

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

# **Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов**

Материалы  
VII Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием  
посвященная 55-летию кафедры  
автоматизации производственных процессов

**(Иркутск, 19–20 апреля 2017 г.)**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
**Иркутского национального исследовательского технического**  
**университета**  
**2017**

**УДК 658.52**  
**ББК 65.291.8.4**  
**П 27**

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
ИРНИТУ

**Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов:** мат-лы VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием посвященная 55-летию кафедры автоматизации производственных процессов (Иркутск, 19–20 апреля 2017 г.). – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2017. – 220 с.

Представлены материалы, посвященные актуальным проблемам металлургии руд и концентратов; химии и химической технологии; интенсификации, контроля и автоматизации технологических процессов; экологическим проблемам производства; обогащения полезных ископаемых.

*Редакционная коллегия:*

Анциферов Е.А. – директор Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова (отв. ред.);

Бельский С.С. – зам. директора по НИР Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова;

Немчинова Н.В. – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой металлургии цветных металлов ИМХТ им. С.Б. Леонова;

Ёлшин В.В. – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автоматизации производственных процессов;

Дьячкова С.Г. – д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой химической технологии, ИМХТ им. С.Б. Леонова;

Половнева С.И. – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов ИМХТ им. С.Б. Леонова;

Подгорбунская Т.А. – канд. хим. наук, доцент кафедры химической технологии ИМХТ им. С.Б. Леонова.

Ознобихин Л.М. – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов ИМХТ им. С.Б. Леонова;

*Технический редактор:*

Ознобихин Л.М. – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов ИМХТ им. С.Б. Леонова;

**ISBN 978-5-8038-1021-6**

© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2017

**СЕКЦИЯ № 1**  
**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ**  
**ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ**  
**МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**СЕРИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ**  
**КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ**

Р.С.Вибе<sup>1</sup>, А.Э.Овчинников<sup>2</sup>, С.А. Зимарев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> инженер-технолог ОАО «РУСАЛ Братск», магистрант ИЦМиМ ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», г. Братск, e-mail: [Roman.Vibe@rusal.com](mailto:Roman.Vibe@rusal.com)

<sup>2</sup> старший мастер ОАО «РУСАЛ Братск», магистрант ИЦМиМ ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», г. Братск, e-mail: [Alexey.Ovchinnikov@rusal.com](mailto:Alexey.Ovchinnikov@rusal.com)

<sup>3</sup> старший мастер ОАО «РУСАЛ Братск», магистрант ИЦМиМ ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», г. Братск, e-mail: [Sergey.Zimarev@rusal.com](mailto:Sergey.Zimarev@rusal.com)

В современной научной литературе, посвященной проблематике производства алюминия, достаточно часто встречаются упоминания об управлении тепловым, энергетическим, электрическим балансом электролизера для производства алюминия [1-3]. Безусловно, оптимизация управления балансами электролизеров в общем случае приводит к повышению технико-экономических показателей работы электролизеров, нередко становится причиной коренной реконструкции и/или модернизации парка электролизеров. Технических решений, направленных на модернизацию существующих электролизеров, в современной литературе также немало [4-6]. Как правило, решения, связанные с реконструкцией и модернизацией, достаточно затратны, а потому малоприменимы и редко имеют широкое внедрение.

С другой стороны, существующая в последние десятилетия тенденция увеличения силы тока имеет ограничения не только на конкретном объекте-электролизере, но и при рассмотрении системы «кремниевопреобразовательная подстанция – электролизная серия». В настоящее время на опытных участках электролизеров с верхним токоподводом и самообжигающимся анодом достигнута сила тока более 180 кА, что соответствует анодной плотности тока свыше 0,8 а/см<sup>2</sup>, однако в объеме электролизной серии такие эксперименты не тиражируются по причине невозможности обеспечения требуемой силы тока на существующих кремниевопреобразовательных подстанциях электролизных серий. Таким образом,

сегодня лимитирует процесс увеличения силы тока максимальная мощность кремниево-преобразовательных подстанций. Увеличение мощности кремниево-преобразовательных подстанций – весьма трудоемкий и затратный процесс, связанных не только с установкой трансформаторов повышенной мощности, но и коренной реконструкцией остального энергетического хозяйства (выпрямительных блоков, электрических сетей и проч.) [7].

Проведенный анализ показал принципиальную возможность оптимизации энергопотребления электролизной серии при рассмотрении в качестве объекта управления не конкретного электролизера, а группу электролизеров в объеме электролизной серии. Так, процесс увеличения токовой нагрузки лимитирует мощность, а мощность, в свою очередь, напрямую зависит от фактической величины силы тока и напряжения серии. При снижении напряжения электролизной серии, появляется возможность увеличения токовой нагрузки. При этом итоговая мощность электролизной серии остается неизменной, а производство алюминия-сырца возрастает. Расходный коэффициент по электроэнергии, ввиду неизменной мощности и увеличения производства, снижается. Снижается также и расходный коэффициент по расходу фтористых солей, потому как центров эмиссии фтористых солей не увеличивается, а производства алюминия-сырца, как отмечалось ранее, растет.

Варианты снижения напряжения серии корпусов в данном контексте следует рассматривать в следующих направлениях:

- снижение напряжения за счет снижения в токоведущих частях установленных электролизеров;
- снижение напряжения за счет уменьшения количества установленных электролизеров.

Отдельно следует остановиться на уменьшении количества установленных электролизеров. Такая практика применялась на ОАО «РУСАЛ Братск» в объеме нескольких серий корпусов и позволила снизить напряжение серии, повысить силу тока и, как это странно бы не звучало, увеличить производство алюминия-сырца. Увеличение производства алюминия сырца произошло в первую очередь из-за снижения межремонтного периода установленных электролизеров: наличие одного или нескольких постоянно отключенных в отложенный ремонт оптимизирует межремонтный цикл электролизеров до критически возможного: отключение одного электролизера сопровождается одновременным включением другого электролизера в цепь, тогда как при существующей схеме проведения капитального ремонта электролизеров промежутки от отключения одного и пуска другого электролизера может составлять от 6 до 19 дней. А это прямая потеря производительности в разрезе электролизной серии. Таким образом, средне количество установленных электролизеров меньше, но сила тока в

среднем значительно выше, что смещает баланс производства алюминия-сырца электролизной серии в сторону увеличения.

Проведенные мероприятия позволили значительно (до 5 кА) повысить силу тока и производительность электролизеров. За счет увеличения производительности электролизеров удалось достичь серьезного снижения расходных коэффициентов по электроэнергии (до 200 кВт\*ч/т алюминия) и фторсолям (до 1 кг/т алюминия). Достигнутая в настоящее время на электролизных сериях ОАО «РУСАЛ Братск» сила тока составила 173 кА, что значительно ниже достигнутой на опытном участке (178 кА), а это свидетельствует о наличии дополнительных резервов в повышении эффективности работы системы «кремниевое-преобразовательная подстанция – электролизная серия». Серия электролизеров для производства алюминия как объект управления и оптимизации себя еще не исчерпала.

*Библиографический список:*

1. Sysoev I.A., Ershov V.A., Kondrat'ev V.V. Method of controlling the energy balance of electrolytic cells for aluminum production // Metallurgist. 2015. Т. 59. № 3-4.

2. Радионов Е.Ю. Особенности магнитной гидродинамики электролизеров ОА – 300 5-й серии Иркутского алюминиевого завода// Вестник Иркутского государственного технического университета. 2009. № 4 (40). стр. 210 – 213.

3. Сысоев И.А., Кондратьев В.В., Шахрай С.Г., Карлина А.И. Разработка способа управления энергетическим режимом электролизеров для производства алюминия // Цветные металлы. 2016. № 5. (881). с. 38-43.

4. Ножко С.И., Ворона А.Б., Турусов С.Н., Янко Э.А.. Повышение эффективности работы алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом и верхним токоподводом посредством дифференцированной расстановки анодных штырей// Цветные металлы. 2010. № 3. с. 62-64.

5. Бегунов А.И., Бегунов А.А.. Модернизация электролизных производств с использованием анодов Содерберга (в порядке обсуждения)// Цветные металлы. 2011. № 7. стр. 45 – 49.

6. Галевский Г.В., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. Металлургия алюминия. Электроды с анодом Содерберга и их модернизация// М.: Флинта Наука, 2008. 238 с.

7. Ножко С.И., Блашков А.А. Перспективы повышения мощности алюминиевых электролизеров (в порядке обсуждения)// Цветные металлы. 2012. № 10. с. 65-68.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ЭВАКУАЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ СОДЕРБЕРГА

Д.В. Шевцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> И.о. начальника ОРПС ОАО «РУСАЛ Братск», магистрант ИЦМИМ, ФГАОУ ВО «СФУ», e-mail: deniswork87@gmail.com

Процесс электролитического получения алюминия в электролизерах с самообжигающимися анодами сопровождается выделением анодных газов, содержащих пыль, диоксид и оксид углерода, диоксид серы, фтористый водород, угле- и кремнефториды, смолистые вещества. В состав смолистых веществ входят несколько десятков различных органических соединений, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [1].

Существующая классификация [2] относит отходящие анодные газы электролизного производства к аэродисперсным системам, потому как в качестве дисперсионной среды выступает газ, а в качестве дисперсной фазы – твердые и жидкие частицы.

Принципиальным отличием системы эвакуации газов при получении алюминия методом Содерберга от способа получения алюминия на электролизерах с предварительно обожженными анодами является наличие горелочных устройств. Горелки предназначены для термического обезвреживания анодных газов, в первую очередь для дожигания оксида углерода до диоксида, термического разложения смолистых веществ, образующихся при коксовании самообжигающегося анода.

Ввиду наличия горелок и необходимости поддержания горения в них, эвакуируемый газ оценивается по ряду важных параметров: образованию объема газа за единицу времени, температуре, разрежению, химическому и физическому составу. Отклонения от оптимальных параметров приводят к прекращению горения в горелках и, как следствие, прекращению термического разложения составных частей отходящих газов. Через определенное время, неразложившиеся компоненты образуют пробки в газоходах, чем полностью исключают работу газозавакуационной системы и дальнейшую очистку газов[3].

В последние годы в электролизном производстве на действующих электролизерах Содерберга произошли значительные технологические изменения: переход на технологию «сухого» анода [4] привел к качественному изменению химического и физического состава отходящих электролизных газов, увеличение токовой нагрузки [5] привело к изменению температуры и объема выделяющихся анодных газов. Данные изменения стали предпосылкой для начала многих исследований, направленных на оп-

тимизацию процесса эвакуации и термического обезвреживания отходящих анодных газов [5–10].

Как правило, эти технические решения направлены на оптимизацию потока и/или температуры отходящих газов, их возможную вариабельность. С технической точки зрения, все решения больше или меньше усложняют конструкцию горелочного устройства и, соответственно, стоимость его изготовления.

Описана также проблема резкого изменения химического состава отходящих газов вследствие возникновения анодного эффекта. Некоторые исследователи предлагали нивелировать резкое изменение химического состава отходящих газов, используя совмещение потоков отходящих газов от нескольких электролизеров. Безусловно, эффект по химическому составу, точнее, по вариабельности его изменения был достигнут, однако увеличение газоходного тракта (путь от нескольких электролизеров к одному горелочному устройству) привел к снижению температуры отходящих газов и уменьшению эффективности горения. По этой причине (существенного снижения температуры) технические решения, направленные на совмещение потоков отходящих газов от нескольких электролизеров не нашли широкого применения [1].

На Братском алюминиевом заводе был применен другой подход, заключающийся в установке теплообменных экранов на горелочное устройство. Использование теплообменного экрана, безусловно, не решает проблемы изменения химического и физического состава отходящих анодных газов, однако, за счет увеличения температуры воздуха, поступающего в горелочное устройство снаружи, достигается более устойчивое горение и повышение температуры горения (дожига) газа в горелке. Воздух нагревается теплом самой горелки.

Можно также отметить, что массовая установка теплообменных экранов на горелочные устройства повысило эффективность работы горелочных устройств, это было подтверждено измерениями газовой среды. Также повышение эффективности подтверждается другим наблюдением: произошло снижение срока службы горелочных устройств из-за участвовавших прогаров.

Для решения возникшей проблемы требуется произвести подбор более жаропрочного материала для изготовления горелок.

#### *Библиографический список:*

1. Куликов Б.П., Истомина С.П. Переработка отходов алюминиевого производства // Красноярск: типография ООО «Классик Центр», 2004. 480 с
2. Бородин И.Г., Вальдберг А.Ю., Мустафин Г.Ф. и др. Очистка технологических газов в цветной металлургии. Учебное пособие для техникумов // М.: Металлургия, 1992. 342 с.

3. Зельберг Б.И., Рагозин Л.В., Баранцев А.Г. и др. Справочник металлурга. Производство алюминия и сплавов на его основе// СПб, издательство МАНЭБ, 2013. 676 с.

4. Косыгин В.К., Богданов Ю.В., Аюшин Б.И., Ершов В.А., Сысоев И.А. Технология анода с применением «сухой» анодной массы на пековом коксе: опытно-промышленные испытания на Иркутском алюминиевом заводе// В сборнике: Электromеталлургия легких металлов Сборник научных трудов, посвященный 45-летию ОАО "СибВАМИ". 2004. С. 32-37.

5. Ножко С.И., Блашков А.А. Перспективы повышения мощности алюминиевых электролизеров (в порядке обсуждения)// Цветные металлы. 2012. № 10. С. 65-68.

6. Сысоев И.А., Николаев В.Н., Сокольникова Д.А. Экологическая и экономическая эффективность применения двухконтурной системы газотопровода при производстве алюминия// В сборнике: Современное состояние и перспективы улучшения экологии и безопасности жизнедеятельности Байкальского региона "Белые ночи-2016" сборник статей Международной научно-технической конференции: в 2 томах. 2016. С. 230-238.

7. Демичев Д.Н., Ножко С.И., Турусов С.Н., Попов Н.П., Богатырев В.Р. Пути минимизации образования угольной пены на электролизерах с верхним токоподводом и самообжигающимся анодом// Цветные металлы. 2006. № 11. С. 42-48.

8. Баранов А.Н., Янченко Н.И., Гавриленко Л.В. Экологические проблемы металлургического производства. Учебное пособие// Иркутск, ИрГТУ, 2014. 207 с.

9. Патент на изобретение RU 2456383. Горелочное устройство щелочного типа алюминиевого электролизера с самообжигающимся анодом. Авторы: Шахрай С.Г., Коростовенко В.В., Баранов А.Н., Капличенко Н.М., Приоритет от 09.02.2011.

10. Патент на изобретение RU 2312939. Устройство для сжигания анодных газов алюминиевого электролизера. Авторы: Сторожев Ю. И., Куликов Б.П., Нагрели Э.Р., Исаева Я.И. Приоритет от 31.01.2006.

## МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕФЕЛИНОВОГО СПЕКА

А.В. Александров<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, А.А. Володькина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>соискатель кафедры металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [modif@list.ru](mailto:modif@list.ru);

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, заведующая кафедрой металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [ninavn@istu.edu](mailto:ninavn@istu.edu)

<sup>3</sup> студентка гр. МЦб-15 ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [volodkina.lena@yandex.ru](mailto:volodkina.lena@yandex.ru)

Процесс спекания шихты производят во вращающихся печах 5x185 м с визуальным контролем качества получаемого спека, ориентируясь по крупности частиц спека, их цвету и степени оплавленности [1]. В технологии переработки нефелиновых руд данным способом спек представлен двухкальциевым силикатом  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  ( $\text{C}_2\text{S}$ ) в двух модификациях ( $\alpha'$ -,  $\beta$ -), алюминатом натрия  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  (NA), ферритом натрия  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  (NF) и их твердыми растворами.

Для технологии производства глинозема наибольшее значение имеет наличие в спеке  $\beta$ -модификации  $\text{C}_2\text{S}$ , имеющей меньшую растворимость в алюминатно-щелочных растворах по сравнению с  $\alpha'$ -формой [2]. Протекание реакции между  $\text{C}_2\text{S}$  и раствором обуславливает образование нерастворимых соединений, включающих в свой состав Al и Na.

Получение спека с необходимыми качественными показателями невозможно без постоянного контроля его качества.

В производственных условиях на ОАО «РУСАЛ Ачинск» качество спека периодически контролируют тремя методами.

1. Путем отбора разовых или среднесменных проб спеченного материала на определение его влагоемкости ( $W$ , %) и рассчитываемой как отношение массы воды, поглощаемой пробой исследуемого материала, к массе навески [3]. К достоинствам методики оценки по определению  $W$  спека можно отнести использование несложного оборудования, экспрессность. Однако результат анализа зависит от содержания мелких фракций спека и количества оборотной пыли, которая может покрывать спек, что приводит к получению необъективных результатов.

2. Выщелачиванием проб спека в лабораторных условиях для определения возможной степени извлечения глинозема ( $E_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ ) и щелочи ( $E_{\text{R}_2\text{O}}$ ) [4].  $E_{\text{Al}_2\text{O}_3}$  и  $E_{\text{R}_2\text{O}}$  определяют по результатам химического анализа спека и шлама после выщелачивания согласно методике [5].

Основной недостаток метода – условия проведения анализа не допускают развития вторичных потерь  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , которые имеют место на практике, что, снижает объективность оценки.

3. Степени кристалличности основных спексообразующих фаз:  $C_2S$  и  $NA$  [6].

Контроль кристалличности  $NA$  и  $C_2S$  основан на измерении полуширины двух дифракционных максимумов – 0,295 нм и 0,288 нм, принадлежащих данным соединениям в рентгеновском спектре образца спека. В хорошо пропеченных спеках рентгеновский спектр очень четкий, профили дифракционных линий узкие и сравнительно высокие. У плохо пропеченного спека рентгеновский спектр размыт, линии относительно низкие и широкие. Главный недостаток метода – охлаждение проб производится в нестационарных условиях; кроме этого, требуется специализированное оборудование.

