



Оригинальная статья / Original article
УДК 669.71
DOI: 10.21285/1814-3520-2017-6-111-118

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИНОЗЕМА ПЕСЧАНОГО ТИПА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

© А.А. Власов¹, В.М. Сизяков², В.Ю. Бажин³

¹Сибирский федеральный университет,
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79.

^{2,3}Санкт-Петербургский горный университет,
Российская Федерация, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский Остров, 21-я линия, 2.

РЕЗЮМЕ. ЦЕЛЬ. Изучение возможностей использования различных типов глинозёмов для мощных алюминиевых электролизеров. **МЕТОДЫ.** Аналитический обзор и систематизация научной литературы по теме исследований. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Рассмотрены физико-химические свойства мучнистого, песчаного и высокоструктурированного глинозёма, изучено их влияние на технологические и экономические параметры электролиза алюминия. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Анализ влияния физико-химических свойств различных типов глинозёма на показатели электролиза позволил предложить создание технологии получения крупнозернистого высокоструктурированного глинозёма на действующих производствах, в основе которой – реконструкция и модернизация процесса. Актуальность такой реконструкции обусловлена возрастающими требованиями к качеству глинозёма.

Ключевые слова: производство глинозёма, песчаный глинозём, электролиз, адсорбция, высокоструктурированный глинозём.

Формат цитирования: Власов А.А., Сизяков В.М., Бажин В.Ю. Использование глинозёма песчаного типа для производства алюминия // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 6. С. 111–118. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-6-111-118

USE OF SANDY ALUMINA FOR ALUMINUM PRODUCTION

A.A. Vlasov, V.M. Sizyakov, V.Yu. Bazhin

Siberian Federal University,
79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation.
Saint Petersburg Mining University,
2, 21 Line, Vasilievsky Ostrov, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation.

ABSTRACT. The **PURPOSE** of the paper is to study the possibilities to use different types of alumina for powerful aluminum electrolytic pots. **METHODS.** The study employs an analytical review and systematization of scientific literature on the topic of research. **RESULTS.** The physical and chemical properties of powdery, sandy and high-structure alumina are examined as well as their influence on the technological and economic parameters of aluminum electrolysis. **CONCLUSION.** An analysis of the effect of the physico-chemical properties of various types of alumina on electrolysis parameters allowed to propose the development of a production technology of coarse-grained, high-structure alumina at existing production facilities. The technology is based on the process renovation. The relevance of this reconstruction is determined by increasing demands to alumina quality.

Key words: alumina production, sand alumina, electrolysis, adsorption, high-structure alumina

For citation: Vlasov A.A., Sizyakov V.M., Bazhin V.Yu. Use of sandy alumina for aluminum production. Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2017, vol. 21, no. 6, pp. 111–118. (In Russian) DOI: 10.21285/1814-3520-2017-6-111-118

¹Власов Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерного бакалавриата CDIO, e-mail: wlasow87@mail.ru

Aleksandr A. Vlasov, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Bachelor Degree Programs CDIO, wlasow87@mail.ru

²Сизяков Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры металлургии, e-mail: kafmetall@mail.ru

Viktor M. Sizyakov, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Metallurgy, e-mail: kafmetall@mail.ru

³Бажин Владимир Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств, e-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

Vladimir Yu. Bazhin, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the Department of Automation of Technological Processes and Production, e-mail: bazhin-alfoil@mail.ru



Введение

Металлургическая промышленность в нашей стране является конкурентоспособной за счет обеспеченности сырьевыми и энергетическими ресурсами, наличия практического опыта реализации сложных проектов и известных научных школ подготовки кадров высшей квалификации [1].

Развитие мировой алюминиевой промышленности в настоящее время ориентировано на увеличение единичной мощности электролизеров, что позволяет вести процесс с более высокими энергетическими и экономическими параметрами [2]. При модернизации старых технологий можно достичь выхода по току более 95% за счет принятия следующих технологических решений:

- применения электролитов с низким криолитовым отношением;
- использования песчаного глинозема для сухой газоочистки;
- применения песчаного глинозема при питании ванн и систем АПГ.

