

МЕТАЛЛУРГИЯ

Научная статья

УДК 669.712

EDN: EHPZKW

DOI: 10.21285/1814-3520-2023-3-574-582



Повышение эффективности разложения алюминатного раствора за счёт приготовления и ввода активной затравки в процесс декомпозиции

К.Д. Алексеев^{1✉}, И.В. Логинова², И.Е. Четыркин³, И.С. Гостинская⁴^{1,2}Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия^{3,4}РУСАЛ ИТЦ, г. Краснотурьинск, Россия

Резюме. Цель – определение оптимальных параметров приготовления и дозировки активной затравки (мелкодисперсного гидроксида алюминия) для стабилизации процесса разложения алюминатного раствора в процессе декомпозиции в цикле Байера. Лабораторные испытания были проведены на температурно-контролируемой вращающейся водяной бане фирмы «Intronics» (Австралия). Проведение гранулометрического анализа полученного гидроксида алюминия осуществляли с помощью системы автоматического анализа изображения ВидеоТест, с использованием микроскопа Axioskop-40 фирмы «Carl Zeiss» (Германия), оснащенного программой Image Analysis. Проведены лабораторные исследования по получению мелкодисперсного гидроксида алюминия (активной затравки) при смешивании щелочно-алюминатного раствора и производственно-оборотной воды в различных соотношениях. Установлена очередность заполнения растворов – сначала производственно-оборотная вода, затем охлажденный щелочно-алюминатный раствор. Определены оптимальные условия для получения активной затравки: время выдерживания раствора 48–72 ч при температуре 50°C и соотношении алюминатного раствора и оборотной воды 60 и 40%, соответственно. Проведены лабораторные исследования по дозированию полученной активной затравки в головные декомпозеры процесса декомпозиции. Показано, что использование активной затравки в непрерывном режиме декомпозиции позволяет стабилизировать гранулометрический состав продукционного гидроксида алюминия. Установлено, что присутствие активной затравки позволяет снизить начальную температуру процесса декомпозиции с 62 до 58°C без изменения гранулометрического состава гидроксида алюминия. Помимо этого, было подтверждено положительное влияние введения активной затравки на увеличение степени разложения алюминатного раствора до 1,5%. Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что использование нового метода приготовления и дозирования активной затравки в головные декомпозеры позволяет интенсифицировать процесс декомпозиции при производстве глинозема.

Ключевые слова: алюминатный раствор, активная затравка, фракционный состав, декомпозиция, глинозем, степень разложения

Для цитирования: Алексеев К.Д., Логинова И.В., Четыркин И.Е., Гостинская И.С. Повышение эффективности разложения алюминатного раствора за счёт приготовления и ввода активной затравки в процесс декомпозиции // iPolytech Journal. 2023. Т. 27. № 3. С. 574–582. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-3-574-582>. EDN: EHPZKW.

METALLURGY

Original article

Improving decomposition efficiency of aluminate liquor through preparation and introduction of active seed during the decomposition process

Konstantin D. Alekseev^{1✉}, Irina V. Loginova², Igor E. Chetyrkin³,
Irina S. Gostinskaya⁴^{1,2}Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia^{3,4}RUSAL ETC, Krasnoturinsk, Russia

Abstract. The aim is to determine the optimal parameters for the preparation and dosing of active seeding (finely dispersed aluminium hydroxide) to control the decomposition of aluminate liquor in the Bayer process. Laboratory tests were carried out on a temperature-controlled rotating water bath (Intronics, Australia). The granulometric analysis of the obtained aluminium hydroxide was carried out using the VideoTest image analysis system and a Carl Zeiss Axioskop-40 microscope (Germany) supplemented with Image Analysis software. Finely dispersed aluminium hydroxide (active seed) was obtained by mixing an alkaline aluminate solution and recycled water in various ratios. The filling order of solutions was determined – first, recycled water, followed by cooled alkaline aluminate solution. Optimal conditions for the preparation of active seeding were established: the solution was held for 48–72 hours at 50°C at an aluminate solution to recycle water ratio of 60% and 40%, respectively. The dosing of the obtained active seeding into the head decomposers was examined. It was demonstrated that using active seeding in continuous decomposition mode stabilises the particle-size distribution of the production-grade aluminium hydroxide. The presence of active seeding allowed the initial decomposition temperature to be reduced from 62°C to 58°C without altering the particle-size distribution of aluminium hydroxide. In addition, the study confirmed the positive effect of active seeding on increasing the degree of decomposition of the aluminate liquor up to 1.5%. Therefore, based on the research results, it was established that the use of the new method for preparing and dosing active seeding into the main decomposers leads to the intensification of the decomposition process in alumina production.