Таким образом, в настоящее время отсутствует объективный метод контроля качества спека, которое в основном определяет технологические показатели всего процесса переработки нефелинового сырья при получении глинозема методом спекания. В качестве контролируемого параметра качества спека следовало бы, по нашему мнению, рассмотреть степень взаимодействия компонентов шихты при ее спекании с образованием основных соединений –  $C_2S$  и  $(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3$ .

Оценка взаимодействия компонентов шихты по степени образования  $C_2S$  в спеке, изменению содержания основных фаз (зафиксированных РДА), определяющих величину вторичных потерь  $Al_2O_3$  при выщелачивании спека, позволит прогнозировать  $E_{Al_2O_3}$  и  $E_{R_2O}$ .

Работа выполнена по НИР 11.7210.2017/БЧ в рамках государственного задания Министерства и образования и науки РФ.

#### *Библиографический список*

1. Лайнер А.И. Производство глинозема. – М.: Металлургия, 1961. – 620 с.
2. Александров А.В., Немчинова Н.В. Роль полиморфных модификаций двухкальциевого силиката нефелиновых спеков при производстве глинозема // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – Т. 20. № 11. – С. 170–183.
3. Арлюк Б.И. Разработать метод оценки качества спека с использование рентгенографии: отчет по НИР. – СПб.: АО ВАМИ. – 1992. – 47 с.
4. Арлюк Б.И., Ермолаева З.В. Контроль качества спека получаемого во вращающихся печах // Цветная металлургия (бюл. Ин-та Цветметинформация). – 1970. – № 2. – С. 35–40.
5. Арлюк Б.И. Выщелачивание алюминатных спеков. – М.: Металлургия, 1979. – 80 с.
6. Нерославская Л.Л., Рыбкин В.Д., Фирфарова И.Б., Цеховольский Л.К. Исследование качества глиноземсодержащего спека по результатам определения его фазового состава // В сб. науч. тр. – Л.: ВАМИ. – 1983. – С. 15–20.

## ПОДБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ БЕДНЫХ РУД ФАБРИЧНЫМ СПОСОБОМ ПО ТЕХНОЛОГИИ МЕРРИЛЛ-КРОУ

В.В. Жмурова<sup>1</sup>, Д.В. Оконешников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: v\_richugina@list.ru

<sup>2</sup> студент группы МЦМ-15-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: OkoneshnikovDV@ogk.polymetal.ru

Современные технологии позволяют перерабатывать бедное по содержанию сырье, но для наибольшего извлечения ценных компонентов необходимо оптимизировать параметры всех металлургических и обогатительных переделов. Рассмотрен случай, при содержании Au – до 1,5 г/т, Ag – до 120 г/т в перерабатываемой ЗИФ шихте, когда оптимизация работы узлов измельчения, агитационного выщелачивания и сгущения позволяет достичь величины извлечения Au - 97,70 % и Ag - 76,0 %.

**Полусамои измельчение.** Проводится на мельнице Ø 5500x1800 с получением измельченной руды –10+0 мм. В схеме измельчения предусмотрено первичное цианирование золота и серебра. Во всех операциях цикла, требующих подачи воды, используется оборотный цианидный раствор.

**Измельчение.** Проводится в две стадии на трех шаровых мельницах. Крупность продукта 1 стадии - минус 0,074 мм (55 %), крупность продукта 2 стадии - минус 0,074 мм (80 %). Слив мельницы второй стадии измельчения через батареи гидроциклонов подаётся в питание первого чана выщелачивания.

**Выщелачивание.** Осуществляется в каскаде аппаратов-агитаторов (7 штук), объемом 1000 м<sup>3</sup> каждый, куда пульпа, слив гидроциклонирования 2 стадии поступает в первый агитатор цепочки чанов выщелачивания. Время выщелачивания 24 часа, при поддержании постоянной концентрации цианида натрия 3,3 – 3,5 г/л по всем ступеням. Плотность пульпы в каскаде выщелачивания составит до 20 %. Далее пульпа насосом перекачивается на сгущение, противоточную декантацию.

**Сгущение и отмывка.** Выполняются в трех последовательно установленных радиальных сгустителях SUPAFLO D-18м, работающих в режиме противоточной декантации. Для ускорения процесса сгущения в питание сгустителей подается флокулянт «Praestol – 2500». Чистота слива первого сгустителя обеспечивается применением в виде подщелачивающего агента известкового молока, известь работает в растворах как активатор седиментации. Слив первого сгустителя направляется на выделение золота

и серебра цементацией на цинке (процесс Меррил-Кроу), через дополнительную очистку в буферном сгустителе.

**Процесс Меррил-Кроу.** Используемый комплекс оборудования позволяет осуществить операции осветления и деаэрации продуктивных растворов, цементации и фильтрации осадков. Осветление продуктивных растворов выполняется на трех фильтрах. Осадок осветления транспортируется в отвал, осветленный раствор подается в деаэрационную колонну для снижения концентрации кислорода. Процесс цементации на цинк проводится на модульной установке фирмы Summit Valley (США), фильтрация осадков - на рамном фильтр-прессе. Осадок цементации после съема с фильтра отправляется на сушку, фильтрат возвращается в систему водооборота,

**Сушка.** Проводится с использованием сушильных печей НСО (3 шт.). Производительность сушки по влажному цинковому осадку – 1133,7 кг /сут., по испаряемой влаге – 20-25 кг/час, Остаточная влажность осадка составит не более 0,6-1 %. Планируемый состав цинкового цементата (в процентах): золото – 2,5; серебро – 75,0; медь – 0,08; железо – 0,04; марганец – 0,2; окислы кремния и алюминия – 22,18.

**Фильтрация.** Сгущенная пульпа из «хвостового» сгустителя с содержанием твердого 50-60 % насосом подается на фильтрацию. Используемый комплекс оборудования позволяет осуществить операцию разделения жидкой фазы от твердой. Фильтрация выполняется на фильтрах фирмы «Diemme». Отфильтрованный кек влажностью 20-23% разгружается на конвейеры и транспортируется на склад технологических забалансовых руд, а фильтрат возвращается в систему водооборота.

**Управление технологическим процессом.** Используются системы автоматического контроля и регулирования, направленные на обеспечение стабильной, равномерной и безаварийной работы оборудования, а также на предотвращение аварийных ситуаций, связанных с нарушением целостности оборудования и выделением паров синильной кислоты. Управление процессом золотоизвлекательной фабрики основывается на программируемых логических контролерах (ПЛК). Это позволяет создать распределительную систему управления с применением в каждом технологическом отделении локальной рабочей станции. Рабочие станции связаны между собой и подключены на центральную станцию для организации диспетчерского контроля и управления технологическим процессом диспетчером фабрики,

**Контроль технологического процесса** Осуществляется с целью оценки баланса металлов и характеристик технологического процесса на основе опробования всей схемы передела. Опробование технологического передела выполняется с использованием ручных и автоматических методов. Отбор проб для количественной оценки содержания металлов преду-

сматривается проводить в автоматическом режиме с использованием пробоотборников, для характеристик технологического процесса – вручную.

В качестве основных аналитических методов измерений используется весовой, пробирный, атомно-абсорбционный, спектрометрический и другие.

На основании данных анализа проб руды, поступающей в процесс, замеров продуктов, поступающих на выщелачивание и обезвреживание, производится подсчет извлечения и производства металлов; результаты подсчета оформляются в виде ежесуточных, ежемесячных и ежегодных отчетов.

#### *Библиографический список*

1. Зеленов, В.И. Методика исследования золото и серебросодержащих руд / В.И. Зеленов. - М: Недра, 1989. – 302 с.
2. Алкацев, М.И. Процессы цементации в цветной металлургии / М.И. Алкацев. - М: Металлургия, 1981. – 116 с.
3. Леонов, С.Б. Гидрометаллургия. ч1. Рудоподготовка и выщелачивание: учебник/ С.Б Леонов, Г.Г. Минеев, И.А. Жучков. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1998. – 703 с.

## **ПОВЕДЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ В ПРОЦЕССЕ ПЛАВКИ**

И.С. Ункуев<sup>1</sup>, В.В. Жмурова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>магистрант гр. МЦм-16-1, ИРНИТУ, e-mail: [unkuev55555@mail.ru](mailto:unkuev55555@mail.ru)

<sup>2</sup>доцент кафедры металлургии цветных металлов, ИРНИТУ, e-mail: [v\\_pichugina@list.ru](mailto:v_pichugina@list.ru)

Плавка благородных металлов издавна стала одним из основных технологических процессов при получении более чистого металла, а в последние два десятилетия на многих предприятиях, перерабатывающих золото-платиновое сырье (в том числе техногенное), нашли широкое применение пирометаллургические процессы богатого шлихового концентрата для получения слитков золота и серебра.

Серебро.

Характерная особенность серебра – поглощение при плавке большого количества кислорода. При 960 °С расплавленное серебро может растворить 12-20 кратный объём кислорода. Повышение температуры плавки сопровождается дальнейшим увеличением растворимости. Большая часть растворённого газа выделяется из металла при затвердевании. Выделение кислорода при кристаллизации происходит столь интенсивно, что металл

разбрызгивается (кипит). Выделение газа затрудняет получение качественных отливок из серебра.

Для предотвращения поглощения кислорода плавку чистого серебра ведут под слоем древесного угля в восстановительной атмосфере. Во всех случаях стремятся сократить продолжительность плавки и не перегреть расплав.

Для раскисления серебра используют литий, кадмий и фосфор. Предпочтение следует отдавать литию и кадмию, так как введение излишка фосфора значительно ухудшает обработку серебра давлением. Практикой установлено, что полное раскисление достигается введением 0,5 % кадмия или 0,05-0,1 % фосфора и лития. Серебро с примесями меди или свинца (до 1 %) не требует раскисления перед разливкой, так как кипения не наблюдается.

Чистое серебро плавят в графитовых или графито-шамотовых тиглях в низкочастотных и высокочастотных электрических печах, а также в нефтяных, коксовых или газовых тигельных печах. Заливку серебра ведут через факел газового пламени.

Серебро и серебряные сплавы широко применяют для изготовления твёрдых припоев, нанесения защитных покрытий, для изготовления контактов, в ювелирном деле и других отраслях техники.

Технология плавки их не отличается от технологии плавки чистого серебра. Плавку серебряномедных сплавов ведут под покровом древесного угля. Как правило, перед разливкой металл раскисляют введением кадмия, лития, фосфора, или бориды кальция. Получение качественных слитков из сплавов серебра с медью не представляет особых трудностей, так как выделение растворённых газов незначительно.

Сплавы серебра с палладием при плавке растворяют водород, а не кислород. По этой причине применение восстановительной атмосферы недопустимо. При изготовлении указанных сплавов следует учитывать возможность образования паров воды в момент присадки палладия.

Плавку сплавов серебра с марганцем и оловом ведут в восстановительной атмосфере. Во избежание загрязнения расплава окислами ( $\text{SnO}_2$ ) олово вводят после полного растворения марганца, выполняющего в этом случае роль раскислителя. Для сплавов, не содержащих марганца. Перед введением олова обязательно раскисление серебра кадмием, литием или фосфором.

Золото.

Чистое золото и сплавы на его основе применяют для защитных и декоративных покрытий, в зубоврачебной практике, для изготовления стандартных сопротивлений, телефонных контактов и художественных изделий.

Наиболее распространённые из них – сплавы с серебром и медью. Чистое золото не взаимодействует в расплавленном состоянии с обычными

огнеупорами и не растворяет какие-либо печные газы. Плавку золота ведут в графитовых или графито-шамотовых тиглях и таких же печах, как и плавку серебра. Покровных флюсов при плавке не применяют. Большинство золотых сплавов плавят в графито-шамотовых тиглях под покровом древесного угля. В качестве раскислителей применяют фосфор, цинк и борид кальция. Фосфор вводят в виде фосфористой меди. Сплавы, содержащие 0,5-12 % цинка, не подвергают раскислению, так как цинк сам является прекрасным раскислителем. Для сплавов, содержащих цинк, в качестве флюса используют борную кислоту.

При изготовлении сплавов необходимо соблюдать особые меры предосторожности во избежание загрязнения их свинцом. Сотые доли процента свинца делают сплавы негодными для чеканки.

Платина.

Плавку платины и сплавов на его основе производят в печах с газовым нагревом или в высокочастотных печах. При плавке в печах с газовым нагревом в качестве топлива используют гремучий газ и смесь светильного газа с кислородом. Смешение газа производят в специальных горелках. Футеровку печей в этом случае изготовляют из окиси кальция. Плавку ведут в окислительной атмосфере – флюса не применяют.

Тигли для плавки в высокочастотных печах изготовляют из CaO или MgO. Шамотовые и графитовые тигли непригодны для этой цели из-за образования хрупкого силицида платины в одном случае и растворения углерода (науглероживания) в жидкой платине в другом. При плавке в восстановительной атмосфере платина восстанавливает многие окислы, в том числе окислы кальция и магния. В тех случаях, когда необходимо получить изделия, не содержащие примеси кальция или магния, плавку ведут в тиглях из окиси тория или из окиси циркония.

#### *Библиографический список*

1. Металлургия благородных металлов: учебник для вузов/ И.Н. Масленицкий, Л.В. Чугаев, В.Ф. Борбат. и др.; под редакцией Л.В. Чугаева. – М: Metallurgia, 1987. – 432 с.
2. Баликов, С.В. Плавка золотосодержащих концентратов / С.В. Баликов, В.Е. Дементьев.- Иркутск: ОАО Иргиредмет, 2002. - 323 с.

## АКТУАЛЬНОСТЬ АДСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА (III) ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСТВОРОВ

Н.А. Бодяйло<sup>1</sup>, А.А. Снадченко<sup>2</sup>, Ю.С. Тимошенко<sup>3</sup>, В.И. Дударев<sup>4</sup>,  
А.С. Тимошенко<sup>5</sup>

<sup>1</sup> студент гр. уМ-16-1 Структурного подразделения филиала ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» в г. Усолье-Сибирском, e-mail: usyryh@mail.ru

<sup>2</sup> студент гр. уМ-16-1 Структурного подразделения филиала ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» в г. Усолье-Сибирском, e-mail: usyryh@mail.ru

<sup>3</sup> к.т.н., преподаватель высшей категории Структурного подразделения филиала ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» в г. Усолье-Сибирском, e-mail: usyryh@mail.ru

<sup>4</sup> д.т.н., профессор кафедры общеобразовательных дисциплин ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: vdudarev@istu.edu

<sup>5</sup> преподаватель высшей категории Структурного подразделения филиала ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» в г. Усолье-Сибирском, e-mail: [timochenkoartem@mail.ru](mailto:timochenkoartem@mail.ru)

Многие предприятия Иркутской области используют экологически ненадежные технологии, имеют низкий уровень механизации и автоматизации, в результате чего содержание тяжелых металлов в сточных водах очень высокое [1]. При этом они не извлекаются из воды механически, не удаляются при биологической очистке и такими традиционными методами водоочистки, как коагуляция и флотация. Это обуславливает необходимость введения в комплексную технологическую схему водоподготовки стадию сорбционной доочистки. Переработка таких производственных растворов сорбционными методами может быть экономически оправдана. Сорбционный процесс является хорошо управляемым и автоматизируемым, что является его несомненным достоинством. Можно эффективно использовать углеродные адсорбенты с высокой избирательностью и сорбционной емкостью не только для очистки сточных вод, но и для извлечения ценных компонентов. Поэтому рассматриваемая проблема является актуальной не только в научном, но и практическом аспектах.

Систематическое изучение адсорбции железа (III) из растворов началось со второй половины 19 в., но изучение процессов, протекающих на поверхности раздела фаз, по-прежнему остается актуальным. Анализ литературных источников показывает, что очистка сточных вод от ионов железа (III) металлов привлекает пристальное внимание многих исследователей, которые используют в своих работах большое количество разнообразных сорбирующих материалов.

Авторы [2] предлагали в качестве сорбента древесные опилки, обработанные сополимером винилового эфира моноэтаноламина с виниловым эфиром 4-метил-3-азагепта-3,5-диено-1,6-диола. Очистка проводилась при  $\text{pH}=3-6$ , степень очистки по железу (III) составляла 99,4 %. В качестве сорбентов для очистки сточных от катионов цветных металлов авторы [3] испытывали различные типы цементов. Из всех испытанных образцов наилучшую сорбционную активность проявил высокоглиноземистый цемент. При обработке им модельного раствора происходило почти полное извлечение железа (III) (98,5 %) при  $\text{pH}=7$ . Очищенную воду сбрасывали в водоем рыбохозяйственного назначения. В работе [4] для изучения физико-химических, в том числе и сорбционных свойств были выбраны природные кальций-магниево-железные минералы карбонатных и силикатных пород. Содержание железа (III) определяли фотоколориметрически в виде окрашенных комплексов. Эффективно процесс сорбции для железа (III) протекал при следующих значениях  $\text{pH}$  воды: на силикатных породах –  $\text{pH}=6,5-7,5$ , на карбонатных породах –  $\text{pH}=2,5-3,0$ . Из шести природных минералов доломит являлся наиболее перспективным для очистки подземных вод от ионов железа (III). Авторы [5] исследовали сорбционные свойства глауконита Каринского месторождения, переведенного в *K*-форму. Гранулометрический состав образцов составлял от 0,1 до 0,4 мм. Сорбцию для железа (III) проводили из сульфатных и хлоридных растворов металлов в статических условиях при  $\text{pH}=3$ . Ионную силу раствора поддерживали постоянной, для этого к растворам соли металла добавляли растворы  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ . Концентрацию железа определяли калориметрическим методом с салициловой кислотой. Сорбент в течение 2 часов интенсивно контактировал с раствором соли на механической мешалке. Все экспериментальные данные удовлетворительно описывались уравнением Ленгмюра, коэффициент корреляции составлял 0,94-0,99. В интервале равновесных концентраций 0-4 ммоль/л сорбция железа (III) составляла 0,09 ммоль/г.

