

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИНЦИПОВ
ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА**



РУСАЛ — одна из первых российских компаний, присоединившихся в 2002 г. к Глобальному договору ООН, а в 2015 г. поддержавших принятие Целей устойчивого развития ООН. ЦУР 12 посвящены формированию экономики замкнутого цикла. В практическом смысле это система решений, направленных на повышение ресурсной эффективности производства и потребления, минимизацию отходов, сокращение негативного воздействия на окружающую среду за счет формирования циклов вещества и энергии в промышленно-экологических системах.

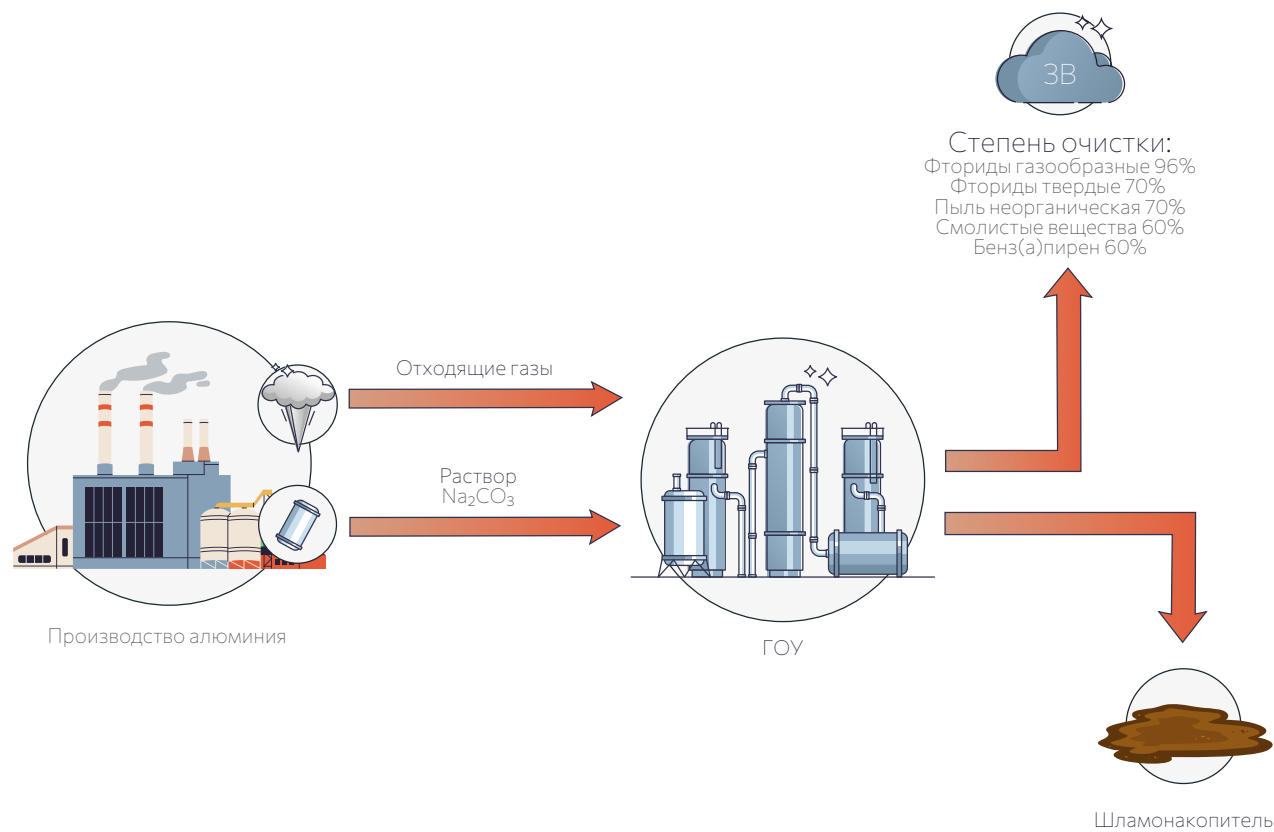
К числу задач, поставленных для достижения этой цели, отнесена задача 12.4: «Экологически обоснованное обращение с химическими веществами на протяжении их жизненного цикла, в том числе предусматривающая сокращение их эмиссий в окружающую среду».

