

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2755789

### СОСТАВ ШИХТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЛИНОЗЁМА

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Бричкин Вячеслав Николаевич (RU), Сизяков Виктор Михайлович (RU), Новиков Николай Александрович (RU), Куртенков Роман Владимирович (RU), Элдиб Амр Басьюни Саад (RU)*

Заявка № 2021104305

Приоритет изобретения 19 февраля 2021 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 21 сентября 2021 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 19 февраля 2041 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C07F 7/16 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2021104305, 19.02.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.02.2021Дата регистрации:  
21.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.02.2021

(45) Опубликовано: 21.09.2021 Бюл. № 27

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный  
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Бричкин Вячеслав Николаевич (RU),  
Сизяков Виктор Михайлович (RU),  
Новиков Николай Александрович (RU),  
Куртенок Роман Владимирович (RU),  
Элдиб Амр Басьюни Саад (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Санкт-Петербургский горный  
университет» (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: Лайнер А.И., Еремин Н.И., Лайнер  
Ю.А., Певзнер И.З. "Производство глинозема",  
2-е изд. М.: Металлургия, 1978. 344 с.; с.317-319.  
RU 2555741 C1, 10.07.2015. SU 684856 A1,  
10.01.1997. RU 2226174 C1, 27.03.2004. RU  
2147565 C1, 20.04.2000. CN 106745124 B,  
03.07.2018.

## (54) СОСТАВ ШИХТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЛИНОЗЁМА

(57) Реферат:

Изобретение относится к цветной металлургии и может быть использовано для получения глинозёма и попутной продукции способом спекания из высококремнистого алюминиевого сырья. Техническим результатом является рост химического извлечения  $Al_2O_3$  и расширение сырьевой базы глинозёмного производства за счёт использования каолиновых руд различного состава, который достигается за счёт того, что в состав шихты вводится углеродсодержащий компонент в количестве, обеспечивающем наилучшие условия формирования фазового

состава слёка, благоприятного для последующей переработки. Состав шихты для производства глинозёма включает каолиновую руду и известняк. Шихта дополнительно содержит углеродсодержащую добавку, а её состав удовлетворяет следующему содержанию сырьевых компонентов, мас. %: каолин – 68,5-72,3; известняк – 26,3-28,6; углеродсодержащая добавка 0,5-3,8, количество которой определяется экспериментально по контролируемым показателям технологического процесса. 1 табл., 25 пр.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C01F 7/16* (2006.01)  
*C07F 7/20* (2006.01)  
*C01F 7/38* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C07F 7/16 (2021.05)*

(21)(22) Application: **2021104305, 19.02.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**19.02.2021**

Registration date:  
**21.09.2021**

Priority:

(22) Date of filing: **19.02.2021**

(45) Date of publication: **21.09.2021** Bull. № 27

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU  
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",  
Patentno-litsenziyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Brichkin Viacheslav Nikolaevich (RU),  
Siziakov Viktor Mikhailovich (RU),  
Novikov Nikolai Aleksandrovich (RU),  
Kurtenkov Roman Vladimirovich (RU),  
Eldib Amr Basiuni Saad (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet» (RU)**

(54) **FEED COMPOSITION FOR ALUMINA PRODUCTION**

(57) Abstract:

FIELD: nonferrous metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to nonferrous metallurgy and can be used to obtain alumina and associated products by sintering from high-silicon alumina raw materials. The composition of the feed for the production of alumina includes kaolin ore and limestone. The feed additionally contains a carbon-containing additive, and its composition satisfies the following content of raw materials, wt. %: kaolin - 68.5-72.3; limestone - 26.3-28.6; carbon-containing additive 0.5-3.8, the amount of which is determined experimentally according to the controlled parameters

of the technological process.

EFFECT: increase in the chemical extraction of  $Al_2O_3$  and an expansion of the raw material base of alumina production due to the use of kaolin ores of various compositions, which is achieved due to the fact that a carbon-containing component is introduced into the feed composition in an amount that provides the best conditions for the formation of the phase composition of the sinter, favorable for subsequent processing.

1 cl, 1 tbl, 25 ex

Изобретение относится к цветной металлургии и может быть использовано для получения глинозёма и попутной продукции способом спекания из высококремнистого алюминиевого сырья.

