

УДК 66.012

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ФТОРИДА АЛЮМИНИЯ

А.Н. Дьяченко, И.В. Петлин

Томский политехнический университет

E-mail: ilya-petlin@yandex.ru

Проведен расчет себестоимости производства по традиционной и современной технологии получения фторида алюминия. Установлена зависимость себестоимости фторида алюминия от качества используемого сырья. Предложены способы снижения себестоимости производства фторида алюминия.

Ключевые слова:

Фторид алюминия, флюорит, гидроксид алюминия, фтороводород, себестоимость.

Key words:

Aluminium fluoride, fluorite, aluminium hydroxide, fluorine hydride, prime cost.

Фторид алюминия используется как элемент электролита при электролизном получении алюминия [1]. Проблема производства фторида алюминия заключается в использовании устаревшей технологии, не позволяющей комплексно использовать сырьё, а также продуцирующей большое количество отходов производства.

Целью данной работы является определение себестоимости производства фторида алюминия путем оценки его технико-экономических характеристик, зависящих от технологического процесса.

Себестоимость продукции является одним из основных показателей работы предприятия и выражает в денежной форме затраты на ее производство [2].

На предприятиях РФ фторид алюминия производится по так называемой «мокрой» схеме, через стадию сернокислотного разложения флюорита, последующей абсорбции HF и его взаимодействия с гидроксидом алюминия [3]. Параллельно на 1 т единственного товарного продукта – фторида алюминия продуцируются 4...5 т отходов производства – фторид натрия, криолит, гипс и оксид кремния (белая сажа).

Технология производства фторида алюминия через стадию получения плавиковой кислоты подразумевает параллельное получение гипса в количестве в 2,5 раза большем, чем фторид алюминия.

Важным отрицательным моментом технологии является нереализуемость продаж гипсового отвала. Несмотря на то, что гипс является нецелевым продуктом предприятий, он всё же дефицитный товар.

Недостатки существующей технологии:

- 1) устаревшая «мокрая» схема производства, где на каждые 100 т фторида алюминия продуцируются невостребованные на рынке 10 т криолита и 3 т фторида натрия;
- 2) невозможность реализации гипса и оксида кремния;
- 3) большое количество жидких отходов, которые в виде гипсовой пульпы выбрасываются на шламовое поле.

В современной концепции химической индустрии должен отсутствовать термин «отход производства». Структура современного завода должна отвечать требованиям безотходности [4]. На рис. 1 приведена схема материальных потоков предприятий, производящих фторид алюминия.