В компании РУСАЛ разработаны и реализуются проекты, позволяющие совершенствовать систему очистки отходящих газов, которые можно рассматривать двояко: как решение задачи компании по достижению соответствия показателей

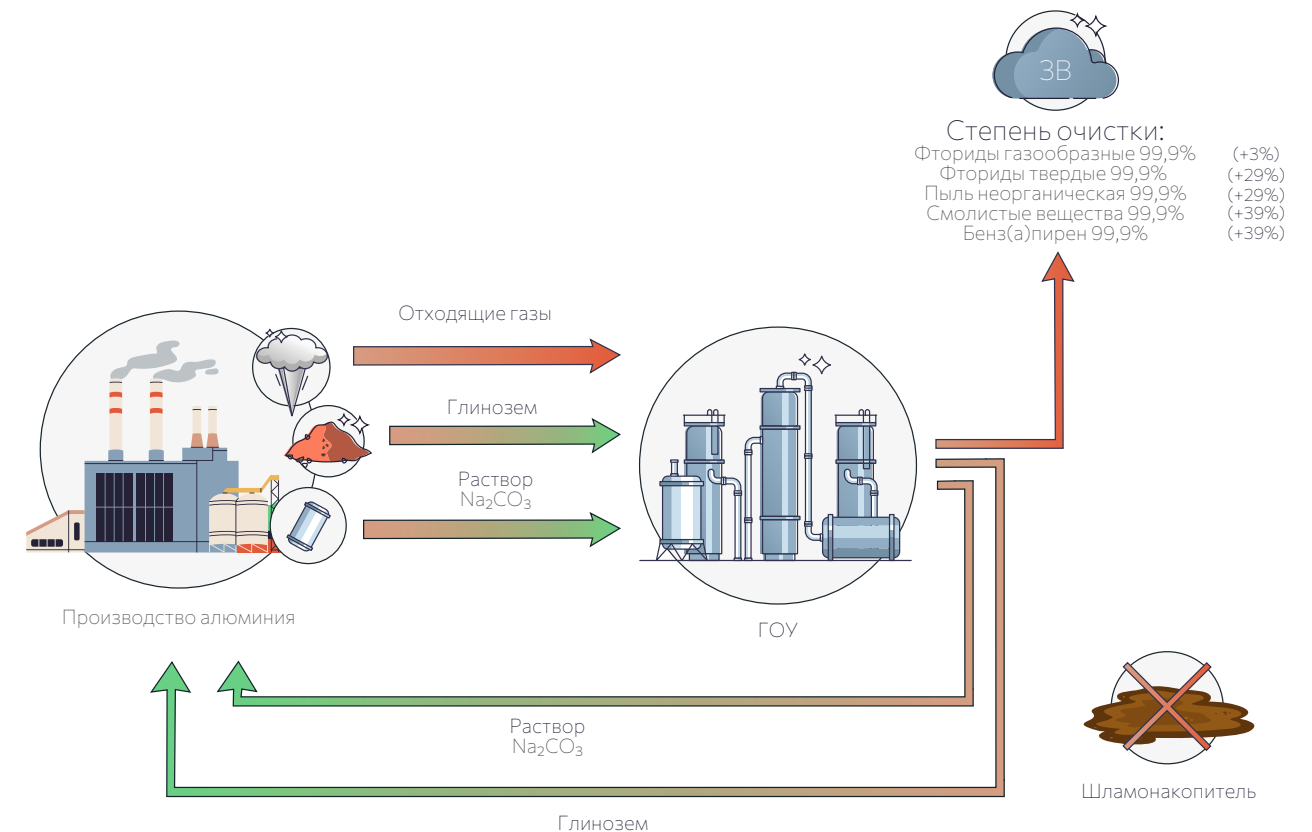
выбросов в атмосферу нормативным требованиям, установленным законодательством, и как вклад в достижение цели формирования экономики замкнутого цикла. Особенность новых систем газоочистки состоит в том, что для удаления из отходящих газов загрязняющих веществ используется глинозем — основное сырье для производства алюминия. Основное преимущество глинозема — это как раз возможность его возврата в процесс электролиза алюминия.

