

темірдің тотықсыздану дәрежесін 20-25 %-ға арттырады, бұл кезде алюминий нитридімен салыстырғанда бордың нитриді шихтаның балку температурасын 100-150 °C-ға төмендетеді. Қосылған каустикалық сода шихтаның балку температурасын 200-250 °C-ға төмендетеді.

**Түйінді сөздер:** ильменитті концентрат, титанды шлак, термодинамикалық талдау, оксидтер, нитридтер, Гиббс энергиясы

### Summary

Results of thermodynamic analysis of ilmenite concentrates smelting process with using various fluxing additives (MgO, CaO, etc.) in temperatures interval 298-1900 K subject to phase transitions are presented in the article. Experiments on smelting of charge with oxides, nitrides and caustic soda additives are carried out for thermodynamic calculations results confirmation. It is found, that addition of aluminium and magnesium oxides into the charge can promote increase of iron reduction from ilmenite on 5-10 %, but temperature of charge smelting decrease is negligible. Nitrides of aluminium and boron raise a degree of iron reduction on 20-25 %, thus boron nitride reduces temperature of charge smelting on 100-150 °C in comparison with aluminium nitride. Addition of caustic soda can lead to decrease of charge smelting temperature on 200-250 °C.

**Keywords:** ilmenite concentrate, titanium slag, thermodynamic analysis, oxides, nitrides, Gibbs energy.

*Поступила 26.05.2014.*

УДК 669.712.002(574)

Комплексное использование  
минерального сырья. № 2. 2014.

*Н.С. БЕКТУРГАНОВ<sup>1</sup>, Л.А. МЫЛТЫКБАЕВА<sup>2</sup>, Р.А. АБДУЛВАЛИЕВ<sup>3\*</sup>,  
Е.А. ТАСТАНОВ<sup>3</sup>, С.Н. АХМЕДОВ<sup>4</sup>, В.В. МЕДВЕДЕВ<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>РОО «Казахская национальная академия естественных наук», Астана

<sup>2</sup>АО «Национальный научно-технический холдинг «ПАРАСАТ», Астана

<sup>3</sup>АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», Алматы, \* rin-abd@mail.ru

<sup>4</sup>ООО «Алюминиевая компания «АЛКОРУС», Санкт-Петербург, Россия

### СОЗДАНИЕ НОВОГО ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЗАХСТАНЕ

В статье рассмотрены перспективы создания нового глиноземного производства. Казахстан располагает значительными запасами низкокачественного алюминиевого сырья, в том числе железистых бокситов. Для решения проблем переработки низкокачественных бокситов и задач минимизации потерь щелочи и глинозема требовалась разработка новой эффективной технологии, сокращающей потребление электроэнергии и материальных затрат по сравнению с традиционным способом переработки алюминийсодержащего сырья «Байер-спеканием» и предложенной ранее технологией «Байер-гидрохимия». Одним из перспективных направлений переработки низкокачественных бокситов является новый гидрогранатовый способ. Исследования по разработке гидрогранатовой технологии получили дальнейшее развитие в последние годы в АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения». Главное отличие данного способа состоит в переводе активного диоксида кремния в твердую фазу в виде железистого и алюминиевого гидрогранатов кальция, нерастворимых в щелочных и алюминатных растворах. Полученные результаты исследований значительно повышают эффективность комплексной переработки высококремнистых железистых бокситов по последовательному варианту Байер-гидрогранатовой технологии. На основании полученных данных технологических исследований и укрупненных лабораторных испытаний выполнен технико-экономический расчет строительства завода по производству глинозема, мощностью 1 млн. тонн в год на базе Кокталяского месторождения бокситов.

**Ключевые слова:** боксит, глинозем, гидрогранатовая технология, технико-экономический расчет, алюминийсодержащее сырье

Традиционно размещение глиноземных предприятий приближено к источникам алюминиевого сырья – бокситов или нефелинов.