В России накоплен большой практический и теоретический опыт исследований производства глинозема из высококачественного сырья – бокситов [3, 4]. Вследствие недостаточности традиционных ресурсов отечественная алюминиевая промышленность в значительной мере базируется на небокситовом сырье – нефелинах [5, 6]. При этом в условиях сохранения

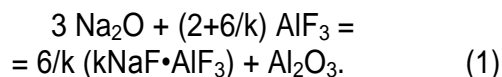
устойчивого спроса на алюминий в мире, а также снижения качества отечественного сырья актуальным становится проблема повышения эффективности технологии получения глинозема щелочным способом спекания за счет снижения, в частности, вторичных потерь глинозема при взаимодействии нефелиновых спеков с алюминио-щелочными растворами [7].

Увеличение товарного выхода глинозема, а также улучшение его качества по химическому составу ведет к повышению эффективности электролитического получения первичного алюминия и является приоритетной задачей для технологии производства глинозема.

Глинозем – основной расходуемый компонент, который растворяется в электролите и подвергается электролитическому разложению с получением алюминия и анодных газов. Кроме того, он участвует в процессе образования настыли; является тепловой изоляцией ванны, находясь на корке электролита; улавливает пары фторидов; укрывает аноды, предотвращая их окисление; является адсорбентом газообразных и твердых фторидов в сухой газоочистке. В связи с совершенствованием процесса электролиза алюминия требования к качеству глинозема за последнее время значительно возросли [8].

Влияние физико-химических свойств глинозема на технико-экономические показатели производства алюминия

Промышленные глиноземы отличаются по своим свойствам, которые в конечном итоге определяют технологические показатели электролиза. Так, примеси SiO_2 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , V_2O_5 , TiO_2 в глиноземе при электролизе влияют на выход по току и сортность выпускаемого алюминия, снижая эти показатели. Оксиды щелочных металлов (Na_2O , K_2O) в процессе электролиза приводят к изменению состава электролита:



По данным Л.А. Исаевой⁴, при увеличении содержания Na_2O с 0,307 до 0,399% расход AlF_3 увеличивается на 2,6 кг/т Al.

⁴Исаева Л.А., Поляков В.П. Глинозем в производстве алюминия электролизом: учеб. пособие. Кrasnoturinsk: Издательский дом ОАО «БАЗ», 2000. 199 с. / Isaeva L.A., Polyakov V.P. Alumina in electrolytic production of aluminum: Krasnoturinsk, Izdatelskij dom ОАО «BAZ» Publ., 2000, 199 p.



Гранулометрический состав – один из главных показателей качества глинозема. Размеры зерен изменяются в основном от 20 до 150 мкм. Высокое содержание фракции –45 мкм приводит к повышенному пылению, образованию осадков; создает проблемы при работе пробойников на ваннах с точечным питанием; к более длительному образованию корки с большой теплопроводностью, что увеличивает теплотери; глинозем на корке хуже поглощает летучие фториды. Высокое содержание фракции +150 мкм приводит к увеличению истирания и времени растворения глинозема.

Наиболее устойчивая форма кристаллов глинозема – α - Al_2O_3 , содержание которой обычно составляет от 2 до 35%. Скорость растворения α -оксида алюминия самая медленная по сравнению с другими формами глинозема, поэтому высокое содержание α - Al_2O_3 приводит к образованию осадков на подине электролизеров. Кроме того, электролитная корка образуется медленнее, увеличивается ее плотность и теплопроводность, что приводит к увеличению потерь тепла и фтористых соединений.

Величина удельной поверхности определяет способность глинозема адсорбировать фториды и улавливать возгоны из электролизера, поэтому этот параметр играет важную роль при использовании глинозема в системах «сухих» газоочисток и в качестве укрытия на электролитной корке.

Оптимальные значения по мировым требованиям находятся в диапазоне 60–90 м²/г. Более низкая удельная поверхность ухудшает адсорбционную способность глинозема, более высокая нежелательна из-за повышения гигроскопичности глинозема [9].

Высокоразвитая поверхностная структура глинозема песчаного типа позволяет максимально адсорбировать частички фторида алюминия и пыли между ветвями, и они в меньшей степени подвержены истиранию, чем мучнистый глинозем (рис. 1).

По мировым требованиям оптимальное содержание потерь при прокаливании (ППП) в глиноземе определяется в диапазоне 0,6–0,9%. Глинозем с низким содержанием ППП имеет низкую удельную поверхность и низкую адсорбционную способность. Более высокие значения ППП приводят к увеличению пыления глинозема при загрузке в ванну и к увеличению потерь фтора по реакции гидролиза:



По величине угла естественного откоса можно косвенно оценить текучесть глинозема. Оптимальное значение угла откоса колеблется в диапазоне от 29 до 35 градусов. Глинозем с меньшим углом откоса будет плохо укрывать анод от окисления воздухом, глинозем с большим углом естественного откоса будет плохо вытекать из силосов и бункеров АПГ в электролизеры.