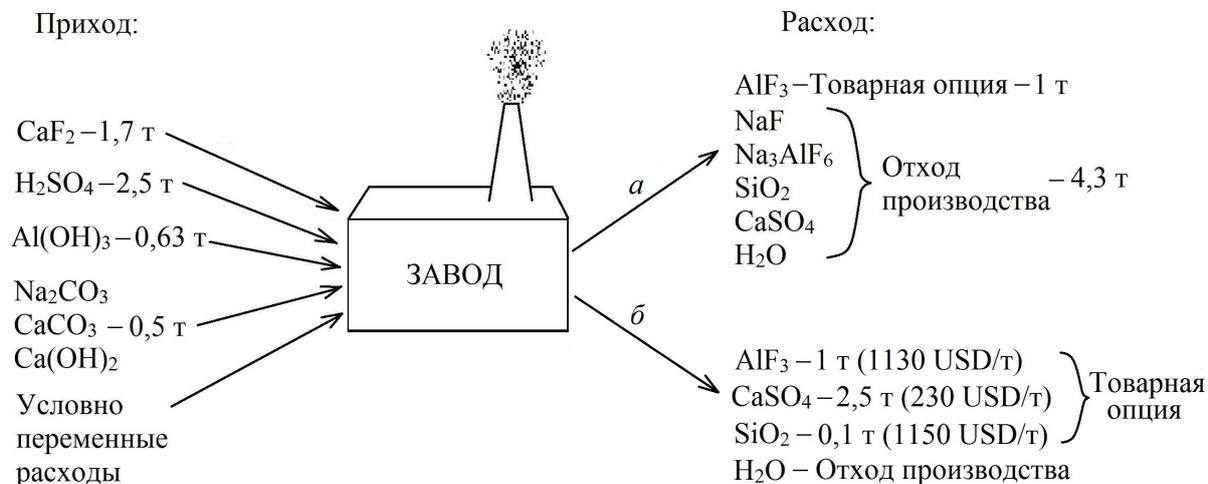


Рис. 1. Существующая (а) и идеализированная (б) схема материальных потоков производства фторида алюминия с усреднёнными расходными коэффициентами

Очевидно, что одним из основных факторов, влияющих на себестоимость производства фторида алюминия, является качество сырья, а именно флюорита. На российские предприятия по производству фторида алюминия поставляется флюоритовый концентрат (ФК) от Ярославского горно-обогатительного комбината (ЯрГОК) и КОО «Монголцветмет».

Качество отечественного сырья производства ЯрГОК не отвечает требованиям потребителя, поскольку содержание основного компонента (CaF_2) в нём колеблется от 80 до 90 %, а также бывают случаи поставки флюорита с содержанием CaF_2 до 70 %.

Производство фторида алюминия из некачественного флюоритового концентрата ЯрГОК приводит к увеличению расходных коэффициентов и значительным издержкам на сырьё. Для исследования влияния качества ФК на расходные коэффициенты сырья нами был произведен расчет стехиометрии основных реакций технологии и выведены формулы расчета расходных коэффициентов флюоритового концентрата, серной кислоты и соды для «мокрой» схемы производства фторида алюминия:

$$k_{\text{ФК}} = \frac{m_{\text{ФК}}}{0,718 m_{\text{CaF}_2} - 2,8 m_{\text{SiO}_2}};$$

$$k_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1,256 m_{\text{CaF}_2} + 0,98 m_{\text{CaCO}_3}}{0,718 m_{\text{CaF}_2} - 2,8 m_{\text{SiO}_2}};$$

$$k_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{5,3 m_{\text{SiO}_2}}{0,718 m_{\text{CaF}_2} - 2,8 m_{\text{SiO}_2}},$$

где $k_{\text{ФК}}$, $k_{\text{H}_2\text{SO}_4}$, $k_{\text{Na}_2\text{CO}_3}$ – расходные коэффициенты флюоритового концентрата, серной кислоты, соды, т/т AlF_3 ; $m_{\text{ФК}}$, m_{CaF_2} , m_{SiO_2} , m_{CaCO_3} – масса флюоритового концентрата, фторида кальция, оксида кремния, известняка, г.

В табл. 1 приведена структура себестоимости производства фторида алюминия из флюоритового концентрата ЯрГОК и КОО «Монголцветмет».

Таблица 1. Структура себестоимости производства фторида алюминия по «мокрой» схеме. Сырьё – ЯрГОК/Монголцветмет

Статья затрат	Состав сырья, %	Расходный коэффициент	Цена, USD/т
Флюоритовый концентрат	CaF ₂	80/95	2,302/1,597
	SiO ₂	5/2	
	CaCO ₃	15/3	
H ₂ SO ₄	–	2,651/1,953	80
Al ₂ O ₃	–	0,630	450
Na ₂ CO ₃	–	0,610/0,169	260
Условно постоянные расходы	–	1,250	–
Избыток H ₂ SO ₄	–	1,100	–

Себестоимость производства фторида алюминия из флюоритового концентрата ЯрГОК составила 1506 USD/т, что значительно превышает мировые цены на этот продукт. При использовании монгольского концентрата себестоимость производства составила 1183 USD/т.