Известен состав шихты для переработки низкокачественных бокситов (Лайнер А.И., Ерёмин Н.И., Лайнер Ю.А., Певзнер И.З. Производство глинозёма. М.: Металлургия, 1978. С. 212-213) с кремниевым модулем ( $\mu_{Si}$ ) менее 6 единиц на основе насыщенной (нормальной) трёхкомпонентной смеси, обеспечивающей связывание всего кремнезёма в двухкальциевый силикат, всего количества оксида алюминия и оксида железа в алюминат и феррит натрия, т.е. в ней соблюдаются следующие молярные соотношения

$$CaO/SiO_2 = 2,0; Na_2O/Al_2O_3 = 1,0; Na_2O/Fe_2O_3 = 1,0.$$

При спекании руд с умеренным содержанием  $Fe_2O_3$  и  $SiO_2$  насыщенная шихта обеспечивает практически полное извлечение  $Al_2O_3$  и  $Na_2O$ . Кроме того, при спекании нормальной шихты наблюдается широкая площадка спёкообразования, что облегчает обжиг, уменьшая опасность образования кольцевых настывлей. При этом составу насыщенной шихты отвечает самый простой состав спёка.

Недостатком такой шихты, является то, что с повышением содержания кремнезёма и оксида железа заметно растут расхождения между расчётными и фактическими данными по извлечению  $Al_2O_3$  и  $Na_2O$ , особенно для  $Na_2O$ , в том числе для вторичных реакций при выщелачивании спёка. Заметным ограничением состава такой шихты является использование в качестве исходного алюминийсодержащего сырья бокситов, отвечающих естественному соотношению водных минералов алюминия и алюмосиликатов, что ограничивает использование последних для получения глинозёма. Также неблагоприятным фактором такого состава шихты является высокий выход шлама, содержащего щелочные компоненты, что затрудняет его использование в производстве портландцемента и других строительных материалов.

Известен состав шихты (Ерёмин Н.И., Наумчик Н.Г., Казаков В.Г. Процессы и аппараты глинозёмного производства. М.: Металлургия, 1980. С. 42-43), в котором рекомендуется для получения в спеке хорошо растворимого алюмината натрия (калия) и гидролизуемого в водных растворах феррита натрия (калия), а также очень малорастворимого ортосиликата кальция при спекании бокситов и нефелинов соблюдать в шихте следующие молярные соотношения с эквивалентным замещением  $Na_2O$  и  $K_2O$

$$R_2O/(Al_2O_3 + Fe_2O_3) = 1,00 \pm 0,02;$$

$$CaO/SiO_2 = 2,00 \pm 0,03,$$

где R - Na или K.

Дополнительными достоинствами такой шихты, по сравнению с ранее рассмотренным составом, является возможность переработки щелочных алюмосиликатов и применение в качестве щелочного компонента поташа или смеси соды и поташа.

Недостатком такой шихты, является то, что с повышением содержания кремнезёма и оксида железа заметно растут расхождения между расчётными и фактическими данными по извлечению  $Al_2O_3$  и  $Na_2O$ , особенно для  $Na_2O$ , в том числе для вторичных реакций при выщелачивании спёка. Заметным ограничением состава такой шихты является использование в качестве исходного алюминийсодержащего сырья бокситов, отвечающих естественному соотношению водных минералов алюминия и алюмосиликатов, что ограничивает использование последних для получения глинозёма. Неблагоприятным фактором такого состава шихты является высокий выход шлама, содержащего щелочные компоненты, что затрудняет его использование в производстве

портландцемента и других строительных материалов. Так же к перечисленным недостаткам добавляется дополнительный рост выхода шлама, при введении в состав шихты нефелина, что затрудняет утилизацию шлама, в производстве портландцемента и других строительных материалов.

5 Известен состав шихты для переработки низкокачественных бокситов и нефелинов способом спекания (Абрамов В.Я., Николаев И.В., Стельмакова Г.Д. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья (щелочные способы). М.:  
 10 Металлургия, 1985. С. 250-252, 262-264), в состав которой входят оборотные шламы, образующиеся на различных стадиях технологического процесса, что позволяет частично или полностью вернуть в технологический процесс компоненты ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{R}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ),  
 обеспечивающие формирование требуемого фазового состава спёка в соответствии с ранее приведёнными молярными соотношениями.