Несмотря на большое количество сорбирующих материалов, существует единая схема изучения адсорбционной способности сорбента по отношению к ионам железа (III) – статический и динамический метод. Заметное влияние на сорбцию оказывает кислотность среды. Наиболее применимы для описания изотерм сорбции уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра, константы которых позволяют сравнивать активности сорбентов по отношению к металлам. В работах, где использовались углеродные сорбенты, степень очистки достигала 99 %.

#### *Библиографический список*

1. Домрачева В.А. Извлечение металлов из сточных вод и техногенных образований: монография / В.А. Домрачева. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2006. – 152 с.

2. А.с. 1313809 СССР, МКИ С 02 Г 1/28, 1/62. Способ очистки сточных вод от тяжелых металлов / С.С. Тимофеева, А.Ю. Чикин, Б.Ф. Кухарев (СССР). – №3924103/31-26; заявл. 26.06.85; опубл. 30.05.87, Бюл. №7. – 2 с.

3. Очистка сточных вод накопителя от катионов цветных металлов / И.В. Гофенберг [и др.] // Химия и технология воды. – 1986. – № 5. – С. 74-76.

4. Исследование процессов извлечения тяжелых металлов на природных минералах / А.Ю. Годымчук, А.А. Решетова // Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН». – 2003. – №1(21) // URL: [http://www.scgis.ru /russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2003/informbul-1/hydroterm-17.pdf/](http://www.scgis.ru /russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/hydroterm-17.pdf/). - С. 2.

5. Использование глауконита Уральского месторождения в процессах очистки воды от железа(II, III) / Ю.И. Сухарев, Е.А. Кувыкина // Известия Челябинского научного центра. – 2002. – Вып. 1 (14). – С. 62-66.

## **ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ РУД**

Г.Н.Дударева<sup>1</sup>, Н.В.Иринчинова<sup>2</sup>, О.В.Дударева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> к.х.н., доцент кафедры общеобразовательных дисциплин ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [gndudareva@mail.ru](mailto:gndudareva@mail.ru)

<sup>2</sup> аспирант кафедры общеобразовательных дисциплин ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [shushueva.nadejda@yandex.ru](mailto:shushueva.nadejda@yandex.ru)

<sup>3</sup> к.г.-м.н., директор института кибернетики им. Е.И. Попова ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск.

Использование адсорбционной стадии извлечения ионов никеля углеродными сорбентами позволяет провести более полное извлечение металла из растворов выщелачивания, которые образуются на каждой стадии процесса переработки окисленных никелевых руд. Переработка окисленных никелевых руд по хлораммонийной технологии, применяющих высокотемпературное взаимодействие измельченной руды с хлоридом аммония, является инновационным способом переработки окисленных никелевых руд, не использующихся должным образом в промышленных масштабах для получения ценного металла [1]. В состав окисленной никелевой руды входят металлы: железо, алюминий, кремний, хром, никель, кобальт, магний, марганец, кальций. Последовательное выщелачивание и осаждение образующихся при переработке соединений металлов позволяет достигать разделения целевых компонентов от основной массы руды. При

содержании никеля в исходной руде в пределах 1-2 % такой технологический передел обеспечивает рентабельность всего процесса и целесообразность разработки месторождений окисленных руд.

Модельный раствор, имитирующий состав окисленного никелевого концентрата, готовили из навесок солей  $MnCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $AlCl_3$ ,  $FeCl_3 \cdot H_2O$ ,  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ , квалификации «х.ч.» растворением их в дистиллированной воде с добавлением нескольких капель соляной кислоты (1:1). Раствор никеля  $20 \text{ мг/дм}^3$  готовили растворением соответствующей навески соли  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$  «ч.д.а.» в дистиллированной воде. Оптимальное для сорбции ионов никеля (II) значение pH среды устанавливали из зависимости  $A=f(pH)$  в статических условиях. Значения pH от 3 до 12 устанавливали с помощью 0,2 М аммиачно-ацетатных буферных растворов. Значение pH в исследуемых растворах контролировали на универсальном иономере ЭВ-74 со стеклянным и насыщенным хлорсеребряным электродами. Концентрацию ионов никеля в растворах определяли фотометрически по чувствительной реакции иона никеля с ацетгидразином по методике [2]. Правильность результатов контролировали по ГСО раствора ионов никеля №7265-96 (с аттестованным содержанием никеля  $1,0 \text{ мг/см}^3$ ). Оптическую плотность растворов регистрировали на приборах КФК-3 и UV-1800 «Shimadzu» при длине волны  $\lambda=460 \text{ нм}$ . Содержание ионов металлов в исходных растворах и их остаточную концентрацию после сорбции контролировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА-7000 «Shimadzu». Адсорбцию ионов никеля из растворов осуществляли с помощью углеродного адсорбента марки АД-05-2. опыты проводили в статических условиях. Адсорбент проявляет поглощательную способность к ионам никеля в слабо-щелочной и щелочной средах. Предельная сорбционная емкость достигает значений 35-40 мг/г. Адсорбция резко возрастает при  $pH > 9.5$  что, может быть связано с изменением свойств поверхности сорбентов и изменением состояния сорбата в растворе. При  $pH > 9.5$  никель в растворе находится в виде аммиачного комплекса  $Ni(NH_4)_n^{2+}$ , где  $n_{max}=6$ . С увеличением pH и, следовательно, увеличением концентрации гидроксид-ионов, происходит постепенное замещение молекул аммиака в координационной сфере никеля на гидроксид-ионы с последующим выделением никеля из раствора в виде гидроксида при  $pH > 11.5$ . В условиях проведения адсорбции в интервале pH 9–11.5 наиболее вероятной формой присутствия никеля в растворе с учётом его констант гидролиза может быть  $Ni(NH_3)_5(OH)^+$ . В процессе адсорбции замечено небольшое снижение значений pH растворов на 0.1–0.5 единиц pH, что может свидетельствовать о наличии ионообменного взаимодействия в процессе сорбции. Установлено, что при повышенной температуре процесс извлечения ускоряется. Для сравнения проводили сорбцию из растворов чистого никеля и из модельных промышленных растворов. Испытание сорбционного передела на разных стадиях аммиачного выщелачивания окисленной руды показывает, что никель из-

влекается почти полностью после его отделения от сопутствующих металлов. При этом извлечение целевого компонента требует соблюдения точного технологического регламента. При десорбции никеля разбавленными минеральными кислотами образуются чистые концентрированные растворы, пригодные для прямого электролитического получения никеля.

*Библиографический список*

1. Борисов В.А. Исследование взаимодействия хлорида аммония с оксидами металлов 4 периода периодической системы Д.И. Менделеева. Автореферат диссертации канд. техн. наук, Томск, 2010, с. 14-15.

2. Дударева Г.Н. Сорбционное извлечение и аналитическое определение никеля. Иркутск, изд-во ИРНТУ, 2015. 154 с.

## **СМАЧИВАЕМЫЕ ПОКРЫТИЯ КАТОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: УРОВЕНЬ ОСВОЕНИЯ, ПОКАЗАТЕЛИ, ОЖИДАНИЯ**

К.А. Ефимова<sup>1</sup>, Г.В. Галевский<sup>2</sup>, В.В. Руднева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>аспирант каф. МЦМиХТ, ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)

<sup>2</sup> д.т.н., профессор каф. МЦМиХТ, ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)

<sup>3</sup> д.т.н., профессор каф. МЦМиХТ, ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)

Работа выполнена в СибГИУ при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках договора № 7112ГУ/2015.

Сплавы алюминия широко используются во многих отраслях машиностроения вследствие их малой плотности и относительно высокой прочности. Непрерывно растет мировое производство первичного алюминия, достигая в настоящее время объема порядка 37,3 млн. т/год. Получают товарный алюминий электролизом фторидного криолит-глиноземного расплава, содержащего растворенный глинозем  $Al_2O_3$ , при температуре  $940\div 970$  °С. Процесс реализуется в горизонтальных электролизерах с углеграфитовыми анодами и катодами. При этом в ваннах электролизеров реальным катодом является расплавленный алюминий, под слоем которого находится углеграфитовая футеровка со сроком эксплуатации 5-8 лет. Главный недостаток такой подины – несмачиваемость расплавленным алюминием. Поэтому между подиной и жидким алюминием накапливается тонкий слой электролита, способствующий проникновению натрия в кристаллическую решетку углеродсодержащих материалов подины и ее раз-

рушению. В связи с этим в последние 20 лет в мировой практике расширяется объем исследований и технологических предложений, направленных на выбор материалов для облицовок футеровок катода, формирования на ней смачиваемых покрытий или производства объемных изделий ее компонентов.

В настоящее время наиболее эффективным функциональным материалом для смачиваемых катодов алюминиевых электролизеров признан диборид титана  $TiB_2$ . Это подтверждается результатами масштабных промышленных экспериментов, проведенными в разное время компаниями «Грейт Лейкс», «Рейнольдс Металл» (США), «Комалко» (Австралия), Шеньяньжэнским СВУ (Китай). Исследовались различные варианты катодных покрытий: горячепрессованные плитки из  $TiB_2$ , композиционное покрытие со связкой ( $TiB_2$ +порошок графита+смола/пек; 30-60 %  $TiB_2$  + 40-60 % антрацита + 5-20 % порошка графита + 5-20 % пека;  $TiB_2$  + смола/пек,  $TiB_2$  +  $Al_2O_3$  +  $H_2O$ ). Покрытия наносились на подину плиточной облицовкой, заливкой и уплотнением вибрацией, распылением, окрашиванием. Во всех случаях отмечается снижение катодного падения напряжения (до 15-30 мВ), повышение выхода по току (на 1-2 %), улучшение стабильности энергетических параметров электролизера, снижение повреждений катодных блоков, возможность снижения (примерно на 1 см) междуполюсного расстояния (МПР), технологическая предпочтительность применения  $TiB_2$  + связующее.

В зарубежной практике алюминиевого производства материалы для защитных катодных покрытий алюминиевых электролизеров поставляются фирмой «МОЛТЕК» и имеют торговые марки ТИНОР А, ТИНОР М и утолщенный ТИНОР. ОК «РУСАЛ» также проявляет определенный технологический интерес к созданию и промышленному применению смачиваемых катодов. В 2016 г. её Инженерно-технологический центр совместно с крупнейшим российским производителем углеграфитовых материалов «Группа» Энергопром» начал производственные испытания электролизеров с защитными покрытиями катодов на основе композиции  $TiB_2$  + пек в условиях АО «РУСАЛ-Красноярск». Некоторые результаты проведенной оценки перспектив освоения и реализации технологии смачиваемого катода в рамках компании приведены в таблице. Оценка проведена для условий 2015 г. из предположения уменьшения МПР на 1 см, повышения катодного выхода алюминия по току на 1 %, снижения падения напряжения в контакте алюминий-подина на 50 мВ, толщины покрытия 8 мм, удельного расхода  $TiB_2$  0,26кг/т Al и среднего срока службы электролизера 7 лет.

Годовая потребность в дибориде титана одного алюминиевого завода, например, Хакасского с одной сверхдлинной серией электролиза с напряжением 1600 В и силой тока 350 кА, с количеством установленных электролизеров 336 производительностью порядка 280000 т алюминия в год составляет 72 т.

Таблица – Базовые и ожидаемые показатели производства алюминия ОК «РУСАЛ» (Россия) при применении катодов УГ\* - TiB<sub>2</sub>

Показатели производства алюминия	УГ катоды	УГ - TiB <sub>2</sub> катоды
Производство Al, т/год	3600536	3600536
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т. Al	13500	12428
Снижение потерь электроэнергии, кВт·ч/т. Al	-	1072
Годовой расход электроэнергии кВт·ч/т. Al	48607236000	44747461400
Экономия электроэнергии кВт·час/год	-	3859774600
Экономия в денежном, выражении \$/год	-	85134910
Эквивалентное производство Al, т/год	-	311375
Удельный расход TiB <sub>2</sub> , кг/т Al	-	0,26
Потребность в TiB <sub>2</sub> , т/год	-	936
Допустимая цена TiB <sub>2</sub> , \$/кг	-	91

\* УГ – углеграфитовые материалы

Таким образом, применение УГ - TiB<sub>2</sub> катодов является мощным резервом энергосбережения в современном алюминиевом производстве, оцениваемом на уровне 10 %. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего развития технологической базы его производства. Основными способами получения TiB<sub>2</sub> для смачиваемых катодных покрытий являются самораспространяющийся высокотемпературный и печной синтезы. Однако эти способы при относительной простоте технологического решения малопродуктивны и позволяют получать TiB<sub>2</sub> в виде достаточно крупного порошка с частицами размерного диапазона 5-10 мкм. Есть основания предполагать, что введение TiB<sub>2</sub> в состав суспензии в виде более тонкого порошка с размером частиц, меньшим или сопоставимым с размером частиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,1–1 мкм), будет способствовать повышению физико-механических и защитных свойств покрытия.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА МОЛИБДЕНА В УСЛОВИЯХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Л.С. Ширяева<sup>1</sup>, М.С. Фомин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии СибГИУ, г. Новокузнецк, E-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)

<sup>2</sup> магистрант кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии, СибГИУ, г. Новокузнецк, E-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)

Разработка новых металлических материалов с высокими физиче-

скими свойствами по существу исчерпала все возможности существовавших до сих пор классических металлургических процессов [1]. Настоящие и будущие требования относительно повышения прочности, коррозионной стойкости, магнитных и электрических свойств и других физических параметров могут быть выполнены путем применения новых нетрадиционных способов производства чистых металлов и сплавов [2]. К таким способам относится плазмометаллургическое получение нанодисперсных порошков (НДП) молибдена. Молибден – тугоплавкий и коррозионностойкий металл, который находит широкое применение в производстве легированных сталей, а также кислотостойких и жаростойких сплавов. При использовании в наносостоянии открываются новые перспективы его применения: получение жаро- и кислотостойких сплавов с повышенными коррозионными и физическими свойствами; производство смазочных составов; в качестве катализатора (в том числе в производстве углеродных нанотрубок); производство покрытий и полимеров [3].

Для формирования наиболее полного представления о процессах синтеза НДП молибдена необходимо определить механизм его образования посредством комплексного исследования, включающего термодинамику плазменного восстановления триоксида молибдена, сам синтез и идентификацию получаемых продуктов. Аналогичный подход при исследовании плазменного синтеза тугоплавких нанодисперсных порошков представлен в работах [4, 5]. При термодинамическом анализе восстановления триоксида молибдена пропаном установлено, что образование молибдена возможно в интервале температур 4800-2300 °К, причём степень восстановления составляет 100 %. Во всём исследуемом интервале температур присутствует СО. Это свидетельствует о том, что восстановление оксида молибдена осуществляется углеродсодержащими продуктами пиролиза пропана. При экспериментальных исследованиях установлено, что продуктом восстановления триоксида молибдена в области температур (5600 – 2800) °К является НДП молибдена. Плазмометаллургическое восстановление проводится в соответствии с оптимальными технологическими режимами, приведёнными в таблице 1.

Таблица – Допустимые пределы изменения параметров синтеза НДП молибдена и его основные характеристики

Параметры синтеза и характеристики соединения	Значения
Состав газа теплоносителя (азот), % об.	99,5
Состав газа восстановителя (пропан), % об.	95...98
Начальная температура плазменного потока,	5600
Температура закалки, К	2800
Средний размер частиц (НДП Мо), нм	40
Удельная поверхность получаемого материала, м <sup>2</sup> /г	15
Крупность сырья (МоО <sub>3</sub> ), мкм	-50

Исследование температурной зависимости состава газообразных и

твёрдых продуктов синтеза, основано на зондовом отборе проб конденсата и газовой фазы из различных зон реактора. Состав газообразных продуктов синтеза исследовался с помощью хроматографического анализа. Твёрдые продукты синтеза исследовались рентгеновским методом и о соотношении фаз судили по относительной интенсивности характерных линий.

Анализируя полученные результаты и морфологические особенности наноразмерных порошков молибдена, осаждаемых в виде частиц шаровидной формы, представляется целесообразным выделить в плазменном потоке пространственно разделённых зон. В первой температурной зоне (5600 – 5000 К) протекают следующие обеспечивающие формирование реакционной смеси необходимого состава процессы: восстановление триоксида молибдена, пиролиз пропана. Во второй (3000 – 2800 К) можно предполагать протекание процессов образования НДП молибдена. Наряду с этим в рассматриваемой зоне на поверхности сформировавшихся наночастиц молибдена активно протекают сорбционные процессы, приводящие к поверхностному насыщению их технологическими газами и газообразными продуктами синтеза.

#### *Библиографический список*

1. Зеликман А.Н. *Металлургия редких металлов*/ А.Н. Зеликман, Б.Г. Коршунов – М: Metallurgy, 1991. – 432 с.
2. Каламазов Р.У. *Высокодисперсные порошки вольфрама и молибдена*/ Р.У. Каламазов, Ю.В. Цветков, А.А. Кальков.– М: Metallurgy, 1988.–360 с.
3. *Маркетинговое исследование рынка нанопорошков [электронный ресурс]* / Департамент маркетинговых исследований. – Москва, 2009. – Режим доступа: <http://research-techart.ru/report/nanopowder-market.htm>. – Загл. с экрана.
4. Ширяева Л.С. *Исследование плазменного синтеза нанокарбида хрома* / Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии.* – 2012. – № 29. – С. 94 –101.
5. Ноздрин И.В. *Термодинамический анализ процессов плазменного синтеза карбида хрома* / И.В. Ноздрин, Л.С. Ширяева // *Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия.*– 2011.–№10.– С. 3–7.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОАО «РУСАЛ БРАТСК» ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРЯДКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

А.М.Дубнов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>И.о. начальника участка обработки электролизеров ОАО «РУСАЛ Братск», г. Братск, магистрант ФГБАУ ВО «Сибирский Федеральный Университет», e-mail: [Alexey.Dubnov@rusal.com](mailto:Alexey.Dubnov@rusal.com)

Весьма важной составляющей энергетической эффективности производства алюминия-сырца является частота анодных эффектов. Анодный эффект не только увеличивает расход электроэнергии, но и увеличивает выбросы загрязняющих веществ, в том числе парниковых газов [1]. По перечисленным причинам, снижение частоты анодных эффектов актуально для электролизного производства ОАО «РУСАЛ Братск».

