

УДК 669.71.002.68

## ПЕРЕРАБОТКА МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ФЛЮОРИТСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА

*Куликов Б.П.<sup>1</sup>, Васюнина Н.В.<sup>1</sup>, Дубова И.В.<sup>1</sup>, Баланев Р.О.<sup>1</sup>, Сысоева Я.С.<sup>1</sup>,  
Иванова И.К.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

[nvvasyunina@yandex.ru](mailto:nvvasyunina@yandex.ru)

В работе проведена оценка способа переработки мелкодисперсных фторуглеродсодержащих отходов и промпродуктов алюминиевого производства каустификацией известковым молоком с получением продукта, содержащего синтетический флюорит, используемого в качестве минерализатора для приготовления клинкерного цемента. Дана краткая характеристика принципиальной аппаратурно-технологической схемы каустификации отходов и промпродуктов с получением синтетического флюорита. Определено влияние режимных параметров (температуры, времени процесса, разведения) на полноту каустификации сырья. Выход флюорита достигает 220 кг на тонну подаваемого сырья. Высокая щелочность раствора позволяет выделять из него гидроксид натрия и использовать его по окончании каустификации в качестве газоочистного раствора. Остаточная концентрация натрия в продукте не превышает 1,0 %.

Масштабы техногенного воздействия алюминиевых заводов на окружающую среду определяются спецификой производства алюминия в России, а именно продолжающейся на сегодняшний день эксплуатацией электролизеров с самообжигающимися анодами или анодами Со-

дерберга. Технология Содерберга характеризуется повышенными выбросами токсичных соединений и образованием большого количества твердых и жидких отходов производства. Складирование этих отходов осуществляется на шламовых полях алюминиевых заводов, где на сегодняшний день накоплено более 3,5 млн. тонн отходов. По своему составу фторуглеродсодержащие отходы представлены, в основном, углеродом, криолитом, хиолитом, сульфатом натрия, фторидами кальция и магния, оксидом алюминия и смолистыми веществами [1].

Фторуглеродсодержащие отходы алюминиевого производства являются потенциально перспективным сырьем для использования в черной металлургии, цементной и глиноземной промышленности [2-4].

Для цементного производства фторуглеродсодержащие отходы и промпродукты интересны с точки зрения замены природного минерализатора на основе флюорита и выгорающей добавки. Использование фторсодержащих добавок - минерализаторов при обжиге портландцементного клинкера является одним из действенных способов повышения эффективности цементного производства. Добавки минерализаторов в сырьевой шлам увеличивают реакционную спо-

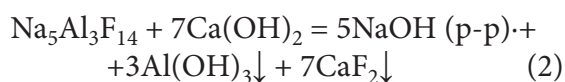
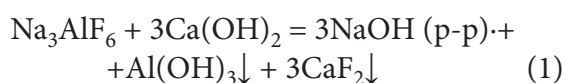
способность сырьевых компонентов на всех стадиях обжига, повышают производительность вращающихся печей на 3 – 5 %, снижают до 3 % удельный расход топлива на обжиг клинкера, улучшают работу печей за счет стабилизации обмазки, повышают качество клинкера и цемента [5-7].

Одним из сдерживающих факторов по широкому применению минерализаторов является удаленность источников природного флюорита от потенциальных потребителей, поскольку основные месторождения флюоритовой руды расположены в Сибирском и Дальневосточном регионах, а также в Монголии. Значительная транспортная составляющая в стоимости плавикового шпата для цементных заводов, расположенных на Урале и в Европейской части России, «сводит на нет» преимущества от использования минерализаторов. Альтернативой природным фтористым минерализаторам являются дешевые техногенные продукты - фторуглеродсодержащие отходы и промпродукты алюминиевого производства [6].