Недостатками данного состава шихты являются ограниченное вовлечение в  
 15 производство глинозёма бесщелочных алюмосиликатов и высокий выход шлама, содержащий щелочные компоненты, что затрудняет его использование в качестве компонента сырьевых смесей для производства портландцемента и других строительных  
 материалов.

Известен состав шихты для переработки красного шлама (Ерёмин Н.И., Наумчик Н.Г., Казаков В.Г. Процессы и аппараты глинозёмного производства. М.: Металлургия,  
 20 1980. С. 49-50), которая может состоять из красного шлама, оборотной «рыжей» соды, известняка и нефелина, количество которого должно обеспечивать полное возмещение потерь каустической щёлочи в способе Байера. Заводской практикой установлено, что  
 25 для обеспечения нормального прохождения шихты через вращающуюся печь и получения хороших показателей извлечения глинозёма и щелочи из шламового спека содержание феррита натрия в спеке не должно превышать 14 % (лучше 10 %). Избыток  
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  против этого количества должен быть связан в ферриты кальция ( $50\% \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$   
 и  $50\% 2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Для снижения содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в шихте и улучшения её состава  
 30 возможно удаление из красных шламов железистых песков, добавка к шихте маложелезистого алюминиевого сырья (золы, нефелина и др.) или введение в состав шихты угля для осуществления процесса спекания в восстановительной атмосфере.

В целом данная шихта применима для достаточно небольших объёмов производства глинозёма способом спекания, а красный шлам не может рассматриваться, как  
 альтернатива природному алюминийсодержащему сырью.

35 Известен состав шихты для переработки щелочной алюмосиликатной породы (Лайнер А.И., Ерёмин Н.И., Лайнер Ю.А., Певзнер И.З. Производство глинозёма. М.:  
 Металлургия, 1978. С. 315-316), рассчитанный на образование в спёке алюминатов и ферритов щелочей и щелочных кальциевых силикатов  $\text{R}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Такая шихта  
 состоит из щелочной алюмосиликатной породы, оборотного щелочного раствора и  
 40 известняка, количество которых при заданном составе материалов удовлетворяет следующим молярным отношениям компонентов

$$\text{R}_2\text{O}/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) = 1,0;$$

$$\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,0.$$

45 Данная высокощелочная шихта имеет существенные достоинства, так как может быть применена для сырья с повышенным содержанием железа, а расход известняка снижается в два раза по сравнению с шихтой, рассчитанной на образование  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

К недостаткам такого состава шихты для производства глинозёма способом спекания следует отнести необходимость организации дополнительного передела регенерации

щелочи из шлама и грануляции шихты перед спеканием. В тоже время выход шлама сохраняется на достаточно высоком уровне и его утилизация в составе сырьевой портландцементной смеси потребует увеличенное количество известняка.

Известен состав шихты для переработки каолиновых руд путём спекания [Hijran Zoma, Abdul-Wahab A. Al-Ajeel, Ajheen H. Jumaah. Studying the Efficiency of Lime-Soda Sinter Process to Extract Alumina from Colored Kaolinite Ores Using Factorial Technique of Design of Experiments. Engineering and Technology Journal. Vol. 36, Part A, No. 5, 2018. P. 502-504], включающий каолинит, известняк и соду, количество которых в шихте для достижения наиболее высокого извлечения  $Al_2O_3$  в раствор при выщелачивании твёрдого продукта спекания определяется следующими молярными соотношениями

$$CaO/SiO_2 = 2,15; Na_2O/Al_2O_3 = 1,2.$$

Данный состав шихты позволяет перерабатывать индивидуальные каолиновые руды, что обеспечивает заметное расширение сырьевой базы производства алюминия. В то же время указанный состав шихты приводит к заметным потерям щелочного компонента с отвальным шламом, а его использование в составе сырьевой портландцементной смеси осложняется наличием щелочей.

Недостатками данной шихты является возможность использования с богатой каолиновой рудой с содержанием  $Al_2O_3$  38,69 % и характеризуется относительно невысоким на уровне 80,00% извлечением целевого компонента в технологические растворы при её переработке.

