

УДК 661.489+66.021.2.065.5

А. Н. Гаврилюк, О. Б. Дормешкин, А. Н. Писаренко, М. С. Мохорт
Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КРУПНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФТОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОТДЕЛЬНЫХ СТАДИЙ

На основании выполненного литературного обзора и анализа действующего производства установлены основные параметры, влияющие на кристаллизацию фтористого алюминия. Представлены особенности массовой кристаллизации, ее этапы, влияние условий кристаллизации на размер кристаллов, а также приведена информация об особенностях кристаллизации фтористого алюминия в зависимости от способа его получения и режима кристаллизации.

Изучена технология получения фтористого алюминия из гексафторкремниевой кислоты и гидроксида алюминия и процессы массовой кристаллизации, протекающие в многокомпонентных водно-солевых системах, образующихся на различных стадиях производства в результате химического взаимодействия компонентов системы и последующих стадий производства. Экспериментально доказана возможность получения крупнокристаллического фтористого алюминия путем регулирования технологического режима отдельных стадий и установлен оптимальный режим кристаллизации фтористого алюминия, обеспечивающий размер образующихся кристаллов более 45 мкм. При этом, согласно системе электронного зондового энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа, содержание AlF_3 во всех образцах составляло не менее 95,7 мас. %.

Путем сравнительного анализа фракционного состава образцов, отобранных после барабанного вакуум-фильтра и после печи с «кипящим» слоем, доказано, что товарный продукт за время сушки и процессов газоочистки не подвергается измельчению.

Ключевые слова: фтористый алюминий, кристаллизация, параметры, режим, степень пересыщения, нейтрализация, мольное отношение, фильтрация, расходные нормы, сушка, свойства.

A. N. Hauryliuk, O. B. Dormeshkin, A. N. Pisarenko, M. S. Mokhart
Belarusian State Technological University

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF PRODUCING LARGE-CRYSTAL FLUORINE ALUMINUM BY REGULATING THE TECHNOLOGICAL MODE OF INDIVIDUAL STAGES

Based on the literature review and analysis of the existing production, the main parameters are established that affect the crystallization of aluminum fluoride. The features of mass crystallization, its stages, the influence of crystallization conditions on the crystal size are presented, as well as information on the crystallization features of aluminum fluoride depending on the method of its preparation and crystallization mode.

The technology of producing aluminum fluoride from hexafluorosilicic acid and aluminum hydroxide and the processes of mass crystallization that occur in multicomponent water-salt systems formed at various stages of production as a result of the chemical interaction of system components and subsequent stages of production are studied. The possibility of obtaining coarse crystalline aluminum fluoride by adjusting the technological mode of individual stages has been experimentally proved, and the optimum crystallization mode of aluminum fluoride has been established, which ensures the size of the crystals formed is more than 45 microns. Moreover, according to the electronic probe energy dispersive X-ray fluorescence analysis system, the AlF_3 content in all samples was not less than 95.7 mas. %.

It is proved, by comparative analysis of the fractional composition of samples taken after a drum vacuum filter and after a fluidized bed furnace, that a marketable product is not subjected to grinding during drying and gas purification processes.

Key words: aluminum fluoride, crystallization, parameters, mode, degree of supersaturation, neutralization, molar ratio, filtration, consumption rates, drying, properties.

Введение. Фтористые соединения занимают одно из важнейших мест в современной химической технологии и технике. Фтор является обязательным спутником фосфорсодержащего

сырья. Запасы фтора в фосфатном сырье более чем в 100 раз превышают его запасы в составе плавикового шпата. Объясняется это тем, что запасы фосфоритов преобладают над запасами

флюорита. Химически чистый кальцийфторопатит содержит 42,23% P_2O_5 , 55,64% CaO и 3,77% F .

В настоящее время большая часть фосфатного сырья перерабатывается в удобрения серноокислотным способом. Также имеет место переработка фосфатов азотнокислотным разложением и термическим способом. При этом основное количество фтора выделяется в газообразном виде. Улавливание фтора имеет важнейшее как экологическое, так и экономическое значение. Фтористые газы в производстве фосфорных удобрений поглощают главным образом водой с получением кремнефтористоводородной кислоты, которая служит промежуточным продуктом для получения фторида алюминия, криолита и ряда других продуктов.

В настоящее время все предприятия, перерабатывающие фтористый алюминий, предъявляют все более жесткие требования к его потребительским свойствам, в частности к размеру кристаллов. Поэтому целью исследований, результаты которых представлены в настоящей статье, явилось изучение возможности получения крупнокристаллического фтористого алюминия путем регулирования технологического режима отдельных стадий.

