

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской
программы д-р хим. наук,
профессор

_____ Н.В. Белоусова

«_____» _____ 20__ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

22.04.02.02 «Металлургия цветных металлов»

«Повышение эффективности улавливания фторидов путем модернизации
газоочистной установки»

Руководитель

Подпись дата

канд. техн. наук, доцент

Е.Д. Кравцова

Консультант по
экономической
части

Подпись дата

канд. экон. наук, доцент

Т.В. Твердохлебова

Магистрант

Подпись дата

А.С. Соленов

Рецензент

Подпись дата

Начальник департамента

технологии и

технологического

развития алюминиевого

производства САЗ

В.Т. Асланов

Красноярск 2020 год

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа в форме магистерской диссертации по теме «Повышение эффективности улавливания фторидов путем модернизации газоочистной установки» содержит 75 страниц текстового документа, в том числе 23 иллюстрации, 17 таблиц. Список использованных источников содержит 50 наименований.

Целью данного исследования является увеличение производительности газоочистных установок на АО «РУСАЛ Саяногорск», в результате применения рукавных фильтров с увеличенной площадью фильтрации (гофрированных рукавов) без снижения эффективности улавливания фторидов.

При выполнении исследования решены следующие задачи:

- произведен анализ современного состояния вопроса в области снижения выбросов загрязняющих веществ в электролизном производстве;
- осуществлен поиск и дана оценка известным техническим решениям по увеличению площади фильтрации рукавных фильтров; на газоочистных установках на АО «РУСАЛ Саяногорск»;
- проведены испытания рукавов увеличенной площади фильтрации в сравнении со стандартными рукавами;
- доказана экономическая эффективность и целесообразность данных мероприятий.

Результаты проведенных исследований подтвердили, что при использовании рукавов повышенной площадью фильтрации, можно достичь повышения производительности газоочистной установки без снижения эффективности улавливания фторидов. Дополнительные операционные затраты составят 3135 тыс. руб. в год – решение окупается за счет снижения

затрат на электропотребление ГОУ, платежей за выбросы загрязняющих веществ, расхода фтористого алюминия. Срок окупаемости 11 месяцев.

Проект имеет значимую направленность на охрану труда и окружающей среды.

**ЭЛЕКТРОЛИЗЕР, ФТОРИСТЫЙ АЛЮМИНИЙ, ГАЗОЧИСТНАЯ
УСТАНОВКА, РУКАВНЫЙ ФИЛЬТР**

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ	2
СОДЕРЖАНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
Обоснование выбора темы	7
Цель и задачи исследования	8
Методы решения задач	9
Ожидаемые результаты.....	9
1 Технологические особенности производства алюминия на высокоамперных электролизерах	10
1.1. Влияние технологии высокоамперного электролиза на окружающую среду.....	14
Выводы по разделу 1	18
2 Технология сухой газоочистки при электролитическом производстве алюминия	20
2.1 Конструкции и типы сухой очистки газов	21
2.2. Современное состояние вопроса в области снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу	28
Выводы по разделу 2.....	36
3 Применение рукавных фильтров с увеличенной площадью фильтрации на газоочистных установках АО «РУСАЛ Саяногорск»	37
3.1 Характеристики основного оборудования	37
3.2 Аппаратурно–технологическая схема процесса очистки электролизных газов «сухой» газоочистной установки фирмы «FLAKT»	42
3.3 Обзор поставщиков рукавов с повышенной площадью фильтрации	45
3.4. Испытания рукавов Advancetex International	49
Выводы по разделу 3.....	57
4 Оценка технико-экономических показателей в результате использования на ГОУ гофрированных рукавов с повышенной площадью фильтрации.....	59
4.1 Исходные данные для расчёта экономической эффективности внедрения мероприятия	59

4.2 Расчёт экономической эффективности внедрения мероприятия.....	61
4.3 Анализ чувствительности экономических показателей проекта и оценка рисков их недостижения.....	63
Выводы по разделу 4.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	69
СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Новые технологические процессы алюминия должны иметь существенно более низкие показатели энергозатрат, а так же уровни воздействия на окружающую среду. При производстве алюминия выделяются и выбрасываются в атмосферу загрязняющие вещества, такие как фториды, диоксид серы, пыль и др. Большие объемы пылегазовоздушной смеси, подвергаемой очистке, наличие в ней мелкодисперсной пыли требуют нестандартных подходов при выборе методов и аппаратуры очистки газов.

Современные предприятия при производстве алюминия применяют технологии с использованием обожженных анодов, с последующей сухой очисткой анодных газов. Это позволяет не только снизить энергозатраты и расход материалов, но и существенно сократить выбросы вредных веществ.

Новые технологические процессы получения алюминия непосредственно направлены на сокращение выбросов электролизных газов, с целью снижения негативного воздействия алюминиевого производства на окружающую среду. Необходимо решить две ключевые проблемы:

- эффективная эвакуация электролизных газов от корпусов электролиза;
- высокая степень очистки загрязняющих веществ в газоочистных установках.

Цеха электролиза являются достаточно мощным источником выделения фтористых соединений. Высокие показатели современных газоочистных установок (ГОУ) позволяют достичь степень газоулавливания 98–99,9 %, но, несмотря на эти показатели, на современных ГОУ проблемы все же остаются. Высокоамперные электролизеры с силой тока 400 кА и более имеют большие габариты по длине, при их поперечном расположении в корпусе. От одного такого электролизера необходимо эвакуировать 11000 – 14000 м³/час. В связи, с чем в районах расположения алюминиевых заводов создаются повышенные, превышающие предельно допустимые нормы,

концентрации фторидов. Данные электролизеры нуждаются в использовании ГОУ с более высокой производительностью по объему эвакуируемых газов.

На сегодняшний день процесс изученности методов очистки отходящих газов с использованием сухой ГОУ, является целесообразным и актуальным. Дальнейшее развитие высокоамперной технологии электролиза, на прямую зависит от совершенствования и достижения высоких показателей эффективности ГОУ.

Обоснование выбора темы

При производстве алюминия электролизом происходит хроническое загрязнение окружающей среды фтористыми соединениями, оксидами углерода и серы, а так же веществами первого класса опасности – соединениями ванадия, хрома, никеля, часть из которых обладает мутагенной и канцерогенной активностью. Все это указывает на необходимость улучшения как процесса электролиза, так и систем очистки отходящих газов от наиболее опасных компонентов. Сложный многокомпонентный состав и большие объемы пылегазовоздушной смеси, подвергаемой очистке, наличие в ней мелкодисперсной пыли требуют нестандартных подходов при выборе методов и аппаратуры очистки газов.

Метод сухой очистки газов электролизного производства исключает из технологической схемы сложные переделы по подготовке и регенерации сорбента, а так же снижает количество F-содержащих отходов. Обладая высокой эффективностью (более 99 %), сухая газоочистка позволяет снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, но и вернуть в процесс компоненты сырья, теряемые при электролизе.

Однако, несмотря на высокую степень улавливания фторидов в ГОУ, некоторая часть загрязняющих веществ попадает в атмосферу через аэрационные фонари корпусов электролиза. При частичной разгерметизации во время технологического обслуживания электролизеров, через фонари

уходит, как правило, от 2 до 5 % от количества выделяющихся из электролизеров загрязняющих веществ.

Использование фонарной газоочистки требует больших капитальных затрат и резко повышает эксплуатационные расходы на очистку газов. В связи с этим современных алюминиевых заводах очистка фонарных газов не применяется. Подавляющее большинство алюминиевых компаний в целях сокращения выбросов идут по пути повышения герметичности электролизеров.

При больших затратах на сооружение и эксплуатацию установок для очистки больших объемов газов (сотни тысяч м³/час) особое значение приобретают методы сокращения выбросов в атмосферу за счет увеличения объема эвакуируемого газа от корпусов электролиза путем модернизации газоочистной установки.

В данной работе будет рассматриваться возможность увеличения объема газоотсоса электролизных газов с сохранением эффективности их очистки на промплощадке Саяногорского алюминиевого завода. Производительность корпусов электролиза с момента пуска увеличивалась в среднем на 15 % от проектных показателей по таким направлениям, как установка дополнительных электролизёров в северных торцах корпусов, увеличение силы тока. При этом производительность газоочистных установок по объему эвакуируемых газов осталась на проектном уровне – 940000 м³/ч.

Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является увеличение производительности газоочистных установок на АО «РУСАЛ Саяногорск», в результате применения рукавных фильтров с увеличенной площадью фильтрации (гофрированных рукавов).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- осуществить поиск и оценку технических решений по увеличению площади фильтрации рукавных фильтров.
- произвести обзор поставщиков рукавов с повышенной площадью фильтрации.
- произвести испытания рукавов увеличенной площади фильтрации в сравнении со стандартными рукавами;
- выполнить расчет экономической эффективности и целесообразности предлагаемого мероприятия.