Запасы качественных бокситов в Казахстане ограничены, поэтому интенсивно ведутся поиски путей расширения сырьевой базы глиноземного производства с ориентацией на более широкое использование низкокачественных бокситов и создание высокорентабельной технологии для их переработки. Ухудшение качества боксита вызывает увеличение материальных потоков, расходных коэффициентов по сырью, вспомогательным материалам и энергоресурсам, транспортным расходам по перевозке материалов, количеству шлама и выбросам в атмосферу.

Почти весь объем производства глинозема в мире осуществляется на заводах, работающих по способу Байера, за исключением России, перерабатывающей бокситы и нефелины по способу спекания, а также Казахстана, перерабатывающего бокситы по последовательной схеме Байер-спекание, и некоторых заводов Китая [1].

В настоящее время в связи с ростом цен на энергоносители и усилением требований по экологии и охране окружающей среды, существующие технологические схемы производства глинозема, включающие переделы спекания, становятся нерентабельными и неконкурентоспособными даже для бокситов высокого качества.

Основным содержанием новых технологических решений должно стать обеспечение низких расходных значений потребления энергоресурсов и щелочных материалов, снижение эксплуатационных и трудовых ресурсов, уменьшение инвестиционных затрат и решение вопроса утилизации отвальных шламов. Разработка новой технологии позволит увеличить объем производства глинозема для экспорта и внутреннего потребления - производства первичного алюминия, сплавов и проката.

Инициатором разработки проекта является АО «Национальный научно-технический холдинг «ПАРАСАТ» (АО «ННТХ «Парасат», г. Астана, РК), выполнивший работу по формированию цели и задач инвестиционного проекта, маркетинга и сбыта продукции, формиро-

ванию основных финансово-экономических параметров и анализу общих рисков проекта.

Казахстан располагает значительными запасами низкокачественного алюминиевого сырья, в том числе железистых бокситов [2,3]. Основные ресурсы бокситов сосредоточены в Костанайской области. Наиболее перспективными являются бокситы Коктальской группы месторождений. Учитывая наличие в данном регионе уникальных месторождений Кушмурунского угля (более 50 млрд. тонн), Кубасдырских нефелиновых сиенитов и достаточных запасов известняка, имеются весомые основания для организации в Костанайской области горно-энергетического кластера (рисунк 1) [4].

Повышенные содержания в бокситах Коктальского месторождения железа, титана, а также скандия (10-30 г/т), галлия (5-30 г/т) и ванадия (10-150 г/т) указывают на комплексный характер руд и необходимость разработки технологии, предусматривающей при их переработке извлечение всех попутных полезных компонентов. Первым шагом в этом направлении является создание глиноземного завода.

В 1970 годы в СССР, в Институте металлургии и обогащения АН КазССР (г. Алма-Ата) был разработан способ «Байер-гидрохимия, гидросиликатный вариант», предназначенный для переработки низкомодульных высококремнистых бокситов. В 80-е годы этот способ был проверен в опытно-промышленном масштабе на Ленинградском опытном заводе Всесоюзного алюминиево-магниевого института (ЛЮЗ ВАМИ, г. Ленинград). По предложенной технологии весь кремнезем байеровского красного шлама связывают в натрокальциевый гидросиликат состава  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Для осуществления этого процесса необходимо провести высокотемпературное (280 °C) гидрохимическое выщелачивание смеси красного шлама и обожженной извести в концентрированном щелочно-алюминатном растворе, с концентрацией  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{кв}} = 450 \text{ г/дм}^3$  и каустическим модулем 35 единиц.

Получаемый при выщелачивании натриевый гидросиликатный шлам подвергают интенсивной водной промывке с целью регене-



Рисунок 1 - Структура горно-энергетического кластера

рации связанной щелочи, в результате которой в промытой твердой фазе образуется, наряду с монокальциевым силикатом -  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , значительное количество гидроалюмосиликата натрия, обуславливающего потери щелочи и глинозема.