В современной производственной практике встречается немало публикаций, посвященных природе возникновения анодных эффектов [2, 3], а также производственной практике предотвращения и недопущения возникновения анодных эффектов [4–6]. Как правило, данные работы рассматривают влияние технологических параметров эксплуатации электролизеров на частоту возникновения анодных эффектов.

Проведенный анализ технологических параметров и условий эксплуатации электролизеров ОАО «РУСАЛ Братск» позволил выявить наличие устойчивой зависимости возникновения анодных эффектов по времени (рис. 1). Как показал дальнейший анализ, распределение возникновения анодных эффектов весьма неоднородно по времени и является следствием неритмичной обработки электролизеров глиноземом.

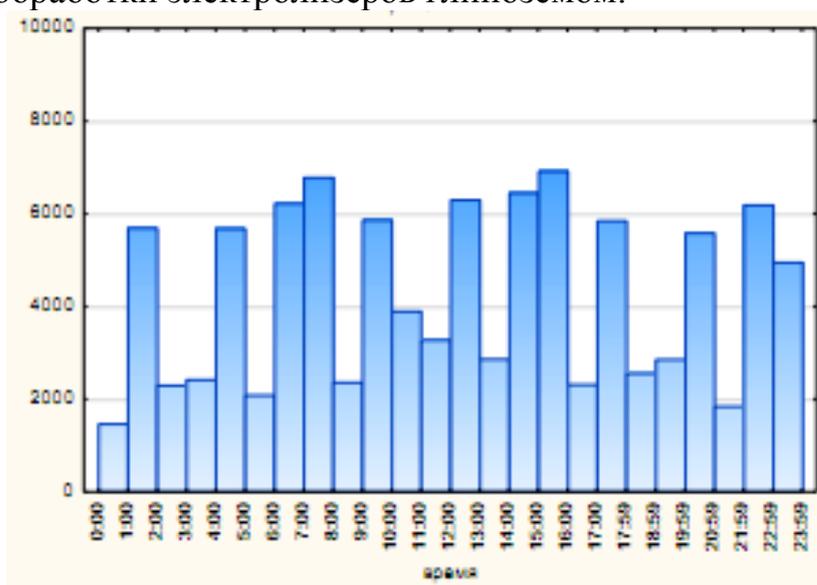


Рисунок 1- Распределение анодных эффектов в течение суток

В процессе анализа возможных схем эксплуатации дизельной техники была разработана принципиально новая схема обработки электролизеров глиноземом (рис. 2). Данная схема позволила качественно изменить характер возникновения анодных эффектов во времени, что позволило снизить частоту возникновения анодных эффектов на 0,2 – 0,3 АЭ/сутки.

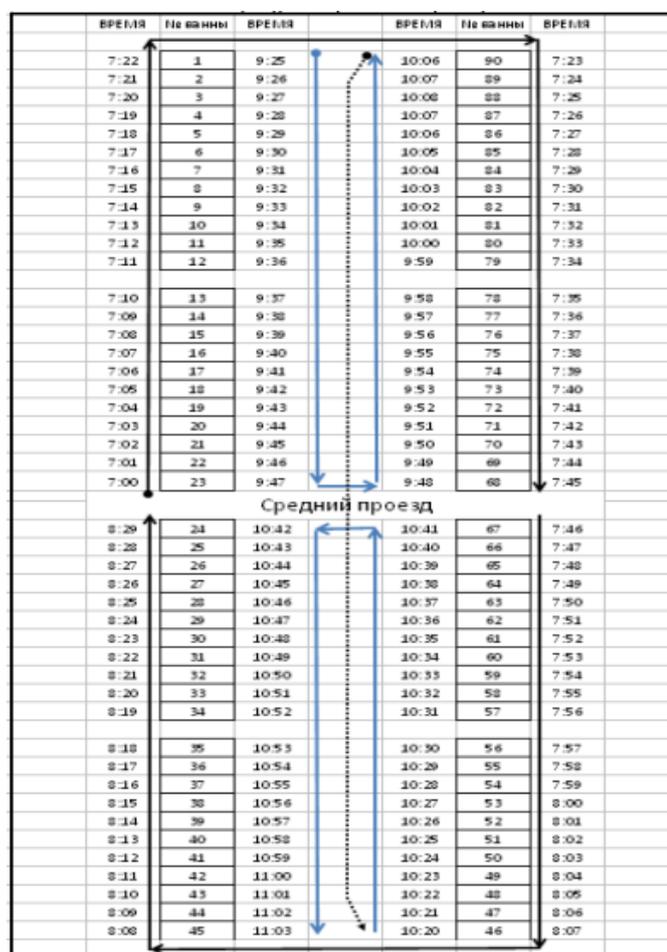


Рисунок 2- Схема проведения поточных обработок электролизеров глиноземом с помощью дизельной техники

Следует отметить, что приведенная схема эксплуатации напольной дизельной техники, хотя и позволила качественно снизить частоту анодных эффектов, не является окончательной: в настоящее время продолжаются эксперименты, направленные на оптимизацию процесса обработки электролизеров дизельной техникой.

#### Библиографический список

1. Куликов Б.П., Истомина С.П. Переработка отходов алюминиевого производства// Красноярск: Классик Центр, 2004. – 480 с.
2. Беяев А.И. Металлургия легких металлов// М.: Металлургия, 1970 – 368 с.

3. Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. *Металлургия алюминия*// Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 438 с.

4. Ножко С.И. *Повышение эффективности электролитического получения алюминия на основе мониторинга перегрева электролита (на примере Братского алюминиевого завода)*// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск, 2006 г.

5. Sysoev I.A., Ershov V.A., Kondrat'ev V.V. *Method of controlling the energy balance of electrolytic cells for aluminum production* // *Metallurgist*. 2015. Т. 59. № 3-4.

6. Ножко С.И., Блашков А.А. *Перспективы повышения мощности алюминиевых электролизеров (в порядке обсуждения)*// *Цветные металлы*. 2012. № 10. с. 65-68.

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЛИГАТУР МАГНИЙ-ИТТРИЙ**

С.А. Савченков<sup>1</sup>, В.Ю. Бажин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>аспирант кафедры металлургии, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: savchenkov.tlc@bk.ru

<sup>2</sup>д.т.н., декан факультета переработки минерального сырья, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: bazhin-  
alfoil@mail.ru

Согласно стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 года увеличение спроса на магний будет происходить в соответствии с развитием высокотехнологичных отраслей экономики – авиа- и ракетостроения, судостроения, автомобильной промышленности, а также нефтегазодобывающей отрасли. В соответствии с прогнозируемым ростом производства продукции машиностроения, ожидается рост спроса на магниевые сплавы и лигатуры с редкоземельными металлами - не менее чем в 2,5 раза к 2020 году.

Детали из магниевых сплавов обладают рядом отличительных особенностей:

- высокой удельной прочностью и удельной жесткостью. По удельной жесткости при изгибе магниевые сплавы превышают алюминиевые на 20 % и стали на 50 %;

- хорошо поглощают вибрации, удельная вибрационная прочность магниевых сплавов с учетом демпфирующей способности почти в 100 раз больше, чем у дуралюмина, и в 20 раз больше, чем у легированной стали;

- хорошей обрабатываемостью резанием, при механической обработке этих сплавов допускается скорость резания в 7 раз выше, чем для сталей, и в 2 раза выше, чем для алюминиевых сплавов.

Известно, что применение редкоземельных металлов в качестве легирующих добавок позволяет значительно повысить прочность магниевых сплавов при комнатной и повышенных температурах. Исследования магниевых сплавов в настоящее время направлены на улучшение существующих и разработку новых сплавов с использованием РЗМ. При этом в сплавы вводят элементы с высокой растворимостью в магнии (чаще всего иттрий или гадолиний), с целью получения высоких механических свойств при повышенных температурах, а также с низкой растворимостью в магнии (чаще всего неодим) [1].

В связи с высокой стоимостью исходных соединений редкоземельных металлов влияние на технико-экономические характеристики применяемых в промышленности сложных магниевых сплавов оказывают стоимость, состав и методы получения исходных лигатур. На сегодняшний день лигатуры, в основном, получают методом сплавления чистых компонентов, что сильно повышает стоимость полученного сплава. С экономической точки зрения наибольший интерес представляет металлотермическое восстановление легирующих элементов из их оксидов, фторидов и хлоридов.

В работе исследовано взаимодействие в системе оксиды, фториды редкоземельных металлов-галогениды-металлический магний на установке комплексного термического анализа. В качестве исходных компонентов использовали KCl, NaCl, LiCl, а также оксиды и фториды иттрия частотой 99 %.

Определены основные технологические параметры синтеза иттрий-содержащих лигатур. Показано, что использование магния как восстановителя позволяет повысить извлечение иттрия в лигатуру. В результате изучения иттрийсодержащих галогенидных систем выявлено, что при использовании в качестве исходного материала фторида или хлорида иттрия температура плавления соединений может быть понижена за счет уменьшения температуры ликвидуса при одновременном вводе добавок хлорида калия и натрия [2, 3].

Перспективными солевыми системами для восстановления иттрия магнием при температуре 950-1050 К являются смеси: фторида иттрия, хлористого калия, хлористого натрия и фтористого кальция, а также смесь фторида иттрия, хлористого лития и фтористого калия.

Работа поддержана Фондом содействия развитию малых форм и предприятий, договор № 10829ГУ/2016 от 29.12.16.

*Библиографический список*

1. Savchenkov S.A. The metallothermic process research of magnesium-yttrium master alloys / S.A. Savchenkov, V.Yu. Bazhin // TU Bergakademie

Freiberg Scientific Reports on Resource Issues. Metallurgy, material science. Vol. 1. 2016. p.315-319.

2. Kang Z. et al. Thermodynamic evaluation and optimization of the (KF+YF<sub>3</sub>), (KCl+ YCl<sub>3</sub>) and (YF<sub>3</sub>+ YbF<sub>3</sub>) binary systems //The Journal of Chemical Thermodynamics. 2016. Vol. 98. P. 242-253.

3. Yimin Sun. Thermodynamic optimization and calculation of the YCl<sub>3</sub>–AlCl (A=Li, Na, K, Rb, Cs) phase diagrams / Yimin Sun, Guochen Bian, Wei Tao, Chunhai Zhai, Ming Zhong, Zhiyu Qiao // CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry. 2012. P. 1-10.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

В.В.Сомов<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>1</sup>, Е.Ю. Радионов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>аспирант кафедры металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [comob-boba@ya.ru](mailto:comob-boba@ya.ru)

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, заведующая кафедрой металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [ninavn@istu.edu](mailto:ninavn@istu.edu)

<sup>3</sup>к.т.н., менеджер ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, [radionov.evgeniy@rusal.com](mailto:radionov.evgeniy@rusal.com)

Технология получения алюминия [1] является сложным, экологически небезопасным, чрезвычайно энергоемким и дорогостоящим процессом, что существенно затрудняет непосредственные экспериментальные исследования. В связи с этим современную металлургию алюминия невозможно представить без использования компьютерных моделей, которые позволяют рассчитывать распределение температур, тепловой баланс подины и самого электролизера, напряжения и деформации кожуха и элементов подины, анализ магнитогидродинамических явлений и др. [2-4].

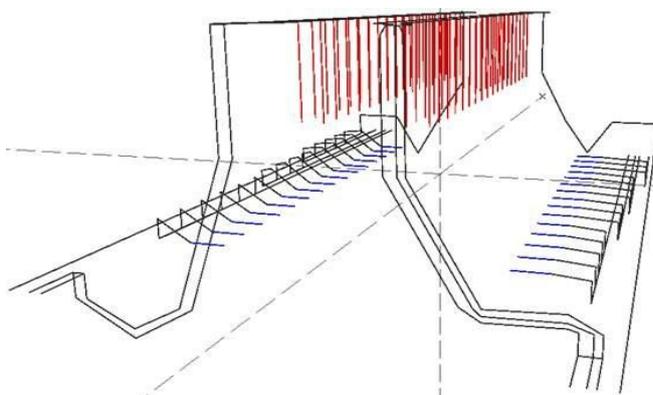
Рассматриваемые методы математического моделирования включают в себя систему несколько уравнений:

1. уравнение неразрывности;
2. уравнение количества движения в форме Навье-Стокса;
3. уравнения Максвелла;
4. уравнение для плотности электрического тока;
5. уравнение магнитной индукции;
6. уравнение энергии.

Математическое моделирование проводят на мощных компьютерах с большой разрешающей способностью, поскольку количество вычислений и время расчетов каждой итерации зависит от числа квадратов, на которые

разбиты двумерные модели и в большей степени трехмерные. На рис. 1 приведена 3d-модель электролизера с использованием системы компьютерного моделирования.

Одним из технологических показателей работы электролизеров является его срок службы, зависящий от многих факторов, в том числе и от степени проникновения фтористого натрия в угольную подину. В свою очередь степень пропитки подины фторосолями способствует изменению теплового сопротивления ванны [5]. Согласно практическим данным, с увеличением кампании электролизера за счет проникновения компонентов электролита в угольную подину изменяется форма рабочего пространства ванны: дно зарастает осадками, коржами, проекция настыви становится уходящей под проекцию анода. Все это приводит к снижению теплового сопротивления ванны.



**Рисунок – Общий вид 3d-модели (бесконечно тонкие проводники)**

Нами была проведена с применением математического моделирования оценка работы электролизера с различными сроками службы (и, соответственно, разной высотой настыви, изменяющейся в процессе эксплуатации ванны за счет насыщения подины фторосолями).

Результаты расчетов позволяют выполнить анализ характера распределения компонент векторов плотности тока в расплаве и вертикальной плотности токов на подине. Эти данные представляют интерес при оценке устойчивости параметров технологического процесса. Качественное сравнение течения расплава алюминия в электролизере возможно по числу и конфигурации вихрей в среднем планетарном сечении металла.

Работа выполнена по НИР 11.7210.2017/БЧ в рамках государственного задания Министерства и образования и науки РФ

#### *Библиографический список*

1. *Металлургия алюминия: технология, электроснабжение, автоматизация: учеб. пособие / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2008. – 527 с.*

2. *Сысоев И.А. Исследование энергетического состояния и разработка способа управления тепловым режимом электролизеров большой единичной мощности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02 / Сысоев Иван Алексеевич. – Иркутск, 2007. – 16 с.*

3.Радионов, Е.Ю., Немчинова, Н.В., Третьяков, Я.А. Моделирование магнитогидродинамических процессов в электролизерах при получении первичного алюминия //Вестник ИрГТУ. – 2015. – №7 (102). – С. 112-120.

4.Бояревич В.В., Калис Х.Э., Миллере Р.П., Пагодина И.Э. Математическая модель для расчета параметров алюминиевого электролизера // Цветные металлы. – 1988. – №7. – С. 63-66.

5. Сорлье М., Ойа Х.А.. Катоды алюминиевого электролизера. – Красноярск: Версо, 2013. – 720 с.

## **КРИОЛИТОВОЕ ОТНОШЕНИЕ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ВЫХОД АЛЮМИНИЯ ПО ТОКУ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ КРИОЛИТ-ГЛИНОЗЕМНЫХ РАСПЛАВОВ**

А.А.Володькина<sup>1</sup>, Н.В.Немчинова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студентка гр. МЦБ-15-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [volodkina.lena@yandex.ru](mailto:volodkina.lena@yandex.ru)

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, заведующая кафедрой металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [ninavn@istu.edu](mailto:ninavn@istu.edu)

Производство алюминия основано на электролизе глинозема, растворенного в расплавленном криолите; является довольно сложным и экологически небезопасным методом, однако является единственным промышленным способом получения «крылатого» металла во всем мире [1-3].

Электролит – это среда, в которой протекают основные электрохимические превращения в алюминиевой ванне. Электролит представляет собой многокомпонентную систему, главными элементами которой являются: Al~10-15 %, Na~24-30 %, Ca~3-8 %, Mg~0-2 %, F~49-54 %, O~2 %. Второстепенные элементы электролита: K, S, Cl, Si, Fe, Cu, Zn [2].

К составу электролита выдвигается целый ряд требований:

- должен растворять необходимое количество глинозема, достаточное для ведения электролиза как минимум до поступления новой порции глинозема; все добавки понижают как растворимость глинозёма, так и скорость его растворения, что нежелательно, т.к. способствует образованию осадков;

- должен быть электропроводен, т.к. в узком зазоре междуполюсного пространства не должно быть большого падения напряжения и соответственно выделения избыточного количества тепловой энергии; в противном случае возможен перегрев электролита и снижение выхода по току;

- температура плавления электролита должна быть относительно невысокой, что снизит тепловые потери и энергетические затраты на электролиз;

- состав электролита должен быть стабилен, а потери его за счет разложения и перехода части материала в газовую фазу минимальными;

- должен отвечать целому ряду дополнительных требований, а именно: иметь низкую вязкость, достаточное межфазовое натяжение на границе с расплавленным алюминием, не пропитывать и не разрушать футеровку электролизера [1, 2, 4].