Методы решения задач

- анализ современной технической литературы в выбранном направлении исследований,
- выбор поставщиков рукавов с повышенной площадью фильтрации,
- расчет экономической оценки эффективности предлагаемых решений.

Ожидаемые результаты

Проект имеет значимую направленность на охрану труда и окружающей среды. В результате применения рукавных фильтров с увеличенной площадью фильтрации (гофрированных рукавов), прогнозируется снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, улучшение качества воздуха в рабочей зоне корпусов электролиза, снижение расхода силовой электроэнергии на главных центробежных вентиляторах и как следствие себестоимости производства тонны алюминия.

1 Технологические особенности производства алюминия на высокоамперных электролизерах

Упрощенный схематический вид основных элементов алюминиевого электролизера показан на рисунке 1.

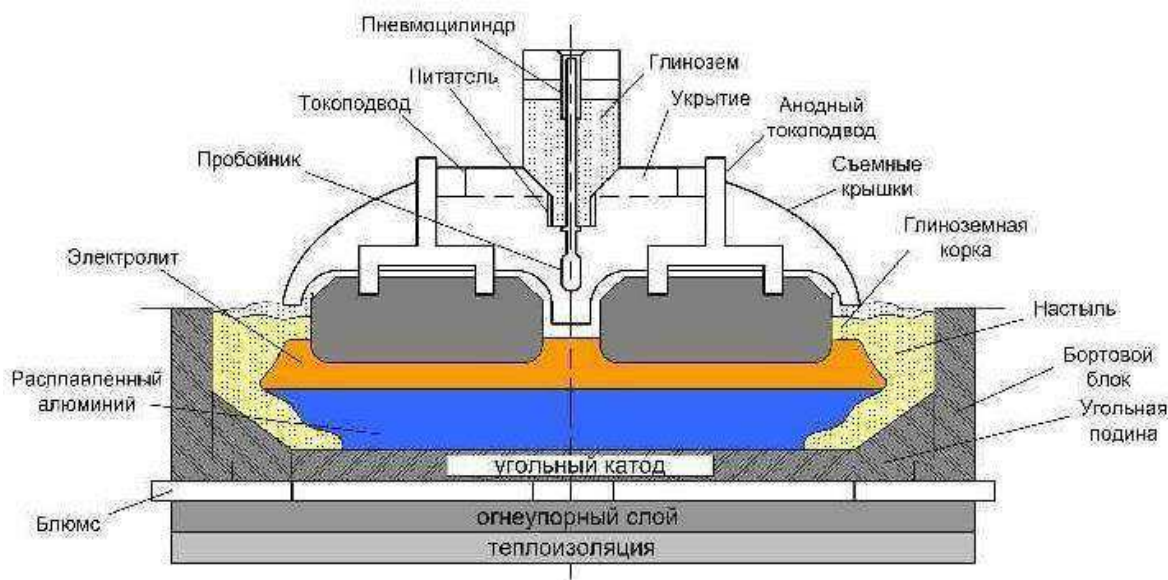


Рисунок 1 – Схематический чертеж основных элементов алюминиевого электролизера с обожженными анодами

Современная технология развития высокоамперного электролиза показывает, что современные предприятия базируются на применении новых материалов для подины электролизера. Ряд фирм запатентовали подины с использованием штырьков, поплавков и т.д., укрепленных в подине. Или плавающих на границе металл-электролит. Это уменьшает межфазную конвекцию, образование волн и позволяет сократить межполюсное расстояние и тем самым увеличивает мощность электролизера и уменьшает величину удельных выбросов. Значительное внимание уделяется использованию карбида кремния и нитрида алюминия в качестве футеровочного материала для блоков бортовой футеровки, из-за разрушения которой выходит из строя около 20 % электролизеров.

Применение электролитов с низким криолитовым отношением ($KO = 2,2-2,4$) гарантируют оптимальный тепловой режим при минимальных потерях металла и высокий выход по току (94–95 %). Это дает возможность вести технологический процесс при низких температурах – 940÷955 °С [1, 2]. Снижение температуры электролиза резко увеличивает долговечность работы ванны, уменьшает тепловыделение в цех, улучшает условия труда, увеличивает герметизацию и делает производство экологически более чистым.

Наличие точечного АПГ в современной технологии электролиза позволяет работать с более низким выделением вредных веществ в окружающую среду. Применение точечного АПГ является одним из обязательных условий для получения высоких показателей выхода по току [3]. АПГ точечного типа обеспечивает поддержку в узком интервале стабильной концентрации глинозема, а также поддерживает криолитовое отношение в заданном интервале при дополнительном питании фторсолей [4].

С целью снижения потерь глинозема за счет уменьшения его выбросов в окружающую среду были разработаны и довольно широко используются системы централизованной раздачи глинозема (ЦРГ), при которой силосные емкости соединены пневмотранспортом с бункерами на электролизерах.

Снижение уровня металла помогает оптимизировать форму рабочего пространства, за счет возможности образования осадков на подине и уменьшения длины подовой настыви [5]. Оптимальный уровень металла в отечественной практике показывает опыт эксплуатации высокоамперных электролизеров с уровнем металла менее 19 см [6].

Физико-химические свойства глинозема такие как: химический, фазовый, гранулометрический состав, плотность, угол откоса, удельная поверхность и др. могут изменяться в широком диапазоне. Все эти свойства в той или иной степени взаимосвязаны. Увеличение содержания $\alpha-Al_2O_3$ приводит к уменьшению удельной площади поверхности, снижению

содержания влаги, увеличению угла откоса, росту теплопроводности. Обязательное использование глинозема высших марок Г000, является характерной особенностью высокоамперных технологий электролиза [7]. Глинозем «песочного» типа [8] имеет равномерную крупность пониженное содержание α -фракции, высокую степень дисперсности, что обеспечивает его высокую степень растворимости в электролите и позволяет увеличивать выход по току не менее чем на 1,5 % [9]. Мучистый глинозем содержит большое количество мелких фракций – 45 мкм до 60 %, обладает плохой текучестью, малой удельной поверхностью и имеет малое содержания α - Al_2O_3 [8].

При использовании «сухой» очистки газов «песчаный» глинозем позволяет сократить фоновые выбросы в атмосферу электролизного производства за счет меньшего количества содержания мелкой фракции (10–20 %), что, прежде всего, снижает пыление при транспортировке глинозема и загрузке его в рабочую зону электролизера, а так же за счет хорошей адсорбционной способностью газов [10].

На современных алюминиевых предприятиях достигнутые показатели подтверждают эффективность выбранного направления [11,12]:

- расход технологической электроэнергии составляет 12500–13000 кВт·ч/т Al;
- расход анодов 500–520 кг/т Al;
- расход фторида алюминия 15–17 кг/т Al [11,12];
- выход по току достигает 95 %.

Применение сухой газоочистки электролизных газов, позволяет возвращать в электролиз фторированный глинозем в качестве сырьевого компонента для замены свежего глинозема, при этом снижая потребление фторсолей [13]. Фторированный глинозем - порошкообразный материал серого цвета, содержание фтора в глиноземе зависит от крупности и содержание фракций в нем исходного свежего глинозема, а также эффективности, которая оказывает незначительное влияние на его состав и

свойства. Метод сухой очистки электролизных газов в электролизном производстве, сегодня является экологически безопасным, а так же экономически целесообразным, за счет возврата в производство часть дорогостоящих фтористых солей [14].

Однако на сегодняшний день остаются нерешенные вопросы с фонарными выбросами от электролизного производства. В связи с недостаточной герметичностью шторных укрытий электролизеров, при проведении технологических операций, значительная часть загрязняющих веществ поступает в атмосферу через аэрационные фонари. При применении электролизеров с обожжёнными анодами через фонари уходит, как правило, от 2 до 5 % количества выделяющихся из электролизеров загрязняющих веществ.

Использование фонарной газоочистки требует больших капитальных затрат и резко повышает эксплуатационные расходы на очистку газов. В связи с этим на современных алюминиевых заводах очистка фонарных газов не применяется. Подавляющее большинство алюминиевых компаний в целях сокращения выбросов идут по пути повышения герметичности электролизеров.

Особым источником выделения фтора являются огарки анодов, которые для охлаждения могут быть оставлены непосредственно в цехе, что значительно увеличивает фонарные выбросы корпусов электролиза. С целью уменьшения фонарных выбросов и потерь фтористых солей опытный участок Саяногорского алюминиевого завода охлаждение огарков осуществляет в герметичном контейнере [15]. Устройство схематично изображено на рисунке 2, оно состоит из контейнера (корпуса) с боковыми стенками и подиной для установки анодных огарков, верхней крышкой, газоотводящим трубопроводом который соединяется в общую систему газоходв ГОУ. Изъятый из электролизера анодный огарок, с целью охлаждения помещается в данный контейнер. Газы, выделяющиеся от

охлаждаемого анодного огарка, эвакуируются в общую систему газоходв ГОУ

Опыты, в которых анод подвергался охлаждению в специальных камерах с улавливанием газов, показали, что суммарные потери фтора здесь достаточно [16]. Недостатками данного устройства является дополнительная нагрузка отходящих газов на ГОУ, а так же потеря в окружающую среду тепла от анодного огарка.