В 80-е и 90-е годы, в ВАМИ, был предложен альтернативный способ переработки алюмосиликатного сырья, который прошел лабораторную и опытно-заводскую проверку.

Позднее, в период 2001-2012 гг. ООО «Алюминиевая компания» АЛКОРУС», (г. Санкт-Петербург, РФ), разработала теоретические основы, создала аппаратно-технологическую схему, провела подбор оборудования и разработала проект строительства установки для проведения полупромышленных испытаний и внедрения нового способа переработки бокситов и красных шламов. Новая технология получила название «Байер-гидрохимия, гидрогранатовый вариант». Сущность этого способа заключается в том, что автоклавное выщелачивание красного шлама байеровской ветви ведут в высокомолярном растворе с концентрацией  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{кв}} = 240 \text{ г/дм}^3$  и каустическим модулем 32 единицы, при температуре  $240^\circ\text{C}$  в присутствии активированной добавки в виде смеси гидроксида кальция и феррита натрия. В процессе выщелачивания красного шлама весь диоксид кремния пере-

ходит из щелочной фазы гидроалюмосиликата натрия в принципиально новую минеральную форму, не имеющую оксида натрия и при минимальном наличии оксида алюминия, представленную железистыми, преимущественно, и алюминиевыми гидрогранатами кальция вида  $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Конечный бесщелочной твердый продукт утилизации красного шлама, без какой-либо дополнительной обработки, выводится из цикла в виде железо-кальциевого концентрата, обладающего высоким потребительским потенциалом.

Регенерируемые из красного шлама оксиды натрия и алюминия возвращаются в байеровскую ветвь без потерь или могут быть преобразованы в товарные продукты - сода, гидроалюминат натрия, тонкодисперсный белый гидроксид алюминия.

ООО «Алюминиевая компания» АЛКОРУС» разработала математическую модель расчета материального баланса различных вариантов технологии Байера. Эта модель была использована при расчетах материального баланса во всех вариантах переработки бокситов.

В АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения» (АО «ЦНЗМО», г. Алматы, РК) в течение последних лет получили дальнейшее развитие исследования по разработке научных основ гидрогранатовой технологии [5-10].



Проведен комплекс исследований по совершенствованию процесса конверсии средне-модульных щелочно-алюминатных растворов в высокомодульные. Показана возможность безавтоклавного разложения трехкальциевого гидроалюмината (ТКГА) с применением бикарбонатных растворов. Решены вопросы использования кальциевого кека в автоклавном гидрогранатовом вскрытии байеровского красного шлама. Детально исследуется проблема использования гидрогранатового шлама, включая процессы его глубокой переработки. Полученные в АО «ЦНЗМО» результаты значительно повышают эффективность комплексной переработки высококремнистых железистых бокситов по последовательному варианту Байер-гидрогранатовой технологии.

Были детально изучены физико-химические характеристики проб бокситов Коктальского месторождения. Получены данные по химическому, рентгенофазовому и минеральному составам представительной пробы боксита, осуществлена наработка представительной пробы красного байеровского шлама. Создана пилотная установка с автоматизированной системой управления технологическими процессами и архивированием резуль-