Все главные элементы в электролите находятся в виде фаз. Основные фазы – криолит  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  и хиолит  $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$  (на их долю приходится 70-80 % состава электролита). Присутствуют так же фазы, содержащие Mg (веберит  $\text{Na}_2\text{MgAlF}_7$ , нейборит  $\text{NaMgF}_3$ ) и Ca (кальциевые криолиты  $\text{NaCaAlF}_6$  и  $\text{Na}_2\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{F}_{14}$ , флюорит  $\text{CaF}_2$ ), оксидные фазы –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (основная форма –  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ),  $\beta$ -глинозем  $\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$ .

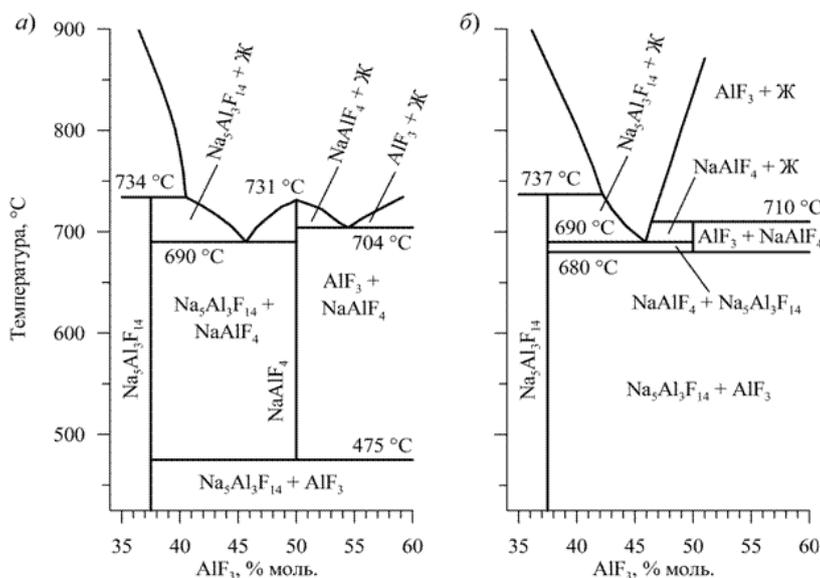
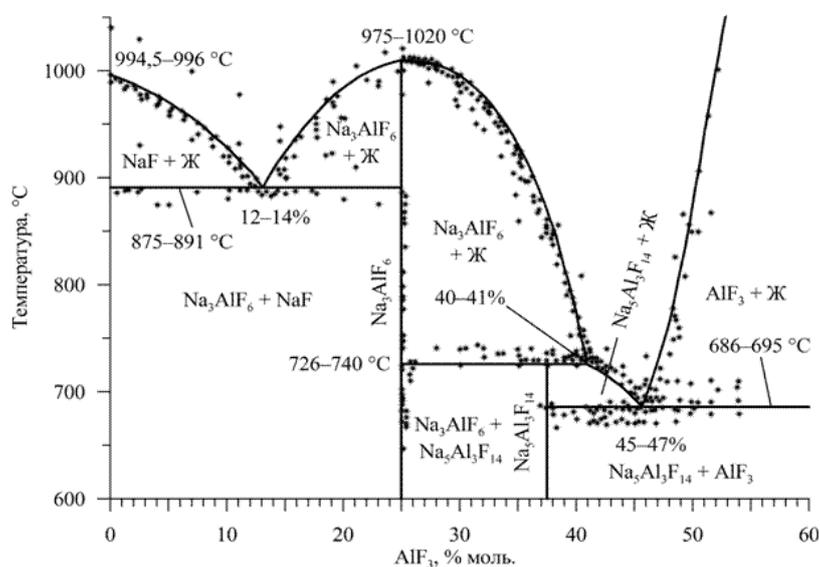


Рисунок – Диаграмма состояния  $\text{NaF-AlF}_3$  [7]

Состав криолит-глиноземного электролита принято характеризовать криолитовым отношением (КО), представляющим отношение мольных концентраций фторидов натрия (NaF) и алюминия (AlF<sub>3</sub>) в электролите. Для чистого криолита КО = 3.

Электролит, обогащенный AlF<sub>3</sub>, имеет КО < 3 и его называют «кислым». В настоящее время при производстве алюминия применяют кислые электролиты с КО = 2,35...2,55 состава, % мас.: 75-90 Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, 5-12 AlF<sub>3</sub>, 1-10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2-10 CaF<sub>2</sub>. Свойства этих электролитов и показатели электролиза алюминия зависят от их состава [5].

Электролиз криолит-глиноземных расплавов – сложный для непосредственного изучения процесс, основанный на физико-химических закономерностях [6], поэтому диаграмма состояния системы «NaF-AlF<sub>3</sub>» трактуется разными учеными по-разному (рис.).

Для снижения затрат электроэнергии и увеличения выхода по току ведутся работы по снижению величины КО; так, при снижении величины КО на 0,1 ед. происходит увеличение выхода по току от 0,4 до 2,0 %.

Поскольку существует необходимость поддержки состава электролита в узком интервале значений КО, существует необходимость в постоянном оперативном анализе в центральной заводской лаборатории.

КО рассчитывается с учетом всех входящих фаз в состав электролита:

$$КО = \frac{0,6Na_3AlF_6 + 0,4545Na_5Al_3F_{14} + 0,3646Na_2MgAlF_7 + 0,4025NaMgF_3 + 0,34CaF_2 + NaF}{0,4Na_3AlF_6 + 0,5455Na_5Al_3F_{14} + 0,3648Na_2MgAlF_7 + 0,72CaF_2}$$

Работа выполнена по НИР 11.7210.2017/БЧ в рамках государственного задания Министерства и образования и науки РФ

#### *Библиографический список*

1. Ветюков М.И., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. Электрометаллургия алюминия и магния. – М.: Metallurgia, 1987. – 320 с.
2. Гринберг И.С., Терентьев В.Г., Чалых В.И., Черных А.Е. Электрометаллургия алюминия. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 350 с.
3. Бегунов А.И., Бегунова Л.А., Шевелева Н.Н., Яковлева А.А. Исследование физико-химических основ экологически чистого способа получения алюминия // Вестник ИрГТУ. – 2001. – С. 81-85.
4. Костюков А.А., Киль И.Г., Никифоров В.П., Вольфсон Г.Е. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия. – М.: Metallurgia, 1971. – 600 с.
5. Игнатьев В.С. Влияние состава криолит-глиноземного электролита на его свойства и показатели электролиза алюминия. – М.: Metallurgia, 2011. – С. 42–48 .

6. Яковлева А.А., Кудрявцева Е.В. Физическая химия. – Иркутск. Изд-во ИрГТУ, 2015. – 176 с.

7. Троицкий И.А., Железнов В.А. Металлургия алюминия. – М.: Металлургия, 1977. – 392 с.

## РЕГЕНЕРАЦИЯ КРЕМНЩЕЛОЧНЫХ РАСТВОРОВ В СПОСОБЕ ТЕРМОХИМИЯ-БАЙЕР

О.А. Дубовиков<sup>1</sup>, А.Д. Рис<sup>2</sup>

<sup>1</sup>- д.т.н, профессор каф. ХТПЭ, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Горный Университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: [dubovikov\\_oa@mail.ru](mailto:dubovikov_oa@mail.ru)

<sup>2</sup>-аспирант каф. Metallургии, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Горный Университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: [kasandraspb@yandex.ru](mailto:kasandraspb@yandex.ru)

Запасы интенсивно эксплуатируемых богатых месторождений железа, алюминия, меди, никеля и ряда других металлов сокращаются. Именно на такое высокосортное сырье до сих пор ориентирована мировая индустрия. Однако мировые запасы ограничены и проблема совершенствования технологий извлечения и переработки природного и техногенного сырья является, на сегодняшний день, крайне актуальной.

В настоящее время одним из направлений проводимых исследований ведущей научной школы, возглавляемой профессором Горного университета Виктором Михайловичем Сизяковым, является обогащение низкокачественного бокситового сырья, идея которого состоит в использовании термической активации и последующего селективного выщелачивания, обеспечивающих целенаправленное изменение химико-минералогического состава и возможность переработки полученных концентратов в рамках традиционных щелочных способов получения глинозема.

Различные стадии химического кондиционирования бокситов неразрывно связаны между собой. Переделы термохимического кондиционирования обжиг и последующее обескремнивание обожженного материала щелочесодержащим раствором определяют друг друга и зависят в целом от метода последующего разделения пульпы бокситового концентрата на жидкую фазу – кремнщелочной раствор и твердую фазу – бокситовый концентрат. Кроме этого, качество концентрата нельзя оценить одним кремниевым модулем, а только в совокупности с показателями выщелачивания концентрата по способу Байера.

Основная цель обжига – термоактивировать минералы, содержащие диоксид кремния, для их лучшего взаимодействия со щелочными растворами.

По разработанной аппаратуро-технологической схеме термохимия-Байер предусматривается возвращать щелочной раствор после регенерации на обескремнивание следующих партий боксита. Были проведены исследования [1] по определению влияния остаточной концентрации в растворе диоксида кремния и оксида алюминия на процесс обескремнивания обожженного боксита.

В щелочной раствор концентрации 150 г/л  $\text{Na}_2\text{O}_k$  вводилось различное количество силиката и алюмината натрия. После этого снимались характеристики процесса обескремнивания боксита. В аналогичных условиях проводилось обескремнивание на чистом щелочном растворе.

Начальное содержание в щелочном растворе 3,7 г/л  $\text{Al}_2\text{O}_3$  или 3,5 г/л  $\text{SiO}_2$  вызывает резкое снижение извлечения диоксида кремния из боксита в раствор. Наличие 11,8 г/л  $\text{SiO}_2$  практически полностью останавливает процесс обогащения. Если исходное содержание в растворе диоксида кремния снижает степень обескремнивания боксита, а характер изменения извлечения и концентрации  $\text{SiO}_2$ , во времени остаются прежними, то при начальном содержании в растворе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  наблюдается сокращение времени выхода на максимальное извлечение  $\text{SiO}_2$  из боксита в раствор [2].

Изменения в процессе обогащения боксита связаны с ускорением кристаллизации ГАСН [3], следовательно, для наиболее полного извлечения диоксида кремния из боксита в раствор необходима, на стадии регенерации кремне-щелочного раствора, глубокая очистка раствора. В существующих схемах и способах химического обогащения бокситов, из полученного кремне-щелочного раствора введением извести регенерируется щелочь и выделяется метасиликат кальция, который нашел применение в таких отраслях промышленности, как лакокрасочная, резинотехническая, химическая, машиностроительная и др. Вместе с тем, как было установлено, эти растворы содержат примерно от 1 до 10 г/л  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в зависимости от типа боксита и температуры предварительного обжига [1]. Безвозвратные потери этого глинозема со шламом метасиликата кальция весьма существенны, поэтому разрабатываемый способ предусматривает регенерацию не только щелочи, но и выделение глинозема. Извлечение глинозема из силикатно-щелочного раствора осуществляется осаждением гидроалюмосиликата натрия с последующей переработкой полученного осадка либо спеканием на глинозем, либо перекристаллизацией на цеолиты.

#### *Библиографический список*

1. Сизяков В.М. Теория и практика термохимического обогащения низкокачественных бокситов /В.М. Сизяков, О.А. Дубовиков, Д.А. Логинов // "Обогащение руд" ИД "Руда и металлы", № 5, 2014, с.10-17.
2. Дубовиков О.А. Исследование процесса обескремнивания обожженного боксита / О.А. Дубовиков, А.Н. Наумчик, Н.И. Еремин // Известия вузов. Цветная металлургия. 1983. № 6. С. 21-24.

3. Певзнер И.З. Обескремнивание алюминатных растворов / И.З. Певзнер, Н.А. Макаров. М.: Metallurgy, 1974. 112 с.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

А.Л. Александров<sup>1</sup>, Т.В. Критская<sup>2</sup>, А.А. Яковлева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент гр. МЦб-15-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: artoym.aleksandrov@yandex.ru

<sup>2</sup>д.т.н., заведующая кафедрой электронных систем, Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье, Украина, e-mail: [krytskaja@mail.ru](mailto:krytskaja@mail.ru)

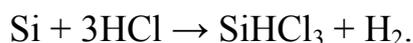
<sup>3</sup>д.т.н., профессор кафедры ТПП и Х ИПИ и БТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: ayakov@istu.irk.ru

Потребление поликристаллического кремния составляет несколько тысяч тонн в год, а основными потребителями являются электронная промышленность и производство солнечных батарей [1, 2].

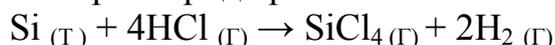
Технология получения монокристаллов кремния включает:

- получение технического (металлургического) кремния [1,3];
- перевод кремния в летучее соединение, например, SiH<sub>4</sub> или SiCl<sub>4</sub>;
- восстановление кремния из летучего соединения в виде поликристаллического кремния (ПКК);
- очистка кремния методами направленной кристаллизации.

Около 80 % ПКК получают в процессе водородного восстановления трихлорсилана SiHCl<sub>3</sub> (ТХС), при котором порошок кремния подвергают обработке хлороводородом:



При синтезе трихлорсилана около 30-40 % кремния превращается в побочные продукты – тетрахлорид кремния:

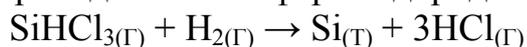


и другие хлорсиланы по реакциям диспропорционирования:



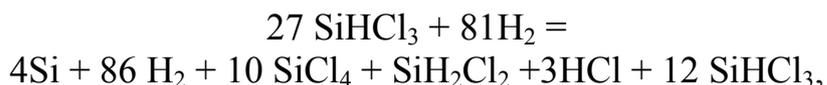
Для снижения потерь хлористый водород и порошок кремния проходят предварительную глубокую осушку и очистку от кислорода. Не менее важной является очистка от минеральных примесей (хлориды железа, алюминия и др.). После очистки парогазовая смесь поступает на конденсацию, при которой происходит отделение SiHCl<sub>3</sub> и SiCl<sub>4</sub> от водорода и HCl. Полученная в результате конденсации смесь состоит на 90-95 % из ТХС.

Восстановление очищенного трихлорсилана и получение поликристаллического кремния проводят в атмосфере водорода



на поверхности стержней, получаемых из высококачественного ПКК.

Несмотря на то, что ТХС подвергается тщательной очистке, восстановительный процесс сопровождается образованием тетрахлорида кремния и различных хлорсиланов. Суммарная реакция восстановления кремния имеет вид:



свидетельствующий, что технологический процесс должен предусматривать рециркуляцию непрореагировавших хлорсиланов.

Уровень чистоты является важным для потребителей, использующих ПКК в стратегически важных технологиях, при этом требования по содержанию углерода – одни из самых строгих [4].

Обзор публикаций по теме свидетельствует, что многие проблемы производства ПКК до настоящего времени являются нерешенными.

Основная проблема производства ПКК лежит в самой сути процесса, в его физико-химической основе, в уникальной способности кремния вступать в многочисленные реакции, давать разнообразное сочетание самых различных по стехиометрическим соотношениям соединений. В этой способности кремний уступает, очевидно, только углероду и кислороду. Но если в рассматриваемых системах присутствуют все эти химические элементы, то количество реакций, сопровождающих основную, увеличивается многократно. Например, при очистке трихлорсилана обнаруживаются такие примесные соединения, как метан, этан, а также метил- и этилпроизводные, список которых включает не один десяток соединений.

Перспективные приемы решения задач очистки, очевидно, следует искать в организации оптимальной технологической схемы. При этом все стадии должны находиться в тесной зависимости от термодинамических параметров реакций.

#### *Библиографический список*

1. Немчинова Н.В., Бельский С.С., Тимофеев А.К. Карботермическое получение кремния в электродуговых печах // Технология металлов. 2012. № 6. С. 3–8.
2. Критская Т.В., Щварцман Л.Я., Немчинова Н.В. Промышленные методы получения и особенности свойств кремния для фотовольтаики // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2014. №4. – С.41-49
3. Немчинова Н.В., Яковлева А.А., Леонова М.С. Распределение примесей при рудно-термической выплавке кремния // Вестник Иркут-

ского государственного технического университета. 2013. № 12. С. 230–236.

4. Критская Т.В., Нагорный С.Л., Меркер Р., Скачков В.А., Шварцман Л.Я. Поведение примеси углерода в технологических процессах получения полупроводникового кремния, 2012. 2 с.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РОССИИ**

С.С. Бельский<sup>1</sup>, А.Э. Бараускас<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры металлургии цветных металлов, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [bss@istu.edu](mailto:bss@istu.edu)

<sup>2</sup> ст. гр. МЦм-16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Как известно перспективы развития металлургической промышленности напрямую зависят от модернизации оборудования, а также повышения его экономических и технических показателей.

Например, современные методы осуществления таких операций, как обработка и резка металла, требуют обновления инструментов и методов производства, разработки новых мероприятий по утилизации побочных продуктов. Инновационные технологии актуальны для заводов, на которых обрабатывают цветные и черные металлы. Эффективность подобных предприятий зависит от использования новых материалов и от непосредственного контроля за всеми производственными процессами.

Металлургическую промышленность многие уже считают устаревшей, однако это далеко не так, и в ней, как и во всех других отраслях все большее значение приобретают повышение экологичности и эффективности.

На сегодняшний день разрабатываются целевые программы финансирования для проектирования современного оборудования, создаются новые виды сплавов с необходимыми характеристиками и свойствами. Государство обеспечивает субсидиями промышленность с целью стимулирования инноваций, контролирует инновационные процессы и продукты, проводит научные конференции.