Производство технического фтористого алюминия на большинстве предприятий осуществляется нейтрализацией гидроксида алюминия гексафторкремниевой кислотой с последующим отделением суспензии от кремнегеля, дальнейшей кристаллизацией, фильтрацией и сушкой пасты.

Однако производству фтористого алюминия посвящено ограниченное количество работ, которые в основном направлены на изучение кинетики кристаллизации [1], установление влияния состава исходной смеси кислот на состав конечного продукта [2], решение технологических и экономических вопросов [3, 4]. В научно-технической литературе встречается несколько патентов, описывающих технологию его производства [5–11]. Эти данные не дают полной информации о технологическом режиме отдельных стадий производства с целью получения крупнокристаллического продукта с размером кристаллов более 45 мкм.

Поэтому результаты представленных исследований явились в свою очередь основанием для выбора оптимального режима производства кристаллического фтористого алюминия, обеспечивающего необходимый размер кристаллов производимого продукта. Объектом исследований выступала технология получения фтористого алюминия из гексафторкремниевой кислоты и гидроксида алюминия и процессы, протекающие в многокомпонентных водно-соле-

вых системах, образующихся на различных стадиях производства в результате протекания химического взаимодействия компонентов системы, а также стадия кристаллизации целевого продукта – фтористого алюминия.

Основная часть. Сырьем для производства фтористого алюминия являлись песок тригидрата оксида алюминия (влажный) в соответствии с ТУ 1711-069-00196368 и кислота гексафторкремниевая производства ОАО «Гомельский химический завод» (ГХЗ), с содержанием H_2SiF_6 не менее 12,5 мас. %.

Исследование физико-химических особенностей процессов, лежащих в основе получения фтористого алюминия путем нейтрализации гексафторкремниевой кислоты гидроксидом алюминия, проводили следующим образом.

Стадию нейтрализации гексафторкремниевой кислоты гидроксидом алюминия осуществляли периодически в термостатируемом реакторе с перемешивающим устройством объемом 1000 мл. На стадии нейтрализации варьировали следующие параметры: молярное соотношение $Al(OH)_3 : H_2SiF_6$ от 1,8 до 2,1, температура ввода реагентов от 70 до 90°C, продолжительность стадии нейтрализации 20–25 мин, скорость перемешивания от 50 до 100 об./мин.

Первоначально в реактор вносилась гексафторкремниевая кислота, которая подогревалась до заданной температуры, по достижению которой в реактор вводили гидроксид алюминия. Взаимодействие гексафторкремниевой кислоты с гидроксидом является экзотермическим процессом: за счет теплоты реакции температура реакционной смеси достигает 85–100°C. Продолжительность процесса от начала загрузки до фильтрации полученной суспензии составляла 20–25 мин.

После окончания стадии нейтрализации суспензию сразу подавали на горячее фильтрование. На фильтре происходило отделение осадка кремнегеля от пересыщенного раствора фтористого алюминия. Осадок кремнегеля промывался, высушивался и складировался в емкости для кремнегеля. Основной раствор переносился в реактор-кристаллизатор объемом 1000 мл, снабженный магнитной мешалкой и работающий в периодическом режиме. Температура раствора в кристаллизаторе изменялась в интервале 80–95°C. Контроль температуры осуществлялся датчиком, помещенным в раствор.

Для получения более крупных быстроосаждающихся кристаллов в кристаллизатор вводили «затравку» кристаллов AlF_3 в количестве 15% от расчетного количества получаемого AlF_3 при синтезе. На стадии кристаллизации варьировали следующие параметры: температура кристаллизации от 80 до 100°C, скорость

перемешивания от 40 до 75 об./мин, абсолютное пересыщение от 4 до 9. Образовавшаяся при кристаллизации суспензия, состоящая из кристаллов AlF_3 и маточного раствора фтористого алюминия, подавалась на фильтрацию для отделения готового продукта от маточника. В целях сохранения первоначального размера кристаллов их сушка осуществлялась на воздухе. В полученном продукте определяли гранулометрический состав, для чего использовали лазерный микроанализатор размеров частиц ANALYSET-TE 22 NanoTec plus фирмы Fritsch GmbH (Германия).