Ограничением использования отходов с алюминиевых заводов в цементной промышленности является высокое содержание в отходах натрия (от 3 до 12 % вес.). Повышенная концентрация натрия в отходах приводит к увеличению его содержания в клинкере, в среднем на ~0,10 %, что в большинстве случаев недопустимо по причине высокого содержания щелочей в основном цементном сырье. В качестве выхода из сложившейся ситуации разработана технология выведения натрия из отходов в раствор каустической щелочи с конверсией фторалюминатов натрия в синтетический флюорит [8]. Это обеспечивается каустификацией отходов известковым мо-

локом. Разработанная технология каустификации фтористых солей создает условия для масштабной переработки отходов алюминиевых заводов в производстве цемента. При этом твердые продукты каустификации выполняют комплексную функцию: минерализатора и выгорающей добавки.

Каустификации отходов алюминиевого производства заключается в их обработке известковым молоком. При этом фторалюминаты натрия (криолит и хиолит) переходят в химически активный синтетический флюорит  $\text{CaF}_2$ , а натрий - в раствор каустической щелочи:



Таким образом решаются две задачи: во-первых, их отходов алюминиевого производства выводится натрий, во-вторых, фторалюминаты натрия конвертируются в привычный для цементников флюорит  $\text{CaF}_2$ . Твердый продукт каустификации отходов алюминиевого производства содержит графитированный углерод, синтетический флюорит, гидроокись и окись алюминия. Остаточная концентрация натрия в продукте не превышает 1,0 %.

Целью работы - получение минерализатора для обжига портландцементного клинкера каустификацией известковым молоком фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства. Определение некоторых технологических параметров (Ж : Т, гранулометрического состава минерализатора; оптимальную дозировку активной извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  для каустификации.

## Материалы и методы

Для получения минерализатора на основе синтетического флюорита использовали основные виды фторуглеродсодержащих отходов и промпродуктов алюминиевого производства. К отходам относятся пыль электрофильтров (ПЭФ), шлам газоочистки (ШГО), хвосты флотации угольной пены (ХФУП), к промпродуктам - электролитная угольная пена (УП). Наиболее полно состав и свойства фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства описаны в монографии [1].

### Фазовый анализ материала

Для фазовой идентификации рентгенограммы регистрировались с использованием рентгенофазового (РФА) и рентгеноспектрального (РСА) анализов на рентгеновском дифрактометре XRD-6000 Shimadzu, с использованием излучения  $\text{CuK}$ . Для более точной идентификации фаз применяется информационно-поисковая система (RetrieveQQA) [9, 10]. Съемка спектров образцов для РСА осуществлялась на автоматизированном волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре Shimadzu XRF-1800 (с Rh-анодом).

### Методика каустификации

Каустификация проходила в лабораторных условиях. Для проведения

испытаний использовалась гашеная известь с первоначальным содержанием карбоната кальция в количестве 30,8 % масс., суммарное содержание оксидов кремния и магния составило 3,5 % масс. Перед проведением испытаний известь прокаливали в течение часа при температуре 1000 °С прокаленную партию извести хранили в эксикаторе.

В ячейке из термостойкого стекла объемом 1 дм<sup>3</sup> подготавливалось по заданному соотношению Ж:Т известковое молоко, ячейка помещалась в водяную баню для поддержания заданной температуры во время процесса. По установлению заданной температуры в ячейку с известковым молоком засыпалась предварительно высушенная при 120 °С навеска ХФУП с содержанием фтора 11,10 %. Температура процесса регулировалась с точностью  $\pm 2^\circ\text{C}$ . В ячейку устанавливалась лопастная мешалка, скорость вращения которой составляла 270 об/мин, после этого ячейка плотно закрывалась крышкой. После каустификации в течение заданного времени пульпа фильтровалась через фильтр «синяя» лента на вакуумной линии. Фильтрат анализировался на содержание общей, карбонатной и каустической щелочи титриметрическим методом анализа (ГОСТ31957), определялся объем фильтрата после эксперимента. Кек высушивался до по-

Таблица 1 – Фазовый состав отходов и промпродуктов алюминиевого производства

	$\text{Na}_3\text{AlF}_6$	$\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$	$\text{K}_2\text{NaAlF}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	C	$\text{CaF}_2$	$\text{AlF}_3\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	Прочие
ШГО	58,3	0,67	3,80	3,48	4,06	25,7	0,29	-	3,70
ПЭФ	17,1	14,77	-	7,79	-	50,8	0,85	7,46	1,23
ХФУП	15,87	3,47	0,60	1,25	-	74,2	0,21	-	4,40
УП	47,4	12,7	3,73	9,54	-	24,3	2,18	-	0,15

Примечание. Прочие представлены следующими соединениями:  $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$ ,  $\text{Al}_{\text{мет.}}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AlF}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{F}_{14}$ .