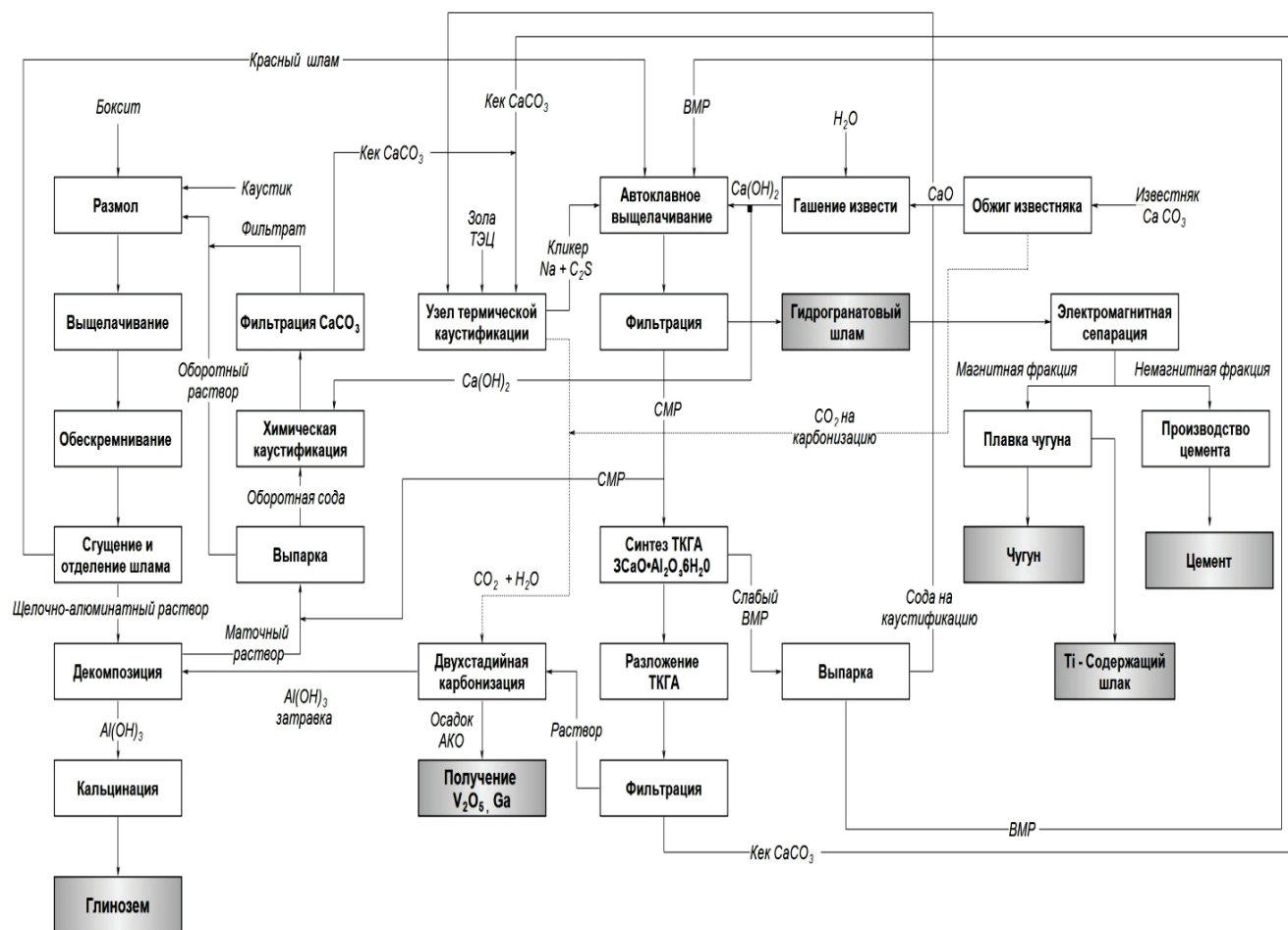
татов исследований для проведения укрупненных лабораторных испытаний на базе АО «ЦНЗМО» (рисунок 2).

Последующие пилотные исследования гидрогранатовой технологии вскрытия наработанной пробы красного шлама определили оптимальные условия выщелачивания (температуру, концентрацию, дозировку извести, время вскрытия, величину  $J : T$ ), позволяющие достичь извлечения  $Al_2O_3$  из боксита с  $M_{SiO_2} < 6$  единиц на уровне 96 %. При этом обеспечивается регенерация оксида натрия из красного шлама не менее 95 % с полным возвратом щелочи в технологический цикл.

Полученные результаты исследований технологии переработки байеровских красных шламов подтверждают результаты аналогичных исследований, проведенных в Казахстане и России в прошлые годы. Они позволили уточнить и конкретизировать технологическую схему (рисунок 3) и аппаратное оформление эффективного и безотходного процесса переработки низкокачественных высокожелезистых бокситов на глинозем и железо-кальциевый концентрат по способу «Байер-гидрогранатовой технологии».