Благодаря применению высокоэффективных систем газоочистки возрастает степень улавливания загрязняющих веществ и сокращается количество образующихся отходов. Современные решения соответствуют наилучшим доступным технологиям, изложенным в информационно-техническом справочнике ИТС 11-2019 «Производство алюминия». На Братском алюминиевом заводе за период с 2015 по 2021 г. 10 корпусов оснащены современными системами сухой газоочистки.

2015



2021



УДК 504.06

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ЗАВОДА КОМПАНИИ РУСАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ. ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА



И. И. Ребрик

заместитель директора по устойчивому развитию — директор департамента экологии и климатического регулирования АО «РУСАЛ Менеджмент», д.т.н.

А. Г. Берняцкий

начальник отдела экологического нормирования и контроля АО «РУСАЛ Менеджмент»

И. О. Тихонова

доцент кафедры промышленной экологии РХТУ им. Д. И. Менделеева, к.т.н.

Экономика замкнутого цикла — это система решений, направленных на повышение ресурсной эффективности производства и потребления, минимизацию отходов, сокращение негативного воздействия на окружающую среду за счет формирования циклов вещества и энергии

в промышленно-экологических системах [1]. Одна из целей устойчивого развития ООН — ЦУР 12 — посвящена переходу к ответственным (в некоторых переводах — ресурсоэффективным) моделям производства и потребления, а к числу задач, поставленных для достижения этой цели,

Таблица 1. Усредненная характеристика электролизных газов, поступающих в системы газоудаления и очистки (по [4], с дополнениями)

Наименование	Показатель
Объем газов, удаляемых от одного электролизера, м ³ /ч	1500
Температура удаляемых газов, °С:	130
▶ в летний период	60
▶ в зимний период	
Концентрация загрязняющих веществ в электролизных газах, поступающих на очистку, мг/м ³ :	
▶ диоксид серы	500–2000
▶ фторид газообразный	700–1500
▶ твердые фториды	200–1000
▶ смолистые вещества	20–300
▶ бенз(а)пирен	0,02–1,5
▶ пыль неорганическая	400–1500

отнесена задача 12.4: «Экологически обоснованное обращение с химическими веществами на протяжении их жизненного цикла», в том числе предусматривающая сокращение их эмиссии в окружающую среду [2].

РУСАЛ стал одной из первых российских компаний, присоединившихся к Глобальному договору ООН в 2002 г., а также одной из компаний, активно поддерживавших принятие ЦУР ООН в 2015 г. [3]. Стратегия устойчивого развития компании предусматривает решение задач, направленных на достижение ЦУР 12. Поэтому разработку и реализацию проектов, позволяющих совершенствовать систему очистки

отходящих газов, можно рассматривать двояко: (1) как решение задачи компании по достижению соответствия показателей выбросов в атмосферу нормативным требованиям, установленным законодательством (что предполагает сокращение сверхнормативных выбросов) к 2025 г., и (2) как вклад в решение уже упомянутой задачи 12.4, отнесенной к категории задач формирования экономики замкнутого цикла.

Рассмотрим практические решения. При производстве алюминия в процессе электролиза в отходящих газах электролизеров с самообжигающимися анодами образуются такие загрязняющие вещества, как фтористые соединения,