Расчет себестоимости производился методом нормативной калькуляции. Нормы затрат на сырьё рассчитывались исходя из расходных коэффициентов при разном составе флюоритового концентрата.

Поскольку производство фторида алюминия относится к числу материалоемких производств, где большая часть затрат предприятия приходится на сырьё, то для упрощения расчетов затраты на сырьё в себестоимости взяты постоянными, в размере 75 % от общей суммы затрат. Другие условно постоянные расходы (фонд заработной платы, энергозатраты и пр.) составляют 25 %. Избыток серной кислоты относительно стехиометрии берётся равным 10 %.

Основным фактором влияния качества ФК на себестоимость является процентное содержание кремнезема в флюорите, который значительно снижает выход HF за счёт образования SiF_4 , а затем H_2SiF_6 , что в свою очередь приводит к увеличению расхода соды на связывание гексафторкремниевой кислоты при получении фторида натрия и криолита.

Наличие в флюорите карбоната кальция значительно меньше сказывается на себестоимости, поскольку карбонат не уменьшает выход продуктивного HF, но увеличивает расход серной кислоты.

За рубежом производство фторида алюминия осуществляется по так называемой «сухой» схеме, в которой принципиально отсутствует производство криолита, а соответственно и расходы на соду [5].

Для определения себестоимости производства фторида алюминия по «сухой» схеме нами были выведены формулы расчета расходных коэффициентов флюоритового концентрата и серной кислоты по стехиометрии реакций:

$$k_{\text{ФК}} = \frac{m_{\text{ФК}}}{0,718 m_{\text{CaF}_2} - 1,862 m_{\text{SiO}_2}},$$

$$k_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{1,256 m_{\text{CaF}_2} + 0,98 m_{\text{CaCO}_3}}{0,718 m_{\text{CaF}_2} - 1,862 m_{\text{SiO}_2}},$$

где $k_{\text{ФК}}$, $k_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ – расходные коэффициенты флюоритового концентрата и серной кислоты, т/т AlF_3 ; $m_{\text{ФК}}$, m_{CaF_2} , m_{SiO_2} , m_{CaCO_3} – масса флюоритового концентрата, фторида кальция, оксида кремния, известняка, г.

Данные для расчета себестоимости производства AlF_3 по «сухой» схеме приведены в табл. 2.

Себестоимость AlF_3 по «сухой» схеме составила 1106 USD/т.

В отличие от распространённого мнения, что для реализации «сухой» схемы необходимо только качественное сырьё, считаем это утверждение неправильным, поскольку наличие примесей влияет только на содержание тетрафторида кремния и воды в промежуточном фтороводороде, которые отделяются на стадии дистилляции. Технология утилизации SiF_4 не увеличивает себестоимость вследствие возможности возврата фтор-иона в голову процесса в виде фторида аммония, подшихтовкой его к флюориту, и выделения оксида кремния [6].

Таблица 2. Структура себестоимости производства фторида алюминия по «сухой» схеме

Статья затрат		Состав сырья, %	Расходный коэффициент	Цена, USD/т
Флюоритовый концентрат	CaF ₂	95	1,551	280
	SiO ₂	2		
	CaCO ₃	3		
H ₂ SO ₄		–	1,896	80
Al ₂ O ₃		–	0,630	450
Условно постоянные расходы		–	1,250	–
Избыток H ₂ SO ₄		–	1,100	–

Зависимость себестоимости фторида алюминия от качества сырья (флюорита) представлена на рис. 2.