Результаты исследований влияния параметров стадии нейтрализации гексафторкремниевой кислоты на размер кристаллов фтористого алюминия показали, что наиболее крупные кристаллы фторида алюминия образуются при мольном отношении $\text{Al}(\text{OH})_3 : \text{H}_2\text{SiF}_6$, равном 2 (рис. 1, в, рис. 2, в). При данных условиях образуется полидисперсный состав с размером частиц от 5 до 200 мкм, в то время как при других мольных соотношениях, за исключением опыта (рис. 2, б), максимальный размер частиц достигал 150 мкм. При этом более 75% частиц имеют размер более 45 мкм, в то время как в остальных опытах не более 65%. Данный факт можно объяснить негативным влиянием непрореагировавшей части гексафторкремниевой кислоты на скорость роста отдельных граней кристалла, его габитус и т. п. Следовательно, для выполнения последующих синтезов принимали мольное соотношение, равным 2. Необходимо отметить, что с повышением температуры кристаллизации содержание крупнокристаллического продукта увеличивается независимо от мольного отношения исходных компонентов и происходит сужение диапазона дисперсности частиц по размерам.

При изучении влияния температуры нейтрализации на процесс кристаллизации фтористого алюминия синтезы проводили при тех же параметрах, что и в предыдущей серии опытов, за исключением начальной температуры нейтрализации, которая варьировалась в интервале 70–90°C. Так, с повышением начальной температуры нейтрализации установлено сужение гранулометрического диапазона распределения частиц по размерам с 5–200 до 20–125 мкм, при этом доля частиц с размером более 45 мкм увеличилась с 75 до 85%. Данный результат обусловлен тем, что при более низкой начальной температуре нейтрализации температура получаемой суспензии, отправляемой на отделение кремнегеля, ниже, а фтористый алюминий начинает кристаллизоваться уже на стадии фильтрации кремнегеля и основной раствор необходимо подогреть до 80°C.

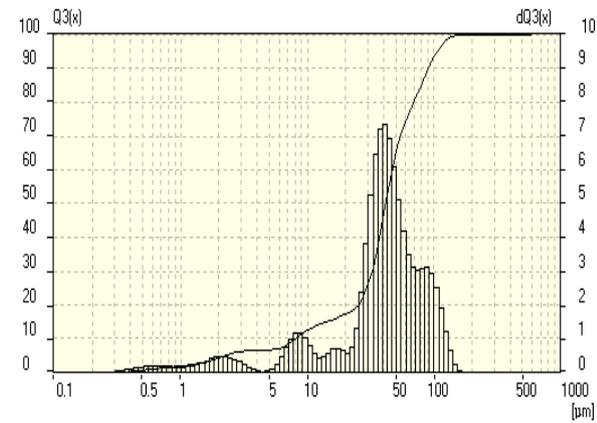
Из литературы известно [12], что изменение температуры влияет как на скорость образования зародышей, так и на скорость их роста, причем в большей степени это воздействие проявляется в процессе возникновения зародышей. Так, с повышением температуры кристаллизации увеличивается средний размер кристаллов, о чем и свидетельствуют полученные результаты.

Изучение влияния продолжительности процесса нейтрализации в интервале варьирования 20–30 мин и скорости перемешивания в диапазоне 50–100 об./мин не показало заметного воздействия на размер частиц кристаллизующегося фторида алюминия. Данные параметры влияют на полноту протекания процесса нейтрализации и, соответственно, на выход целевого продукта.

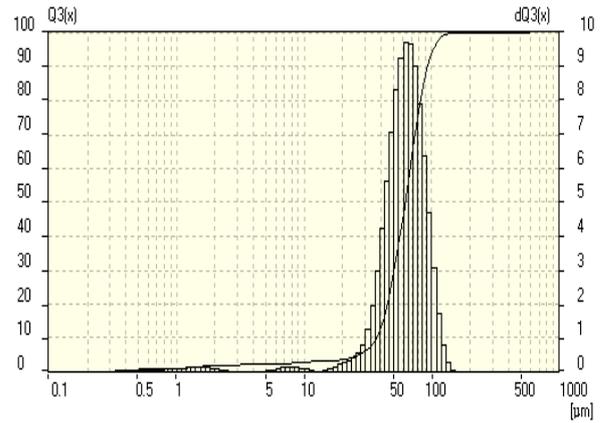
При выполнении серии экспериментов по исследованию воздействия параметров стадии нейтрализации гексафторкремниевой кислоты на размер кристаллов фтористого алюминия установлено, что существенное влияние на размер частиц фтористого алюминия оказывают такие параметры, как мольное отношение $\text{Al}(\text{OH})_3 : \text{H}_2\text{SiF}_6$ и начальная температура нейтрализации. Изучено влияние отдельных параметров на фракционный состав конечного продукта и установлено, что мольное соотношение должно быть равным 2, а начальная температура нейтрализации должна быть не менее 80°C, что позволит получить максимально крупные частицы фтористого алюминия. При этом продолжительность процесса нейтрализации и скорость перемешивания на данной стадии существенного влияния на размер частиц не оказывают.