Keywords: aluminate solution, active seed, fractional composition, decomposition, alumina, decomposition degree

For citation: Alekseev K.D., Loginova I.V., Chetyrkin I.E., Gostinskaya I.S. Improving decomposition efficiency of aluminate liquor through preparation and introduction of active seed during the decomposition process. *iPolytech Journal*. 2023;27(3):574-582. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-3-574-582>. EDN: ENPZKW.

ВВЕДЕНИЕ

Производство алюминия продолжает развиваться быстрыми темпами, что обосновано прежде всего его ценными свойствами, разнообразием областей применения и большой распространенностью алюминийсодержащих руд в природе. Глинозем является основным сырьевым продуктом в производстве алюминия, поэтому вместе с увеличением выпуска алюминия происходит рост производства глинозема. В условиях возрастающих цен на сырье и энергоносители, роста требований к качеству продукции возникает необходимость в постоянном совершенствовании технологического процесса [1–3]. Более 90% глинозема во всем мире получают с помощью щелочного способа Байера [4]. Осаждение гидроксида алюминия из щелочного раствора, содержащего алюминат натрия, является основной стадией процесса Байера, ограничивающего общую скорость глиноземного производства [5, 6]. Было проведено множество исследований с целью выяснения механизма декомпозиции и возможных путей увеличения скорости процесса [7–12].

Технология производства глинозема отечественных предприятий характеризуется циклическим изменением гранулометрического состава гидроксида алюминия по всем фракциям (синусоидально). Вследствие этого происходят колебания по крупности частиц товарного глинозема, что негативно влияет на последующий процесс производства алюминия [13, 14]. Исключение таких колебаний по крупности товарного глинозема при существующем уровне оборудования и технологии не представляется допустимым, так как отсут-

ствует возможность контроля количества мелкодисперсных фракций при использовании получаемых на выщелачивании высокомолекулярных растворов.

В технологической схеме производства глинозема предусмотрено несколько блоков декомпозеров. Каждый блок имеет свою амплитуду изменения фракционного состава от крупного к мелкому и обратно. В цикле роста гидроксида, продолжающемся, в зависимости от затравочного отношения, от 60 до 90 сут, выделяют две стадии: стадию укрупнения и стадию измельчения. В период укрупнения (фракции «менее 45 мкм» находится на минимуме 4,0–4,5%) снижается удельная поверхность гидрата с 730–750 до 420–456 см²/г, что, в свою очередь, приводит к снижению степени разложения алюминатного раствора и съема Al₂O₃ при декомпозиции [15, 16]. При стадии измельчения происходит обратное явление, при этом образуется мелкодисперсный гидроксид алюминия с высоким содержанием фракции «менее 45 мкм» до 20–45%, который плохо классифицируется в гидросепараторах и ухудшает работу фильтрации – появляются «пустые» зоны, снижается производительность [17].

В цехе декомпозиции частицы затравки играют роль центров кристаллизации для гидроксида алюминия, выделяющегося при разложении алюминатного раствора [18, 19]. Следовательно, увеличение количества затравки способствует ускорению процесса декомпозиции. Однако необходимо учитывать, что затравка действует не столько своей массой, сколько поверхностью, а именно – чем больше и активнее поверхность, тем при

прочих равных условиях выше скорость разложения алюминатного раствора [20].

Таким образом, для увеличения степени разложения алюминатного раствора и съема Al_2O_3 при декомпозиции нужно иметь достаточное количество поверхности затравки, особенно в периоды укрупнения гидрата.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка методики приготовления мелкодисперсного гидроксида алюминия (активной затравки) и его дозировки в процесс декомпозиции для стабилизации процесса разложения алюминатного раствора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика исследования получения активной затравки. В лабораторных условиях с целью определения оптимальных параметров приготовления активной затравки проведены исследования процесса разложения алюминатных растворов в периодическом режиме. Активную затравку готовили путем разложения гидрохимического алюминатного растворов участка выщелачивания без использования дополнительной затравки гидроксида алюминия.

Лабораторные испытания проводили на водяной бане фирмы «Intronics» (Австралия). Емкости заполняли раствором по схеме, представленной в табл. 1.

Условия приготовления активной затравки:

1. Объем пульпы составил 100 мл.
2. Время приготовления (№ опыта):
 - 1, 5, 9, 13 – 24 ч;
 - 2, 6, 10, 14 – 48 ч;
 - 3, 7, 11, 15 – 72 ч;
 - 4, 8, 12, 16 – 96 ч.
3. Температура – 50°C.

Таблица 1. Исходные данные для приготовления активной затравки

Table 1. Initial data for active seed preparation

№ опыта	Соотношение растворов, %	
	алюминатный гидрохимический раствор	вода обратная
1, 2, 3, 4	100	–
5, 6, 7, 8	80	20
9, 10, 11, 12	60	40
13, 14, 15, 16	50	50

По окончании опыта в гидратной пульпе анализировали следующие показатели:

- содержание твердой фазы, г/см³;
- каустический модуль, ед.;
- гранулометрический состав с помощью программы ВидеоТест (разработчик ООО «АргусСофт» Россия, г. Санкт-Петербург).