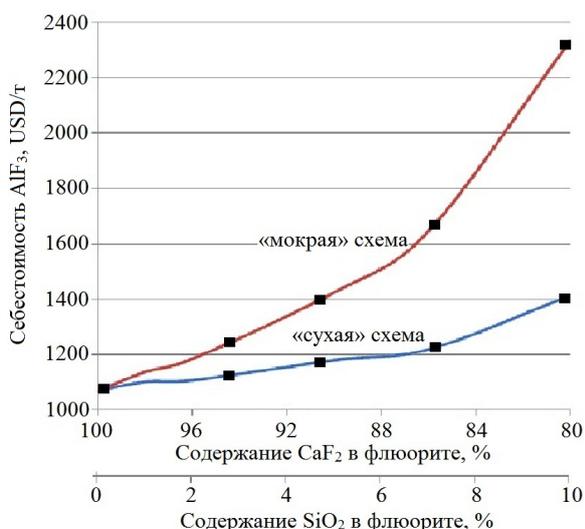


Рис. 2. Изменение себестоимости передела по «сухой» и «мокрой» схемам в зависимости от качества флюоритового концентрата

Полученные результаты показывают, что даже при наличии достаточно качественного сырья с содержанием основного компонента около 95 %, себестоимость фторида алюминия, произведённого по «мокрой» технологии, будет составлять около 1250 USD/т, а по «сухой» около 1150 USD/т.

Данные результаты справедливы для случая не комплексного использования сырья с отсутствием реализации всех непрофильных продуктов. Без модернизации существующей «мокрой» схемы производства фторида алюминия невозможно получить значение себестоимости фторида алюминия ниже 1250 USD/т.

Единственным способом выйти на рынок с конкурентоспособным производством фторида алюминия является модернизация производства с вовлечением в коммерческий цикл гипса и оксида кремния.

Ещё большим успехом станет внедрение «сухой» технологии, позволяющей отказаться от выпуска криолита и фторида натрия. Здесь необходимо отметить, что если часть оборудования существующих производств не демонтировать, а консервировать, то «сухая» технология позволяет при необходимости на существующем оборудовании

быстро восстановить выпуск криолита и фторида натрия без капитальных затрат.

Развивая теорию о вовлечении в коммерческий цикл гипсовых отвалов, были проведены модельные расчёты себестоимости фторида алюминия в зависимости от качества флюорита по «мокрой» и «сухой» схемам, табл. 3.

Таблица 3. Себестоимость производства фторида алюминия по «мокрой» и «сухой» схемам при условии продажи гипса по цене 110 USD/т

Качество ФК, %	Цена ФК, USD/т	Количество гипса, т/т AlF ₃		Себестоимость передела, USD/т AlF ₃		Выручка от продажи гипса, USD/т AlF ₃		Остаточная себестоимость, USD/т AlF ₃	
		«Мокрая» схема	«Сухая» схема	«Мокрая» схема	«Сухая» схема	«Мокрая» схема	«Сухая» схема	«Мокрая» схема	«Сухая» схема
100	300	2,41	2,41	1071	1071	267	267	804	804
98	300	2,54	2,51	1139	1103	280	276	859	827
95	280	2,70	2,62	1186	1108	298	289	888	819
90	260	3,22	2,95	1426	1180	355	325	1071	855
85	230	3,82	3,30	1648	1219	421	363	1227	856
80	230	5,17	3,92	2334	1411	569	431	1765	980

Как видно из табл. 3, продажи гипса по минимальной цене 110 USD/т позволяют снизить себестоимость фторида алюминия до 888 USD/т при работе на 95 % концентрате по «мокрой» схеме производства и до 819 USD/т по «сухой» схеме.

Также рассмотрен вариант с продажей оксида кремния. Предварительные научно-исследовательские работы показывают возможность получения высококачественного оксида кремния сорта «белая сажа» с ближайшим промышленным аналогом БС–100, БС–120.

Стоимость оксида кремния на мировом рынке колеблется в интервале от 1000 до 2000 USD/т, в зависимости от качества продукта [7]. Годовой объём потребления белой сажи на рынке РФ составляет около 20 тыс. т.

Расчёты себестоимости производства фторида алюминия по «сухой» схеме при условии продажи гипса по цене 110 USD/т и белой сажи по цене 1000 USD/т представлены в табл. 4.