Результаты исследований влияния параметров стадии кристаллизации фтористого алюминия на размер его кристаллов показали, что с повышением температуры кристаллизации до 95°C наблюдается значительное увеличение размера частиц (таблица). Так, при температуре кристаллизации 80°C образуется полидисперсный состав с размером частиц от 5 до 200 мкм, а при 95°C – от 5 до 500 мкм, при этом средний размер частиц увеличился с 60 до 85 мкм.

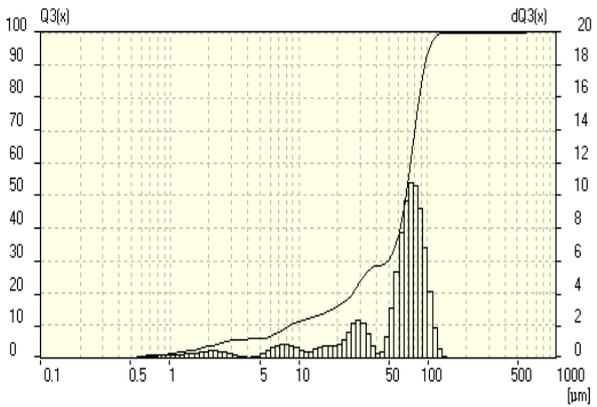
Это подтверждается результатами проведенных Л. Н. Матусевичем и Н. П. Блиновой исследований, показывающих, что кристаллизация солей в области более высоких температур при прочих равных условиях способствует увеличению среднего размера кристаллов в продукте. Так, с повышением температуры кристаллизации увеличивается средний размер кристаллов, о чем свидетельствуют полученные результаты. Следовательно, процесс кристаллизации необходимо вести при более высоких температурах.