Принцип действия программы ВидеоТест заключается в получении изображения исследуемого объекта с помощью телевизионной камеры высокого разрешения и оптического микроскопа для дальнейшей компьютерной обработки.

Результаты химического анализа на содержание твердой фазы, каустического модуля (аку) и концентрации исследуемых компонентов в полученных растворах представлены в табл. 2–5.

Таблица 2. Результаты определения характеристик и состава полученных растворов при соотношении 100–0%
Table 2. Results of determining the characteristics and composition of the obtained solutions at a ratio of 100–0%

Алюминатный раствор 100% – обратная вода 0%							
№ опыта	время, ч	$\Gamma_{\text{ТВ}}/\text{дм}^3$	$Na_2O_{\text{общ}}$	$Na_2O_{\text{ку}}$	$Na_2O_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$
	исходный раствор	–	187,6	161,6	26,0	148,4	1,79
1	24	1,4	182,2	157,1	25,1	144,8	1,78
2	48	6,4	186,8	160,7	26,1	143,8	1,84
3	72	15,7	185,3	159,4	25,9	134,1	1,96
4	96	29,6	186,8	161,4	25,4	128,5	2,07

Таблица 3. Результаты определения характеристик и состава полученных растворов при соотношении 80–20%

Table 3. Results of determining the characteristics and composition of the obtained solutions at a ratio of 80–20%

Алюминатный раствор 100% – обратная вода 0%							
№ опыта	время, ч	$\Gamma_{\text{ТВ}}/\text{дм}^3$	$Na_2O_{\text{общ}}$	$Na_2O_{\text{ку}}$	$Na_2O_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$
	исходный раствор	–	154,3	132,5	21,8	121,9	1,79
5	24	1,7	145,0	125,2	19,8	113,2	1,82
6	48	18,7	149,6	129,1	20,5	101,5	2,09
7	72	45,8	154,3	132,7	21,6	82,1	2,66
8	96	64,0	156,6	134,8	21,8	72,9	3,04

Таблица 4. Результаты определения характеристик и состава полученных растворов при соотношении 60–40%

Table 4. Results of determining the characteristics and composition of the obtained solutions at a ratio of 60–40%

Алюминатный раствор 100% – оборотная вода 0%							
№ опыта	время, ч	$\Gamma_{\text{ТВ}}/\text{дм}^3$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{общ}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{ку}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$
	исходный раствор	–	115,5	99,0	16,5	90,8	1,79
9	24	6,0	116,3	100,1	16,2	87,7	1,88
10	48	62,1	118,6	101,7	16,9	51,5	3,25
11	72	72,7	118,6	101,5	17,1	42,3	3,95
12	96	79,5	120,2	103,2	17,0	39,8	4,27

Таблица 5. Результаты определения характеристик и состава полученных растворов при соотношении 50–50%

Table 5. Results of determining the characteristics and composition of the obtained solutions at a ratio of 50–50%

Алюминатный раствор 100% – оборотная вода 0%							
№ опыта	время, ч	$\Gamma_{\text{ТВ}}/\text{дм}^3$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{общ}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{ку}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$
	исходный раствор	–	97,7	83,2	14,5	76,5	1,79
13	24	0,6	96,9	83,1	13,8	76,0	1,80
14	48	14,9	97,7	83,8	13,9	65,8	2,10
15	72	42,4	97,7	83,3	14,4	42,8	3,20
16	96	56,0	99,2	85,2	14,0	36,7	3,82

Гранулометрический состав полученного гидроксида алюминия из растворов с различным соотношением алюминатного раствора и оборотной воды определен с помощью программы ВидеоТест и представлен в табл. 6.

Таблица 6. Гранулометрический состав полученного гидроксида алюминия
Table 6. Particle size distribution of the resulting aluminum hydroxide

Время, ч	80% – 20%			60% – 40%			50% – 50%		
	количество, %								
	менее 0,5 мкм	менее 0,5 мкм	более 45 мкм	менее 0,5 мкм	менее 7,5 мкм	более 45 мкм	менее 0,5 мкм	менее 0,5 мкм	более
24	5,3	10,84	9,9	11,4	13,62	9,9	–	–	–
48	8,1	11,26	3,3	14,5	11,39	12,3	12,8	12,98	6,2
72	9,8	10,25	11,8	14,7	11,67	11,3	13,0	13,27	9,0
96	8,8	11,23	16,3	6,6	11,16	27,8	8,7	22,39	10,5

Анализируя данные по содержанию твердой фазы, концентрации компонентов в растворе и гранулометрическому составу полученного гидроксида алюминия можно сделать вывод, что самые оптимальные условия приготовления активной затравки – это раствор с соотношением «алюминатный раствор 60% – оборотная вода 40%», время приготовления – 48–72 ч.