Так, при участии государства реализуются проекты, связанные с разработкой новых материалов и перспективных видов металлопродукции. Развитие металлургии неизбежно приводит к развитию и смежных отраслей (энергомашиностроение, станкостроение и др.), заставляя их модернизироваться и брать, совершенствовать оборудование и выводить его на принципиально новый уровень. В связи с переходом на импортозамещение закупка иностранного оборудования не должна быть приоритетной: следу-

ет реализовать свои проекты и продвинуть их на рынок. Не стоит также забывать о совершенствовании кадрового потенциала и повышении квалификации сотрудников, занятых в металлургической сфере [1].

Несмотря на кризис в мировой экономике и экономике России, металлургическая промышленность на сегодняшний день сохраняет инвестиционный потенциал, благодаря предыдущим крупным вложениям в развитие отрасли и активной поддержке правительства России. В Стратегии развития металлургической промышленности России на период до 2020 года предусмотрено развитие металлургии на принципиально новом качественном уровне.

Так, например, планируется на 24 % увеличить объемы производства стали (приблизительно до 90 млн. тонн) применяя энергосберегающие технологии и снижая при этом производственные затраты. Планируется значительное сокращение малоэффективного и вредного для окружающей среды мартеновского производства стали, долю электростали планируют увеличить до 34 %. В металлургической промышленности уже реализованы и будут реализовываться инновационные проекты при поддержке Минпромторга России, которое выделяет субсидии на техническое перевооружение и модернизацию предприятий [2].

В создание инновационной продукции из бюджета было выделено около 650 млн. рублей, а сумма продаж этой новой продукции в 2011 году должна составить около 3,5 млрд. рублей. Понятно, что в этих условиях будет расти спрос на новейшие технологии и материалы. Исходя из этого, Минпромторгом разработана «Технология производства новых видов металлопродукции, стали и сплавов». В ней определены важнейшие направления развития металлургической отрасли как минимум на пять лет.

Запланировано, что в результате реализации этого проекта в нашей стране будет разработано около 170 технологий, соответствующих мировому уровню и 350 патентов, свидетельствующих о новизне технологических решений. Дополнительный доход металлургических предприятий при этом достигнет от 10 до 12 млрд. рублей, в бюджет государства дополнительно поступит около 3 млрд. руб.

Все это свидетельствует о развитии металлургической промышленности в самые ближайшие годы [3].

#### *Библиографический список*

1. <http://ruelect.com/science/innovacij>
2. <http://urm.ru/en/3791>
3. <http://innovation.gov.ru/ru/node/3473>

# АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ИЗДЕЛИЙ ОТ КОРРОЗИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О.Д. Петрова<sup>1</sup>, М.Ю. Кузьмина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. АЗОСм –16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [olga\\_19.24@mail.ru](mailto:olga_19.24@mail.ru)

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [kuzmina.my@yandex.ru](mailto:kuzmina.my@yandex.ru)

*Коррозией металлов* называют самопроизвольное разрушение металлических материалов из-за физико-химического взаимодействия их с окружающей средой [1]. Основными методами защиты от коррозии являются: электрохимический метод; уменьшение агрессивной реакции производственной среды; химическое сопротивление металла; защита поверхности металла от неблагоприятного воздействия окружающей среды.

**Электрохимическая защита** – эффективный способ защиты готовых изделий от электрохимической коррозии. Метод основан на торможении анодных или катодных реакций коррозионных процессов. Метод эффективен в коррозионных средах с хорошей ионной электрической проводимостью. Сущность метода состоит в уменьшении скорости электрохимической коррозии металла при поляризации электрода от источника постоянного тока или при контакте с добавочным электродом, являющимся анодом по отношению к защищаемой конструкции металла. В зависимости от вида поляризации различают катодную и анодную защиты [1].

*Катодную защиту* осуществляют двумя способами: подключением защищаемой конструкции к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока (*катодная защита внешним током*); присоединением к защищаемой конструкции электрода (*протектора*), изготовленного из более активного металла, т.е. имеющего наиболее отрицательный электродный потенциал (*протекторная защита*). В случае *катодной защиты* защищаемый металл присоединяется к отрицательному полюсу источника постоянного тока и становится катодом, дополнительный электрод – к положительному. *Преимущество протекторной защиты* состоит в том, что при протекторной защите к изделию подсоединяют металл или сплав-протектор, потенциал которого значительно отрицательнее потенциала металла изделия. В образующемся гальваническом элементе протектор служит отрицательным электродом (анодом) и постепенно разрушается, а на защищаемый металл поступают электроны с протектора; таким образом, он является положительным электродом (катодом) и тем самым защищен от коррозии. В качестве материалов протекторов чаще всего используют магний и его сплавы, реже алюминий и цинк. Это связано с тем, что последние в воде и грунтах склонны к пассивации – образованию на поверх-

ности плотных оксидных пленок. Для предотвращения пассивации в засыпку вводят хлориды или другие вещества, растворяющие их, а также компоненты, увеличивающие сопротивление грунта. Это приводит к уменьшению скорости растворения протектора. Эффективность данного вида защиты определяется радиусом действия протектора, т.е. максимально возможным его удалением от защищаемого изделия. Чем выше электрическая проводимость среды, тем выше радиус защитного действия протектора. Эффективность протекторной защиты возрастает при совместном ее использовании с защитными покрытиями, например, битумными. Протекторную защиту используют для борьбы с коррозией трубопроводов и металлоконструкций в воде, грунте и других нейтральных средах. Высокая скорость саморастворения протектора в кислотных средах ограничивает его применение в них.

В основе способа *анодной защиты* лежит анодная поляризация: потенциал защищаемого металла смещают в положительную сторону, путем присоединения защищаемой конструкции к положительному полюсу внешнего источника постоянного тока, а вспомогательного электрода (катада) – к отрицательному [1].

*Анодирование* в водных растворах электролитов – классический и наиболее распространенный способ анодирования. Его проводят обычно в потенцио- или гальваностатическом режимах, т.е. при постоянных формирующих напряжениях ( $U_{\phi}$ ) или плотностях анодного тока ( $i_a$ ). В качестве электролитов чаще всего используют водные растворы кислот, солей [1,2]. Для получения тонких анодных оксидных пленок специального назначения используют растворы щелочей. Анодное окисление – это процесс, используемый для получения твердой поверхностной пленки определенной толщины и свойств. В водных растворах поверхностная пленка металла часто образуется в результате анодного окисления. В настоящее время на кафедре металлургии цветных металлов идет разработка проектов, связанных с получением устойчивых оксидных покрытий на поверхностях различных металлов. Одним из направлений является получение анодных оксидных пленок на поверхности металлического цинка методом электрохимического окисления его в дистиллированной воде, а также водных растворах щелочей и солей. Дальнейшая работа будет направлена на исследование количественных характеристик (толщина, масса) пленок оксида цинка, полученных электрохимическим окислением металлического цинка в водных растворах электролитов.

#### *Библиографический список*

1. Ангал, Р. Коррозия и защита от коррозии : учеб. пособие / Пер. с англ. – Долгопрудный : Интеллект, 2013. – 343 с.
2. Vegunov A.I., Kuz'min M.P. Thermodynamic stability of intermetallic compounds in technical aluminum // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии – 2014. – Т. 7. – № 2. – С. 132–137.

# ВОЗМОЖНОСТИ ТВЁРДОГО АНОДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ

М.А. Демидов<sup>1</sup>, М.Ю. Кузьмина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МЦб –13, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск,  
e-mail: [maxdem28@mail.ru](mailto:maxdem28@mail.ru)

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [kuzmina.my@yandex.ru](mailto:kuzmina.my@yandex.ru)

Алюминий в течение десятилетий является одним из наиболее широко используемых материалов. Однако, алюминий является мягким материалом и легко истирается. Перед алюминием могут открыться новые рынки сбыта, в случае придания ему твердой поверхности, стойкой против истирания. Повышение и так уже достаточно высокой стойкости против коррозии расширит области применения алюминия [1–3]. В связи с этим представляет интерес выбор электролита и условий проведения процесса анодирования, позволяющих получить на поверхности алюминия оксидные пленки с высокими эксплуатационными характеристиками и не оказывающих отрицательного воздействия на окружающую среду.

*Анодирование* или *анодное оксидирование* – это электрохимический процесс создания оксидной плёнки на поверхности металлов и сплавов. Одной из областей применения анодирования является получение защитных и декоративных покрытий на металлах. Анодированием защищают такие металлы, как алюминий, титан, а также сплавы на их основе. В работах Н.Д. Томашова и его сотрудников [4] был принят термин “*толстослойное анодирование*”, однако в дальнейших исследованиях и инженерной практике более широкое распространение получил термин “*твердое анодирование*”. Твердое анодирование обычно проводят в растворах серной кислоты [4].

*Целью* твердого покрытия алюминия является формирование на алюминии толстого покрытия, очень хорошо защищающего от истирания. Алюминий с твердым покрытием имеет свойства:

- очень высокая сопротивляемость истиранию;
- отличная сопротивляемость коррозии;
- анодная пленка имеет очень хорошие диэлектрические свойства, тогда как алюминий под ней остается отличным проводником электричества;
- хорошая теплопроводность;
- твердое покрытие дает возможность покрывать поверхность и другими веществами, например, пленкой сухой смазки и красителями;
- одной из характеристик процесса является наращивание размера в результате формирования покрытия. Это позволяет восстановить до требований технических условий те детали, которые были обработаны с выхо-

дом за пределы допуска, или сохранить (повторно использовать) изношенные детали;

– твердое покрытие можно выполнять в конфигурациях, которые невозможно обрабатывать по другим технологиям (например, твердое хромовое плакирование в сочетании с закалкой стали).

Недостатком большинства процессов твердого анодирования алюминия является их высокая стоимость [4]. Для большинства процессов получения твердых покрытий требуются низкие температуры электролита (до 0 °С), применение высоких напряжений и силы тока и постоянное наблюдение за поддержанием узких допусков, в пределах которых выполняется твердое покрытие. Процессы твердого анодирования были разработаны вначале 1950-х гг. для нужд авиационной промышленности. Было создано несколько коммерческих процессов твердого покрытия, с вариациями в зависимости от прав собственности, известных под такими торговыми наименованиями, как *Martin Hard Coat* (твердое покрытие Мартина МНС), *Hardas*, *Sanford Hardcoat*, *Alumilite 225 и 226*, *Toro* и другие.

В настоящее время применяются следующие способы (по отдельности и в сочетаниях) получения твердых и толстых анодных пленок:

– управление температурой электролита, его концентрацией и перемешиванием;

– органические добавки в электролит;

– использование слабых кислот для ослабления растворяющего действия;

– насыщение электролита газами, которые обеспечивают охлаждение при экзотермической реакции;

– компьютеризация всего процесса;

– наложение переменного тока на постоянный с целью непрерывного чередования полярности;

– использование переменного тока в технологическом резервуаре для резкого сокращения количества водорода, выделяющегося на катоде.

#### *Библиографический список*

1. Алюминий: свойства и физическое металловедение: справ. изд. / под ред. Дж. Е. Хэтча; пер. с англ. Э.З. Непомнящей. – М. : Металлургия, 1989. – 422 с.

2. Кузьмин М.П., Бегунов А.И. Приближённые расчёты термодинамических характеристик интерметаллических соединений на основе алюминия // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 1 (72). – С. 98–102.

3. Бегунов А.И., Кузьмин М.П. Энтальпия и энергия Гиббса интерметаллических химических соединений в техническом алюминии // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 4 (75). – С. 111–114.

4. Томашов Н.Д., Тюкина М.Н., Заливалов Ф.П. Толстослойное анодирование алюминия и его сплавов. – М. : Машиностроение, 1968. – 150 с.

## КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА ВОЗДУХЕ

О.Д. Петрова<sup>1</sup>, М.Ю. Кузьмина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. АЗОСм –16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [olga\\_19.24@mail.ru](mailto:olga_19.24@mail.ru)

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [kuzmina.my@yandex.ru](mailto:kuzmina.my@yandex.ru)

Алюминий является химически активным металлом ( $E^{\circ}_{\text{Al}^{3+}/\text{Al}} = -1,662$  В). При окислении алюминия на нём образуется тонкая плёнка оксида (5–10 нм), благодаря которой он имеет хорошую коррозионную стойкость на воздухе [1–3].

В данной работе изучалась кинетика образования оксидной плёнки на поверхности алюминия и его сплавов при комнатной температуре на воздухе, а также в интервале температур 350–600 °С. В качестве среды рассматривался как сухой, так и влажный воздух. По результатам экспериментов, посвященных кинетике роста оксидной пленки на алюминии при комнатной температуре на воздухе можно сделать вывод, что при отсутствии влаги рост пленки идет вначале очень быстро, а затем значительно замедляется. Предельная толщина пленки в этом случае составляет 2–3 нм. Присутствие паров воды благоприятствует росту оксидной пленки. В этом случае рост пленки может продолжаться месяцы и даже годы, а толщина образующейся пленки существенно возрастает. Установлено, что в сухом воздухе окисление идёт по обратному логарифмическому закону. Во влажном воздухе в начале процесса алюминий окисляется по прямому логарифмическому закону, а через 10 часов – по обратному. В процессе роста плёнки наблюдалось изменение её электрических свойств, что можно объяснить изменением структуры. Эти результаты хорошо совпадают с данными, полученными Хартом [3], изучавшем кинетику окисления монокристалла алюминия при низких температурах в атмосфере сухого кислорода и в кислороде, насыщенном на 80 % парами воды.

Измерения, проведённые при более высоких температурах, показали, что до 300 °С толщина плёнки на алюминии не превышала 20 нм, тогда как при 500–600 °С толщина плёнки достигала примерно 200 нм. Затем процесс окисления практически прекращался. Установлено, что в интервале 350–450 °С реакция окисления алюминия в сухом воздухе отвечает параболическому закону, а в интервале 500–600 °С – линейному. Данные эксперимента не противоречат результатам, полученным при окислении алюминия в интервале температур 300–550 °С в атмосфере чистого кислорода [3–9]. Структуру оксидной плёнки, образовавшейся на алюминии при окислении его на воздухе, исследовали рентгенографически. Можно пред-

положить, что оксидные слои на алюминии аморфны при комнатной температуре. При более высоких температурах (в интервале 400–750 °С) появляется  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  с кубической структурой.

Оксидные пленки на алюминии состоят из двух слоев. Внутренний слой, прилежащий к металлу, компактен и его толщина зависит, в основном, от температуры. При температурах окружающей среды толщина этого слоя невелика. Внешний слой порист и его толщина зависит от продолжительности реакции и от влажности окружающей атмосферы. Наличие пористого слоя оксида на алюминии нежелательно, так как при этом возможно ухудшение ряда его технологических свойств [9, 10].

Результаты исследований планируется использовать при разработке методов защиты от коррозии алюминиевой катанки, а также для предотвращения образования толстых окрашенных плёнок, ухудшающих внешний вид поверхности некоторых алюминиевых сплавов.

#### *Библиографический список*

1. Ангал, Р. Коррозия и защита от коррозии : учеб. пособие / Пер. с англ. – Долгопрудный : Интеллект, 2013. – 343 с.
2. Лукомский Ю.Я., Гамбург Ю.Д. Физико-химические основы электрохимии: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. – Долгопрудный : Интеллект, 2013. – 446 с.
3. Окисление металлов : в 2 т. / под. ред. Ж. Бенара; пер. с фран. – Т. 2. – М. : Металлургия, 1969. – 444 с.
4. Begunov A.I., Kuz'min M.P. Thermodynamic stability of intermetallic compounds in technical aluminum // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии – 2014. – Т. 7. – № 2. – С. 132–137.
5. Бегунов А.И., Кузьмин М.П. Энтальпия и энергия Гиббса интерметаллических химических соединений в техническом алюминии // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 4 (75). – С. 111–114.
6. Кузьмин М.П., Бегунов А.И. Приближённые расчёты термодинамических характеристик интерметаллических соединений на основе алюминия // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 1 (72). – С. 98–102.
7. Кузьмин М.П. Эффект замещения индия алюминием в тонких плёнках оксида индия-олова // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 9 (80). – С. 196–201.
8. Kuz'min M.P., Xiao-Yuan Li, Kuz'mina M.Y., Begunov A.I., Zhuravlyova A.S. Changing the properties of indium tin oxide by introducing aluminum cations // Electrochemistry Communications. – 2016. – V. 67 – P. 35–38.
9. Кузьмин М.П. Разработка сравнительного метода оценки устойчивости интерметаллидов в алюминии и его сплавах, Сб. докладов XIV Международного научно-технического Уральского школы-семинара металлургов-молодых учёных, нояб. 2013. – Екатеринбург, 2013. – С. 238–241.

10. Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Мотивация труда на предприятиях алюминиевой промышленности // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 9 (56). – С. 195–201.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕМ КРЕМНИЯ ИЗ АМОРФНОГО МИКРОКРЕМНЕЗЁМА**

М.П. Кузьмин<sup>1</sup>, Б.Г. Жалсанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, научный сотрудник инновационно-технологического центра ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [mike12008@yandex.ru](mailto:mike12008@yandex.ru)

<sup>2</sup> магистрант гр. МЦМ–16–1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [bazarzhap.zhalsanov@mail.ru](mailto:bazarzhap.zhalsanov@mail.ru)

Развитие металлургического производства литейных сплавов зависит от рентабельности выпускаемой продукции и возможностей эффективного использования материально-сырьевых и энергетических ресурсов.

Наиболее широко используемыми литейными алюминиевыми сплавами являются силумины. В связи с этим сегодня повышенный интерес учёных вызван исследованием возможности их получения методом прямого восстановления кремния из его оксидов алюминием в температурном диапазоне 670–900 °С [1]. Повышенный интерес к разработке данной технологии обусловлен наличием больших объёмов пылевых отходов кремниевого производства (выход пыли колеблется от 300 до 1000 кг на 1 тонну товарного кремния), содержащих 85–95 % SiO<sub>2</sub>.