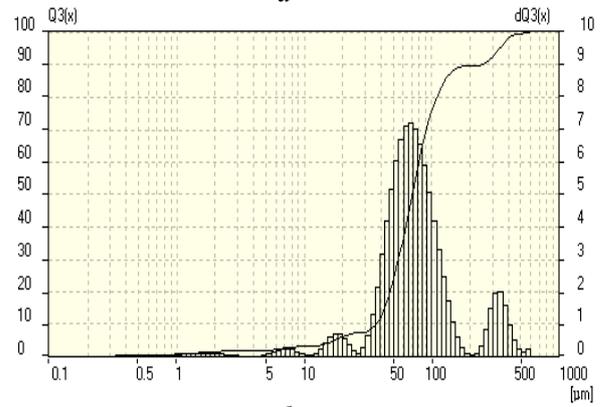
a



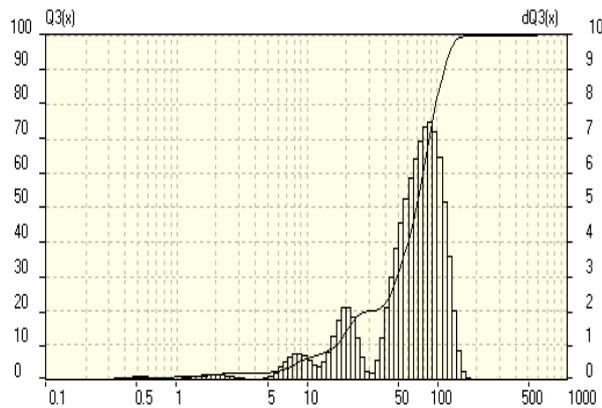
a



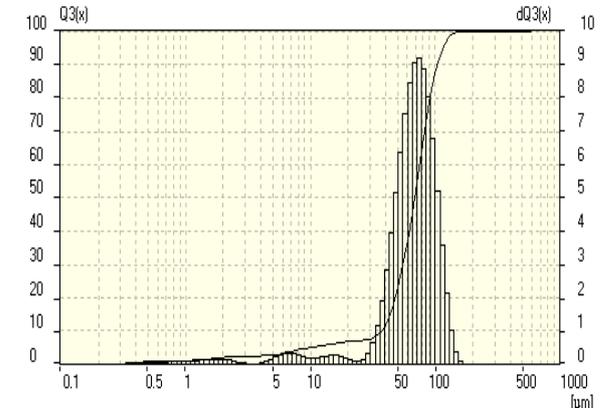
б



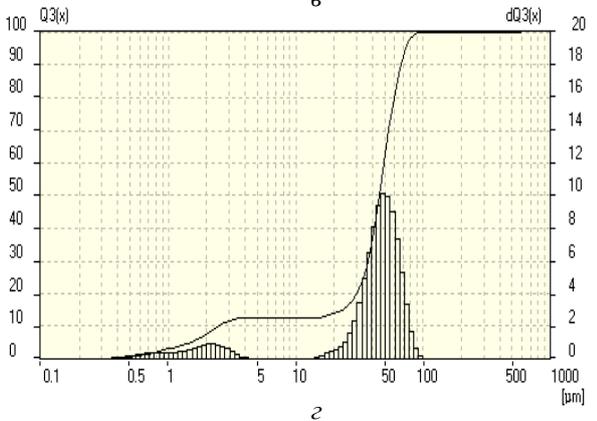
б



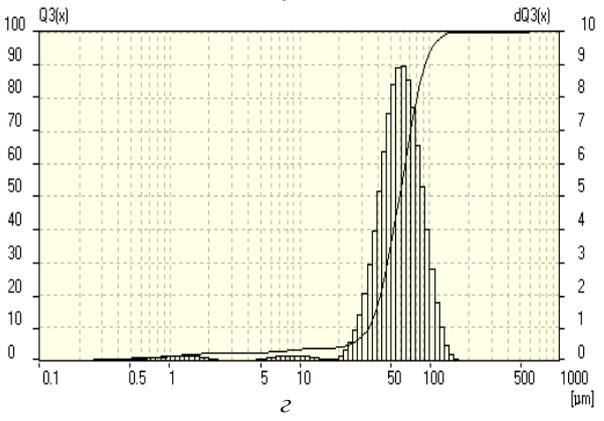
в



в



г



г

Рис. 1. Гистограммы распределения кристаллов фторида алюминия по размерам в зависимости от мольного соотношения $\text{Al}(\text{OH})_3 : \text{H}_2\text{SiF}_6$ при 80°C :
a – 1,8; *б* – 1,9; *в* – 2,0; *г* – 2,1

Рис. 2. Гистограммы распределения кристаллов фторида алюминия по размерам в зависимости от мольного соотношения $\text{Al}(\text{OH})_3 : \text{H}_2\text{SiF}_6$ при 90°C :
a – 1,8; *б* – 1,9; *в* – 2,0; *г* – 2,1

**Распределение кристаллов фторида алюминия
по размерам в зависимости
от температуры кристаллизации**

Фракционный состав, мкм	Содержание фракции заданного состава в образце, мас. %, при соответствующей температуре кристаллизации		
	80°C	90°C	95°C
0,05–1	0,71	1,00	1,04
1–2	0,69	0,87	1,03
2–3	0,52	1,13	1,17
3–4	0,08	0,90	1,01
4–5	0,05	0,62	0,72
5–10	4,01	1,72	1,85
10–20	7,95	4,62	1,86
20–50	15,87	52,05	19,03
50–100	51,41	37,05	49,56
>100	18,71	0,04	22,73

При изучении влияния скорости перемешивания на процесс кристаллизации фтористого алюминия синтеза проводили при аналогичных параметрах, что и в предыдущей серии опытов, за исключением скорости перемешивания на стадии кристаллизации, которая изменялась от 40 до 75 об./мин.

Результаты гранулометрического анализа образующихся кристаллов фторида показали, что с увеличением скорости перемешивания на стадии кристаллизации наблюдается уменьшение максимального и среднего размера кристаллов фторида алюминия с 70 до 50 мкм. Это объясняется тем, что с повышением числа оборотов мешалки должна увеличиваться скорость образования зародышей за счет инерционного выброса неустойчивых «дозародышей» из обедненных и нагретых вследствие их образования участков материнской среды в соседние более богатые и холодные участки, где значительно облегчается рост зародышей до устойчивых размеров. Однако повышение интенсивности движения раствора увеличивает и скорость роста кристаллов за счет ускорения диффузионного переноса кристаллизующегося вещества к их граням. Плавное уменьшение среднего размера кристаллов с увеличением скорости размешивания указывает, прежде всего, на то, что количественное влияние скорости движения раствора как на скорость роста кристаллов, так и на скорость образования зародышей примерно одинаково.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что характер гидродинамики движения раствора при перемешивании на стадии кристаллизации является одним из важнейших факторов, который оказывает влияние на конечный размер кристаллов. Чем меньше скорость вращения мешалки, обеспечивающая нахождение твердых частиц во взвешенном со-

стоянии, тем более крупные кристаллы будут образовываться.