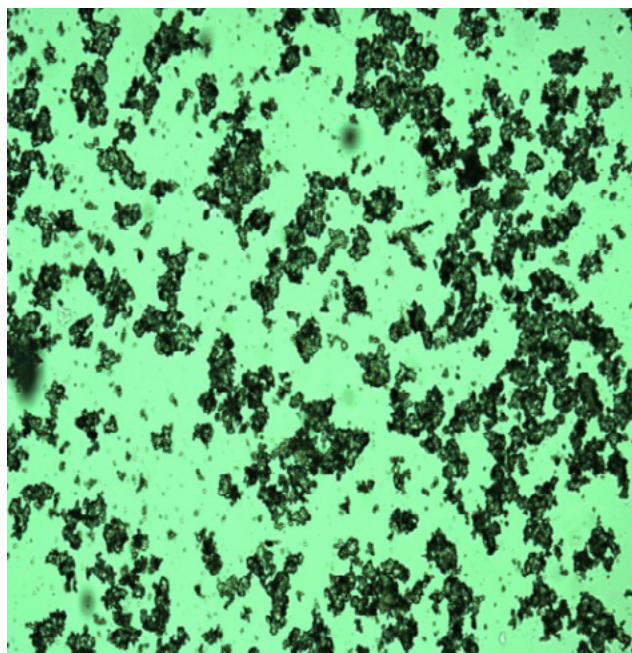
Увеличение времени приготовления активной затравки более 72 ч приводит к укрупнению частиц гидроксида алюминия, что подтверждается данными анализа гранулометрического состава, приведенного в табл. 6.

Во всех растворах при времени приготовления 96 ч относительно 72 ч наблюдается снижение количества фракций частиц «менее 0,5 мкм» (с 9,8–14,7–13,0% до 8,8–6,6–8,7%) и увеличение количества крупных фракций «более 45 мкм» (с 11,8–11,3–9,0% до 16,3–27,8–10,5%).

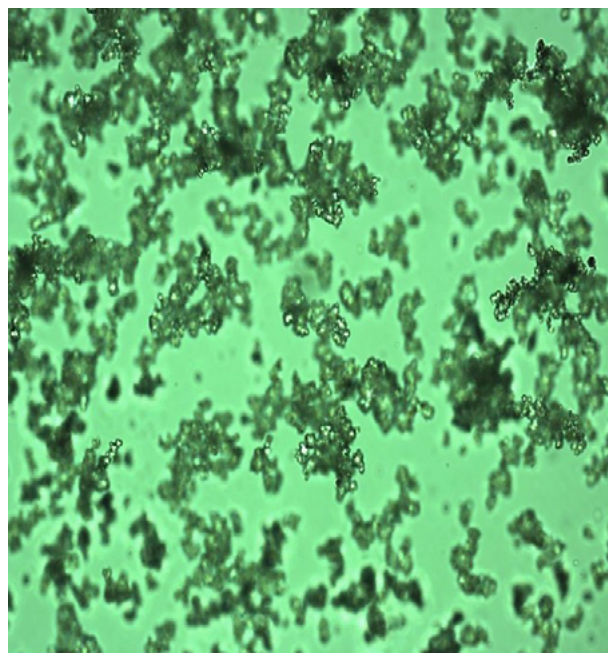
На рисунке (а, б) представлены фотографии полученной активной затравки из раствора с соотношением «алюминатный раствор 60% – оборотная вода 40%» при времени приготовления 72 и 96 ч.

Полученная активная затравка из раствора с соотношением «алюминатный раствор 60% – оборотная вода 40%» и временем приготовления 48–72 ч имеет следующие показатели:

- содержание твердой фазы на уровне 62,1–72,7 г/см³;
- каустический модуль раствора 3,25–3,95 ед.;
- содержание фракции «менее 0,5 мкм» 14,5–14,7%;
- количество фракции «менее 7,5 мкм» 11,39–11,67%.



a



b

Время приготовления: а – 72 ч; б – 96 ч
Preparation time: a – 72 hours; b – 96 hours

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДОЗИРОВКИ АКТИВНОЙ ЗАТРАВКИ В ПРОЦЕСС ДЕКОМПОЗИЦИИ

В лабораторных условиях с целью определения оптимальных параметров дозировки активной затравки в процесс декомпозиции проведены исследования процесса разложения алюминатных растворов в периодическом режиме. Активную затравку, полученную в лабораторных условиях, смешивали с пульпой, отобранной с головных декомпозеров участка декомпозиции в разном соотношении с изменением температурного профиля процесса разложения (табл. 7).

Лабораторные испытания проводили на водяной бане фирмы «Intronics».