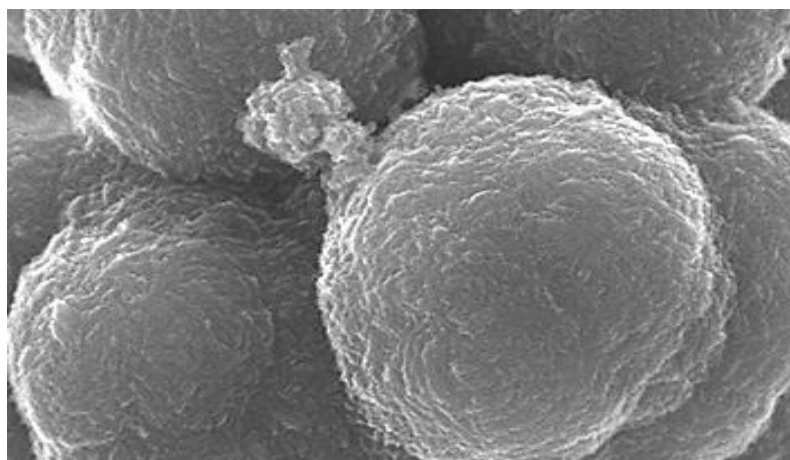


Рис. 1. Адсорбция частиц AlF_3 в глиноземе песчаного типа ВС (высокоструктурированный)

Fig. 1. Adsorption of AlF_3 particles in sandy alumina of HS type (high structure)



Текущность и пыление глинозема относятся к важным его характеристикам, так как от них зависят потери сырья и эффективность транспортировки и загрузки глинозема в электролизную ванну. Теоретический расход глинозема на производство одной тонны алюминия по реакции



составляет 1888,9 кг/ т Al. На практике расход составляет 1907–1940 кг/ т Al – на заводах, использующих технологию ОА и ВТ (табл. 1).

Потери глинозема за счет пыления и механических потерь при транспортировании могут достигать до 1% и более от общего расхода (до 50 кг/т Al). В [10] доказано, что пыление глинозема уменьшается со снижением доли фракции –45 мкм и ростом среднего диаметра частиц.

Результаты физико-химических свойств глинозема различных марок, используемых в России и за рубежом на электролизерах ОА с силой тока выше 300 кА, приведены в сравнении с глиноземом песчаного типа с высокоразвитой структурой (ВС) в табл. 2.

В структуре поставок глинозема на заводы РУСАЛ за 2008 год на мучнистый глинозем приходится приблизительно 70%. Поставки песчаного глинозема составили около 30% [11].

На рис. 2 и 3 представлены структуры глиноземов различных поставщиков.

Выявленные на заводах КрАЗ и Речинеу оптимальные свойства глиноземов соответствуют песчаному типу (табл. 3).

Анализ поведения глиноземов марки Г-00К и рядового глинозема УАЗа [12], отличающихся в основном только содержанием α-фракции (6% против 16%), не показали какого-либо существенного отличия технико-экономических показателей ванн, работающих на разных типах глинозема. Напротив, исследования, проведенные [13] по сравнению поведения глиноземов марок Г-00 и Г-00К (содержание α-модификации примерно одинаково: 15,74% против 14,47%), показали, что использование глинозема марки Г-00К позволяет снизить потери через азрационный фонарь корпуса на 13 кг/т Al. Также отмечается снижение образования осадка и продолжительности анодных эффектов, что может свидетельствовать о более высокой скорости растворения глинозема марки Г-00К. Основное отличие глинозема Г-00К от Г-00 – меньшее содержание мелкой фракции.

Применение глинозема песчаного типа с содержанием фракции менее 45 мкм не более 25%, α-Al₂O₃ не более 10% и углом естественного откоса 26–32° позволит уменьшить потери за счет пыления, повысить растворимость глинозема в электролите, обеспечить надежность работы систем автоматической подачи глинозема и улучшить энергетические и экологические показатели электролиза.