В настоящее время металлургические предприятия аккумулирует получаемый микрокремнезём на шламовых полях. В связи с этим возникают существенные экономические потери, связанные с затратами на складирование и хранение отходов, а также с недополученной прибылью от их промышленного использования. Поэтому актуальной задачей является разработка технологии получения силуминов из отходов кремниевого производства [1, 2].

Для успешной разработки данной технологии в первую очередь необходимо проведение фундаментальных исследований, связанных с пониманием физико-химических процессов и механизмов формирования структуры сплавов [1–5]. Поэтому исследование возможности получения силуминов путём введения частиц SiO<sub>2</sub> в алюминиевый расплав невозможно без предварительного термодинамического анализа.

В работе была определена термодинамическая возможность протекания процесса восстановления алюминием кремния из аморфного кремнезёма ( $4Al + 3SiO_2 \rightarrow 2Al_2O_3 + 3Si$ ) в интервале температур 298–

1600 К. Значения свободной энергии Гиббса в исследуемом температурном диапазоне рассчитывались с шагом 100 К на основании литературных данных [6].

Установлено, что во всём исследуемом температурном диапазоне свободная энергия Гиббса имеет отрицательные значения (рис.).

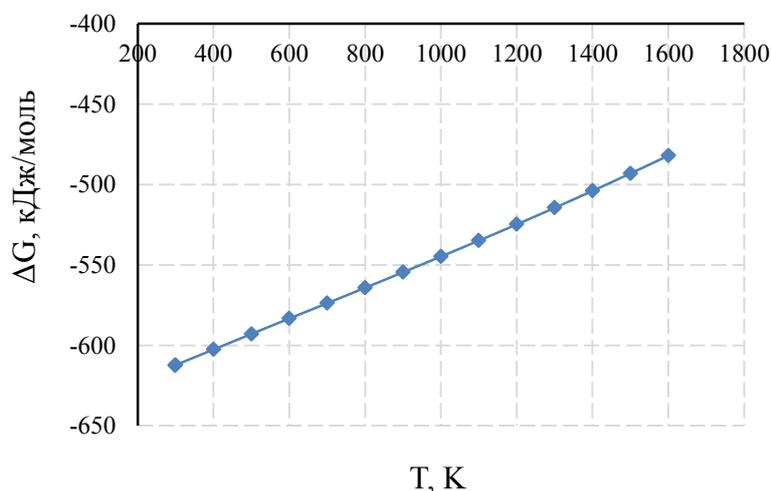


Рисунок – Изменение энергии Гиббса реакции взаимодействия оксида кремния с алюминием в зависимости от температуры

С ростом температуры зависимость  $\Delta G$ – $T$  смещается в область менее отрицательных значений. Зависимость свободной энергии Гиббса от температуры представляет собой две прямые линии с пересечением в точке, соответствующей температуре плавления алюминия (933 К). Углы наклона данных прямых отличаются друг от друга незначительно.

Это свидетельствует, во-первых, о возможности восстановления аморфного кремнезёма при температурах выше температуры плавления алюминия, а, во-вторых, о снижении интенсивности протекания данного процесса при последующем повышении температуры.

#### *Библиографический список*

1. Теория и практика процессов флотационного обогащения наноразмерных сред: монография / В.В. Кондратьев [и др.]. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 160 с.

2. Кузьмина М.Ю., Кузьмин П.Б. О производстве чушек первичных силицидов, модифицированных стронцием // Литейное производство. –2014. – № 8. – С. 2–5.

3. Кузьмина М.Ю. Электрохромный эффект в тонких плёнках оксида титана // Материалы научно-практической конференции “Перспективы развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и металлургических производств”, 29–30 апреля 2008 г. – Иркутск, 2008. – С. 76–78.

4. Кузьмина М.Ю. Защита металлургического оборудования от коррозии: учеб. пособие – Иркутск : Изд-во ИРГТУ, 2014. – 160 с.

5. Кузьмина М.Ю. Электрохимические методы исследования коррозионных систем : учеб. пособие – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 134 с.

6. Robie A.R., Hemingway B.S. Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298,15 K and 1 bar (105 pascals) pressure and at higher temperatures – Washington : United States Government Printing Office, 1995. – 461 p.

## ПОЛУЧЕНИЕ СИЛУМИНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АМОРФНОГО МИКРОКРЕМНЕЗЁМА

М.П. Кузьмин<sup>1</sup>, В.В. Кондратьев<sup>2</sup>, Л.М. Ларионов<sup>3</sup>, Б.Г. Жалсанов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, научный сотрудник инновационно-технологического центра ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [mike12008@yandex.ru](mailto:mike12008@yandex.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., руководитель инновационно-технического центра ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [kvv@istu.edu](mailto:kvv@istu.edu)

<sup>3</sup> научный сотрудник инновационно-технологического центра ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [larionov59@rambler.ru](mailto:larionov59@rambler.ru)

<sup>4</sup> магистрант гр. МЦМ–16–1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [bazarzhap.zhalsanov@mail.ru](mailto:bazarzhap.zhalsanov@mail.ru)

Сегодня наиболее широко используемыми литейными алюминиевыми сплавами являются силумины. В зависимости от их назначения, состава, необходимой чистоты и экономических соображений сплавы на основе системы Al–Si получают либо сплавлением шихтовых материалов, либо методом восстановления легирующего компонента из его соединений [1–6]. Также в настоящее время большой интерес учёных связан с возможностью получения силуминов методом прямого восстановления кремния из его оксидов алюминием в плавильных печах, используемых в литейном производстве, в интервале температур 670–900 °С [6]. Повышенный интерес к разработке данной технологии обусловлен наличием больших объёмов пылевых отходов кремниевого производства (выход пыли колеблется от 300 до 1000 кг на 1 т товарного кремния), содержащих 85–95 % SiO<sub>2</sub>.

В настоящее время металлургические предприятия аккумулирует получаемый микрокремнезём на шламовых полях. В связи с этим возникают существенные экономические потери, связанные с затратами на складирование и хранение отходов, а также с недополученной прибылью от их промышленного использования. Поэтому актуальной задачей является разработка технологии получения силуминов из отходов кремниевого производства (пыль систем газоочистки электротермических печей).

Термодинамические расчёты энтальпии образования и энергии Гиббса для реакции  $4Al + 3SiO_2 \rightarrow 2Al_2O_3 + 3Si$  показали возможность протека-

ния процесса восстановления алюминием кремния из аморфного кремнезёма в интервале температур 298–1600 К.

Для проведения лабораторных исследований по получению силуминов с использованием аморфного кремнезёма в качестве металла – основы использовался алюминий Иркутского алюминиевого завода со следующим содержанием основных примесей, % (масс.): Fe – 1,502; Si – 0,237. В корундовый тигель объёмом 1000 мл загружался алюминий массой 900 г. Плавка проводилась в муфельной шахтной печи СШОЛ 8–11. Металл нагревался до температуры 670–1100 °С, расплавлялся, а затем в него вводились частицы SiO<sub>2</sub> массой 214 г, необходимой для получения сплава Al–Si 10 %. Средний размер используемых частиц диоксида кремния составлял 60 мкм.

Введение кремнезёма в алюминиевый расплав осуществлялось следующими способами: 1) на поверхность расплава; 2) на дно тигля – с последующей заливкой расплавом; 3) с использованием механического держателя (в колокольчике); 4) порционное введение частиц в воронку, образующуюся при непрерывном перемешивании расплава; 5) в виде лигатур “алюминиевый порошок – SiO<sub>2</sub>” в форме спрессованных таблеток; 6) замешивание частиц в расплав, находящийся “в твердожидком состоянии”.

В результате анализа широкого ряда способов введения аморфного микрокремнезёма в алюминиевый расплав было установлено, что наиболее перспективным способом получения сплавов является способ замешивания частиц в расплав находящийся в твердожидком состоянии ( $t = 680\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Несмотря на низкую степень смачиваемости частиц SiO<sub>2</sub>, за счёт их предварительной ультразвуковой и термической обработки, была достигнута необходимая степень их усвоения расплавом алюминия. Поэтому можно с уверенностью говорить о перспективности данного способа, который может позволить утилизировать отходы кремниевого производства в замкнутом металлургическом цикле, а также получать литейные силумины, соответствующие ГОСТ 1583–93.

#### *Библиографический список*

1. Луц А.Р. Ресурсосберегающие способы синтеза силуминов с использованием кварцсодержащих материалов, лома и отходов алюминиевых сплавов: дис. канд. техн. наук: 01.04.17 / А.Р. Луц. – Самара, 2006. – 225 с.
2. Кузьмина М.Ю., Кузьмин П.Б. О производстве чушек первичных силуминов, модифицированных стронцием // Литейное производство. – 2014. – № 8. – С. 2–5.
3. Кузьмина М.Ю. Электрохромный эффект в тонких плёнках оксида титана // Материалы научно-практической конференции “Перспективы развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и металлургических производств”, 29–30 апреля 2008 г. – Иркутск, 2008. – С. 76–78.

4. Кузьмина М.Ю. Защита металлургического оборудования от коррозии: учеб. пособие – Иркутск : Изд-во ИРГТУ, 2014. – 160 с.

5. Кузьмина М.Ю. Электрохимические методы исследования коррозионных систем : учеб. пособие – Иркутск : Изд-во ИРНТУ, 2015. – 134 с.

6. Современные литейные технологии: монография / Н.К. Тольчко [и др.]; под ред. Н.К. Толочко и А.С. Калининченко. – Минск: БГАТУ, 2009. – 359 с.

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Б.Г. Жалсанов<sup>1</sup>, М.П. Кузьмин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦМ–16–1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск, e-mail: [bazarzhap.zhalsanov@mail.ru](mailto:bazarzhap.zhalsanov@mail.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, научный сотрудник инновационно-технологического центра ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск, e-mail: [mike12008@yandex.ru](mailto:mike12008@yandex.ru)

В настоящее время одним из быстроразвивающихся направлений современной промышленности являются аддитивные технологии. Они представляют собой класс перспективных технологий производства деталей сложной формы по трёхмерным компьютерным моделям путём последовательного нанесения материала – в противоположность так называемому вычитающему производству (традиционной механической обработке) [1].

Поскольку аддитивные технологии предполагают послойное формирование изделий, то исходя из методов формирования слоя материала в аддитивном производстве выделяют два основных направления [1–6]: *селективное лазерное спекание* и *прямое осаждение материала*.

Селективное лазерное спекание предполагает на первом этапе формирование слоя порошка с последующей его выборочной (селективной) обработкой лазером или иным способом (рис, а).

В процессе “прямого осаждения” материал подаётся непосредственно в точку подведения энергии, в которой в данный момент происходит построение фрагмента детали (рис., б).

Основной составляющей аддитивного производства являются материалы для производства конечных изделий, среди которых наибольший практический интерес представляют металлические порошки. Препятствием к широкому распространению аддитивных технологий производства металлических изделий является зависимость процесса изготовления деталей с необходимыми характеристиками от большого числа факторов.



Рисунок – Технологическое оформление процессов:  
 а) селективного лазерного спекания; б) прямого осаждения материала

1) *Параметры металлического порошка* (гранулометрический, химический состав; температура плавления; текучесть; насыпная плотность; окисляемость; газонасыщенность).

2) *Параметры спекания порошка* (мощность, длина волны, размер фокусировочного пятна лазерного излучения, скорость сканирования);

3) *Технологическое оформление процесса.*

В производстве металлических порошков наиболее актуальной и, одновременно сложной, задачей является производство изделий из порошков алюминия и его сплавов [1–6]. Сложность при работе с алюминиевыми порошками обусловлена прежде всего их пиротрономными свойствами, т.е. склонностью к возгоранию. Поэтому при 3D-печати изделий из порошков алюминия и его сплавов является необходимым наличие противопожарной системы и системы предупреждения о возгорании.

Поскольку отечественных 3-D принтеров на данный момент не существует, а в условиях санкций международное сотрудничество в области аддитивного производства не может развиваться должным образом, возникает потребность в разработке отечественных установок для аддитивного производства алюминиевых деталей, а также в отработке технологических режимов их производства. Чтобы вывести 3D-печать за рамки научно-исследовательской области необходима поддержка со стороны как алюминиевой промышленности, так и всего промышленного комплекса Российской Федерации. Потенциал этих технологий способен создать новые отрасли промышленности, а также преобразовать способы решения огромного количества технологических задач, возникающих при производстве практически любого изделия.

#### *Библиографический список*

1. Gao W, Zhang Y, Ramanujan D, Ramani K, Chen Y, Williams CB, et al. The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering // *Computer-Aided Design*. – 2015. – № 69. – P. 65–89.

2. Кузьмина М.Ю., Кузьмин П.Б. О производстве чушек первичных силицидов, модифицированных стронцием // Литейное производство. – 2014. – № 8. – С. 2–5.

3. Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Мотивация труда на предприятиях алюминиевой промышленности // Вестник ИРГТУ. – 2011. – № 9 (56). – С. 195–201.

4. Журавлёва А.С., Петрова О.Д., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Влияние условий электрохимического оксидирования на морфологию и устойчивость анодных плёнок ZnO // Вестник ИРГТУ. – 2016. – № 1 (108). – С. 107–115.

5. Кузьмина М.Ю. Защита металлургического оборудования от коррозии: учеб. пособие – Иркутск : Изд-во ИРГТУ, 2014. – 160 с.

6. Кузьмина М.Ю. Электрохимические методы исследования коррозионных систем : учеб. пособие – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 134 с.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ Ti-B-C-O

Е.С. Горланов<sup>1</sup>, В.Ю. Бажин<sup>2</sup>, С.Н. Федоров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., зам. генерального директора ООО «ЭКСПЕРТ-АЛ», г. Санкт-Петербург, e-mail: [gorlanove@yandex.ru](mailto:gorlanove@yandex.ru)

<sup>2</sup> д.т.н., заведующий кафедрой АТПП СПбГУ, г. Санкт-Петербург, e-mail: [bazhin-alfoil@mail.ru](mailto:bazhin-alfoil@mail.ru)

<sup>3</sup> аспирант 2-го г.о. кафедры металлургии СПбГУ, г. Санкт-Петербург, e-mail: [fedorov.sn29@mail.ru](mailto:fedorov.sn29@mail.ru)

Для активации карботермического восстановления эндотермического реакционного процесса  $TiO_2 + B_2O_3 + 5C \leftrightarrow TiB_2 + 5CO$  при  $1030 \div 1070^\circ C$  предварительно разработана и реализована золь-гель технология подготовки (допирования)  $TiO_2$  по схеме:  $TiO_2 \cdot xH_2O \rightarrow TiO(OH)_{2-x}F_x \downarrow \rightarrow TiO_{2-x}F_x \rightarrow a-TiO_{2-x}F_x$ . Модифицированный фтором оксид титана  $a-TiO_{2-x}F_x$  позволял сместить анатаз-рутил трансформацию  $a-TiO_{2-x} \rightarrow r-TiO_2$  (ART) из интервала температур  $700 \div 800^\circ C$  в область  $800 \div 1100^\circ C$ , при которых становится возможным осуществлять синтез оксикарбоборидов титана. В период ART происходит перестройка порядка кристаллической решетки и стимулируется реакционная способность оксида титана  $a-TiO_{2-x}F_x$  в процессе взаимодействия с углеродом и образованием гомологического ряда оксидов  $Ti_nO_{2n-1}$ . На конечной стадии этого процесса  $TiO \rightarrow TiC$  затруднения твердофазного взаимодействия при  $800 \div 1000^\circ C$  формируют промежуточную оксикарбидную фазу  $TiC_xO_{1-x}$ , которая находится в процессе перестройки кристаллической решетки и также является активной для взаимодействия в реакционной смеси  $TiO_2-B_2O_3-C$ . Поэтому свежесформированные нестехиометрические оксикарбиды при дальнейшем нагреве и выдержке

при 1030÷1070 °С термодинамически и кинетически являются лучшими стартовыми фазами для взаимодействия с углерод- и борсодержащими компонентами с последующим образованием диборида титана  $TiC_xO_{1-x} + B_2O_3 + xC \rightarrow TiB_2 + yCO$ .

В качестве исходных компонентов для реакционной смеси  $TiO_2$ - $B_2O_3$ - $C$  выбраны промежуточные продукты производства оксидов титана и бора – метатитановая ( $H_2TiO_3 = TiO_2 \cdot H_2O$ ) и борная ( $H_3BO_3 = 1/2B_2O_3 \cdot 3/2H_2O$ ) кислоты, позволяющих применять золь-гель технологию для увеличения реакционной поверхности исходной смеси.

После допирования исходного аморфного оксида титана в его гелеобразный раствор  $TiO(OH)_{2-x}F_x$  последовательно при постоянном перемешивании добавляли остальные компоненты реакционной смеси:  $H_3BO_3$  и углерод в виде сахарозы до мольного соотношения  $TiO_2 : B_2O_3 : C$  от стехиометрического 1: 1: 5 до 1: 5: 10. Готовая смесь сушилась и нагревалась до температур синтеза 1030÷1070 °С в водоохлаждаемой герметичной ячейке с возможностью регулировки газовой среды.

По окончании выдержки образцы извлекались из реакционной зоны, взвешивались и направлялись на рентгенофазовый анализ РФА (излучение  $CuK_\alpha$ ) [1].

Таким образом, при допировании оксида титана фтором возможно осуществление полного цикла фазообразования в ряду  $Ti_nO_{2n-1}$  при температурах ниже 1000 °С в системе  $TiO_2$ - $C$ . Также в зависимости от исходного состава реакционной смеси и конечных условий синтеза по одной технологии могут быть получены отдельные продукты  $TiBO_3$ ,  $TiC_xO_{1-x}$  или  $TiB_2$  [2-4]. Внедрение низкотемпературного синтеза  $TiB_2$  в промышленность позволит существенно снизить стоимость конечного продукта, который в перспективе можно использовать в катодном устройстве алюминиевого электролизера [5].