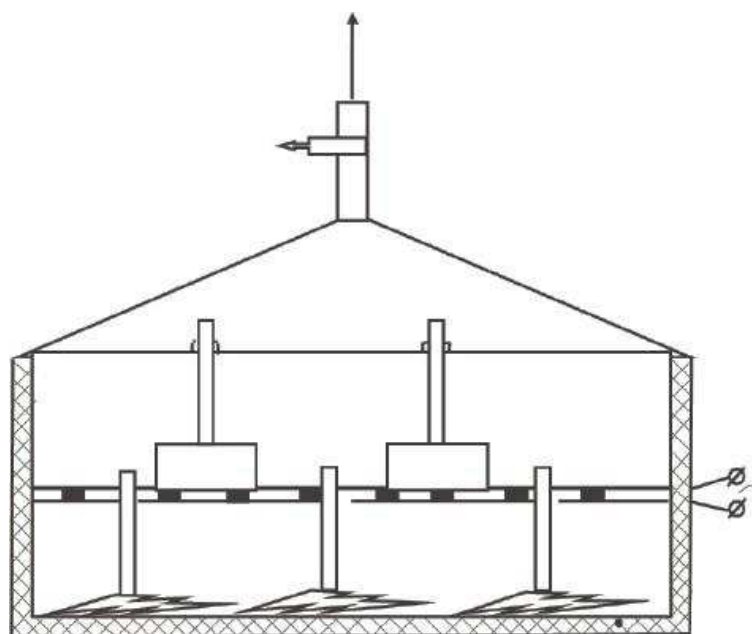


Рисунок 2 – Герметичный контейнер охлаждения анодных огарков

1.1. Влияние технологии высокоамперного электролиза на окружающую среду

Современное высокотемпературное оборудование является крупнейшим потребителем энергетических и сырьевых ресурсов. Так, мировая алюминиевая промышленность преодолела новый рубеж по производству металла, более ≈ 56 млн т/год металла, затрачивая на эти цели около 8 % вырабатываемой электроэнергии.

Последующее развитие отрасли неразрывно связано с ростом потребления на фоне глобальных процессов урбанизации и

индустриализации. Алюминий все активнее заменяет сталь, в авиастроении и автомобилестроении, а также вытесняет более дорогую медь в электроэнергетике. К 2023 году аналитики прогнозируют, что спрос на алюминий превысит 80 млн тонн в год.

Однако, несмотря на все достоинства металла при производстве тонны алюминия образуется около 1,5 тонн газообразных и твердых загрязняющих веществ, из которых порядка 90 % улавливается и обезвреживается системой газоудаления, что недостаточно для достижения допустимого уровня выбросов, установленного Законодательством в области охраны окружающей среды.

Многочисленными исследованиями показано, что влияние загрязняющих веществ на организм человека и окружающую среду зависит от концентрации их в воздухе [17, 18].

Влияние высокоамперного электролиза оказывает прямое воздействие на выбросы газообразных и твердых загрязняющих веществ в окружающую среду. Классы опасности выбросов приведены в таблице 1 [18].

Таблица 1 – Классы опасности выбросов газообразных и твердых загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Класс опасности			
	1	2	3	4
Бенз(а)пирен	х			
Фтористый водород		х		
Плохорастворимые неорганические фториды		х		
Оксиды алюминия		х		
Сернистый ангидрид			х	
Оксид углерода				
Пыль неорганическая, содержащая до 20 % SiO ₂			х	
Оксид углерода				х

Предельно допустимые выбросы (ПДВ) — это нормативы вредных выбросов веществ, которые регламентируют максимально допустимый объём и состав вредных веществ, выбрасываемых предприятием в атмосферный воздух. Этот показатель устанавливают для стационарного источника выбросов, учитывая общее содержание загрязняющих веществ в воздухе. При этом источник не должен превышать установленные экологические нормативы.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ – это максимальная концентрация вредного вещества, которая за определенное время воздействия не влияет на здоровье человека и его потомство, а также на компоненты экосистемы и природное сообщество в целом. Государственный стандарт «Охрана природы. Атмосфера» определяет правила установления допустимых выбросов вредных веществ проектируемыми и действующими предприятиями [19].

На основе настоящего стандарта министерства и ведомства разрабатывают отраслевые стандарты и другую нормативно-техническую документацию, регламентирующую установление величин выбросов вредных веществ с учетом отраслевых особенностей.

Определены основные компоненты, содержащиеся в выбросах при электролитическом производстве алюминия, установлены следующие ПДК [20].

В соответствии с Законом РФ об охране атмосферного воздуха [21] и Законом об охране окружающей среды [22], норматив предельно допустимого выброса вредного вещества в атмосферный воздух устанавливается для стационарного источника загрязнения атмосферного воздуха с учетом технических нормативов выбросов и фоновое загрязнение при условии не превышения данным источником гигиенических и экологических нормативов качества воздуха и предельно допустимых нагрузок на экологические системы.

Уровень выбросов из источников рассчитывается исходя из необходимости соблюдения условий, при которых концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (с учетом эффекта суммации, потенцирования и др.) не превышала бы ПДК [23].

Наглядное представление выделений фторидов даётся на рисунке 3, который был представлен в работе [24]. Газообразными фторидами называются те фториды, которые продолжают оставаться газами при температуре окружающей среды [25]. Твёрдые фториды образуются вследствие процессов испарения из электролита, а также при увлечении твёрдых материалов из электролита, при питании глинозёмом и с корки во время выделения газов [26].

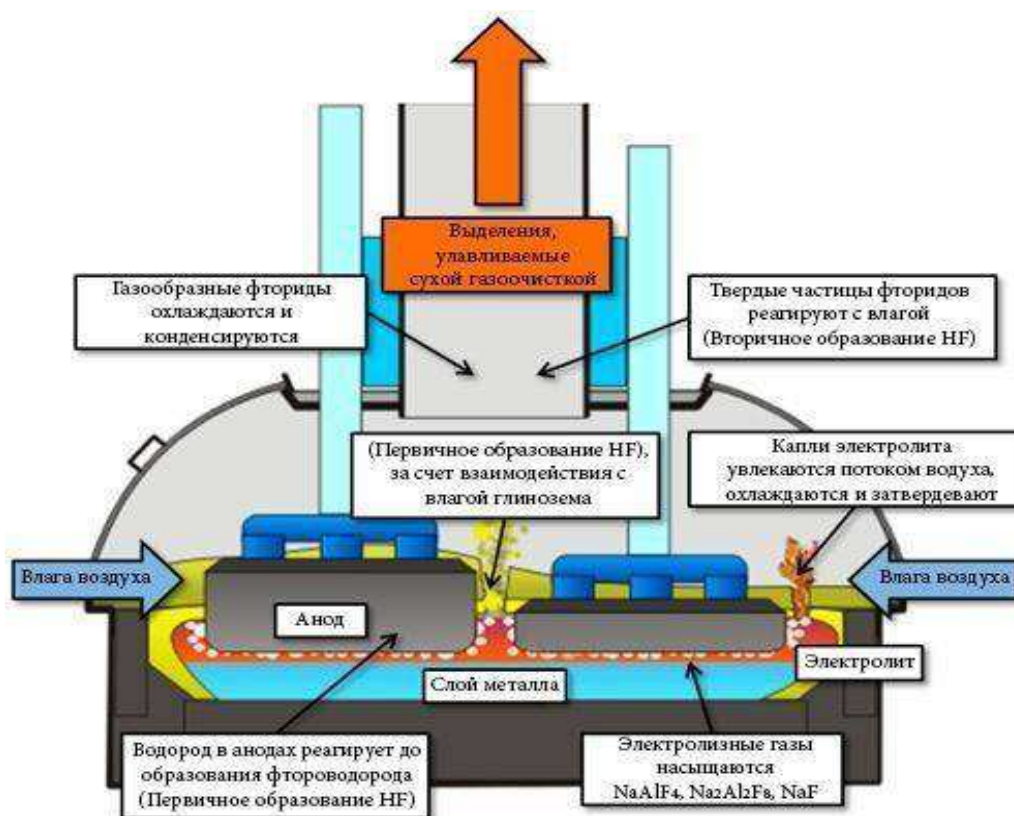


Рисунок 3 – Схема образования фторидных выделений в промышленных электролизерах для получения алюминия из расплавленных солей

Фторид алюминия AlF_3 является одной из самых важных составляющих расплава в производстве алюминия. Во время электролиза можно выделить следующий механизм потери фтора с HF и фторсодержащими солями [27, 28]:

- увлечение капелек расплава анодными газами или воздухом;
- гидролиз расплава за счет взаимодействия с водой и углеродами (с образованием HF);
- испарение (в пузырьки анодных газов или.воздух);
- прямое фторирование углерода (при анодном эффекте);
- увлечением газами пыли фторидов, загружаемых в ванну.