Таблица 7. Исходные данные для дозировки активной затравки

Table 7. Initial data for active seed feeding

№ опыта	Температурный профиль 62–53°С (1 этап)		Температурный профиль 58–53°С (2 этап)	
	соотношение, %			
	пульпа де- композиера	активная затравка	пульпа деком- позиера	активная затравка
1	100	0	100	0
2	97	3	97	3
3	95	5	95	5
4	93	7	93	7
5	90	10	90	10

Условия дозирования активной затравки в процесс декомпозиции:

- объем раствора – 100 мл;
- время декомпозиции – 37 ч;
- температурный профиль – 62–53°C;
- температурный профиль – 58–53°C.

По окончании опыта в полученной пульпе анализировали следующие показатели:

- содержание твердой фазы, г/см³;
- каустический модуль, ед.;
- гранулометрический состав гидроксида алюминия с помощью программы ВидеоТест.

Результаты исследования состава полученных растворов в первом этапе представлены в табл. 8 и 9, во втором этапе – в табл. 10 и 11.

Этап 1. Исходные данные.

Таблица 8. Результаты определения характеристик и состава исходных растворов в первом этапе

Table 8. Results of determining the characteristics and composition of feed solutions in the first stage

№ опыта	Соотношение, %	$\Gamma_{\text{тв}} / \text{дм}^3$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{общ}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{ку}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$
–	активная затравка	62,1	118,6	101,7	16,9	51,5	3,25
–	пульпа декомпозера	747	178,3	148,5	29,8	122,4	2,00
1	100 – 0	747	178,3	148,5	29,8	122,4	2,00
2	97 – 3	728	177,5	148,3	29,2	119,8	2,04
3	95 – 5	715	175,2	145,8	29,4	117,3	2,04
4	93 – 7	703	174,4	145,6	28,8	115,3	2,08
5	90 – 10	684	170,5	141,9	28,6	112,2	2,08

Этап 1. Параметры декомпозиции (время разложения – 37 ч).

Таблица 9. Результаты определения характеристик и состава полученных растворов в первом этапе

Table 9. Results of determining the characteristics and composition of the obtained solutions in the first stage

№ опыта	Соотношение, %	$\gamma_{\text{ТВ}}/\text{дм}^3$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{общ}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{ку}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$	Степень разложения, %
1	100 – 0	838	183,7	156,6	27,1	90,2	2,86	30,1
2	97 – 3	831	181,4	153,8	27,6	85,7	2,95	31,0
3	95 – 5	899	180,6	152,7	27,9	85,2	2,95	30,6
4	93 – 7	784	177,5	150,0	27,5	82,6	2,99	30,5
5	90 – 10	920	177,5	150,4	27,1	82,1	3,01	31,0

Этап 2. Исходные данные.

Таблица 10. Результаты определения характеристик и состава исходных растворов во втором этапе

Table 10. Results of determining the characteristics and composition of the feed solutions in the second stage

№ опыта	Соотношение, %	$\gamma_{\text{ТВ}}/\text{дм}^3$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{общ}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{ку}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$
–	активная затравка	62,1	118,6	101,7	16,9	51,5	3,25
–	пульпа декомпозера	944	183,7	156,7	27,0	125,0	2,06
1	100 – 0	944	183,7	156,7	27,0	125,0	2,06
2	97 – 3	918	179,1	150,7	28,4	121,9	2,03
3	95 – 5	900	176,7	148,7	28,0	120,9	2,02
4	93 – 7	883	175,2	147,9	27,3	119,9	2,03
5	90 – 10	856	174,4	147,7	26,7	116,8	2,08

Этап 2. Параметры декомпозиции (время разложения – 37 ч).

Таблица 11. Результаты определения характеристик и состава полученных растворов во втором этапе

Table 11. Results of determining the characteristics and composition of the obtained solutions in the second stage

№ опыта	Соотношение, %	$\gamma_{\text{ТВ}}/\text{дм}^3$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{общ}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{ку}}$	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{кб}}$	Al_2O_3	$\alpha_{\text{ку}}$	Степень разложения, %
1	100 – 0	865	185,3	158,4	26,9	88,2	2,95	30,2
2	97 – 3	825	183,7	155,6	28,1	85,7	2,99	31,9
3	95 – 5	737	182,2	154,1	28,1	86,2	2,94	31,2
4	93 – 7	757	179,8	151,8	28,0	84,7	2,95	31,2
5	90 – 10	918	176,0	148,6	27,4	80,1	3,05	31,8

Гранулометрический состав гидроксида алюминия, определенный с помощью программы ВидеоТест, представлен в табл. 12.