Таблица 1

Расход глинозема на заводах ОК РУСАЛ

Table 1

Alumina consumption at UC RUSAL plants

Предприятие (тип электролизера) / Enterprise (electrolyzer type)	КрАЗ (ОА-160) / KrAZ (BA-160)	ИркАЗ (ОА-160) / IrkAZ (BA-160)	УАЗ (ОА-300М1) / UAZ (BA-300М1)	ХАЗ (РА-300) / HAZ (RA-300)	БоАЗ (РА-300М) / BoAZ (RA-300М)
Расход глинозема, кг/т Al / Alumina consumption, kg /t Al	1925–1940	1921–1935	1915–1921	1921	1918



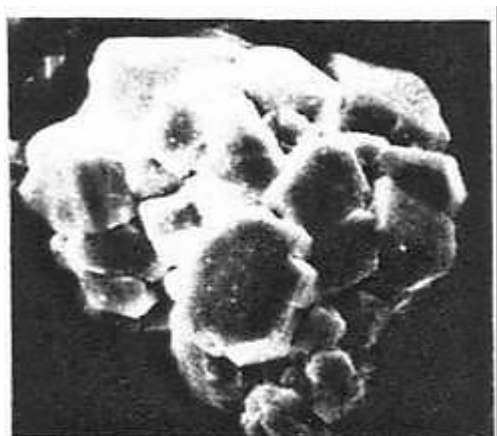
Таблица 2

Физико-химические свойства глинозема используемого
для мощных электролизеров ОА (свыше 300 кА)

Table 2

Physico-chemical properties of alumina used for high-power BA cells (over 300 kA)

Свойства / Properties	Pechiney	Queensland (XA3) / (HAZ)	Мучнистый (ИркАЗ) / Powdery (IrkAZ)	Песчаный ВС / Sandy HS
Содержание α -Al ₂ O ₃ , % / Content of α -Al ₂ O ₃ , %	≤ 7	4,9	14,4	3,9
Фракции –45 мкм, % / Fractions –45 μ m, %	≤ 15	12,0	30,5	12,0
Фракции +150 мкм, % / Fractions +150 μ m, %	5,0	3,5	2,0	1,5
Удельная поверхность, м ² /г / Specific surface, m ² /g	80,5	80,5	91,1	95,7
Угол откоса, ° / Angle of slope, °	28,0	32,0	33,5	31,0
ППП, % / LOI, %	0,90	0,85	1,10	0,94
Содержание SiO ₂ , мас. % / SiO ₂ content, wt. %	0,012	0,015	0,011	0,010
Содержание Fe ₂ O ₃ , мас. % / Fe ₂ O ₃ content, wt. %	0,018	0,012	0,019	0,012
Содержание Na ₂ O, мас. % / Na ₂ O content, wt. %	0,33	0,011	0,032	0,028



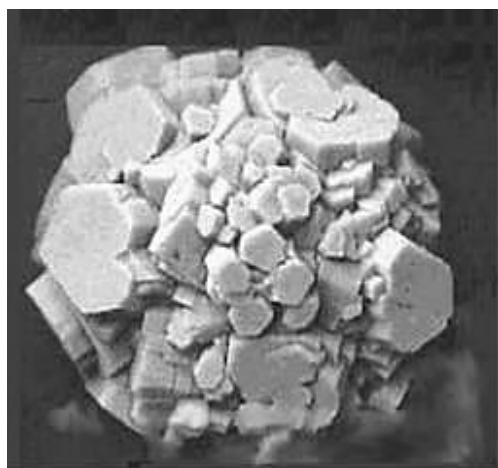
a



b

Рис. 2. Глинозем «песчаного» типа: а – глинозем фирмы Pechiney (50 мкм); б – глинозем фирмы Queensland (70 мкм)

Fig. 2. Sandy alumina: a – alumina of the Pechiney company (50 μ m); b – alumina of Queensland company (70 μ m)



a



b

Рис. 3. Образцы глинозема ВС: а – частица глинозема 65 мкм; б – поверхность частицы
Fig. 3. Samples of high structure alumina: a – alumina particle of 65 microns; b – particle surface

Таблица 3

Диапазон оптимальных свойств глинозема

Table 3

Range of alumina optimum properties

Свойства / Properties	КрАЗ / KrAZ	Pechiney	Мучнистый / Powdery	Песчаный / Sandy
Содержание фракции –45 мкм, % / Fraction content –45 μm , %	3–6	≤ 15	35	10
Содержание фракции +150 мкм, % / Fraction content +150 μm , %	2–5	5,0	10	5
Потери при прокаливании, % / LOI, % Ignition losses, %	0,5–0,8	0,9	0,5–1	0,5–0,9
Угол откоса, ° / Angle of slope, °	29–32	28,0	30–40	29–35
Удельная поверхность (БЕТ), м ² /г / Specific surface area (BET), m ² /g	50–100	80,5	50–100	50–90

Заключение

Российская глиноземная промышленность ориентирована на выпуск мучнистого глинозема [11], это связано с технологическими особенностями переработки высококремнистого сырья. Однако в условиях действующих производств возможно создание технологии получения крупнозернистого глинозема ВС в результате реконструкции и модернизации процесса [14]. Актуальность такой реконструкции обусловлена возрастающими требованиями к

качеству глинозема. Сейчас очевидно, что в «сухих» газоочистках также предпочтительнее использовать глинозем песчаного типа.