Известен состав шихты для переработки каолиновых руд путём спекания (Лайнер А.И., Ерёмин Н.И., Лайнер Ю.А., Певзнер И.З. Производство глинозёма. М.: Металлургия, 1978. С. 317-319) принятый за прототип, включающий каолинит и известняк, количество которых в шихте для достижения наиболее высокого извлечения  $Al_2O_3$  в раствор при выщелачивании твёрдого продукта спекания определяется следующими молярными соотношениями:

$$CaO/Al_2O_3 = 1,5-1,8;$$

$$CaO/SiO_2 = 2,0.$$

Данный состав шихты позволяет перерабатывать индивидуальные каолиновые руды, что обеспечивает заметное расширение сырьевой базы производства алюминия. Одновременно с этим шихта характеризуется отсутствием щелочного компонента, за счёт чего снижаются расходы, связанные с восполнением его потерь, а также обеспечивается получение малощелочных шламов, позволяющих получать на их основе высококачественные быстротвердеющие цементы марок 600-700.

Недостатком состава является относительно невысокое извлечение  $Al_2O_3$  на уровне 85-86% и зависимость этого показателя от химического состава каолиновой руды по содержания компонентов, вызывающих метастабильную устойчивость  $\beta$ - $2CaO \cdot SiO_2$ , которая исключает или ухудшает саморассыпание спёка, что является ключевым источником недоизвлечения целевых компонентов.

Техническим результатом является получение эффективного в применении состава шихты, обеспечивающего наилучшие условия для формирования фазового состава спека, оказывающего положительное влияние на рост химического извлечения  $Al_2O_3$  и расширение сырьевой базы глинозёмного производства за счёт использования каолиновых руд различного состава.

Технический результат достигается тем, что шихта дополнительно содержит углеродсодержащую добавку, при следующим соотношении компонентов, мас. %:

каолин	68,5 - 72,3
известняк	26,3 - 28,6
углеродсодержащая добавка	0,5 - 3,8.

Для достижения заявленного технического результата шихта должна дополнительно  
5 содержать углеродсодержащую добавку, количество которой определяется экспериментально по контролируемым показателям технологического процесса.

Заявляемый состав шихты для производства глинозёма включает в себя следующие материалы и реагенты, в количестве, % мас.:

10	- каолин	68,5 - 72,3
	- известняк	26,3 - 28,6
	- углеродсодержащая добавка	0,5 - 3,8.

Практическая реализация предлагаемого изобретения заключается в приготовлении  
15 шихты, отвечающей заявленным диапазонам составов по содержанию основных сырьевых компонентов, в результате смешения указанных компонентов в требуемом соотношении до достижения однородного химико-минералогического и гранулометрического состава шихты во всех её частях, при этом способ подготовки индивидуальных компонентов шихты, их введения в состав шихты и усреднения её состава не являются предметом данного изобретения. Оценка эффективности состава шихты выполнялась по результатам совокупности последовательно осуществляемых  
20 технологических операций, включающих приготовление шихты, её спекание, охлаждение и выщелачивание спека, а также промывку шлама, которые проводятся в однотипных и полностью воспроизводимых условиях для соответствующих операций.

Контролируемыми показателями технологического процесса являются фракционный  
25 состав спека (средний медианный диаметр его частиц), установившийся в результате его саморассыпания, и химическое извлечение оксида алюминия при его выщелачивании.

Химический состав каолиновой руды и известняка определяли методом рентгеновской  
30 флуоресценции (XRF) с использованием последовательного рентгенофлуоресцентного спектрометра (XRF-1800, 40 кВ, 90 мА, США). Этот же метод и приборная база были использованы для установления химического состава технологических продуктов, в том числе промытого шлама после выщелачивания спека. Определение размера частиц и их распределения по крупности выполнялось методом лазерного рассеяния на анализаторе Microsizer 201С отечественного производства с диапазоном измерения  
линейных размеров от 0,2 до 600 мкм.