Таблица 12. Гранулометрический состав полученного гидроксида алюминия
Table 12. Particle size distribution of the resulting aluminum hydroxide

Этап	№ опыта	Количественное распределение частиц, %				Весовое распределение частиц, %				
		-0,5 мкм	-1,5 мкм	-3,5 мкм	-7,5 мкм	-0,5 мкм	-1,5 мкм	-3,5 мкм	-7,5 мкм	-45 мкм
1	1	22,89	27,99	29,09	9,24	0,0352	0,0886	0,1900	0,1434	19,58
	2	23,10	22,08	36,39	8,18	0,0322	0,0704	0,2345	0,1195	18,07
	3	19,09	26,55	31,38	10,53	0,0266	0,0782	0,1984	0,1535	17,82
	4	20,12	23,76	33,18	8,35	0,0314	0,0768	0,2256	0,1229	15,74
	5	25,58	27,45	27,76	8,11	0,0402	0,0888	0,1989	0,1287	18,41
2	1	22,18	27,16	28,90	8,47	0,0367	0,0928	0,1998	0,1273	14,82
	2	22,26	21,73	34,07	12,88	0,0282	0,0614	0,2040	0,1631	11,96
	3	20,73	23,90	30,23	10,94	0,0298	0,0718	0,1920	0,1631	11,90
	4	23,54	29,29	30,72	10,05	0,0313	0,0876	0,1948	0,1430	9,51
	5	18,48	26,17	30,97	9,84	0,0261	0,0814	0,1998	0,1494	16,27

Анализируя данные по содержанию твердой фазы, концентрации компонентов в растворе и гранулометрическому составу полученного гидроксида алюминия, можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение дозировки активной затравки с 0% до 10% способствует увеличению степени разложения алюминатного раствора на 0,9% (с 30,1 до 31,0%) (см. табл. 9) и на 1,6% (с 30,2 до 31,8%) (см. табл. 11).

2. Снижение начальной температуры декомпозиции с 62 до 58°C при различной дозировке активной затравки позволяет увеличить степень разложения на 0,6–0,9% (см. табл. 9, 11).

3. В обоих этапах (температурный профиль 62–53°C и 58–53°C) при увеличении дозировки активной затравки с 0% до 10% отмечены

незначительные изменения содержания всех фракций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований были определены оптимальные условия получения активной затравки – раствор с соотношением «алюминатный раствор 60% – обратная вода 40%», время приготовления 48–72 ч. Также было подтверждено положительное влияние дозировки активной затравки на увеличение степени разложения алюминатного раствора. Присутствие активной затравки позволяет снизить начальную температуру процесса декомпозиции с 62 до 58°C без изменения фракционного состава гидроксида алюминия.

Список источников

- Александров А.В., Немчинова Н.В. Расчет ожидаемой экономической эффективности производства алюминия за счет увеличения применения глинозема отечественного производства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 2. С. 408–450. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-2-408-420>.
- Немчинова Н.В., Тютрин А.А., Бараускас А.Э. Анализ химического состава техногенных материалов производства первичного алюминия для поиска рациональных методов их переработки // Цветные металлы. 2019. № 12. С. 22–29. <https://doi.org/10.17580/tsm.2019.12.03>.
- Торопов Е.В., Макаров Д.П. Комплексное управление энерго- и ресурсосбережением металлургического производства: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. (г. Екатеринбург, январь 2003 г.). Екатеринбург, 2003. С. 258–261.
- Логонова И.В., Лоскутова А.И. Способ комплексной переработки высококремнистых бокситов // Инновации в материаловедении и металлургии: матер. III Междунар. интерактивной науч.-практ. конф. (г. Екатеринбург, 17–21 декабря 2013 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2013. С. 59–61.
- Aghazadeh V., Shayanfar S. Decomposition of aluminate solution for aluminum hydroxide precipitation by carbonation: a thermodynamic and experimental studies // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2021. P. 149–160.
- Stephenson J.L., Kapraun C. Dynamic modeling of yield and particle size distribution in continuous Bayer precipitation // Essential Readings in Light Metals / eds. D. Donaldson, B.E. Raahauge. Cham: Springer, 2016. P. 891–897. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48176-0_123.
- Shoppert A., Valeev D., Alekseev K., Loginova I. Enhanced precipitation of gibbsite from sodium aluminate solution by adding agglomerated active $\text{Al}(\text{OH})_3$ seed // Metals. 2023. Vol. 13. Iss. 2. P. 193. <https://doi.org/10.3390/met13020193>.
- Liu Guihua, Wu Guoyu, Chen Wei, Li Xiao-bin, Peng Zhihong, Zhou Qiusheng, et al. Increasing precipitation rate from sodium aluminate solution by adding active seed and ammonia // Hydrometallurgy. 2018. Vol. 176. P. 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.02.003>.