Питание электролизеров глиноземом и скорость его растворения остаются важными аспектами в технологической политике. Если для питания мощных алюминиевых электролизеров будет использоваться глинозем песчаного типа с высокоразвитой поверхностной структурой, то



прогнозируемый выход по току может составить > 95,5%. Исходя из этого, можно сделать вывод, что особый интерес вызы-

вает исследование поведения в условиях сверхмощного электролиза глинозема марки ВС.

Библиографический список

1. Сизяков В.М., Власов А.А., Бажин В.Ю. Стратегические задачи металлургического комплекса России // Цветные металлы. 2016. № 1. С. 32–38.
2. Barry J. Aluminum Production Paths in the New Millennium // JOM, 1999. № 5. P. 24–28.
3. Лайнер А.И., Еремин Н.И., Лайнер Ю.А. Производство глинозема. М.: Metallurgy, 1978. 112 с.
4. Wang Xing Li. Alumina production theory & technology. Changsha: Central South University. 2010. 411 p.
5. Лапо В.Ф., Кравченко М.В. Оценка эффективности комплексной переработки сырья (на примере переработки нефелиновой руды с добавкой бокситов) // Цветные металлы. 2013. № 2 (842). С. 52–57.
6. Сизяков В.М., Корнеев В.В., Андреев В.И. Повышение качества глинозема и попутной продукции при переработке нефелинов. М.: Metallurgy, 1986. 115 с.
7. Александров А.В., Немчинова Н.В. Роль полиморфных модификаций двухкальциевого силиката нефелиновых спеков при производстве глинозема // Вестник ИрГТУ. 2016. Т. 20. № 11. С. 170–183. DOI: 10.21285/1814-3520-2016-11-170-183
8. Шморгуленко Н.С. Сравнительная характеристика зарубежных и отечественных глиноземов // Сборник научных трудов ВАМИ, 1978. С. 70–78.
9. Арлюк Т.А. Исследование факторов, влияющих на крупность глинозема // Сборник научных трудов ВАМИ, 1984. С. 49–56.
10. Исаева Л.А. Пыление и текучесть глинозема с различными физико-химическими свойствами // Известия вузов. Цветная металлургия, 2008. № 6. С. 20–26.
11. Бузунов В.Ю. Качество и структура поставок глинозема на алюминиевые заводы РУСАЛ // Цветные металлы Сибири – 2009: сборник докладов Первого Международного конгресса (Красноярск, 8–10 сентября 2009). Красноярск, 2009. С. 248–254.
12. Богданов Ю.В. Промышленные испытания электролизеров с обожженными анодами при повышении силы тока с 300 кА до 330 кА // Цветные металлы, 2009. № 2. С. 47–50.
13. Евсеев Н.В., Ершов В.А., Сираев Н.С. Определение эффективности работы алюминиевых электролизеров при использовании укрупненного глинозема марки Г-00К // Цветные металлы, 2006. № 12. С. 51–54.
14. Сизяков В.М. Проблемы развития производства глинозема в России // Цветные металлы Сибири – 2009: сборник докладов Первого Международного конгресса (Красноярск, 8–10 сентября 2009). Красноярск, 2009. С. 120–135.