Увеличение продолжительности разложения с 4 до 6 ч не оказало влияния на размер образующихся кристаллов, что свидетельствует о завершении основной фазы кристаллизации.

Изменение абсолютного пересыщения обусловлено концентрацией используемой гексафторкремниевой кислоты и возможно только с 0 до 11,846, однако на стадии кристаллизации фторида алюминия используется кислота с диапазоном концентрации 12,5–16,0 мас. %. Поскольку использование кислоты с концентрацией менее 12,5 мас. % в дальнейшем вызывает образование активного диоксида кремния, что ухудшает процессы фильтрации и отмывки осадка, а более 16 мас. % может привести к кристаллизации фторида алюминия и потере его при фильтрации [13]. Данным концентрациям соответствуют следующие значения абсолютного пересыщения: 8,948 и 11,846. Такое незначительное изменение значения абсолютного пересыщения не оказывает влияния на скорость роста кристаллов.

Кроме того, в литературе имеется информация, что значимый эффект увеличения размера кристаллов наблюдается только при существенном изменении абсолютного пересыщения (в разы), поэтому в рамках производства фтористого алюминия абсолютное пересыщение не оказывает значительного влияния на размер кристаллов.

На основании исследования влияния параметров на различных стадиях производства фтористого алюминия на размер образующихся кристаллов установлены оптимальные значения технологических параметров:

- мольное отношение $\text{Al}(\text{OH})_3 : \text{H}_2\text{SiF}_6$ на стадии нейтрализации, равное 2;
- начальная температура стадии нейтрализации – не менее 80°C;
- температура кристаллизации – 95°C;
- скорость вращения мешалки на стадии кристаллизации – 40 об./мин, обеспечивающие получение кристаллического фторида алюминия, соответствующего ТУ ВУ 400069905.040-2010.

При оптимальных значениях технологических параметров был проведен опыт с целью сравнения полученного продукта с представленными заводскими образцами (ГХЗ). Для опыта, результаты которого представлены на рис. 3, приняты следующие значения технологических параметров:

- 1) мольное отношение $\text{Al}(\text{OH})_3 : \text{H}_2\text{SiF}_6$ на стадии нейтрализации, равное 2;
- 2) начальная температура стадии нейтрализации – не менее 80°C;
- 3) скорость вращения мешалки на стадии нейтрализации – 60 об./мин;

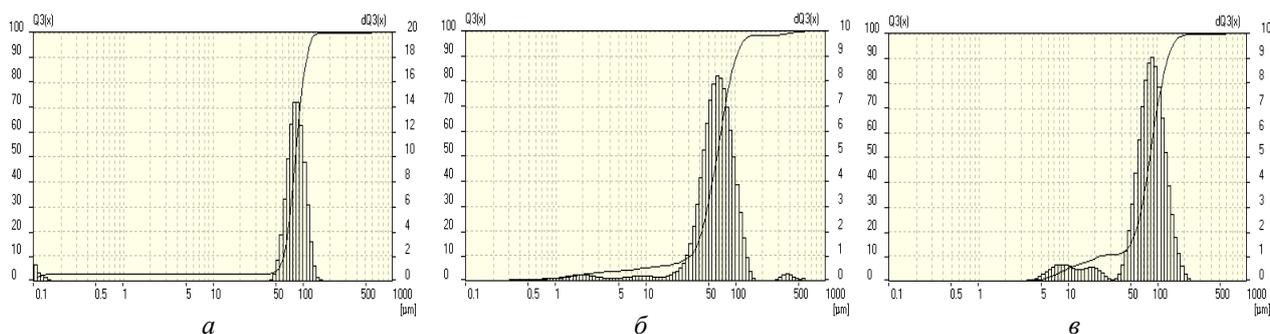


Рис. 3. Гистограммы распределения кристаллов фторида алюминия по размерам:

a – образец, синтезированный при оптимальных параметрах технологического режима;

б – образец фтористого алюминия с барабанного вакуум-фильтра, представленный специалистами ГХЗ;

в – образец фтористого алюминия после сушки с «кипящим» слоем, представленный специалистами ГХЗ

4) продолжительность процесса нейтрализации – 20 мин;

5) температура кристаллизации – 95°C;

6) скорость вращения мешалки на стадии кристаллизации – 40 об./мин;

7) продолжительность процесса нейтрализации – 4 ч.