Выводы по разделу 1

Анализ литературных данных показал, что характерными признаками современных электролизеров в алюминиевой промышленности является:

- низкая напряженность магнитного поля;
- система автоматического (точечного) питания глиноземом;
- увеличение срока службы катодного устройства, что резко уменьшает количество твердых отходов;
- применение эффективного укрытия рабочего пространства;

Но, процесс изученности очистки отходящих газов при помощи сухой ГОУ в достаточной мере не позволяет решить вопросы дальнейшего совершенствования высокоамперной технологии электролиза.

В связи с этим, актуальной научной проблемой для производителей алюминия является разработка научно обоснованного комплекса технических и технологических решений по повышению энергетической эффективности и экологических показателей оборудования для производства первичного алюминия, обеспечивающих уменьшение энергетических затрат на единицу производимой продукции, сбережение материальных ресурсов и защиту окружающей среды.

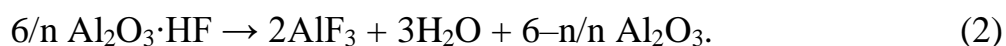
Большинство алюминиевых компаний в целях сокращения выбросов идут по пути внедрения высокоэффективных укрытий рабочего пространства (улавливание газов свыше 97 %), достижение высокой эффективности очистки электролизных газов (свыше 99 %).

2 Технология сухой газоочистки при электролитическом производстве алюминия

Улавливание фторидных выделений из электролизёра основано на улучшении экологических показателей производства и снижение затрат за счет возвращения в производство часть дорогостоящих фтористых солей. Отличие разных способов очистки отходящих газов от корпусов электролиза сводится к различному аппаратурному оформлению процесса и условиям его проведения [29].

На сегодняшний день при использовании сухой очистки электролизных газов применяются фильтры-реакторы (адсорбенты) различных конструкций [30]. Метод сухой газоочистки является самым распространенным методом очистки электролизных газов не только за рубежом, но и в России.

Технология улавливания фтористого водорода в системе сухой газоочистки основана на способности глинозема поглощать фтористый водород. В реакторе-адсорбере в режиме аэрозвеси, происходит процесс соединения фтористого водорода с оксидом алюминия:



В рукавных фильтрах при прохождении очищаемых газов через слой глинозема, осевшего на материале, продолжается процесс очистки газов.

Отработанный фторированный глинозем, удаляемый из рукавных фильтров установок сухой газоочистки, кроме адсорбированного фтористого водорода содержит уловленную из электролизных газов пыль, содержащую твердые фториды, углерод и смолистые вещества.

Это обеспечивает практически полную утилизацию уловленных фторидов без дополнительной переработки.

2.1 Конструкции и типы сухой очистки газов

Уровень развития современных процессов и рост объемов производства алюминия, приводит к значительному увеличению объема отходящих газов от корпусов электролиза, где должны эффективно улавливаться даже незначительные количества вредных компонентов.

Более 30 лет в алюминиевой промышленности используется технология сухой газоочистки. Фирма «Alcoa Inc.» (США) одна из первых стала применять метод сухой очистки газа [31].

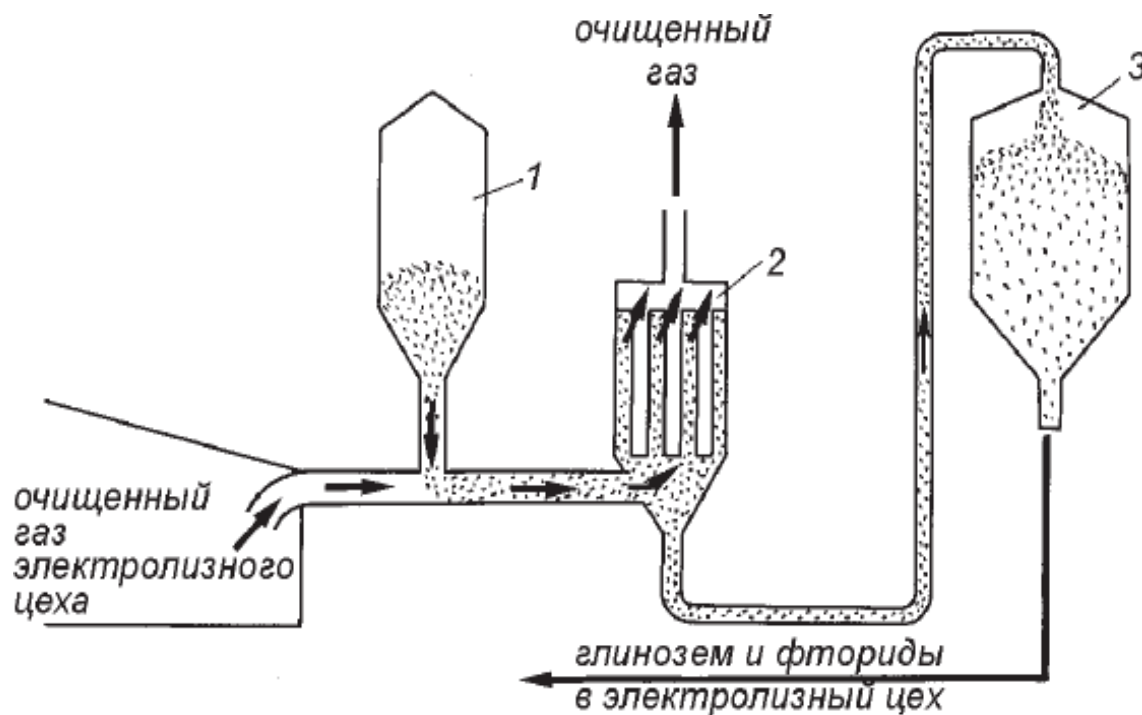
В настоящее время система очистки на основе рукавных фильтров широко используется при очистки отходящих газов от электролизеров с обожженными анодами, что определяется необходимостью улавливания частиц с диаметром менее 2 мкм. Это обеспечивает эффективную утилизацию уловленных фторидов без дополнительной переработки.

С появлением высокоамперных электролизеров производительность газоочистной установки по объему эвакуируемых газов увеличилась более чем вдвое. Современные заводы, такие как Mozal и Rio Tinto Alcan Alba, имеющие серии с 288 ваннами Pechiney AP 30 (330 кА), перерабатывают более 1800000 м³/час. Увеличение токовой нагрузки на электролизерах до 600 кА потребует и далее увеличивать требуемые мощности одной ГОУ.

Отличие разных способов сухой очистки сводится к аппаратному оформлению процесса и условиям его проведения. На сегодняшний день существует многообразие конструкций и типов сухой очистки газа, которые рассмотрены ниже.

2.1.1 Сухая газоочистка фирмы «Rio Tinto Alcan»

Фирмой «Rio Tinto Alcan» (Канада) разработан способ, при котором глинозем подается в газовый тракт, по которому идет поток отходящих от электролизера газов (рисунок 4) [32].



1 – бункер свежего глинозема; 2 – рукавный фильтр; 3 – бункер отработанного глинозема

Рисунок 4 – Схема сухой очистки электролизных газов по способу фирмы «Alcan»

Система «Alcan» используется в различных странах для очистки газов на электролизерах с самообжигающимися и обожженными анодами.

Принцип действия системы сводится к вдуванию глинозема в поток отходящих газов, с последующим отделением прореагировавшего глинозема. Отходящие газы направляются в систему рукавных фильтров, где обеспечивается дополнительная возможность взаимодействия газов и глинозема. По сравнению с циклонами, рукавный фильтр более эффективен. Эффективность очистки обеспечивает снижение выброс фторидов.