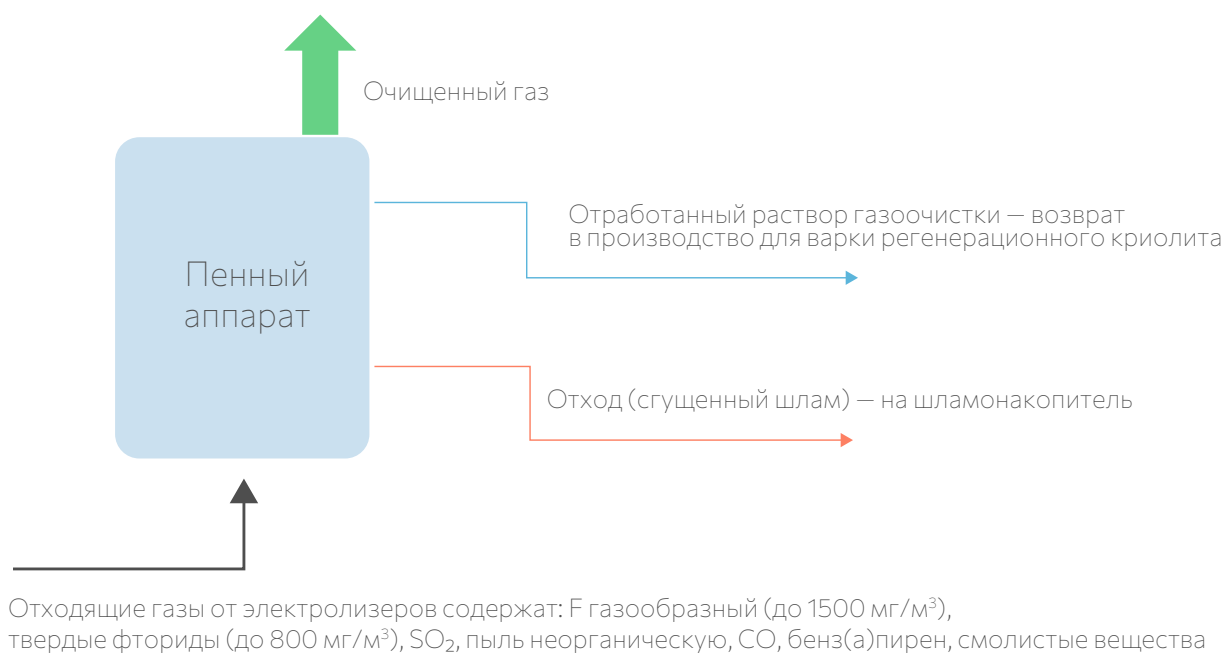


РИС. 1. Схема «мокрой» очистки отходящих газов

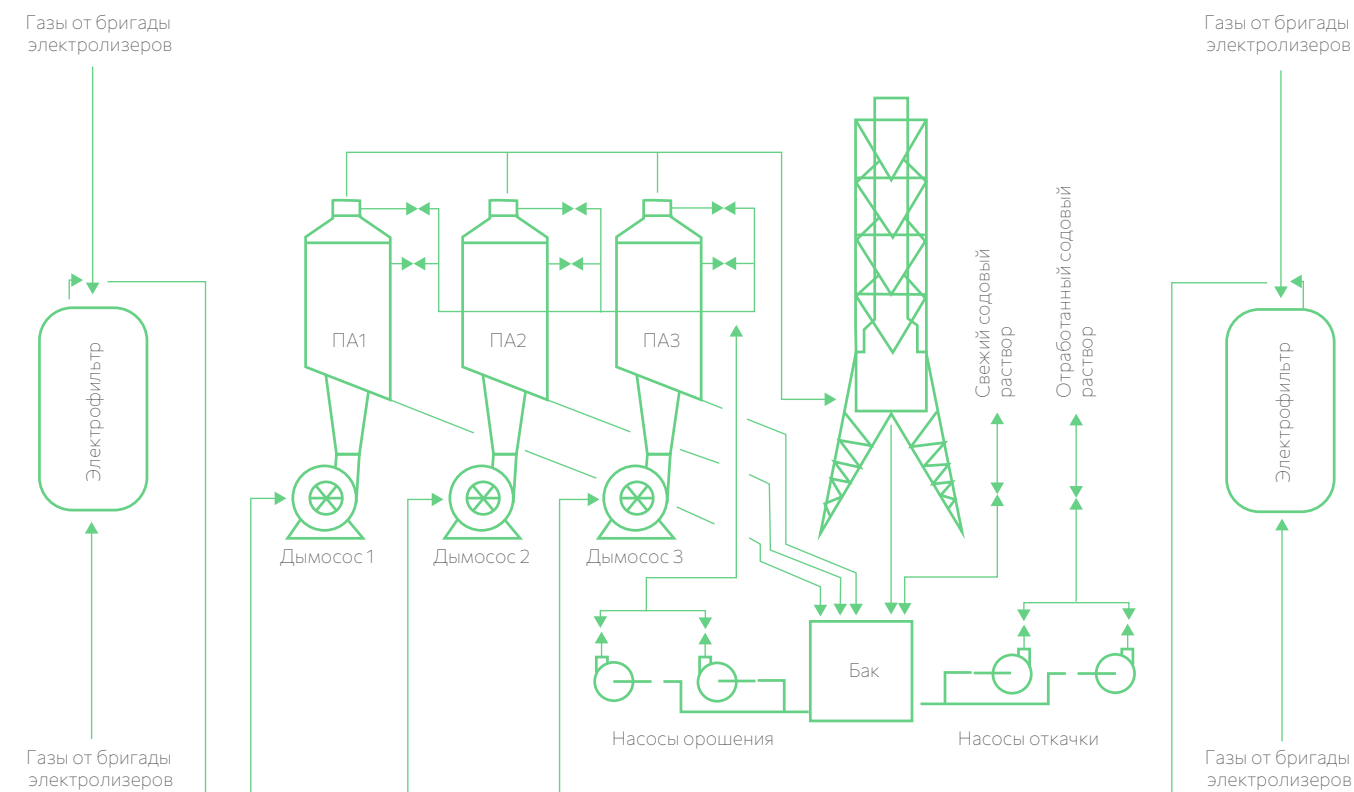


РИС. 2. Принципиальная технологическая схема «мокрой» очистки электролизных газов

диоксид серы, пыль, оксид углерода, смолистые вещества (табл. 1), к выбросам которых в атмосферный воздух предъявляются весьма жесткие требования.

Существующие в настоящее время схемы очистки анодных газов, отходящих от электролизеров для производства алюминия, условно можно разделить на две группы: системы «сухой» (СГОУ) и «мокрой» (МГОУ) очистки.

Способ «мокрой» очистки отходящих газов основан на способности различных жидкостей сорбировать

вредные примеси из отходящих газов и получать солевые растворы, из которых далее регенерируется фтор. В качестве абсорбента, как правило, используется содовый раствор с концентрацией Na₂CO₃ не ниже 30 г/дм³ (рис. 1).

Повысить эффективность газоочистных установок можно путем применения комбинированных систем очистки отходящих газов; в этом случае газ вначале частично очищают от пыли и смолистых веществ в электрофильтрах, а затем направляют на вторую — «мокрую» ступень очистки (рис. 2).

В настоящее время на заводах компании РУСАЛ на электролизерах с верхним токоподводом (ВТ) анодные газы эвакуируются с помощью системы колокольного газосборника и горелочного устройства, далее газы поступают на двухступенчатые газоочистные установки, где в качестве первой ступени очистки — предварительной очистки от пыли и смолистых веществ — применяют электрофильтры, а в качестве второй ступени — пенные аппараты (абсорберы), где происходят доочистка от пыли и очистка газов от фтористого водорода и диоксида серы. После пенных аппаратов очищенные электролизные газы