Рисунок 2 – Пилотная установка



**Рисунок 3 – Технологическая схема Байер-гидрогранатовой переработки железистых бокситов**

Отличительными особенностями предлагаемой технологии являются:

- регенерируемая из состава красного шлама масса  $Al_2O_3$  возвращается в байеровскую ветвь в форме дисперсного затравочного гидроксида алюминия –  $Al(OH)_3$ ;

- щелочь, которую регенерируют из состава красного шлама и состава оборотной рыжей соды гидрогранатового передела, передают в байеровскую ветвь в виде аликваты слабого среднемодульного раствора. Количество этого раствора адекватно массе  $Na_2O_{общ} = Na_2O_{ку} + Na_2O_{угл}$ , регенерируемой связанным оксидом натрия;

- водную суспензию гидроксида алюминия гидрогранатовой ветви подают в ветвь Байера на установку агломерации в линии разложения алюминатного раствора;

- алюминийсодержащую золу ( $Al_2O_3 \geq 30\%$ ) от сжигания бурых углей в котлоагрегатах заводской ТЭЦ полностью утилизируют

в гидрогранатовом переделе, на узле термической каустификации соды;

- каустификацию оборотной соды с установки упаривания слабого высокомолекулярного раствора ведут через синтез алюмината натрия на основе  $Al_2O_3$  угольной золы. Для этого смесь золы, рыжей соды, содового раствора и оборотного карбонатного продукта ( $CaCO_3$ ) после регенерации ТКГА подвергают термической обработке при температуре  $1000^\circ C$  во вращающейся печи;

- полученный твердый клинкер в составе  $Na_2O \cdot Al_2O_3 + 2CaO \cdot SiO_2 + CaO$  вводят в качестве активирующей добавки в пульпу автоклавного выщелачивания красного шлама. Газовую смесь  $CO_2 + H_2O$  узла каустификации полностью утилизируют на узле карбонизации щелочно-алюминатного раствора в гидрогранатовом переделе;

- регенерацию ТКГА ведут бикарбонатным раствором  $NaHCO_3$  посредством агитаци-

онного выщелачивания твердой фазы в мешалках при температуре 90 °С с получением щелочно-алюминатного раствора и карбонатного продукта  $\text{CaCO}_3$  в твердом состоянии.

Важной особенностью принятого проектного варианта аппаратного оформления гидрогранатового передела является, наряду с возможностью полной утилизации угольной золы ТЭЦ, ликвидация проблемы борьбы с накоплением органических примесей в жидком контуре полного технологического цикла. Решается эта проблема посредством сжигания органического углерода в печи утилизации золы. При этом газообразные продукты горения ( $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ ) не выбрасываются в атмосферу, а полностью утилизируются гидрохимическим способом в процессе бикарбонатной карбонизации щелочно-алюминатного раствора.

На основании полученных данных технологических исследований и укрупненных лабораторных испытаний в АО «ЦНЗМО» выполнен технико-экономический расчет по строительству завода по производству глинозема мощностью 1 млн. тонн в год на базе Коктальского месторождения бокситов.

В результате произведенных технико-экономических расчетов получены следующие финансово-экономические показатели при реализации проекта организации производства:

- капитальные вложения в строительство \$ 845 млн.;
- среднегодовая чистая прибыль \$ 66,3 млн.;
- внутренняя норма прибыли (IRR) 12,9 %;
- чистый дисконтированный доход (NPV) \$ 325,5 млн.;
- срок окупаемости (с начала эксплуатации) 7,7 года.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бекжанов Г.Р., Мазурова А.К., Наурызбаев А.Н., Поднебесный Г.П., Курмангалиева Р.Г. Сырьевая база алюминиевой промышленности Казахстана. - Алматы: Академия минеральных ресурсов РК., 2002. – 63 с.
- 2 Габитов Р.К., Джумабаев К.С., Киселев А.Л., Каббо М.Д.. Месторождения алюминия Казахстана. Справочник. Редакция журнала «Минеральные ресурсы Казахстана». Алматы. – 1997. – 94 с.
- 3 Абдулвалиев Р.А., Тастанов Е.А., Мылтыкбаева Л.А., Гладышев С.В., Бейсембекова К.О., Антоненко А.А. Перспективная минерально-сырьевая база алюминиевой промышленности Казахстана. // Цветные металлы 2013: Матер. V- Междунар. конгресса и выставки - Красноярск, 3 -6 сентября 2013. - С.101-104.
- 4 Иннов.пат. 25940 РК. Способ переработки красного шлама. Абдулвалиев Р.А., Бейсембекова К.О., Гладышев С.В.; опубл. 15.08.2012.
- 5 Иннов.пат. 26717 РК. Способ гидрогранатовой переработки красного шлама. Бектурганов Н.С., Мылтыкбаева Л.А., Тастанов Е.А., Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Бейсембекова К.О.; опубл.15.03.2013 г.
- 6 Иннов.пат. 27031 РК. Способ гидрогранатовой переработки красного шлама. Бектурганов Н.С., Мылтыкбаева Л.А., Тастанов Е.А., Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Бейсембекова К.О.; опубл. 14.06.2013.
- 7 Иннов. пат. 27264 РК. Способ гидрогранатовой переработки красного шлама. Бектурганов Н.С., Мылтыкбаева Л.А., Тастанов Е.А., Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Бейсембекова К.О. опубл. 15.08.2013.
- 8 Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Тастанов Е.А. Ковзаленко В.А., Бейсембекова К.О. Конверсия алюминатных растворов. // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Матер. XVII Междунап. научно-технич. конф., Екатеринбург, 19 апреля 2012. - С. 262-266.
- 9 Абдулвалиев Р.А., Гладышев С.В., Тастанов Е.А. Ковзаленко В.А., Бейсембекова К.О. Разложение трехкальциевого гидроалюмината. // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: Матер. XVII Междунар. научно-технич. конф., Екатеринбург, 19 апреля 2012. - С. 266-270.

#### REFERENCES

- 1 Bekzhanov G.R., Mazurova A.K., Nauryzbayev A.N., Podnebesnyj G.P., Kurmangalieva R.G. Syr'evaya baza alyuminievoj promyshlennosti Kazakhstana. Almaty: Akademiya mineral'nykh resursov RK. 2002. 63. (in Russ.).
- 2 Gabitov R.K., Dzhumabaev K.S., Kiselev A.L., Kabbo M.D. Mestorozhdeniya aljuminiya Kazakhstana. Spravochnik. Redakciya zhurnala: Mineral'nye resursy Kazakhstana. Almaty. 1997. 94. (in Russ.).
- 3 Abdulvaliev R.A., Tastanov E.A., Myltykbaeva L.A., Gladyshev S.V., Bejsembekova K.O., Antonenko A.A. Mater. V- Mezhdun. kongressa i vystavka Tsvetnye metally 2013. Krasnoyarsk, September, 3 -6 2013. 101-104. (in Russ.).
- 4 Innov. pat. 25940 KZ. Abdulvaliev R.A., Bejsembekova K.O., Gladyshev S.V. 15.08.2012. (in Russ.).
- 5 Innov.pat. 26717 KZ. Bekturganov N.S., Myltykbaeva L.A., Tastanov E.A., Abdulvaliev R.A.,



Gladyshev S.V., Bejsembekova K.O. **15.03.2013.** (in Russ.).

6 *Innov. pat.* 27031 KZ. Bekturganov N.S., Myltykbaeva L.A., Tastanov E.A., Abdulvaliev R.A., Gladyshev S.V., Bejsembekova K.O. **14.06.2013.** (in Russ.).