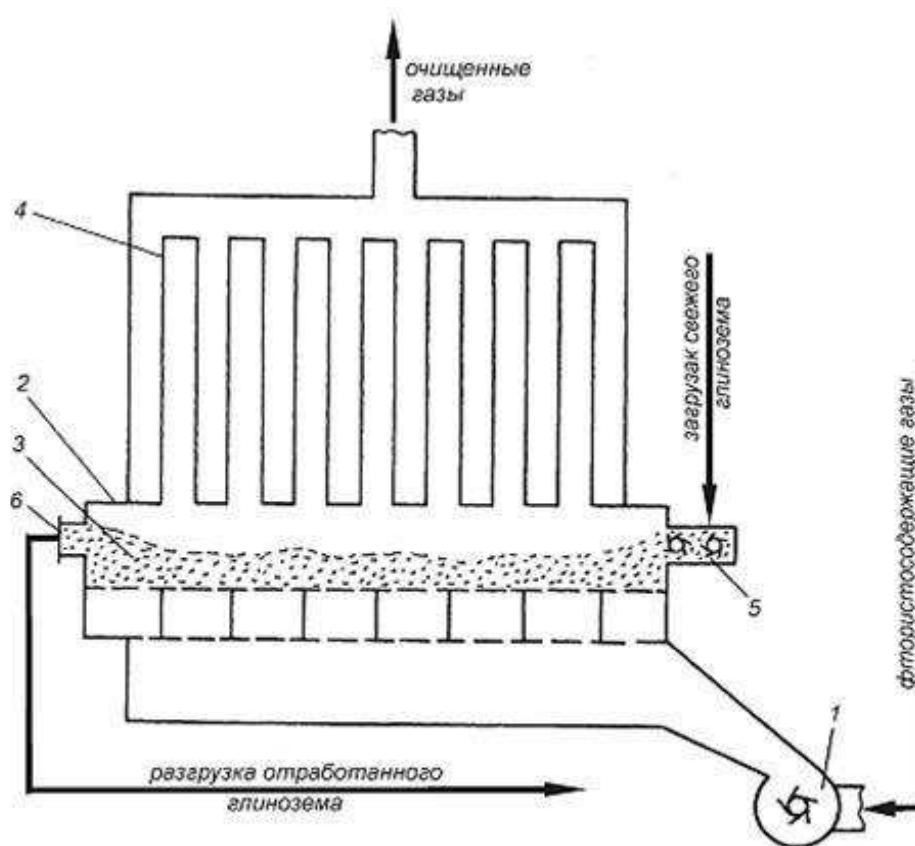
Установка обеспечивает степень извлечения газообразных фторидов с эффективностью до 96,5 %, в зависимости от того, весь потребляемый глинозем или только его треть используют на стадии газоочистки.

Недостатком данного принципа является повышенное сопротивление на рукавных фильтрах, за счет тщательного смешения глинозема с газами,

что приводит к быстрому зарастанию рукавов и как следствие снижению объемов эвакуируемых газов.

2.1.2 Сухая газоочистка фирмы «Alcoa Inc.»

Фирмой «Alcoa Inc.» (США) разработан метод очистки газа в кипящем слое «А-398» [32]. В нижнюю часть реактора на решетку (подину) дозаторами подается глинозем (рисунок 5).



1 — дымосос; 2 — реактор; 3 — слой глинозема; 4 — рукавный фильтр; 5 — дозирующее устройство; 6 — разгрузочное устройство

Рисунок 5 – Реактор для сухой очистки газов по способу «А-398»;

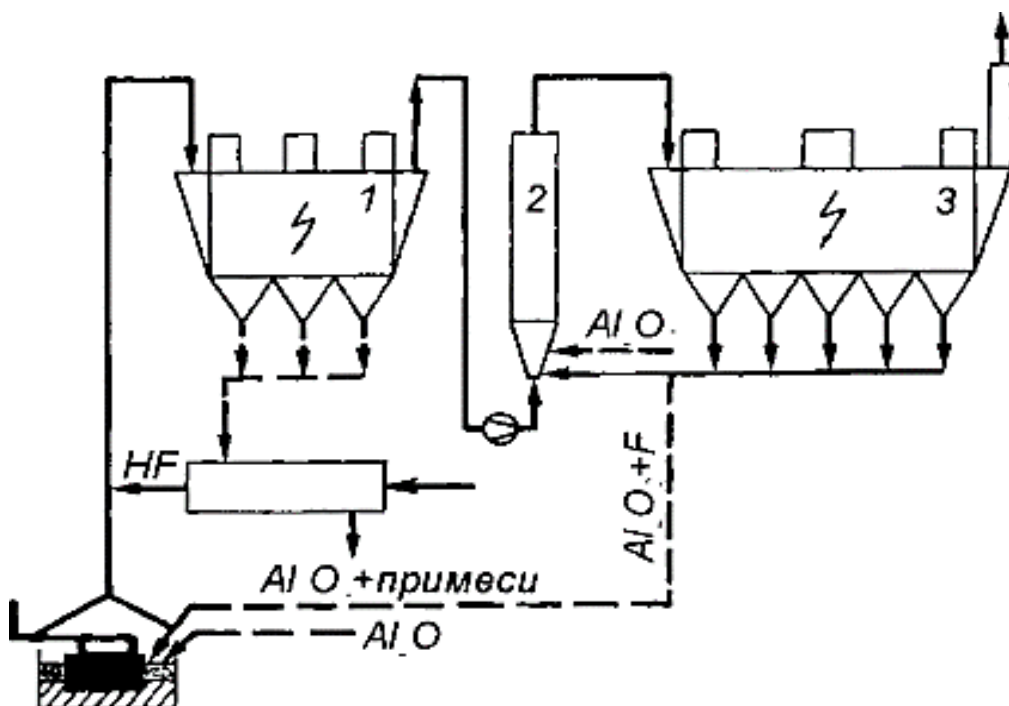
Газ эвакуируемый из электролизеров, подается под решетку. В верхней части реактора находится рукавный фильтр, который предназначен для очистки газов от пыли и других твердых частиц. Степень улавливания фторидов (газообразных и твердых) составляет 98,5 %.

Недостатки данного способа:

- большие габариты газоочистных установок;
- большое сопротивление на рукавных фильтрах;
- повышенный расход силовой электроэнергии на главных центробежных вентиляторах.

2.1.3 Сухая газоочистка фирмы «VAW/Lurgi»

Система газоочистки («VAW») и «Lurgi» (Германия) производительностью 300 тыс. м³/ч состоит из двух электрофильтров и реактора Вентури с «кипящим» слоем глинозема в качестве адсорбента газообразных фторидов [33]. Схема сухой очистки газов фирмы «VAW/Lurgi» изображена на рисунке 6 [34].



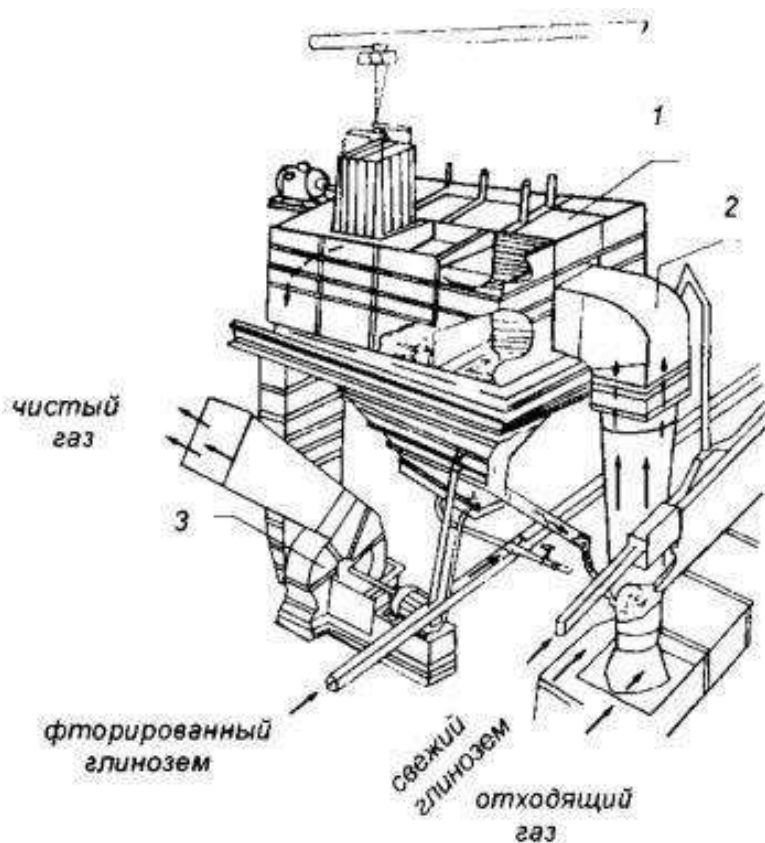
- 1 – электрофильтр для предварительного обеспыливания газов; 2- реактор;
3 – электрофильтр для улавливания глинозема

Рисунок 6 – Схема сухой очистки газов фирмы «VAW/Lurgi»

Данный метод очистки позволяет уменьшить загрязнение металла и позволяет выводить 50–60 % примесей. После данной ступени очищенный газ содержит менее 1 мг/м³. Эффективность улавливания газообразного фтора составляет 97,5 %, пыли – 98 %.

2.1.4 Сухая газоочистка фирмы «A/S Norsk Viftefabrikk (Flakt)»

Промышленный метод сухой очистки газов от фтористых соединений, разработанный фирмой «Flakt» (Норвегия), предусматривает улавливание фтористого водорода глиноземом в газовом потоке с последующим возвратом отработанного глинозема, твердых фторидов и других твердых частиц в рукавных фильтрах обратно в корпуса электролиза (рисунок 7) [32].



1 – рукавный фильтр; 2- реактор; 3 – выход очищенного газа.