В качестве углеродсодержащей добавки применялись материалы природного и  
35 техногенного происхождения, удовлетворяющие определяющей характеристике кажущейся плотности от 0,37 до 1,50÷1,55 г/см<sup>3</sup>, например древесный уголь марки А по ГОСТ 7657-84 и обожжённые аноды Волховского алюминиевого завода по ТУ 1913-001-0020092-95. Углеродистые материалы, не зависимо от их природы, добавляли в  
40 шихту в количестве от 0,5 до 3,8%,

Все компоненты шихты измельчались до крупности менее 74 мкм и затем её состав  
усреднялся в барабанном смесителе. Шихта усреднённого состава брикетировалась на гидравлическом прессе «LabTools» с использованием пресс-формы диаметром 30 мм и высотой 30 мм при постоянном давлении брикетирования. Как показано ранее, эти  
45 условия являются предпочтительными для проведения процесса спекания в лабораторных условиях, обеспечивая равномерную теплопередачу, достаточную прочность брикетов и условия спекообразования. Спекание брикетированных шихт выполнялось в высокотемпературных камерных печах ПВК-1,6-5 (ТЕПЛОПРИБОР)

и LHT08/17 (Nabertherm) в режиме нагрева со скоростью 10 град/мин до температуры изотермической выдержки продолжительностью 1 час в диапазоне от 1250 °С до 1360 °С. По окончании изотермической выдержки спеки охлаждались до комнатной температуры в закрытом печном пространстве с последующим хранением образцов без доступа воздуха и исследованием фазового, химического и фракционного состава, а также технологическим опробованием по величине химического извлечения  $Al_2O_3$  в раствор.

Выщелачивание спеков выполнялось в однотипных условиях с использованием в качестве приборной базы реакторной системы параллельного синтеза Auto-Mate II (HEL, Великобритания). При этом применялись содовые растворы с изменяемым диапазоном концентраций в пределах 40 г/л по содержанию углекислого натрия ( $Na_2CO_3$ ), а сам процесс выщелачивания проводился при варьировании температуры в пределах 20 °С. Полученная пульпа фильтровалась под вакуумом, а осадок промывался на фильтре горячей дистиллированной водой, с его последующей сушкой при температуре 105 °С. Химическое извлечение оксида алюминия в раствор ( $\epsilon_{Al_2O_3}$ ) оценивалось по результатам анализа твёрдых фаз, что позволяет выполнить его расчёт по формуле

$$\epsilon_{Al_2O_3} = [m_{сп}(Al_{сп}) - m_{ш}(Al_{ш})]/m_{сп}(Al_{сп}),$$

где:  $m_{сп}$  и  $m_{ш}$  - соответственно масса пробы спека и шлама в результате её выщелачивания;  $(Al_{сп})$  и  $(Al_{ш})$  - соответственно результаты анализа пробы спека и шлама методом XRF на содержание алюминия.

Показатели технологических испытаний известняково-каолиновых шихт по результатам реализации примеров № 1÷25 приведены в таблице:

Пример №	Температура спекания, °С	Дозировка углеродсодержащей добавки, %	Извлечение $Al_2O_3$ , %	Прирост (убыль), извлечения, %	Тип углеродсодержащей добавки
Пример № 1	1250	0,0	36,3	-	Древесный уголь марки А по ГОСТ 7657-84
Пример № 2	1250	1,0	53,4	17,1	
Пример № 3	1250	2,0	59,2	22,9	
Пример № 4	1250	2,5	62,7	26,4	
Пример № 5	1250	3,0	61,4	25,1	
Пример № 6	1250	3,5	57,5	21,2	
Пример № 7	1250	4,0	53,1	16,8	
Пример № 8	1360	0,0	75,5	-	
Пример № 9	1360	0,5	80,7	5,2	
Пример № 10	1360	1,0	81,5	6,0	
Пример № 11	1360	1,5	82,7	7,2	
Пример № 12	1360	2,0	75,8	0,3	
Пример № 13	1360	3,0	70,6	-4,9	
Пример № 14	1360	4,0	68,7	-6,8	Обожжённые аноды по ТУ 1913-001-0020092-95
Пример № 15	1360	1,0	77,3	1,8	
Пример № 16	1360	2,0	78,5	3,0	
Пример № 17	1360	2,5	80,7	5,2	
Пример № 18	1360	3,0	80,5	5,0	
Пример № 19	1360	3,5	78,1	2,6	
Пример № 20	1360	4,0	72,5	-3,0	Древесный уголь марки А по ГОСТ 7657-84
Пример № 21	1360	0,0	84,9	-	
Пример № 22	1360	1,5	89,0	4,1	
Пример № 23	1360	2,5	86,5	1,6	Обожжённые аноды по ТУ 1913-001-0020092-95

Пример № 24	1360	0,0	89,1	-	Древесный уголь марки А по ГОСТ 7657-84
Пример № 25	1360	1,5	93,5	4,4	