поступают в циклон-каплеуловитель для сепарации капельной жидкости, после чего через дымовую трубу выбрасываются в атмосферный воздух. Отработанные растворы газоочистки используются для варки регенерационного криолита. Сгущенный шлам после осветления растворов ГОУ совместно с хвостами флотации перекачивают на шламонакопитель.

На многих заводах газоочистное оборудование первой ступени очистки — электрофильтры — вводились в эксплуатацию еще в 70-х гг. прошлого века. Оборудование морально устарело и находится в ограниченно работоспособном состоянии.

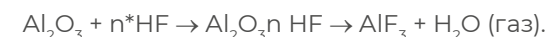
Поэтому на заводах РУСАЛ в настоящее время проводится масштабная модернизация устаревшей системы очистки электролизных газов по «мокрой» технологии, в том числе:

- ▶ строительство новых газоочистных сооружений с «сухой» очисткой электролизных газов;
- ▶ модернизация существующей «мокрой» газоочистки в качестве второй ступени.

В процессе совершенствования систем «сухой» очистки анодных газов электролизного производства алюминия значительное внимание в различных исследованиях было уделено выбору сорбентов; при этом чаще всего предлагалось использовать глинозем. Основное преимущество глинозема — это возможность его возврата в процесс электролиза алюминия (то есть формирование замкнутого цикла) [5, 6]. Рассматривались также и альтернативные сорбенты: гидроксид калия и (или) натрия; смесь декагидрата соды, алюмината натрия и оксида алюминия, содержащего оксид щелочного металла; гранулированная известковая масса; природные фосфаты, однако широкого применения эти альтернативные сорбенты в силу разных причин (в первую очередь в связи с невозможностью их дальнейшего использования или регенерации) не нашли [7] (рис. 3).