Таблица 4. Себестоимость фторида алюминия при производстве по «сухой» схеме с реализацией всех побочных продуктов

Качество ФК, %	Содержание кварца, %	Цена ФК, USD/т	Себестоимость передела, USD/т AlF ₃	Выручка от продажи гипса, USD/т AlF ₃	Выручка от продажи SiO ₂ , USD/т AlF ₃	Остаточная себестоимость, USD/т AlF ₃
100	0	300	1071	267	0	804
98	1	300	1103	276	15	812
95	2	280	1108	289	31	788
90	5	260	1180	325	90	765
85	7	230	1219	363	150	706
80	10	230	1411	431	260	720

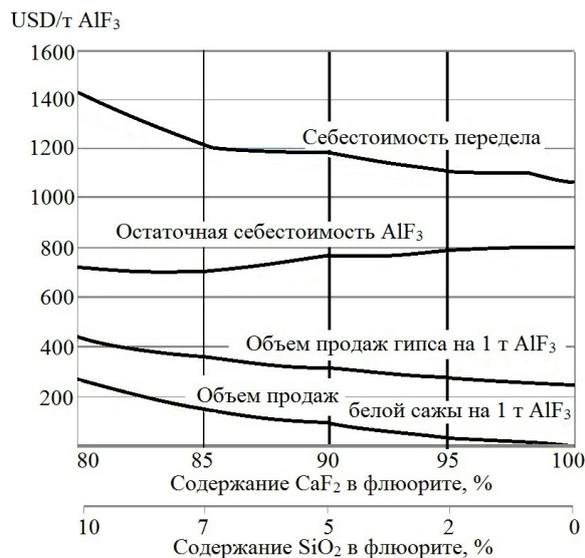


Рис. 3. Структура себестоимости продуктов производства AlF_3 при комплексном использовании сырья

Как видно из табл. 4, при продажах всех коммерческих продуктов — гипса и белой сажи, себестоимость фторида алюминия составляет около 800 USD/т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раков Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. — М.: Изд-во МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1990. — 162 с.
2. Ребрин Ю.И. Основы экономики и управления производством. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. — 145 с.
3. Гузь С.Ю. Производство криолита, фтористого алюминия и фтористого натрия. — М.: Металлургия, 1964. — 238 с.
4. Зайцев Н.Л. Экономика промышленного предприятия. — М.: Инфра-М, 2008. — 414 с.

Структура себестоимости продуктов производства фторида алюминия представлена на рис. 3.

Как видно из графика, продажи гипса и оксида кремния обеспечивают независимость себестоимости фторида алюминия от качества флюоритового концентрата: чем больше примеси кварца во флюоритовом концентрате, тем больше объем производимого оксида кремния, продажи которого компенсируют издержки производства. Это позволяет конкурентно работать на флюоритовом концентрате отечественного производства.

Выводы

1. Выполнен расчет себестоимости фторида алюминия по «мокрой» и «сухой» схемам производства методом нормативной калькуляции.
2. Показано, что себестоимость производства фторида алюминия по «сухой» схеме на 100...150 USD/т меньше, по сравнению с производством его по традиционной технологии.
3. Вовлечение в коммерческий оборот по минимальным ценам гипса и оксида кремния как побочных продуктов делает себестоимость производства фторида алюминия (800 USD/т) независимой от качества сырья.

5. Пустильник Г.Л., Вольфсон Г.И., Галков А.С. Производство фтористых солей для алюминиевой промышленности за рубежом. — М.: Металлургия, 1976. — 186 с.
6. Дьяченко А.Н. Галогенаммонийная технология переработки металлургических шлаков // Цветные металлы. — 2005. — № 5. — С. 71–75.
7. Официальный сайт ОАО «Сода». 2010. URL: <http://www.soda.ru/index.html> (дата обращения: 30.09.2010).

Поступила 11.10.2010 г.