стоянной массы при температуре 120°C, высушенный продукт взвешивали и отдавали на анализ РФА.

### Результаты и обсуждения

Фазовый состав фторуглеродсодержащих отходов и промпродуктов (ПЭФ, ШГО, ХФУП и УП), используемых в экспериментах, приведен в таблице 1.

Криолит и хиолит вступает во взаимодействие с находящейся в растворе известью по реакциям 1 и 2. По мере расходования растворенной  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в раствор переходят новые порции извести и вступают во взаимодействие с фторалюминатами натрия. Таким образом, каустификация фторидов протекает через постепенное растворение твердого  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и перехода в продукты реакции:  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , и  $\text{NaOH}$ .

Содержащийся в отходах и промпродуктах углерод при обработке известью не претерпевает изменений и транзитом переходит в твердый продукт (минерализатор). В связи с этим, получаемый минерализатор содержит синтетический флюорит и углерод. В качестве примесей в продукте присутствуют оксид и

гидроксид алюминия. Также в продукте может присутствовать избыток известьсодержащего реагента. Натрий из криолита и хиолита переходит в раствор в виде каустической соды  $\text{NaOH}$ , в которой частично растворяется гидроокись алюминия с образованием алюмината натрия.

Условия обработки и краткая характеристика полученных твердых и жидких продуктов каустификации приведены в таблице 2.

Усредненный молекулярный состав продуктов каустификации отходов и промпродуктов алюминиевого производства приведен в таблице 3.

Максимальное содержание синтетического флюорита содержит продукт каустификации угольной пены – 60,5 %, минимальное - продукт каустификации хвостов флотации – 20,7 %. Все твердые продукты практически не содержат натрия, который переходит в раствор в виде каустической соды. Минимальное содержание натрия в твердых продуктах каустификации снимает ограничения по использованию синтетического флюо-

Таблица 2 – Характеристика исходных реагентов, условий и продуктов каустификации

Отходы и ПП	Вес отхода и ПП	CaO, г	Вес $\text{H}_2\text{O}$ , г	Температура, °C	Время перемеш., мин.	Твердый продукт			Фильтрат	
						Вес кека, г	Вес. сухого прод., г	pH	$\text{Na}_2\text{O}$ общее, г/дм <sup>3</sup>	$\text{Na}_2\text{O}$ каустич., г/дм <sup>3</sup>
ШГО	50,00	24,43	600	40	60	168,64	55,69	13,15	18,6	12,09
ПЭФ	50,00	20,69	501	50	30	139,0	72,6	12,10	4,75	1,27
ХФУП	50,00	9,04	247	50	15	98,2	55,49	13,05	15,4	10,39
УП	50,00	26,06	600	80	30	110,61	61,98	13,23	20,15	14,16

Примечание. Частота вращения мешалки во всех экспериментах 270 об/мин.

Таблица 3 – Состав твердых продуктов каустификации

Отходы и ПП	CaF <sub>2</sub>	C	Ca(OH) <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	3Ca(OH) <sub>2</sub> ·2Al(OH) <sub>3</sub>	Прочие
ШГО	47,9±2,6	32,2±3,6	2,06±0,5	10,3±1,2	-	2,58±0,4	4,96
ПЭФ	33,4±2,1	44,4±3,1	1,24±0,4	10,7±1,5	7,13±1,4	1,3±0,35	1,83
ХФУП	20,7±1,6	70,1±4,2	1,20±0,4	3,43±0,6	0,98±0,3	2,51±0,5	1,08
УП	60,5±3,4	22,3±2,3	1,22±0,3	9,3±1,8	2,75±0,6	3,27±1,1	0,66

рита при обжиге клинкера, как дополнительного источника щелочей.