В качестве основного материала (адсорбента) для очистки газов применяется глинозем марки Г-00 ГОСТ 30558-2017 «Глинозем металлургический. Технические условия» [8], одновременно являющийся сырьем для получения алюминия-сырца.

В режиме аэровзвеси происходит процесс адсорбции фтористого водорода оксидом алюминия:

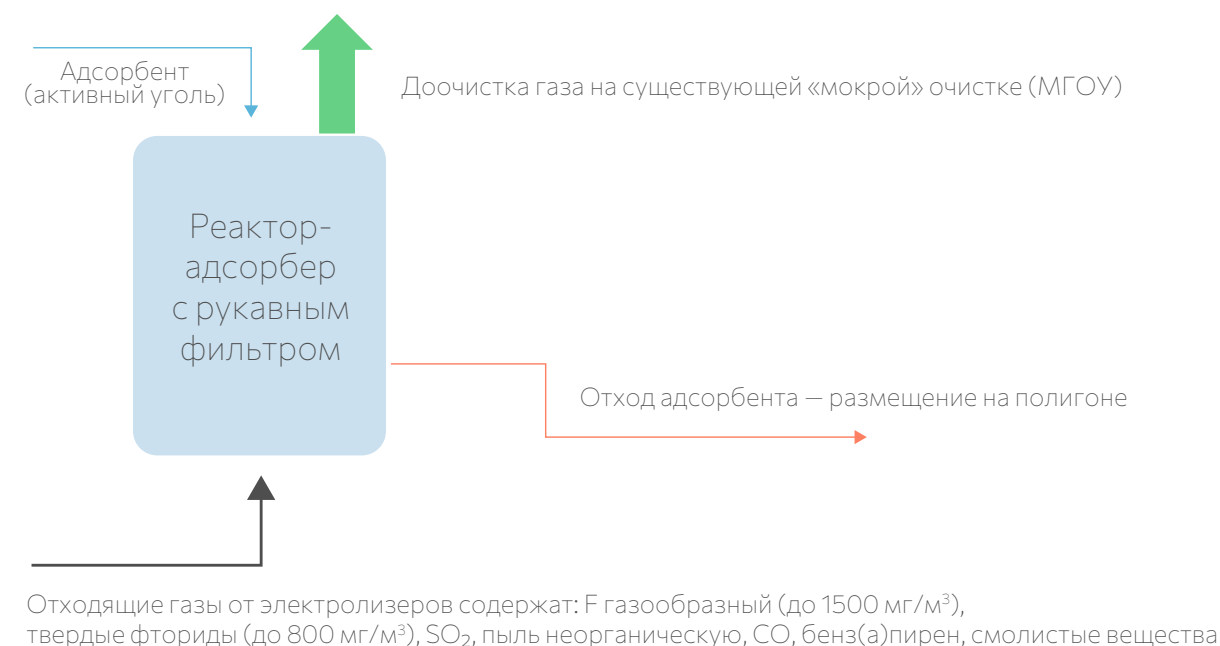


Поверхность глинозема насыщается фтористыми соединениями до содержания фтора не менее 0,7% (мас.), после чего он улавливается на рукавных фильтрах СГОУ и далее возвращается в электролизное производство в качестве сырья для дальнейшего электролиза расплавленных солей при производстве алюминия, в первую очередь на тех