9. Gai Wei-Zhuo, Zhang Shi-Hu, Yang Yang, Sun Kexi, Jia Hong, Deng Zhen-Yan. Defluoridation performance comparison of aluminum hydroxides with different crystalline phases // *Water Science and Technology Water Supply*. 2022. Vol. 22. Iss. 4. P. 3673–3684. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.012>.
10. Gai Wei-Zhuo, Zhang Xianghui, Yang Yang, Deng Zhen-Yan. Effect of crystalline phases of aluminum hydroxide catalysts on Al-water reaction // *International Journal of Energy Research*. 2020. Vol. 44. Iss. 6. 4969–4976. <https://doi.org/10.1002/er.5238>.
11. Zhang Baiyong, Pan Xiaolin, Yu Haiyan, Tu Ganfeng, Bi Shiwen. Effect of organic impurity on seed precipitation in sodium aluminate solution // *Light Metals. The Minerals, Metals & Materials Series* / eds. O. Martin. Cham: Springer, 2018. P. 41–47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72284-9_7.
12. Dash B., Tripathy B.C., Bhattacharya I.N., Das S.C., Mishra C.R., Mishra B.K. Precipitation of boehmite in sodium aluminate liquor // *Hydrometallurgy*. 2009. Vol. 95. Iss. 3-4. P. 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2008.07.002>.
13. Лайнер А.И. Производство глинозема. М.: Metallurgizdat, 1961. 619 с.
14. Pan Zhaoshuai, Zhang Zhaozhi, Che Dong. Exploring primary aluminum consumption: new perspectives from hybrid CEEMDAN-S-Curve model // *Sustainability*. 2023. Vol. 15. Iss. 5. P. 4228. <https://doi.org/10.3390/su15054228>.
15. Dubovikov O.A., Brichkin B.N., Ris A.D., Sundurov A.V. Thermochemical activation of hydrated aluminosilicates and its importance for alumina // *Non-ferrous metals*. 2018. No. 2. P. 11–16. <https://doi.org/10.17580/nfm.2018.02.02>.
16. Сибирзянов Н.А., Яценко С.П. Гидрохимические способы комплексной переработки боксита. Екатеринбург: Уро РАН, 2006. 386 с.
17. Мазель В.А. Производство глинозема. М.: Metallurgizdat, 1955. 430 с.
18. Андреев П.И., Шавло Р.А. Обжиг-магнитное обогащение гематит-бемитовых бокситов // *Цветные металлы*. 1973. № 7. 92–93.
19. Савченко А.И., Савченко К.Н. Декомпозиция и повышение качества гидроксида алюминия. Краснотурьинск: ОАО «БАЗ», 1999. 156 с.
20. Минцис М.Я., Николаев И.В., Сиразутдинов Г.А. Производство глинозема. Новосибирск: Наука, 2012. 252 с.

References

1. Aleksandrov A.V., Nemchinova N.V. Calculation of the expected economic efficiency of aluminium production by increasing the use of domestic alumina. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2020;24(2):408-420. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-2-408-420>.
2. Nemchinova N.V., Tyutrin A.A., Barauskas A.E. Analysing the chemical composition of man-made materials resultant from the production of primary aluminium in order to find cost-effective recycling techniques. *Tsvetnye Metally*. 2019;12:22-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/tsm.2019.12.03>.
3. Toropov E.V., Makarov D.P. Integrated management of energy and resource saving at metallurgical production. In: *Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii = Collected works of the International scientific and technical conference*. January 2003, Ekaterinburg. Ekaterinburg; 2003, p. 258-261. (In Russ.).
4. Loginova IV, Loskutova AI. Complex processing method of high-silicon bauxites. In: *Innovatsii v materialovedenii i metallurgii: materialy III Mezhdunar. interaktivnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Innovations in Materials Science and Metallurgy: Proceedings of the 3rd International interactive scientific and practical conference*. 17–21 December 2013, Yekaterinburg, Yekaterinburg: Publishing House of the Ural Federal University; 2013, p. 59–61. (In Russ.).
5. Aghazadeh V., Shayanfar S. Decomposition of aluminate solution for aluminum hydroxide precipitation by carbonation: a thermodynamic and experimental studies. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2021;149-160.
6. Stephenson J.L., Kapraun C. Dynamic modeling of yield and particle size distribution in continuous Bayer precipitation. In: Donaldson D., Raahauge B.E. (eds.). *Essential Readings in Light Metals*. Cham: Springer; 2016, p. 891-897. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48176-0_123
7. Shoppert A., Valeev D., Alekseev K., Loginova I. Enhanced precipitation of gibbsite from sodium aluminate solution by adding agglomerated active Al(OH)₃ seed. *Metals*. 2023;13(2):193. <https://doi.org/10.3390/met13020193>.
8. Liu Guihua, Wu Guoyu, Chen Wei, Li Xiao-bin, Peng Zhihong, Zhou Qiusheng, et al. Increasing precipitation rate from sodium aluminate solution by adding active seed and ammonia. *Hydrometallurgy*. 2018;176:253-259. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.02.003>.
9. Gai Wei-Zhuo, Zhang Shi-Hu, Yang Yang, Sun Kexi, Jia Hong, Deng Zhen-Yan. Defluoridation performance comparison of aluminum hydroxides with different crystalline phases. *Water Science and Technology Water Supply*. 2022;22(4):3673-3684. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.012>.
10. Gai Wei-Zhuo, Zhang Xianghui, Yang Yang, Deng Zhen-Yan. Effect of crystalline phases of aluminum hydroxide catalysts on Al-water reaction. *International Journal of Energy Research*. 2020;44(6):4969-4976. <https://doi.org/10.1002/er.5238>.
11. Zhang Baiyong, Pan Xiaolin, Yu Haiyan, Tu Ganfeng, Bi Shiwen. Effect of organic impurity on seed precipitation in sodium aluminate solution. In: Martin O. (eds.). *Light Metals. The Minerals, Metals & Materials Series*. Cham: Springer; 2018, p. 41–47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72284-9_7.
12. Dash B., Tripathy B.C., Bhattacharya I.N., Das S.C., Mishra C.R., Mishra B.K. Precipitation of boehmite in sodium aluminate liquor. *Hydrometallurgy*. 2009;95(3-4):297-301. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2008.07.002>.
13. Liner A.I. *Production of alumina*. Moscow: Metallurgizdat; 1961, 619 p. (In Russ.).
14. Pan Zhaoshuai, Zhang Zhaozhi, Che Dong. Exploring primary aluminum consumption: new perspectives from hybrid CEEMDAN-S-Curve model. *Sustainability*. 2023;15(5):4228. <https://doi.org/10.3390/su15054228>.
15. Dubovikov O.A., Brichkin B.N., Ris A.D., Sundurov A.V. Thermochemical activation of hydrated aluminosilicates and its importance for alumina. *Non-ferrous metals*. 2018;2:11-16. <https://doi.org/10.17580/nfm.2018.02.02>.