### Пример № 1

Шихта приготовлена с использованием пробы каолиновой руды следующего состава, мас. %: SiO<sub>2</sub> - 52,2; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 31,9; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1,4; TiO<sub>2</sub> - 0,58; CaO - 0,59; MgO - 0,53; Na<sub>2</sub>O - 0,15; K<sub>2</sub>O - 0,15; п.п.п. - 13,0; силикатный модуль (число молей SiO<sub>2</sub> на один моль Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) - 2,78. В качестве известкового компонента для приготовления шихты использована проба природного известняка, имеющая следующий химический состав, мас. %: SiO<sub>2</sub> - 2,01; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,41; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,56; TiO<sub>2</sub> - 0,58; CaO - 53,3; п.п.п. - 43,72. Количество компонентов рассчитывалось с учётом ранее установленных соотношений CaO / SiO = 2,0; CaO / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,8 и CaO / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,0, что определяет расход известняка в количестве 265,8 г на 100 г каолиновой руды. Приготовление шихты и её последующие испытания выполнялись в соответствии с ранее описанной методикой, включая проведение операции спекания при температуре изотермической выдержки - 1250 °С. Данный состав шихты не включал углеродсодержащую добавку и был использован в качестве образца сравнения, для которого экспериментально установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 35,5 %.

### Пример № 2

Пример № 2 аналогичен примеру №1, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 1 %. В качестве углеродсодержащего компонента использована проба древесного угля марки А по ГОСТ 7657-84, одной из определяющих характеристик которого является кажущуюся плотность равная 0,37 г/см<sup>3</sup>. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 54,3 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 1) - 18,8 %.

### Пример № 3

Пример № 3 аналогичен примеру № 2, но дозировка углеродсодержащего компонента равна 2 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 59,7 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 1) - 24,2 %.

### Пример № 4

Пример № 4 аналогичен примеру № 3, но дозировка углеродсодержащего компонента равна 2,5 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 62,8 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 1) - 27,3 %.

### Пример № 5

Пример № 5 аналогичен примеру № 4, но дозировка углеродсодержащего компонента равна 3,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 60,7 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 1) - 25,2 %.

### Пример № 6

Пример № 6 аналогичен примеру № 5, но дозировка углеродсодержащего компонента равна 3,5 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 58,5 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 1) - 23,0 %.

### Пример № 7

Пример № 7 аналогичен примеру № 6, но дозировка углеродсодержащего компонента равна 4,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия

составляет 53,9 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 1) - 18,4 %.

Пример № 8

5 Пример № 8 аналогичен примеру № 1, но операция спекания выполнялась при температуре изотермической выдержки - 1360 °С. При этом состав шихты не включал углеродсодержащую добавку и был использован в качестве образца сравнения, для которого экспериментально установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 75,4 %.

Пример № 9

10 Пример № 9 аналогичен примеру № 8, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 0,5 %. В качестве углеродсодержащего компонента использована проба древесного угля марки А по ГОСТ 7657-84. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 80,5 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 5,1 %.

15 Пример № 10

Пример № 10 аналогичен примеру № 9, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 1,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 81,6 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 6,2 %.

20 Пример № 11

Пример № 11 аналогичен примеру № 10, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 1,5 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 83,1 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 7,7 %.

25 Пример № 12

Пример № 12 аналогичен примеру № 11, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 2,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 75,8 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 0,4 %.

30 Пример № 13

Пример № 13 аналогичен примеру № 12, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 3,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 70,5 %, что даёт убыль извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - (- 4,9) %.

35 Пример № 14

Пример № 14 аналогичен примеру № 13, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 4,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 68,7 %, что даёт убыль извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - (- 6,7) %.

40 Пример № 15

Пример № 15 аналогичен примеру № 9, но в качестве углеродсодержащего компонента использована проба обожжённых анодов Волховского алюминиевого завода по ТУ 1913-001-0020092-95 с кажущейся плотностью  $1,50 \div 1,55 \text{ г/см}^3$ , которая вводилась в количестве 1,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 77,3 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 1,9 %.

Пример № 16

Пример № 16 аналогичен примеру № 15, но в состав шихты вводился

углеродсодержащий компонент в количестве 2,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 78,5 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 3,1 %.