Для промышленной каустификации отходов и промпродуктов алюминиевого производства достаточно простой аппаратурно-технологической схемы. Причем схема может быть реализована в непрерывном и периодическом режимах работы. Примерный состав основного оборудования аппаратурной схемы включает:

- мешалку для приготовления известкового молока;
- буферную емкость-мешалку для накопления и дозирования суспензии отходов и промпродуктов алюминиевого производства;
- насосы и растворопроводы для подачи известкового молока и суспензии отходов в реактор;
- реактор непрерывного или периодического действия с обогревом «глухим» или «острым» паром;
- радиальный отстойник-сгуститель для отделения основной части раствора каустической соды от сгущенного твердого продукта каустификации;
- барабанный или ленточный вакуум-фильтр;
- барабанную сушилку;
- ковшовый элеватор;
- бункер готовой продукции.

Аппаратурная схема обвязана трубопроводами и насосами для перекачки суспензий.

При промышленной каустификации отходов и промпродуктов алюминиевого производства необходимо учитывать несколько технологических моментов, а именно, выбор оптимального отношения Ж : Т; гранулометрический состав твердых продуктов, определяющий содержание щелочного раствора в кеке; наличие алюмината натрия в растворе каустической соды.

Чем больше содержание фтора в отходах и промпродуктах, тем больше должно быть отношение Ж : Т в реакционной смеси, чтобы не допустить чрезмерного повышения концентрации NaOH в растворе и замедления скорости взаимодействия реагентов. Экспериментальным путем установлена зависимость оптимального отношения Ж : Т в реакционной смеси:

$$Ж : Т = [1 + (M.O. - 2,4) : 4,8] \times [-0,0028 \times F^2 + 0,3074 \times F + 0,2229] \quad (3),$$

где Ж : Т – весовое отношение жидкого к твердому, Т = 1;

M.O. – молярное отношение NaF : AlF<sub>3</sub> в отходах;

F – концентрация фтора в отходах, % вес.

Зависимость (3) устанавливает начальное отношение Ж : Т в реакционной

Таблица 4 – Гранулометрический состав твердых продуктов, полученных каустификацией ШГО, ПЭФ и ХФУП

x [μm]	ШГО	ПЭФ	ХФУП
0,10	0,00	0,01	0,32
0,20	0,00	0,49	1,84
0,30	0,26	1,20	2,27
0,50	1,92	1,97	2,66
0,70	3,70	2,82	3,78
1,00	6,23	4,85	6,30
1,50	10,79	8,82	10,49
2,00	15,34	12,66	14,36
3,00	24,02	20,28	21,90
5,00	38,89	32,73	32,02
7,00	49,03	40,59	36,80
10,00	67,55	56,46	47,71
20,00	99,88	99,04	75,73
30,00	100,00	100,00	76,20
40,00	100,00	100,00	76,20
50,00	100,00	100,00	76,20
60,00	100,00	100,00	76,21
70,00	100,00	100,00	76,61
80,00	100,00	100,00	78,17
90,00	100,00	100,00	81,02
100,00	100,00	100,00	84,78
150,00	100,00	100,00	100,00

смеси. За твердое в реакционной смеси принимают суммарный вес отходов и стехиометрический, на образование  $\text{CaF}_2$  вес  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , без учета избытка  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и веса примесей в извести.

Гранулометрический состав твердых продуктов, полученных каустификацией ШГО, ПЭФ и ХФУП приведен в таблице 4.