Рисунок 7 – Схема сухой очистки газов фирмы «Flakt»

Фильтр-реактор представляет собой вертикальный газоход, расширяющийся кверху.[33]. Рукавный фильтр может работать при 150 °С с удельной нагрузкой до 180 м³/ч на квадратный метр фильтра при перепаде давления до 1500 Па. Рукавные фильтры фирмы «Flakt» с импульсной регенерацией фильтровальной поверхности позволяют уменьшить выбросы вредных веществ по сравнению с электрофильтром в 3,3 раза.

В настоящее время система очистки на основе рукавных фильтров широко применяется при очистке отходящих газов от электролизеров ОА, что определяется необходимостью улавливания частиц с диаметром менее 2 мкм.

Эффективность этой системы очистки по фтористому водороду составляет 98 %, а по твердым фторидам – 99 %. На выходе ГОУ вредных веществ в очищенных газах составляет: HF – 1, фториды – до 3, пыль – не более 5 мг/м³.

2.1.5 Сухая газоочистка фирмы «Prosideyr» сейчас «Solios»

Процесс сухой очистки газов «TGT» фирмы «Prosideyr» (Франция) имеет два отличительных метода очистки (рисунок 8) [33]:

- реактор находится внутри фильтра «TGT»;
- глинозем дозируется через кольцеобразное отверстие по периферии реактора.

Подача глинозема в верхнее отверстие фильтра-реактора, улучшает насыщение глинозема загрязняющими веществами. Так как реактор находится внутри фильтра.

Применение этого модуля позволило значительно снизить концентрацию HF до значения ниже 0,5 мг/м³. Эффективность улавливания повысилась до 99,9 %.

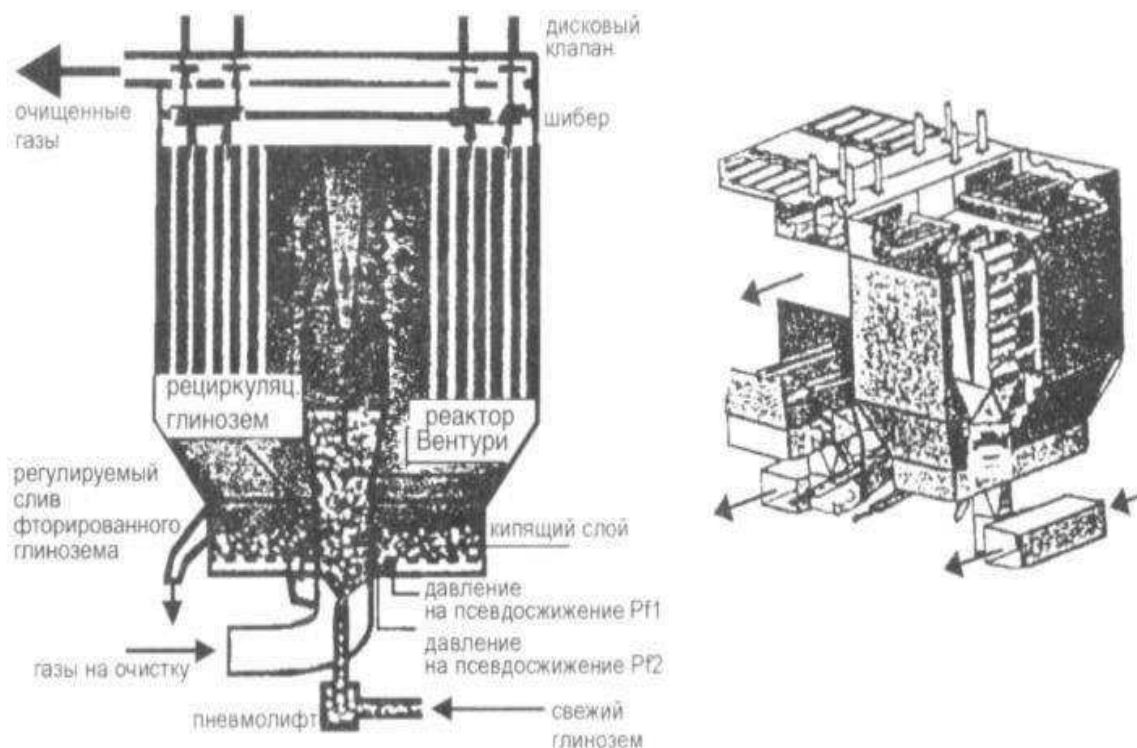


Рисунок 8 – Схема установки сухой очистки газов фирмы «Prosideyr» и модуль « TGT»

2.1.6 Сухая газоочистка фирмы «Solios»

Фирма «Solios» (Франция) разработала способ сухой очистки в фильтре-реакторе, представляющим по существу вертикально установленную трубу (Вентури), и рукавный фильтр (рисунок 9) [33].

Контакт газа осуществляется в восходящем турбулентном потоке с последующим отделением глинозема на фильтре.

В схеме предусмотрена рециркуляция глинозема (кратность рециркуляции составляет 10–40 %).

Удаляемые от электролизеров газы через централизованную систему газоходов, поступают в реактор. Затем происходит контакт свежего и рециркулируемого глинозема с газом, далее газ поступает на рукавные фильтры, где из газового потока удаляются глинозем и электролизная пыль.

Встряхивание рукавных фильтров достигается при помощи импульсной очистки воздуха с давлением 1,5–2,0 бар.

Эффективность очистки составляет 98–99 %.

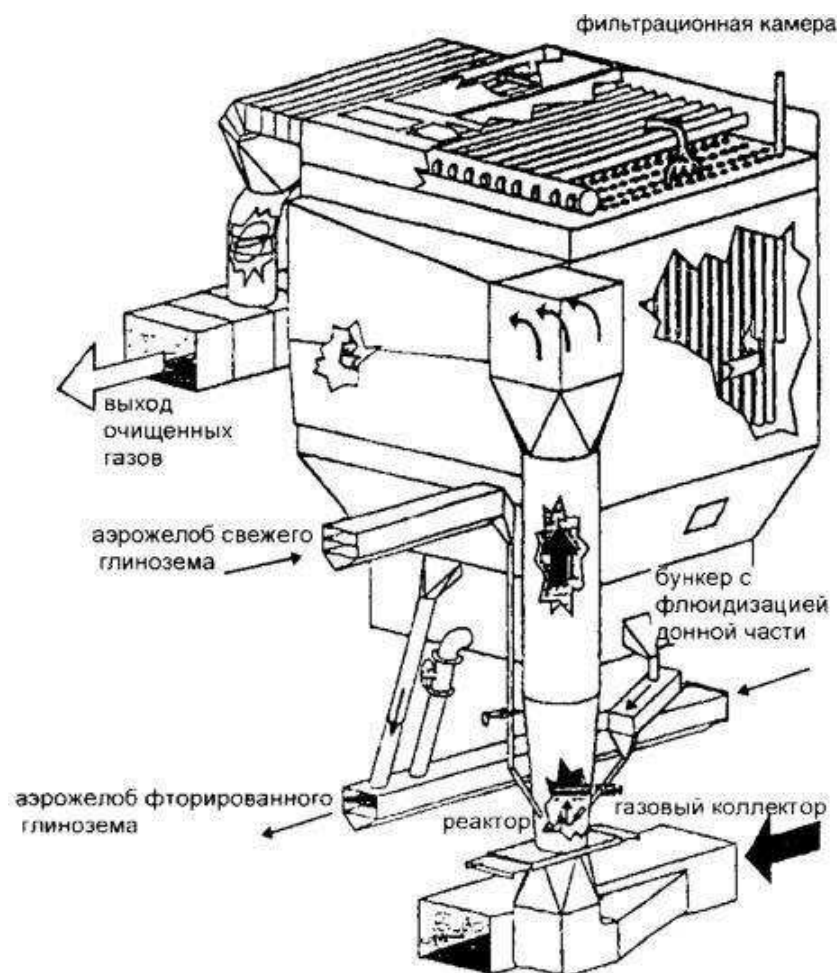


Рисунок 9 – Схема сухой очистки газов фирмы «Solios»

2.2. Современное состояние вопроса в области снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу

С целью уменьшения количества фоновых выбросов и потерь газообразных фторидов, компанией Solios предложены решения [35] по улавливанию выбросов от охлаждаемых анодных огарков и их транспортировке. Охлаждение огарков происходит в контейнерах с глиноземом, находящимся в псевдооживленном состоянии (рисунок 10).



Рисунок 10 – Последовательность установки огарка в контейнер

Установка огарка в контейнер занимает несколько секунд. При этом не требуются дополнительные укрытия, т.к. выбросы HF прекращаются мгновенно, по мере погружения огарка в глинозем.

Транспортировать аноды и их огарки предлагается на трейлерах в контейнерах (три контейнера вместимостью шесть анодов). Глинозем в контейнерах может использоваться повторно, его частичная дозаправка осуществляется периодически. Выгрузка фторированного глинозема осуществляется через низ контейнера, удалением подвижной сетки.