References

1. Sizyakov V.M., Vlasov A.A., Bazhin V.Yu. *Strategicheskie zadachi metallurgicheskogo kompleksa Rossii* [Strategic tasks of Russian metallurgical complex]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2016, no. 1, pp. 32–38. (In Russian)
2. Barry J. Aluminum Production Paths in the New Millennium. *JOM*, 1999, no. 5, pp. 24–28.
3. Lainer A.I., Eremin N.I., Lainer Yu.A. *Proizvodstvo glinozema* [Alumina production]. Moscow, Metallurgy Publ., 1978, 112 p. (In Russian)
4. Wang Xing Li. Alumina production theory & technology. Changsha: Central South University, 2010, 411 p.
5. Lapo V.F., Kravchenko M.V. *Otsenka effektivnosti kompleksnoi pererabotki syr'ya (na primere pererabotki nefelinovoi rudy s dobavkoi boksitov)* [Efficiency estimation of complex processing of raw materials (on the example of processing nepheline ore with the addition of bauxites)]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2013, no. 2 (842), pp. 52–57. (In Russian).
6. Sizyakov VM, Korneev VV, Andreev V.I. *Povyshenie kachestva glinozema i poputnoi produktsii pri pererabotke nefelinov* [Improving the quality of alumina and by-products under nephelines processing]. Moscow, Metallurgy Publ., 1986, 115 p. (In Russian)
7. Alexandrov A.V., Nemchinova N.V. *Rol' polimorfnykh modifikatsiy dvukhkal'cievogo silikata nefelinovykh spekov pri proizvodstve glinozema* [The role of sintered nepheline dicalcium silicate polymorphs in alumina production]. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University]. 2016, vol. 20, no. 11, pp. 170–183. (In Russian) DOI: 10.21285 / 1814-3520-2016-11-170-183
8. Shmorgulenko N.S. *Sravnitel'naya kharakteristika zarubezhnykh i otechestvennykh glinozemov* [Comparative characteristics of foreign and domestic alumina]. *Sbornik nauchnykh trudov VAMI* [Collection of VAMI scientific papers]. 1978. pp. 70–78. (In Russian)
9. Arljuk T.A. *Issledovanie faktorov, vliyayushchikh na krupnost' glinozema* [Study of factors affecting alumina particle size]. *Sbornik nauchnykh trudov VAMI* [Collection of VAMI scientific papers]. 1984, pp. 49–56. (In Russian)
10. Isaeva L.A. *Pylenie i tekuchest' glinozema s razlichnymi fiziko-khimicheskimi svoystvami* [Dusting and fluidity of alumina with different physicochemical properties]. *Izvestiya VUZov. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Higher Schools. Non-ferrous Metallurgy]. 2008, no. 6, pp. 20–26. (In Russian)



11. Buzunov V.Ju. *Kachestvo i struktura postavok glinozema na alyuminievye zavody RUSAL* [The quality and structure of alumina supply to RUSAL aluminium plants]. *Sbornik докладов Pervogo mezhdunarodnogo kongressa «Cvetnye metally Sibiri – 2009»* [Proceedings of the I International Congress “Non-Ferrous Metals of Siberia”]. Krasnojarsk, 2009, pp. 248–254. (In Russian)

12. Bogdanov Ju.V. *Promyshlennye ispytaniya elektrolizerov s obozhzhennymi anodami pri povyshenii sily toka s 300 kA do 330 kA* [Industrial testings of pilot electrolyzers with roasted anodes during current increase from 300 to 330 kA]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2009, no. 2, pp. 47–50. (In Russian)

Критерии авторства

Власов А.А., Сизяков В.М., Бажин В.Ю. изучили проблемы использования различных типов глиноземов для мощных алюминиевых электролизеров, рассмотрели физико-химические свойства мучнистого, песчаного и высокоструктурированного глинозема, их влияние на технологические и экономические параметры электролиза алюминия. Власов А.А. несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 26.05.2017 г.

13. Evseev N.V., Ershov V.A., Siraev N.S. *Opreделение effektivnosti raboty alyuminievyykh elektrolizerov pri ispol'zovanii ukрупnennogo glinozema marki G-00K* [Determination of aluminium cell efficiency when using the aggregated alumina of G-00K brand]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 2006, no. 12, pp. 51–54. (In Russian)

14. Sizjakov V.M. *Problemy razvitiya proizvodstva glinozema v Rossii* [Problems of alumina production development in Russia]. *Sbornik докладов Pervogo mezhdunarodnogo kongressa «Cvetnye metally Sibiri – 2009»* [Proceedings of the I International Congress “Non-Ferrous Metals of Siberia”]. Krasnojarsk, 2009, pp. 120–135. (In Russian)

Authorship criteria

Vlasov A.A., Sizyakov V.M., Bazhin V.Yu. have studied the problems of using different types of alumina for powerful aluminum electrolytic pots, examined physico-chemical properties of powdery, sandy and high-structure alumina, considered their influence on technological and economic parameters of aluminum electrolysis. Vlasov A.A. bears the responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

The article was received 26 May 2017