16. Sibirzyanov N.A., Yacenko S.P. *Hydrochemical methods of bauxite complex processing*. Ekaterinburg: Ural Branch of the RAS; 2006, 386 p. (In Russ.).
17. Mazel V.A. *Alumina production*. Moscow: Metallurgizdat; 1955, 430 p. (In Russ.).
18. Andreev P.I., Shavlo R.A. Firing and magnetic concentration of hematite-boehmite bauxites. *Tsvetnye Metally*. 1973;7:92-93. (In Russ.).
19. Savchenko A.I., Savchenko K.N. *Decomposition and quality improvement of aluminum hydroxide*. Krasnoturinsk: JSC "BAZ"; 1999, p. 50-86. (In Russ.).
20. Mintsis M.Ya., Nikolaev I.V., Sirazutdinov G.A. *Alumina production*. Novosibirsk: Nauka; 2012, 252 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Константин Дмитриевич,
аспирант,
Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Россия
✉ kostya.alekseev94@mail.ru

Логинава Ирина Викторовна,
д.т.н., профессор,
профессор кафедры металлургии цветных металлов,
Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Россия
i.v.loginova@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1627-4634>

Четыркин Игорь Евгеньевич,
директор департамента
по технологии и техническому
развитию глиноземного производства,
ООО «РУСАЛ ИТЦ»
624440, г. Краснотурьинск, ул. Карла Маркса, 1, Россия
Igor.Chetyrkin@rusal.com

Гостинская Ирина Сергеевна,
менеджер по технологии белой стороны,
департамент по технологии и техническому
развитию глиноземного производства,
ООО «РУСАЛ ИТЦ»
624440, г. Краснотурьинск, ул. Карла Маркса, 1, Россия
Irina.Gostinskaya@rusal.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 09.06.2023 г.; одобрена после рецензирования 21.07.2023 г.; принята к публикации 01.08.2023 г.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Konstantin D. Alekseev,
Postgraduate Student,
Ural Federal University named after the first President of
Russia B.N. Yeltsin,
19, Mira St., Yekaterinburg 620002, Russia
✉ kostya.alekseev94@mail.ru

Irina V. Loginova,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Non-ferrous Metals
Metallurgy, Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin, 19, Mira St., Yekaterinburg
620002, Russia
i.v.loginova@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1627-4634>

Igor E. Chetyrkin,
Director of the Department of Technology and Technical
Development
of Alumina Production,
RUSAL ETC,
1, Karl Marx St., Krasnoturinsk 624440, Russia
Igor.Chetyrkin@rusal.com

Irina S. Gostinskaya,
Technology Manager of the white side,
Department of Technology and Technical Development of
Alumina Production,
RUSAL ETC,
1, Karl Marx St., Krasnoturinsk 624440, Russia
Irina.Gostinskaya@rusal.com

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 09.06.2023; approved after reviewing 21.07.2023; accepted for publication 01.08.2023.