Из полученных результатов следует, что образец продукта, синтезированного при оптимальных параметрах технологического режима, имеет более узкий фракционный состав, изменяющийся от 40 до 140 мкм, при этом содержание частиц размером более 45 мкм превышает 95%. А промышленный образец фтористого алюминия с барабанного вакуум-фильтра, представленный специалистами ГХЗ, имеет полидисперсный состав большого диапазона (от 1 до 180 мкм), при этом содержание частиц размером более 45 мкм не превышает 80%.

Сравнительный анализ фракционного состава образцов фтористого алюминия после барабанного вакуум-фильтра (рис. 3, *б*) и после сушки с «кипящим» слоем (рис. 3, *в*), представленных специалистами ГХЗ, показывает, что содержание мелкой фракции изменяется незначительно, поэтому предположения об измельчении продукта за время сушки и процессов газоочистки не подтверждаются. Необходимо также отметить, что представленные образцы (скорее всего) не являются образцами одного синтеза, так как отбирались в одно время, что сказывается на достоверности результатов.

По результатам электронно-микроскопических исследований были определены формы и внешний вид полученных кристаллов образцов фтористого алюминия, фракционный состав которых представлен на рис. 3. В частности, форма и морфология кристаллов продукта, образующихся при нейтрализации гексафторкремниевой кислоты гидроксидом алюминия, не имеют существенных различий в зависимости от режима кристаллизации, который влияет только на размер кристаллов. В основном это

частицы эллипсоподобной формы различных размеров. Наибольшая доля мелких кристаллов наблюдается у образца фтористого алюминия с барабанного вакуум-фильтра, представленного специалистами ГХЗ. У двух других образцов большой разницы в размерах и дисперсности состава нет.

Заключение. По результатам выполненных исследований можно сделать вывод, что основными параметрами, влияющими на размер образующихся кристаллов, являются природа кристаллизующей соли, интенсивность перемешивания, степень пересыщения раствора, температура кристаллизации и наличие примесей. Одними из главных параметров, оказывающих существенное влияние на скорость роста отдельных граней кристалла и его габитус, являются температура и интенсивность перемешивания. Это связано с влиянием температуры как на скорость образования зародышей, так и на скорость их роста, причем в большей степени это воздействие проявляется в процессе роста кристаллов, так как при повышении температуры рост кристаллов ускоряется в большей степени, чем процесс образования зародышей.

Характер роста и размер образующихся кристаллов определяется не только стадией кристаллизации, но и стадией нейтрализации гексафторкремниевой кислоты гидроксидом алюминия. Экспериментально установлено, что основными параметрами, влияющими на размер кристаллов фторида алюминия, являются мольное отношение $\text{Al}(\text{OH})_3 : \text{H}_2\text{SiF}_6$ на стадии нейтрализации, начальная температура стадии нейтрализации, температура кристаллизации и скорость вращения мешалки на стадии кристаллизации. Установлены оптимальные значения данных параметров, которые обеспечивают получение кристаллического фторида алюминия, соответствующего ТУ ВУ 400069905.040-2010, с фракционным составом, изменяющимся в интервале от 40 до 140 мкм, и содержание частиц размером более 45 мкм свыше 95 мас. %.

Литература

1. Пинаевская Е. Н., Бокастов Г. М. Изучение кинетики кристаллизации фторида алюминия // Труды Уральского научно-исследовательского химического института. 1968. № 17. С. 13–18.
2. Петлин И. В. Кристаллизация фторида алюминия // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. № 1 (2). С. 45–48.
3. Дьяченко А. Н., Петлин И. В. Техничко-экономическая оценка эффективности производства фторида алюминия // Известия Томского политехнического университета. 2011. № 6. С. 36–39.
4. Модернизация производства получения фторида алюминия / А. Н. Дьяченко [и др.] // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 317, № 3. С. 69–72.
5. Способ получения фторида алюминия: а. с. 1724578 СССР, С 01 F 7/50. № 4786546/26; заявл. 29.01.1990; опубл. 07.04.1992 // Открытия. Изобрет. 1992. № 5.
6. Producing aluminum fluoride: copyright certificate 2275. No. 3057681; apply 13.01.1960; publish 09.10.1962 // United States Patent. 1962. No. 8.
7. Process for manufacturing aluminum fluoride: copyright certificate 209731. No. 3855401; apply 20.12.1971; publish 17.12.1974 // United States Patent. 1974. No. 11.
8. Способ получения диоксида кремния и фторида алюминия: а. с. 1741622 СССР, С 01 В 33/12, С 01 F 7/50. № 4867883/26; заявл. 21.09.1990; опубл. 15.06.1992 // Открытия. Изобрет. 1992. № 22.
9. Continuous process for obtaining aluminium fluoride by reacting fluosilicic acid with an aluminous material: copyright certificate 363872. No. 3887693; apply 25.05.1973; publish 03.06.1975 // United States Patent. 1975. No. 9.
10. A process for manufacturing of aluminium fluoride: PCT/IN2009/000031 / Aditya Birla Science & Technology Co. Limited. WO 2009/113089 A2; apply 14.01.2008; publish 17.09.2009 // World Intellectual Property Organization – International Bureau.
11. Process for producing aluminum fluoride particles: copyright certificate 08/970474. No. 6080210; apply 14.11.1997; publish 27.07.2000 // United States Patent. 2000. No. 21.
12. Хамский Е. В. Кристаллизация в химической промышленности. М.: Химия, 1969. 344 с.
13. Гузь С. Ю. Производство криолита, фтористого алюминия и фтористого натрия. М.: Металлургия, 1964. 238 с.