Оснащение корпуса достаточным количеством контейнеров способно снизить фонарные выбросы на 50 %. Данное внедрение позволит сократить количество потерь газообразных фторидов в количестве 0,25–0,3 кг/т Al [36].

Компания Rio Tinto Alcan предлагает охлаждать анодные огарки в герметичных контейнерах со 100 % герметизацией (рисунок 11) [36]. Экспериментальная установка испытывалась в течение 24 часов. Время удаления огарка из электролизера, установка на него герметичного укрытия и установка короба под вытяжной зонт составило 10 минут. Уровень выбросов оценивался в непрерывном автоматическом режиме.



Рисунок 11 – Установка укрытого огарка под вытяжной зонт

Зависимость интенсивности выбросов HF (мг/с) от степени укрытия представлена на рисунке 3.4, из которого видно преимущество полной герметизации огарка. В этом случае выбросы HF сокращаются на 88 %, в сравнении с выбросами от открытого огарка. Также в период испытаний оценивалась концентрация CO под укрытием, с целью предотвращения скопления ее взрывоопасной концентрации в замкнутом пространстве. Однако, этот уровень не превышал 20 % нижнего концентрационного предела взрываемости оксида углерода [37].

Таким образом, с целью уменьшения количества фонарных выбросов и потерь газообразных фторидов, предлагается использовать систему охлаждения огарков и насыщения глинозёма фтором предложенную компанией Solios. Данное изменение позволит сократить количество потерь газообразных фторидов в количестве 0,25-0,3 кг/т Al [38] и избежать большого количества переизмельченного сырья в процессе насыщения глинозёма фторидами используемых в системе «сухой» газоочистки.

При разгерметизации укрытия электролизера с обожженными анодами (регламентированная обработка, анодный эффект и его ликвидация, замена анода, пр.) эффективность сбора и удаления загрязняющих веществ системой

организованного газоотсоса падает до 75–60 %. В результате фонарные выбросы фторидов достигают 0,6–0,8 кг/т Al, на компенсацию которых дополнительно расходуется от 1 до 2 кг/т Al фтористых солей.

Компания Solios предлагает решение проблемы [39] сокращения выбросов при разгерметизации электролизера за счет применения двухконтурной системы YPRIOS отвода газов от электролизеров в ГОУ. Система, помимо главных первичных газоходов, через которые отсасываются газы от укрытого электролизера, имеет сеть вторичных газоходов, предназначенных для отвода газов от разгерметизированных электролизеров (рисунок 12).

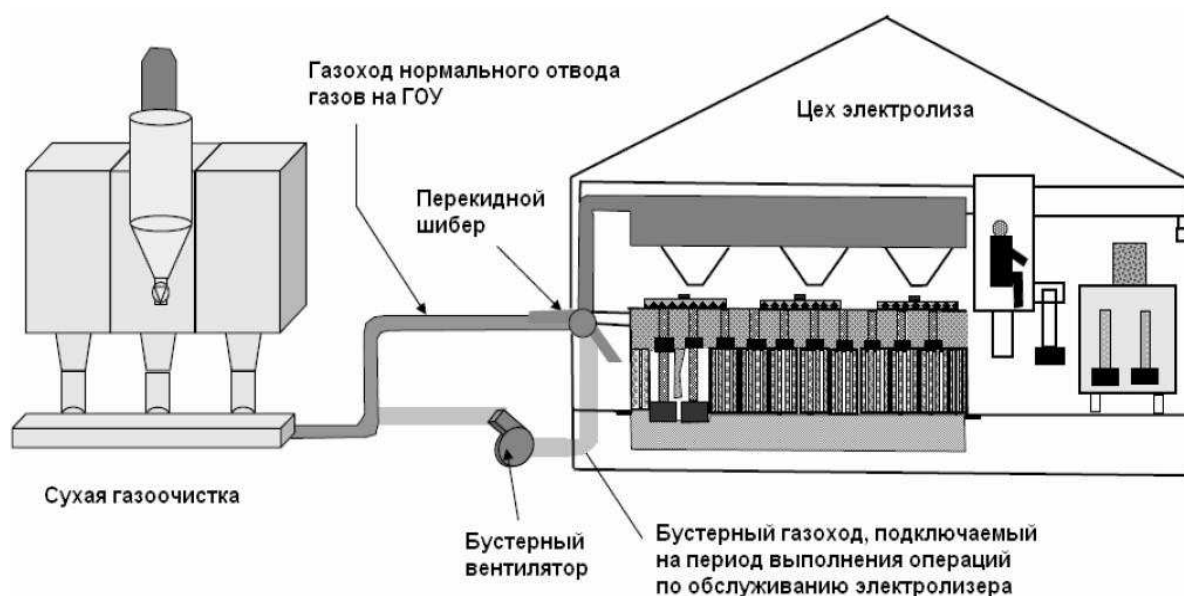


Рисунок 12 – Двухконтурная система YPRIOS отвода газов от электролизеров с обожженными анодами

На выходе из каждого электролизера устанавливается перекидной байпасный шибер, который позволяет отсечь электролизер от главной системы газоотвода и направить поток на очистку через сеть вторичных газоходов, а также свести к минимуму возмущения в газовых потоках, отводимых от нормально работающих электролизеров.

Сопротивление сети вторичного газоотвода значительно выше, чем у газоходов первичного контура, поэтому в системе YPRIOS предусмотрены

четыре бустерных вентилятора на одну ГОУ. По заверению авторов разработки, система обеспечивает 1,5–2-х кратное увеличение объемов газов, отсасываемых от электролизера в период его разгерметизации, а также 2-х кратное снижение фонарных выбросов фторидов, с 0,3–0,5 кг/т Al до 0,15–0,25 кг/т Al.

В качестве альтернативы двойному газоотсосу, в рамках создания высокоамперных технологий электролиза, компания Rio Tinto Alcan (Канада) разработала систему повышенного газоудаления, за счет повышенного разрежения в газоотводящем патрубке, соединяющим балку-коллектор электролизера с газоходом (рисунок 13) [40].

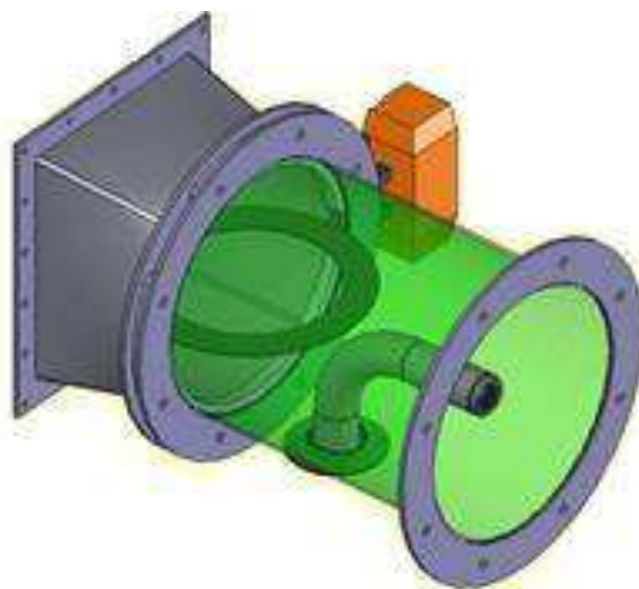


Рисунок 13 – Принципиальная схема системы повышенного газоотсоса

Давление инжектируемой струи в пределах 70–90 кПа увеличивает объем газоотсоса на 65–80 %, с 2,5 м³/с при эксплуатации электролизера в штатном режиме, до 4,1–4,5 м³/с – при его разгерметизации. В результате внедрения системы достигнуто сокращение фонарных выбросов HF на 0,07 кг/т Al, фторидов, с учетом твердых, на 0,1–0,11 кг/т Al.

Также компания уделила значительное внимание совершенствованию конструкции высокоэффективным шторным укрытиям электролизера (рисунок 14).

Укрытие из легкоъемных панелей обеспечивает степень улавливания газов 98.5 %

Эксплуатация усовершенствованных высокоэффективных укрытий и системы повышенного газоотсоса электролизных газов, подтвердила возможность достижения суммарных выбросов фтористого водорода на уровне 0,2 кг/т Al [40].



Рисунок 14 – Опытный электролизер типа APXe с усовершенствованными шторными укрытиями

2.2.1 Сокращение габаритов и энергопотребления ГОУ

Традиционно ГОУ, производительность которых по объему очищаемых газов может достигать 3–4 млн м³/ч, а количество модулей рукавных фильтров 15–30, размещаются в межкорпусных двориках и занимают значительные площади (рисунок 15). При таком количестве модулей рукавных фильтров, сложно обеспечить равномерное распределение

газовых и глиноземных потоков между ними, а также своевременно выявить неисправности оборудования или разрывы отдельных рукавов.