7 *Innov. pat.* 27264 KZ Bekturganov N.S., Myltykbaeva L.A., Tastanov E.A., Abdulvaliev R.A., Gladyshev S.V., Bejsembekova K.O. **15.08.2013.** (in Russ.).

8 Abdulvaliev R.A., Gladyshev S.V., Tastanov E.A., Kovzalenko V.A., Bejsembekova K.O. *Mater. XVII Mezhdun. nauchno-tekhnich. konf., Ekaterinburg*, April 19, **2012.** 262-266. (in Russ.).

9 Abdulvaliev R.A., Gladyshev S.V., Tastanov E.A., Kovzalenko V.A., Bejsembekova K.O. *Mater. XVII Mezhdun. nauchno-tekhnich. konf., Ekaterinburg*, April 19, **2012.** 266-270. (in Russ.).

### Түйіндеме

Мақалада Қазақстанда жаңа алюминий тотығы өндірісін құру өзектілігі қарастырылды. Қазақстанда төмен сапалы бокситтің және темірлі бокситтің қоры айтарлықтай жеткілікті. Төмен сапалы бокситті ұқсатудың шешімі мен сілті мен сазтопырақтың шығынын азайту үшін және электр қуаты мен материалды шығындарды азайту үшін дәстүрлі «Байер-күйежентектеу», «Байер-гидрохимия» әдістердің орнына жаңа тиімді технология қажет. Төмен сапалы бокситтерді ұқсатудың бірден бір келешегі бар әдістердің бірі жаңа гидрогранаттық әдіс. Осы әдіс соңғы жылдары «ЖҒМКБО» АҚ-да ары қарай дамып келеді. Бұл әдістің ең басты айырмашылығы белсенді кремний тотығын сілтілер мен алюминат ерітінділерінде ерімейтін темірлі кальций гидрогранаты мен алюминийлі кальций гидрогранатына айналдыру болып табылады. Зерттеулерден алынған нәтижелер «Байер-гидрогранат» технологиясының жүйелі нұсқасының қолдануы арқасында кремнийге бай темірлі бокситтерді кешенді ұқсату едәуір артады. Технологиялық зерттеулер және «ЖҒМКБО» АҚ пилоттық қондырғысында жүргізілген ірілендірілген-зертханалық сынақтар негізінде Көктал бокситтері мен Құсмұрын көмірлі кен орындары негізінде өндіру қуаты жылына 1 млн. тонна болатын алюминий тотығы зауытын құрудың технико-экономикалық есептелуі орындалды.

**Түйінді сөздер:** боксит, алюминий тотығы, пилотты қондырғы, гидрогранат технологиясы, техника – экономикалық есептеу.

### Summary

The prospects for establishing of new alumina production in Kazakhstan are reviewed in the article. Kazakhstan has significant resources of low-quality aluminium raw materials, including ferriferous bauxites. For solving problems of low-quality bauxites processing and minimization of losses of alkali and alumina it is required development of the new effective technology reducing electric energy and materials consumption in comparison with traditional way for aluminium-bearing raw material processing as “Bayer-sintering” and offered earlier “Bayer-hydrochemistry” technology. One of perspective directions of low-quality bauxites processing is the new hydrogarnet method. Development of hydrogarnet technology has been carried out last years in “Center of Earth sciences, metallurgy and ore beneficiation” JSC. The main difference of this method consists in conversion of active silicon dioxide into a solid phase in the form of ferriferous and aluminium hydropomegranates of calcium, insoluble in alkaline and aluminate solutions. Obtained results of the researches considerably raise efficiency of high-silicon ferriferous bauxites complex processing by a consecutive variant of Bayer-hydrogarnet technology. Techno-economic calculation for construction of the factory on alumina production with capacity 1 million tons per year by using Koktalsky bauxites deposit and Kushmurunsky coal was executed on the basis of results obtained at JSC pilot plant technological and integrated laboratory researches.

**Keywords:** bauxite, alumina, hydrogarnet technology, techno-economic calculation, aluminium-bearing material, pilot production.

*Поступила 03.04.2014.*