Из приведенных данных следует, что средняя крупность продукта, полученного каустификацией ШГО состав-

ляет 7,19 мкм, каустификацией ПЭФ – 8,96 мкм. Гранулометрический состав твердого продукта из ХФУП представлен, в основном, двумя фракциями. Мелкая фракция продукта, в состав которой входит синтетический флюорит, имеет среднюю крупность частиц 10,48 мкм. Крупная фракция – это преимущественно частицы углерода и оксида алюминия, полученные при измельчении угольной пены. Мелкий гранулометрический состав твердых продуктов каустификации



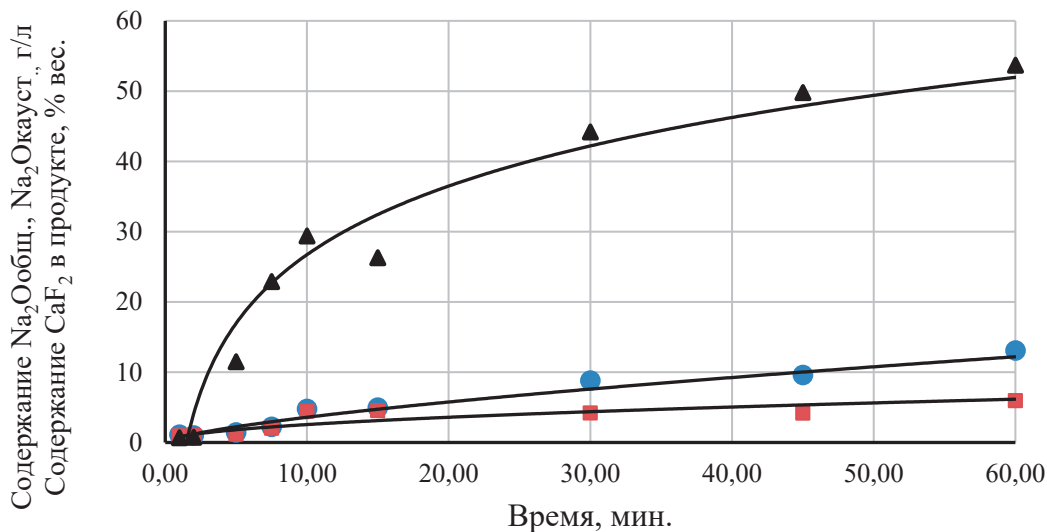
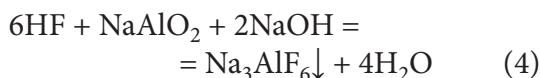


Рисунок 2 – Изменение концентраций CaF<sub>2</sub> (▲), Na<sub>2</sub>O<sub>общ.</sub> (●) и Na<sub>2</sub>O<sub>кауст.</sub> (■) при каустификации криолита.

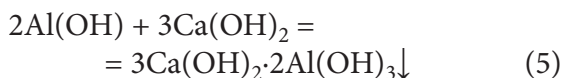
вызовет затруднения при фильтрации и повышенный расход энергоносителей при сушке, а также загрязнит синтетический флюорит соединениями натрия. Поэтому необходим поиск решений по укрупнению гранулометрического состава продуктов каустификации.

Полученные экспериментальные данные указывают на то, что часть Na<sub>2</sub>O в растворе связано с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в алюминат натрия NaAlO<sub>2</sub>. На рисунке 1 показано изменение концентраций CaF<sub>2</sub> в твердом продукте, Na<sub>2</sub>O<sub>общ.</sub> и Na<sub>2</sub>O<sub>кауст.</sub> в растворе при обработке криолита (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>) известковым молоком.

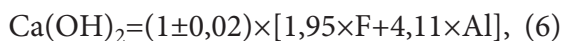
Присутствие NaAlO<sub>2</sub> в растворе ограничивает его использование на «мокрой» газоочистке алюминиевых заводов. Абсорбция электролизных газов, содержащих фтористый водород, смесью каустического и алюминатного растворов приведет к кристаллизации криолита в установках «мокрой» газоочистки (реакция 4).



Следствием этого будут потери фтористых солей со шламами газоочистки и зарастание растворопроводов осадками криолита. Чтобы исключить образование алюминатного раствора предложено вводить в реакционную смесь дополнительное количество (избыток) извести. Избыток извести связывает образующийся гидроксид алюминия в нерастворимое соединение катодит  $3\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3$ :



В результате получаем раствор каустической щелочи без алюмината натрия. При этом твердые продукты каустификации обогащаются гидроксидами кальция и алюминия. Получена эмпирическая зависимость оптимальной дозировки активной извести Ca(OH)<sub>2</sub> для обработки натрийфторуглеродсодержащих отходов и промпродуктов электролитического производства алюминия:



где  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  - количество активной извести (% вес.), добавляемой к 100 % отходов и промпродуктов; F – концентрация фтора в отходах и промпродуктах, связанного в NaF и  $\text{AlF}_3$ , % вес.; Al – концентрация алюминия в отходах и промпродуктах, связанного в  $\text{AlF}_3$ , % вес.;  $(1 \pm 0,02)$  – доверительный интервал, в который с надежностью 95 % укладываются результаты экспериментов.