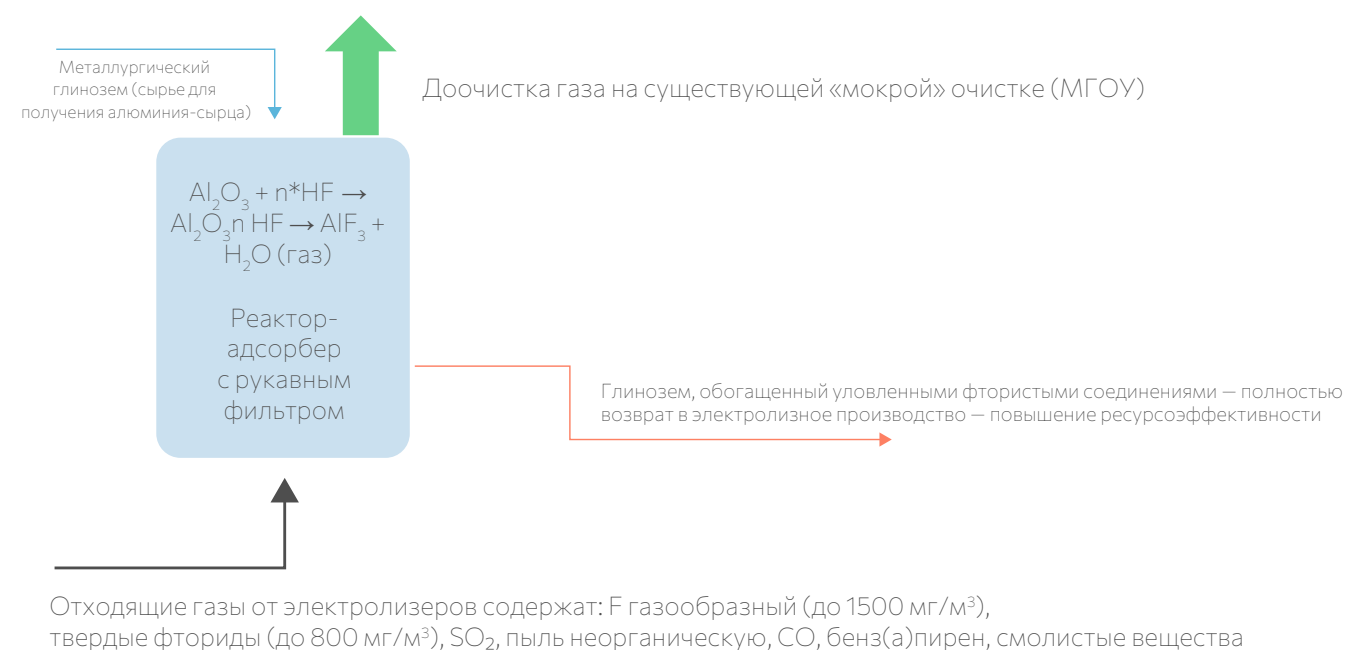
электролизерах, от которых производится очистка газов на соответствующей СГОУ. Таким образом, происходит снижение расходных коэффициентов по фтористым солям, применяемым в технологическом процессе, и реализуется принцип экономики замкнутого цикла.

К преимуществам метода «сухой» адсорбционной очистки по сравнению с применением электрофильтров следует отнести:

- ▶ высокую эффективность улавливания фтористых соединений, пыли и смолистых веществ с 99,0% коэффициентом использования установок;
- ▶ современную систему автоматизации с высоким уровнем обеспечения устройствами регулирования технологического оборудования;



а) классическая схема сорбционной газоочистки



б) предлагаемая схема СГОУ с использованием в качестве сорбента металлургического глинозема

РИС. 3. Реализация технологической схемы «сухой» газоочистки с различными сорбентами

- ▶ использование уловленных фтористых соединений в электролизном производстве за счет их прямого возврата вместе с глиноземом.

В качестве второй ступени для очистки газов от диоксида серы и доочистки от фтористых соединений, пыли, смолистых веществ используется существующая «мокрая» газоочистка в пенных аппаратах, где организована циркуляция содового раствора. Для приготовления содового раствора используется осветленная вода со шламовых полей, которая поступает из системы рециркуляции шлама

и осветленной воды с минимальной дополнительной подпиткой из источников водоснабжения. По мере насыщения содового раствора он откачивается из бака, расположенного в МГОУ, обратно в участок производства фтористых солей, где отработанные растворы газоочистки осветляются и используются для варки регенерационного криолита.

При существующей схеме двухступенчатой очистки (электрофильтр + «мокрая» очистка) отходящих газов от электролизного производства

достигается высокая эффективность второй ступени («мокрой») за счет высоких входных концентраций загрязняющих веществ; при этом электрофильтр обеспечивает очистку только от пыли и смолистых веществ.