Пример № 17

5 Пример № 17 аналогичен примеру № 16, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 2,5 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 80,7 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 5,3 %.

Пример № 18

10 Пример № 18 аналогичен примеру № 17, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 3,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 80,5 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 5,1 %.

Пример № 19

15 Пример № 19 аналогичен примеру № 18, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 3,5 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 78,1 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - 2,7 %.

Пример № 20

20 Пример № 20 аналогичен примеру № 19, но в состав шихты вводился углеродсодержащий компонент в количестве 4,0 %. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 72,3 %, что даёт убыль извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 8) - (-3,1) %.

Пример № 21

25 Пример № 21 аналогичен примеру № 8, но операция выщелачивания спёка выполнялась при пониженной на 20 °С температуре, а концентрация содового раствора, использованного при выщелачивании, была понижена на 40 г/л в расчёте на карбонат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), что отличает эти условия выщелачивания от условий реализованных в примерах №1÷№20. При этом состав шихты не включал углеродсодержащую добавку  
30 и был использован в качестве образца сравнения, для которого экспериментально установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 84,9 %.

Пример № 22

35 Пример № 22 аналогичен примеру № 21, но в состав шихты вводилась углеродсодержащая добавка в количестве 1,5 %, в качестве которой использовали пробу древесного угля марки А по ГОСТ 7657-84, как в ряде ранее приведённых примеров. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 89,0 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 21) - 4,1 %.

Пример № 23

40 Пример № 23 аналогичен примеру № 22, но в состав шихты вводилась углеродсодержащая добавка в количестве 2,5 %, в качестве которой использовали пробу обожжённых анодов Волховского алюминиевого завода по ТУ 1913-001-0020092-95, как в ряде ранее приведённых примеров. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 86,5 %, что даёт прирост извлечения по  
45 сравнению с образцом сравнения (пример № 21) - 1,6 %.

Пример № 24

Пример № 24 аналогичен примеру № 21, но шихта приготовлена с использованием пробы каолиновой руды следующего состава, мас. %:  $\text{SiO}_2$  - 46,77;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 33,74;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

- 1,65;  $TiO_2$  - 3,22; CaO - 0,17; MgO - 0,37;  $Na_2O$  - 0,44;  $K_2O$  - 0,41; п.п.п. - 12,91, прочие 0,31. Количество компонентов рассчитывалось с учётом ранее установленных соотношений  $CaO / SiO = 2,0$ ;  $CaO / Al_2O_3 = 1,8$  и  $CaO / Fe_2O_3 = 1,0$ , что определяет расход известняка в количестве 247,6 г на 100 г каолиновой руды. При этом состав шихты не включал углеродсодержащую добавку и был использован в качестве образца сравнения, для которого экспериментально установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 89,1 %.

#### Пример № 25

Пример № 25 аналогичен примеру № 24, но в состав шихты вводилась углеродсодержащая добавка в количестве 1,5 %, в качестве которой использовали пробу древесного угля марки А по ГОСТ 7657-84, как в ряде ранее приведённых примеров. Установленная величина химического извлечения оксида алюминия составляет 93,5 %, что даёт прирост извлечения по сравнению с образцом сравнения (пример № 24) - 4,4 %.

Приведенное описание предполагаемого изобретения и примеры его реализации позволяют сделать следующие выводы:

1. В указанном диапазоне дозировок углеродсодержащей добавки  $0,5 \div 4,0$  % от массы каолина и известняка, чему соответствует содержание углеродсодержащей добавки в шихте  $0,5 \div 3,8$  %, установлен прирост извлечения оксида алюминия до 26,4 (пример № 4) по сравнению с шихтой, не включающей такую добавку.

2. Прирост извлечения оксида алюминия является функцией температуры процесса, природы и состава каолина, а также природы и содержания углеродсодержащей добавки в шихте, что обеспечивает возможность извлечения до 93,5 % оксида алюминия, величина которого значительно превосходит ранее достигнутые показатели при переработке каолинового сырья способом спекания.

#### (57) Формула изобретения

Состав шихты для производства глинозёма, включающий каолиновую руду и известняк, отличающийся тем, что шихта дополнительно содержит углеродсодержащую добавку при следующем соотношении компонентов, мас. %:

каолин	68,5–72,3
известняк	26,3–28,6
углеродсодержащая добавка	0,5–3,8