### Выводы

В работе получен минерализатор для обжига портландцементного клинкера каустификацией известковым молоком фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства.

Определены технологические параметры, такие как, выбор оптимального отношения Ж : Т; требуемых гранулометрический состав минерализатора; наличие алюмината натрия в растворе каустической соды; оптимальная дозировки активной извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  для каустификации натрийфторуглеродсодержащих отходов и промпродуктов электролитического производства алюминия.

Работа выполнена в рамках государственного задания на научные исследования ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», номер проекта FSRZ-2023-0009.

### Список литературы

- 1 Куликов Б.П., Истомин С.П. Переработка отходов алюминиевого производства. // Изд. ООО «Классик центр». Красноярск. - 2004. – 480 с.
- 2 Пономарева О.С. Диверсификация производства: использование отходов производства вторичного алюминия в доменной печи при выплавке глиноземистых шлаков / Молодой ученый. – 2016. – № 14 (118). – С. 163-166.
- 3 Куликов Б. П. и др. Получение клинкера с использованием минерализатора на основе фторсодержащих отходов //Цемент и его применение. – 2010. – №. 2. – С. 102-105.
- 4 Раджабов, Ш.Х., Комплексная переработка фторглинозёмсодержащих отходов производства алюминия./ Ш.Х. Раджабов, И.С. Шоев, Н.П. Мухамедиев, Дж.Р. Рузиев, А.Х. Сафиев, Х.Э. Бобоев, Х.А. Мирпочаев, Х. Сафиев // ДАН РТ–Душанбе.-2014. –Т.57, № 1.-С.51-56.
- 5 Ситько М.К., Стародубенко М.Г. Исследование влияния минерализаторов на обжиг портландцементного клинкера. Труды БГТУ, 2016, № 3, с. 106-110.
- 6 Sonia B., Islem L., Adel M., Mohamed E. M., André N. Natural fluorapatite as a raw material for Portland clinker // Cement and Concrete Research. 2018. 105. Pp. 72–80. doi: 10.1016/j.cemconres.2018.01.00.
- 7 Новоселов А.Г., Дреер Ю.И., Новоселова И.Н., Васина Ю.А. Эффективность использования техногенного продукта электролитического производства алюминия в качестве минерализатора при обжиге портландцементного клинкера. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, Том.7, № 5, 2022 г.
- 8 Патент № 2624570 С Российская Федерация, МПК C22B 7/00, C01F 11/22. Способ переработки натрийфторуглеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия : № 2016134488 : заявл. 23.08.2016 : опубл. 04.07.2017 / Б. П. Куликов ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Безотходные и малоотходные технологии" (ООО "БМТ"). – EDN LXZPEI.
- 9 Regularization of methods of a standardless X-ray phase analysis S. Yakimov, P. S. Dubinin, A. N. Zaloga, O. E. Piksina ,Ya. I. Yakimov Journal of Structural Chemistry volume 52, pages319–325 (2011) ( DOI: [10.1134/S0022476611020119](https://doi.org/10.1134/S0022476611020119) ) ] и база данных PDFICDD [3 The Powder Diffraction File: a quality materials characterization database. *Powder Diffraction*, Volume 34, Issue 4, December 2019, pp. 352 - 360(DOI: <https://doi.org/10.1017/S0885715619000812>).
- 10 The Powder Diffraction File: a quality materials characterization database. *Powder Diffraction*, Volume 34, Issue 4, December 2019, pp. 352 - 360(DOI: <https://doi.org/10.1017/S0885715619000812>)