Благодаря высокой эффективности очистки СГОУ общая суммарная степень улавливания загрязняющих веществ двух ступеней газоочистки (СГОУ + МГОУ) возрастает по сравнению с существующей схемой (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность улавливания загрязняющих веществ

Ступени газоочистки	Значение показателя, %				
	фториды газообразные	фториды твердые	пыль неорганическая	смолистые вещества	бенз(а)пирен
Электрофильтр + МГОУ (существующая)	97,4–98,8	82,8–96,6	75–93,3	61,9–97,5	62–99,5
СГОУ + МГОУ (проектируемая)	99,72–99,88	99,5–99,9	99,5–99,75	99,5–99,65	99,5–99,95

При реализации технологии сухой газоочистки предусматривается снижение выбросов загрязняющих веществ в воздух за счет применения современной технологии очистки электролизных газов. Очищенные от загрязняющих веществ газы выбрасываются в атмосферный воздух через существующую дымовую трубу.

Таким образом, применение современного метода «сухой» очистки электролизных газов в комбинированной схеме с «мокрой» ступенью позволит значительно улучшить экологические и экономические

показатели в рамках электролизного производства заводов компании РУСАЛ.

В результате внедрения газоочистных установок «сухого» типа также снизится количество отходов производства, которые в настоящее время размещаются в шламонакопителе: пыли, улавливаемой электрофильтрами, в количестве ~0,004 т/т чистого глинозема в год; шлама минерального, образующегося при доулавливании пыли на «мокрой» ступени газоочистки, в количестве ~0,002 т/т чистого глинозема в год.

Предлагаемая технология «сухой» очистки газов соответствует наилучшим доступным технологиям, включена в информационно-технический справочник ИТС 11-2019 «Производство алюминия» [9] и позволит обеспечить остаточные концентрации загрязняющих веществ на выходе из газоочистных устройств, не превышающие значения, установленные приказом Министерства природных ресурсов и экологии от 29.12.2020 № 1113 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды “Технологические показатели наилучших доступных

технологий производства алюминия”» [10]. Тем самым описанные в данной статье подходы способствуют решению задачи 12.4 (в рамках ЦУР 12): «Экологически обоснованное обращение с химическими веществами на протяжении их жизненного цикла», в том числе предусматривающей сокращение их эмиссии в окружающую среду [2], и задачи, поставленной руководством компании: «Достижение соответствия показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу нормативным требованиям, установленным законодательством (к 2025 г.)» [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Скобелев Д. О., Федосеев С. В. Политика повышения ресурсоэффективности и формирование экономики замкнутого цикла // Компетентность. 2021. № 3. С. 5–13.
2. Бобылев С. Н., Соловьева С. В. Новые цели для новой экономики // Мир новой экономики. 2016. № 1. С. 6–14.
3. РУСАЛ. Отчет об устойчивом развитии за 2021 г. — [Электронный ресурс] — [Режим доступа]: <https://rusal.ru/upload/iblock/749/vjb1mj5ndij4neep8pnjervek7bczlpz.pdf>.
4. Курошев И. С., Бахтина И. С., Скобелев Д. О. Ресурсная и экологическая эффективность производства алюминия на принципах НДТ // Компетентность. 2022. № 4. С. 10–15.
5. Пятернева А. А. Повышение степени сухой газоочистки на алюминиевых предприятиях // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–9. С. 1942–1945.
6. Головных Н. В., Бычинский В. А., Филимонова Л. М., Чудненко К. В., Шепелев И. И. Повышение эффективности систем газоочистки в алюминиевом производстве // Metallurgia цветных металлов. 2017. № 3. С. 45–55.
7. Буркат В. С., Калужский Н. А., Смола В. И., Сафарова Л. Е. Современное состояние и пути повышения экологической безопасности производства алюминия // Цветные металлы. 2001. № 12. С. 89–94.
8. ГОСТ 30558-2017 «Глинозем металлургический. Технические условия».
9. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 11-2019 «Производство алюминия».
10. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии от 29.12.2020 № 1113 «Об утверждении нормативного документа в области охраны окружающей среды “Технологические показатели наилучших доступных технологий производства алюминия”».