Для решения проблемы дефицита площадей, компания Solios разработала компактный модуль Abart–С децентрализованной очистки газов (DDS), включающий в себя силос хранения и систему транспортировки глинозема, теплообменник, реактор, фильтр, вентилятор и «мокрый» скруббер улавливания SO₂ [41].

Изготовлен скруббер из армированного стекловолокном пластика, что делает возможным его эксплуатацию с любой поглотительной жидкостью: растворами NaOH или Na₂CO₃, морской водой. Производительность такого модуля по газу от 50000 до 110000 м³/ч и рассчитан он на удаление и очистку газов от 5–12 электролизеров.

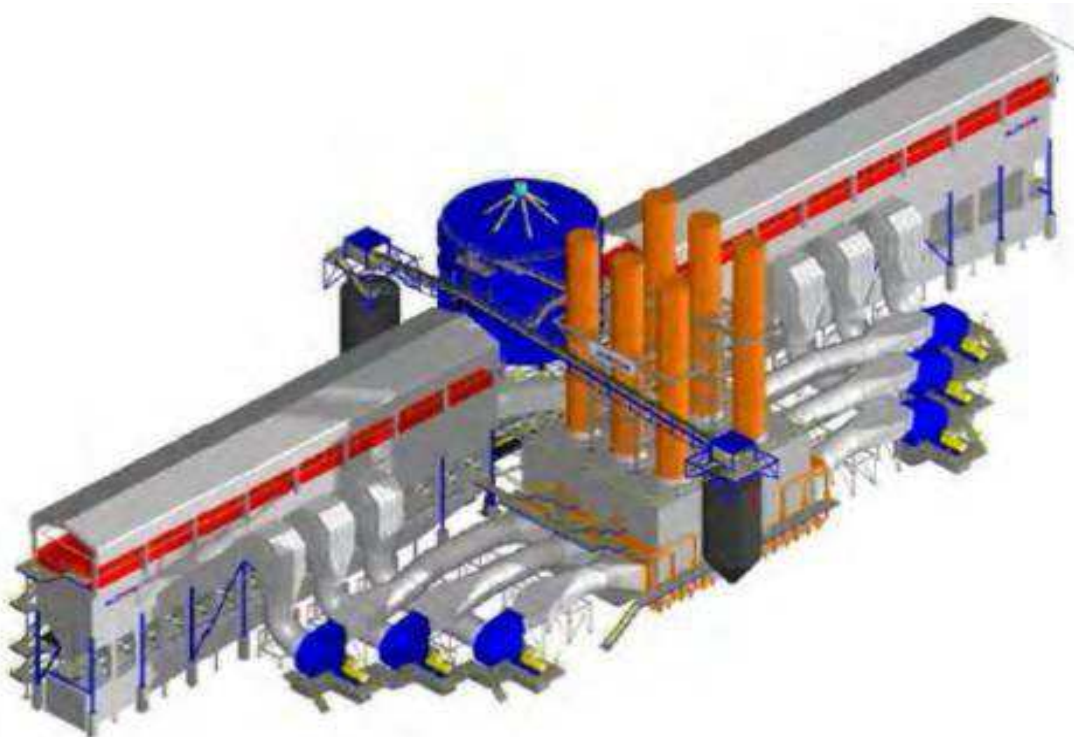


Рисунок 15 – Традиционная компоновка газоочистных установок алюминиевых заводов (включая скрубберулавливание SO₂)

Также Abart-С включает в себя улучшенную систему управления потоком газа, которая оптимизирует скорость его фильтрации через

рукавные фильтры и способствует повышению эффективности очистки. Свежий глинозем вводят в поток непосредственно на его выходе из электролизера, что увеличивает время его контакта с газом и снижает выбросы. Истирание глинозема при транспортировке также может быть значительно уменьшено за счет использования интегрированного силоса, объемом, достаточным для обеспечения работы ГОУ в течение 1–2 дней.

2.2.2 Фильтровальные рукава с увеличенной поверхностью фильтрации

В майском Указе № 204 от 07.05.2018 Президента России [42] поставлены задачи в области экологии атмосферного воздуха. Уже в следующие годы предполагается переход 300 крупнейших предприятий на наилучшие доступные технологии. По оценкам Министерства промышленности на создание нового оборудования для этих целей потребуются значительные средства, исчисляемые триллионами рублей.

Один из путей снижения этих затрат – модернизация существующего газоочистного оборудования за счет использования фильтровальных рукавов с увеличенной поверхностью фильтрации.

Общий процесс тканевой фильтрации (рукава цилиндрической формы) представлен на рисунке 16.

Основным недостатком данного вида рукавов является то, что они имеют плоскую поверхность фильтрации, т.е. площадь фильтрации равна площади сечения фильтруемого потока. Это вызывает необходимость создания фильтров с большим объемом для эффективной очистки заданного объема газа.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому фильтрующему материалу являются гофрированные фильтрующие материалы (из тканых и нетканых полотен), увеличивающие площадь фильтрации по сравнению с площадью сечения фильтруемого потока.

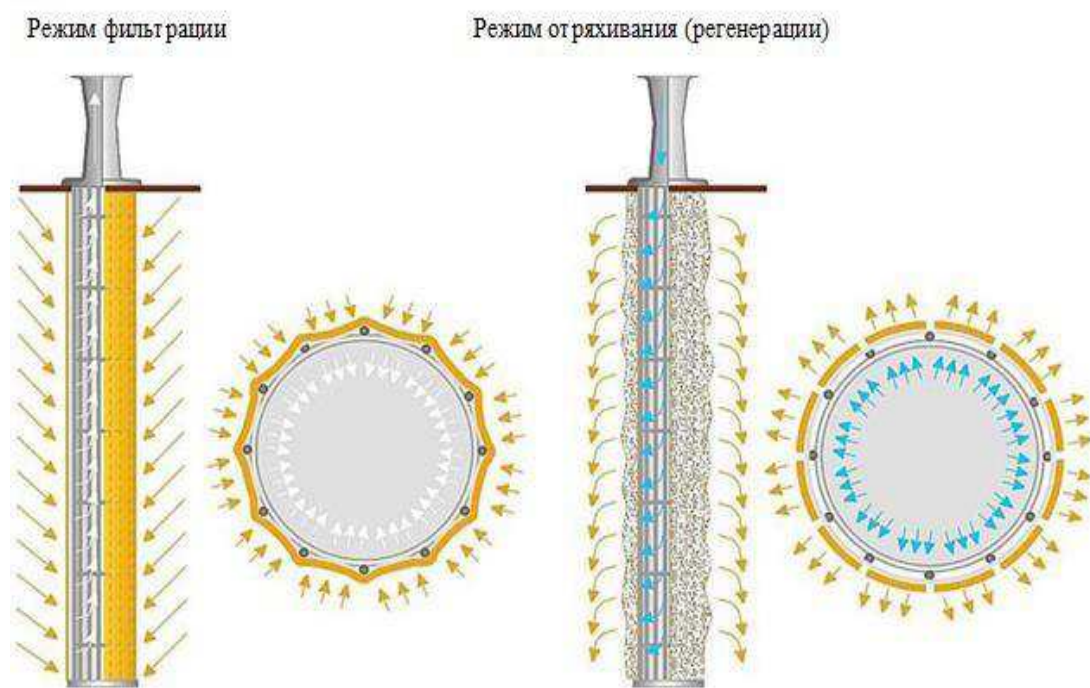


Рисунок 16 – Процесс тканевой фильтрации

Выводы по разделу 2

Проведенный анализ показывает, что основные потери фторидов происходят в пусковой период электролизера и при разгерметизации электролизных ванн в момент регламентных работ.

Использование вспомогательного укрывного оборудования, повышает нагрузку на газоочистное оборудование. Газоочистные установки работают на пределе своей производительности.

Проблема очистки отходящих газов алюминиевых заводов, как правило, сводится к решению двух задач. Одна заключается в организации системы сбора выделяющихся из электролизеров газов и эвакуации их на технологические системы очистки. Вторая связана с разработкой эффективных способов очистки этих газов.

[Изъято 38 страниц]

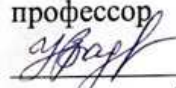
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра металлургии цветных металлов

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель магистерской
программы д-р хим. наук,
профессор

 Н.В. Белоусова
«10» 07 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА

22.04.02.02 «Металлургия цветных металлов»

«Повышение эффективности улавливания фторидов путем модернизации
газоочистной установки»

Руководитель	<u>01.07.2020</u> Подпись дата	<u>Е.Д. Кравцова</u> канд. техн. наук, доцент
Консультант по экономической части	<u>02.07.2020</u> Подпись дата	<u>Т.В. Твердохлебова</u> канд. экон. наук, доцент
Магистрант	<u>01.07.2020</u> Подпись дата	<u>А.С. Соленов</u>
Рецензент	<u>17.06.2020</u> Подпись дата	<u>В.Т. Асланов</u> Начальник департамента технологии и технологического развития алюминиевого производства САЗ

Красноярск 2020 год