References

1. Pinaevskaya E. N., Bokastov G. M. Studying the kinetics of crystallization of aluminum fluoride. *Trudy Ural'skogo nauchno-issledovatel'skogo khimicheskogo instituta* [Proceedings of the Ural Scientific Research Chemical Institute], 1968, no. 17, pp. 13–18 (In Russian).
2. Petlin I. V. Crystallization of aluminum fluoride. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [University News. Applied Chemistry and Biotechnology], 2012, no. 1 (2), pp. 45–48 (In Russian).
3. D'yachenko A. N., Petlin I. V. Feasibility study of aluminum fluoride production efficiency. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk Polytechnic University], 2011, no. 6, pp. 36–39 (In Russian).
4. D'yachenko A. N., Kraydenko R. I., Petlin I. V., Travin B. M. Modernization of production of aluminum fluoride. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [News of Tomsk Polytechnic University], 2010, vol. 317, no. 3, pp. 69–72 (In Russian).
5. Alekseev A. I., Artomasov B. A., Nagolov D. G., Sobolev V. N., Borisov B. S. *Sposob polucheniya ftorida alyuminiya* [A method of producing aluminum fluoride]. Copyright certificate, no. 1724578, 1992.
6. Donald C. Gernes, Los Gatos, William R. King. Producing aluminum fluoride. Copyright certificate, no. 2275, 1962.
7. Hiroshi Aiso, Takumi Takemura, Toshinobu Takeuchi. Process for manufacturing aluminum fluoride. Copyright certificate, no. 209731, 1974.
8. Nazarov Yu. V., Gromova I. N., Gordienko V. S., Chencov V. S. *Sposob polucheniya dioksida kremniya i ftorida alyuminiya* [The method of producing silicon dioxide and aluminum fluoride]. Copyright certificate, no. 1741622, 1992.
9. Nevado A. E., Lago E. C., Hernandez J. G. Continuous process for obtaining aluminium fluoride by reacting fluosilicic acid with an aluminous material. Copyright certificate, no. 363872, 1975.
10. A process for manufacturing of aluminium fluoride: PCT/IN2009/000031 / Aditya Birla Science & Technology Co. Limited. WO 2009/113089 A2. *World Intellectual Property Organization – International Bureau*.
11. Motohiko Asano, Toyohiro Nawata, Masahiro Numata, Koji Okamoto, Takashi Goda, Kazuyoshi Kamata. Process for producing aluminum fluoride particles. Copyright certificate, no. 08/970474, 2000.

12. Khamskiy E. V. *Kristallizatsiya v khimicheskoy promyshlennosti* [Crystallization in the chemical industry]. Moscow, Khimiya Publ., 1969. 344 p.

13. Guz' S. Yu. *Proizvodstvo kriolita, floristogo alyuminiya i floristogo natriya* [Production of cryolite, aluminum fluoride and sodium fluoride]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1964. 238 p.

Информация об авторах

Гаврилюк Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии неорганических веществ и общей химической технологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gavrilyuk@belstu.by

Дормешкин Олег Борисович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dormeshkin@yandex.ru

Писаренко Артур Николаевич – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pissaro311@gmail.com

Мохорт Марк Сергеевич – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: markmohort@gmail.com

Information about the authors

Hauryliuk Andrei Nikolaevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Inorganic Materials Technology and General Chemical Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gavrilyuk@belstu.by

Dormeshkin Oleg Borisovich – DSc (Engineering), Professor, Vice-Rector for Research. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dormeshkin@yandex.ru

Pisarenko Artur Nikolaevich – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pissaro311@gmail.com

Mokhart Mark Sergeevich – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: markmohort@gmail.com

Поступила 11.11.2019