## PROCESSING OF FINE WASTES FROM ALUMINUM PRODUCTION TO OBTAIN A FLUORITE-CONTAINING PRODUCT

*Kulikov B.P.<sup>1</sup>, Vasyunina N.V.<sup>1</sup>, Dubova I.V.<sup>1</sup>, Balanov R.O.<sup>1</sup>, Sysoeva Y.S.<sup>1</sup>, Ivanova I.K.<sup>1</sup>*

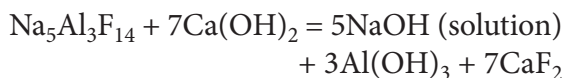
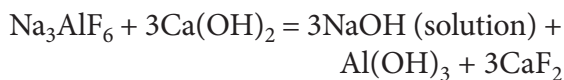
<sup>1</sup>Siberian Federal University

Fluorocarbon-containing wastes from aluminum production are a potentially promising raw material for use in ferrous metallurgy, cement and alumina industries.

The paper evaluates a method for processing finely dispersed fluorocarbon-containing wastes and middlings of aluminum production by caustification with lime milk to obtain a product containing synthetic fluorite used as a mineralizer for the preparation of clinker cement.

The limitation of the use of waste from aluminum plants in the cement industry is the high content of sodium in the waste (from 3 to 12% by weight). Removal of sodium from waste into a solution of caustic alkali with the conversion of sodium fluoroaluminates into synthetic fluorite is provided by causticization of waste with milk of lime.

Sodium fluoroaluminates (cryolite and chiolite) are converted into reactive synthetic fluorite  $\text{CaF}_2$ , and sodium into a solution of caustic alkali:



Thus, two problems are solved: firstly, sodium is removed from aluminum production waste, and secondly, sodium fluoroaluminates are converted into fluorite  $\text{CaF}_2$ , which is familiar to cement workers.

The solid product of aluminum production waste causticization contains graphitized carbon, synthetic fluorite, hydroxide and aluminum oxide. The residual sodium concentration in the product does not exceed 1,0%.

To obtain a mineralizer based on synthetic fluorite, electrostatic precipitator dust, gas cleaning sludge, coal froth flotation tailings and electrolytic coal foam were used.

The phase composition of fluorocarbon-containing wastes and middlings (PEF, WGO, HFUP and UP) used in the experiments is shown in Table 1.

The maximum content of synthetic fluorite contains the product of caustification of coal foam - 60.5%, the minimum - the product of caustification of flotation tailings - 20.7%. All solid products contain practically no sodium, which goes into solution in the form of caustic soda. The minimum sodium content in the solid products of causticization removes the restrictions on the use of synthetic fluorite in clinker firing as an additional source of alkali.

The granulometric composition of the mineralizer was determined.

A principal instrumental-technological scheme for caustification of wastes and middlings with the production of synthetic fluorite is proposed.

In the industrial caustification of wastes and middlings of aluminum production, it is necessary to take into account several technological issues, namely, the choice of

**Table 1 – Phase composition of wastes and middlings of aluminum production**

	$\text{Na}_3\text{AlF}_6$	$\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$	$\text{K}_2\text{NaAlF}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	C	$\text{CaF}_2$	$\text{AlF}_3 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	Other
EPD	58,3	0,67	3,80	3,48	4,06	25,7	0,29	-	3,70
GPS	17,1	14,77	-	7,79	-	50,8	0,85	7,46	1,23
SCFFT	15,87	3,47	0,60	1,25	-	74,2	0,21	-	4,40
CF	47,4	12,7	3,73	9,54	-	24,3	2,18	-	0,15

the optimal ratio L : T; granulometric composition of solid products, which determines the content of the alkaline solution in the cake; the presence of sodium aluminate in a solution of caustic soda.

Technological parameters are determined, such as the choice of the optimal ratio of liquid to solid (L : S); required particle size distribution of the mineralizer; the presence of sodium aluminate in a solution

of caustic soda; optimal dosages of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  active lime for caustification of sodium fluorocarbon-containing wastes and middlings of aluminum electrolytic production.