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Metallurgy, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: ochinskiy@ukr.net

**Kuris Yuri**, Doctor of Technical Sciences, Chief Scientist of Laboratory and Labor Protection, Institute of Technical Thermal Physics NASU (Kiev, Ukraine). E-mail: analytik@rambler.ru

**Volyar Poman**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Metallurgy, Zaporizhaska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: voron@meta.ua

**Vodennikova Ol'ga**, Assistant of Urban Construction and Economy Department, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: olga.vodennikova09@gmail.com

**Zajtsev Eugenie**, Advanced Engineer on Preproduction, OAJ «Mikolayev Aluminous Plant» (Mikolayev, Ukraine). E-mail:

## TECHNOLOGIES OF HIGH LEACHING OF BAUXITES

Basic factors influencing on speed, plenitude and economic defectiveness of process of the pressure leaching of bauxites are analyzed. Main directions of perfection of apparatus-technological charts of lixiviating of bauxites are considered.

Keywords: autoclave, lixiviating of bauxite, aluminate solution, circulating solution, caustic module, hydroxide of aluminium

Стаття надійшла до редакції 08.02.2018 р.  
Рецензент, проф. Г.О. Колобов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука  
<http://www.zgia.zp.ua>