#### *Библиографический список*

1) Горланов Е.С. Разработка технологии создания Al-смачиваемого покрытия на углеродном катоде. Последовательное электроосаждение Ti и B из криолитовых расплавов / Е.С. Горланов, Г.В. Архипов, А.М. Иванова. // Сб. научн. статей XXXI Межд. конф. «ИКСОБА» и XIX Межд. конф. «Алюминий Сибири». Часть 1 и 2., – Красноярск: Версо, 4-6 сентября 2013 г. С. 634-658.

2) Kaptay G. and Devyatkin S.V., Titanium diboride coating preparation in situ in the cell by electrochemical synthesis, X Al symposium, Slovakia, 1999, P. 80-84.

3) Ibrahim M.O. Stability of  $TiB_2$ -C composite coatings // M.O. Ibrahim, T. Foosnes, H.A. Oye // Light Metals. - 2006. - P. 691-696.

4) Haupin W. Cathodes Wetted by Aluminum Improve Current Efficiency // Light Metals. - 1999. - P. 395-398.

5) Pawlek R.P. Wettable cathodes: an update // Rudolf P. Pawlek // Light Metals 2010. - P. 377-402.

## **ФОРОПЫТЫ ПО СИНТЕЗУ ЛИГАТУРЫ АЛЮМИНИЙ-ЭРБИЙ ИЗ ФТОРИДНО-ХЛОРИДНОГО РАСПЛАВА**

Я.И. Косов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>аспирант каф. металлургии, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, e-mail: yaroslav\_kosov@spmi.ru

Алюминиевые сплавы, легированные редкоземельными металлами, обладают повышенными физико-механическими характеристиками: высокой удельной прочностью, пластичностью, коррозионной стойкостью, тепло- и электропроводностью и др. Известно, что применение алюминиевых сплавов легированных редкоземельными металлами ограничено высокой стоимостью последних, извлекаемых из рудного, оборотного и вторичного сырья по сложным технологическим схемам. В связи с этим, влияние на технико-экономические характеристики применяемых в промышленности алюминиевых сплавов оказывают стоимость, состав и методы получения исходных лигатур [1]. Технологии получения лигатур с РЗМ, например, как прямое сплавление чистых металлов, СВС-процесс, порошковая металлургия, в основном многостадийные, длительные во времени и энерго- и материально затратные методы. Поэтому, в последнее время, внимание исследователей направлено на создание новых технологий [2, 3], которые позволят сделать лигатуры с РЗМ более доступными материалами. К таким методам относятся металлотермический метод получения алюминиевых лигатур путем восстановления РЗМ из соединений (оксидов, галогенидов).

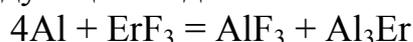
Эрбий – тяжелый редкоземельный металл, который является эффективным заменителем скандия в сплавах упрочняемых дисперсными выделениями вида  $Al_3Me$  с ГЦК структурой [4]. За счет легирования алюминиевых сплавов Er, имеющего стоимость ниже Sc, можно добиться снижения стоимости сплавов со скандием за счет уменьшения содержания последнего.

Целью данной работы было изучение возможности получения лигатуры нового химического состава Al-Er на основе поисковых опытов (форопытов) по металлотермическому восстановлению соединений.

На основе проведенной термодинамической оценки металлотермического восстановления соединений эрбия было выяснено, что при использовании в качестве исходного соединения фторида эрбия, вероятность протекания процесса достаточно высока.

Важной частью технологического процесса синтеза лигатур металлотермическим способом восстановления соединений (оксидов, фторидов, хлоридов) является подбор и изучение солевых систем, как участников процесса [3]. В результате проведенного обзора бинарных и тернарных фазовых диаграмм определена перспективная фторидно-хлоридная система  $\text{ErF}_3\text{-NaF-KCl}$  для синтеза лигатуры  $\text{Al-Er}$ .

При контакте расплавленной шихты - галогенидной расплава, содержащего фторид эрбия, фторид натрия и хлорид калия с алюминием происходит алюминотермическое восстановление эрбия, в результате которого образуется лигатура алюминий-эрбий с различным содержанием легирующего элемента, который в лигатуре находится в составе интерметаллического соединения  $\text{Al}_3\text{Er}$ . Суммарная алюминотермическая реакция процесса имеет следующий вид:



Содержание эрбия в получаемой лигатуре находится в зависимости от количества используемого фторида эрбия  $\text{ErF}_3$ , соотношения солей, входящих в состав шихты, длительности контакта расплавленного алюминия с расплавом солей, температуры и атмосферы.

На основе результатов опытов показана возможность получения лигатур алюминия с редкоземельным металлом – эрбием путем металлотермического восстановления его фторида алюминием. В результате получены образцы лигатур с содержанием легирующего металла от 1,3 до 17,5 мас.%. Выход металла в лигатуру зависит от многих параметров процесса, условий подготовки шихты и требует проведения дополнительных экспериментов с применением математического планирования с варьированием наиболее значимых факторов.

#### *Библиографический список*

1. Напалков В.И. Легирование и модифицирование алюминия и магния / В.И. Напалков, С.В. Махов. М.: МИСИС, 2002. 376 с.
2. Bazhin V.Yu. Synthesis of aluminum based scandium–yttrium master alloys / V.Yu. Bazhin, Ya.I. Kosov, O.L. Lobacheva, N.V. Dzhevaga // Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2015, No. 7, pp. 516–520.
3. Скачков В.М. Получение Sc-, Zr-, Hf-, Y-лигатур на основе алюминия методом высокотемпературных обменных реакций в расплавах солей/ В.М. Скачков, С.П. Яценко// Цветные металлы, 2014, №3 С. 22-26.
4. Косов Я.И. Перспективные композиции алюминиевых сплавов и лигатур//МНИЖ № 11(53) ч.4, 2016, с. 73-77

## АРМИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Е.М. Гутема<sup>1</sup>, В.Ю. Бажин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры металлургии СПГУ, г. Санкт-Петербург, e-mail: en-dalkem5@gmail.com

<sup>2</sup> д.т.н., заведующий кафедрой АТПП СПГУ, г. Санкт-Петербург, e-mail: [bazhin-alfoil@mail.ru](mailto:bazhin-alfoil@mail.ru)

Широкий выбор композитных материалов для упрочнения алюминиевых сплавов вызывает необходимость разработки технологии и доказательства рациональных методов их ввода в матрицу. Известны многочисленные исследования получения легких сплавов с повышенными механическими характеристиками при использовании наночастиц из различных модификаций карбида. Армированные алюминиевые сплавы, используются как альтернатива традиционным материалам, в аэрокосмической, автомобильной и оборонной технике [1]. Укрепление алюминиевых сплавов с твердой фазой частиц карбида обеспечивает более высокую прочность, высокий модуль упругости, высокую износостойкость, хорошую обрабатываемость при минимизации теплового расширения. В настоящее время не решены вопросы по равномерному распределению частиц в матрице, по выбору оптимального их размера и влиянию смачиваемости на кинетику кристаллизации и т.д. Аналитическое исследование выявило недостатки изученных способов упрочнения легких сплавов, к которым относится сложность обеспечения равномерности распределения SiC в матрице из алюминиевого сплава, и, следовательно, получения сплавов со стабильными характеристиками при низкой анизотропии [2].

Целью работы является повышение эффективности технологии производства и модифицирования алюминиевых сплавов для придания им повышенных механических характеристик при сохранении высокого уровня пластичности. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- определение влияния добавок карбида кремния различного размера и состава на прочностные свойства алюминиевых сплавов;
- изучение механизмов формирования и кинетических характеристик для получения однородной структуры алюминиевого сплава при первоначальном вводе композиционной магниевой лигатуры;
- исследование комплекса механических свойств листовых заготовок из модифицированного сплава (прочность, пластичность, ударная вязкость и т.д.).

Проведенные исследования в Горном университете доказали, что при армировании алюминиевых сплавов порошком SiC формируется

устойчивый матричный каркас с равномерной и мелкозернистой структурой, при котором обеспечивается минимальный уровень анизотропии свойств и повышение прочности заготовок. Представляет научно-практический интерес разработки технологии и способов модифицирования алюминиевых сплавов с вторичными порошками карбида кремния. Предлагается использовать порошки карбида кремния, полученные из отходов карбидокремниевой футеровки, отключенных в капитальный ремонт алюминиевых электролизеров. Как правило, SiC бортовая футеровка после эксплуатации в среде криолит-глиноземного расплава содержит значительное количество фтористых солей, которые могут играть роль флюса, влияя на уровень смачиваемости частиц при их вводе (экструзии) в алюминиевую матрицу.

Технологические этапы можно представить в следующем варианте.

- Дробление карбидокремниевой футеровки и ее классификация
- Подготовка композиционной лигатуры Mg-SiC
- Подготовка алюминиевого сплава
- Экструзионный ввод лигатуры в жидко-твердом состоянии
- Беслитковая прокатка сплава в листовую заготовку

Результатом настоящего исследования является разработка способа упрочнения алюминиевых сплавов за счет экструдированного ввода в них частиц карбида кремния, полученных из отходов футеровки. Разработан и предложен новый способ упрочнения сплавов, определены условия и отработаны технологические режимы для получения заданных механических свойств при минимальной анизотропии. Уровень механических свойств практически соответствует изделиям из технических сталей (предел прочности на разрыв – 250-265 МПа, предел текучести – 180-210 МПа, относительное удлинение – 12-16 %)

#### *Библиографический список*

1. Endalkachew Mosisa, V. Yu Bazhin and Sergey Savchenkov, 2016. Review on Nano Particle Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites. Research Journal of Applied Sciences, 11: 188-196.
2. Lucas J.P., Stephens J.J., Greulich F.A. The effect of reinforcement stability on composition redistribution in cast aluminium metal matrix composites // Mat. Sci. and Engineering. 1991. Vol. 131 (2). P. 221–230.

## ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

И.А. Сысоев<sup>1</sup>, Н.Н. Иванов<sup>2</sup>, Т.И. Зимина<sup>3</sup>, Д.А. Сокольникова<sup>4</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники Энергетического института ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [ivansys@istu.edu](mailto:ivansys@istu.edu)

<sup>2</sup> аспирант, инженер ИТЦ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [crist2003@istu.edu](mailto:crist2003@istu.edu)

<sup>3</sup> аспирант, инженер ИТЦ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [ziminati@istu.edu](mailto:ziminati@istu.edu)

<sup>4</sup> студент гр. МЦб-14-1 ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [slayker9515@yandex.ru](mailto:slayker9515@yandex.ru)

Известно, что с анодными газами, удаляемыми в систему газоочистных установок (ГОУ), от электролизеров с обожженными анодами уносится до 12,5 % тепла [1]. Поэтому одним из путей повышения энергоэффективности производства является рекуперация и возврат в технологический процесс тепловой энергии, уносимой технологическими газами [2, 3, 4, 5].

Ранее проведенные исследования, представленные в работах [6, 7, 8], подтвердили эффективность использования кожухотрубчатого теплообменного устройства для охлаждения газов жидким теплоносителем. При этом применение теплообменников должно оцениваться с позиции капитальных и эксплуатационных затрат [9, 10].

В результате проработки конструктивных особенностей теплообменника определено, что для рекуперации тепловой энергии целесообразно использовать устройство термоэлектрического преобразования (ТЭП).

Разработанный ТЭП представляет собой полупроводниковый генератор, вырабатывающий электрический ток за счет разницы температур на его противоположных поверхностях устройства. Основой для расчетов служила расчетная модель распределения температур на поверхности теплообменного аппарата, разработанная специалистами ИРНИТУ [11].

Внутри ТЭП располагается ряд из 12 термоэлектрических модулей, работа которых основана на эффекте Зеебека, суть которого заключается в появлении электродвижущей силы за счет возникновения разности потенциалов в цепи из разнородных полупроводниковых материалов при создании градиента температур.

Одна сторона ТЭП (теплосъемник) выполнена в виде плоской теплопроводящей поверхности, которая закрепляется на горячей плоскости системы с теплоносителем (газовым, жидкостным). Вторая сторона ТЭП (радиатор) представляет собой модуль охлаждения, в который под давлением подается охлаждающая жидкость.

Для проведения исследований оптимальных режимов работы ТЭП и создания экспериментальных условий была создана модель участка газохода с диапазоном температуры на поверхности от 100 °С до 220 °С и обеспечить источником охлаждения с температурой от 30 °С до 80 °С для задания разности температур между поверхностями термоэлектрического модуля. Для этого были подобраны следующие комплектующие:

технический фен Bosch GHG 660 с возможностью формирования скорости потока с температурой от 50 °С до 660 °С;

измеритель скорости потока воздуха (анемометр) Testo 410-2;

восьмиканальный измеритель температуры ОВЕН;

высокоточный стационарный цифровой мультиметр UTM 1804;

цифровой термометр для измерения температуры холодного теплоносителя с точностью до 0,1 °С;

комплектующие и расходные материалы для радиатора охлаждения ТЭП;

прочие вспомогательные устройства: узлы крепления системы, электропроводка, система водопитающих и водоотводящих шлангов.

Проведение исследований процессов термоэлектрического преобразования производилось в следующей последовательности:

– запуск источника холодного теплоносителя (системы водоснабжения);

– запуск источника горячего теплоносителя (технический фен);

– стабилизация аэродинамики потока и режима теплообмена;

– фиксирование результатов испытаний.

В результате проведенных исследований, измерены основные выходные величины (напряжения и силы тока) термоэлектрического преобразователя для различных температурных режимов работы. Испытания показали стабильную работу преобразователя при установившемся режиме теплообмена.

Наилучшие измеренные выходные показатели были получены при градиенте температур 170 °С (200 °С горячая сторона и 30 °С холодная) между поверхностями термоэлектрического модуля, при этом вырабатываемая мощность для 1 модуля составила 4 Вт.

Худшие показатели наблюдались при градиенте температур 70 °С (150 °С горячая сторона и 80 °С холодная) между поверхностями термоэлектрического модуля, при этом вырабатываемая мощность для 1 модуля составила 0,75 Вт.

Исходя из значения мощности 2 Вт от 1 модуля и, с учетом использования 12 модулей в составе ТЭП, средняя мощность одного ТЭП составила 24 Вт.

Таким образом, в системах газоходов, где существует достаточное количество тепловой энергии, которую необходимо утилизировать, пред-

ставляется возможным использовать ТЭП с целью выработки электроэнергии для технологических нужд.

Исследования проведены при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-4752.2016.8.

#### *Библиографический список*

1. Ножко С.И., Турусов С.Н., Никитин В.И. Технологический подход к управлению энергетическим режимом электролизера // Цветные металлы. 2006. № 8. С. 85-87.
2. Николаев В.Н., Кондратьев В.В. Разработка технологии интенсификации процессов газоудаления и газоочистки алюминиевого производства // Сб. трудов Международных научных чтений «Белые ночи - 2012». - Киев, 5-8 июня 2012г. - С. 361-371
3. Кондратьев В.В., Шахрай С.Г., Жуков Е.И., Винокуров М.В. Повышение эффективности газоулавливания в рабочей зоне электролизеров с предварительно обожженными анодами с силой тока свыше 300кА // Экология и промышленность России, №7, 2012г., С. 8-11.
4. Кондратьев В.В., Николаев В.Н. Современное состояние проблемы охлаждения эвакуируемых газов на металлургических производствах // Наука, техника, инновации. Сборник статей II Международной научно-технической конференции. Брянск, 2015. С. 41-49.
5. Кондратьев В.В., Николаев В.Н., Карлина А.И. Моделирование и лабораторные испытания высокоэффективного теплообменника с низким статистическим сопротивлением // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. № 2 (46). 2015, С. 80-83.
6. Сысоев И.А., Пинаев А.А., Николаев В.Н. Аппаратурно-технологическая схема и автоматизированный контроль параметров процесса эвакуации газов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 1. С. 98-103.
7. Сысоев И.А., Кондратьев В.В., Горовой В.О., Зимина Т.И. Лабораторные испытания кожухотрубчатого теплообменного устройства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. Т. 20. № 12. С. 155-164.
8. Kondrat'ev V., Govorkov A., Lavrent'eva M., Sysoev I., Karlina A.I. Description of the heat exchanger unit construction, created in IRNITU // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 19. С. 9979-9983.
9. Шамарова Н.А. Теоретические аспекты понятия энергоэффективность // Инновационная наука. 2015. № 11-1. С. 186-188.
10. Чемезов А.В., Яхина Е.Р., Шамарова Н.А. К вопросу определения понятия «энергоэффективность» // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 10. С. 258-262.

11. Сысоев И.А., Кондратьев В.В., Колмогорцев И.В., Унагаев Е.И., Зими́на Т.И. Оптимизация конструкции теплообменных элементов при проектировании теплообменного устройства // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 4. С. 118-124.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШАЕМОСТИ АНОДНОЙ МАССЫ В ТОКЕ CO<sub>2</sub>

Р.В.Пятов<sup>1</sup>, О.В.Белоусова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МЦб-13-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [zvfl@istu.edu](mailto:zvfl@istu.edu)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [zvfl@istu.edu](mailto:zvfl@istu.edu)

Метод исследования заключался в определении убыли веса обожженных образцов анодной массы диаметром  $36 \pm 0,1$  мм, высотой  $40 \pm 0,1$  мм в токе CO<sub>2</sub> при температуре 950 °С в течение 2,5 часов.

Предварительно взвешенный и измеренный образец помещали в центр рабочего пространства реакционной трубы на равном расстоянии от стенок.

Перед нагревом реакционную трубу продували в течение 1 мин углекислым газом, подаваемым со скоростью 4 дм<sup>3</sup>/мин. Общее время нагрева до 950 °С не превышало 30 мин. По достижении температуры испытания расход углекислого газа устанавливали  $4,25 \pm 0,25$  дм<sup>3</sup>/мин.

Мг/см<sup>2</sup> \*ч

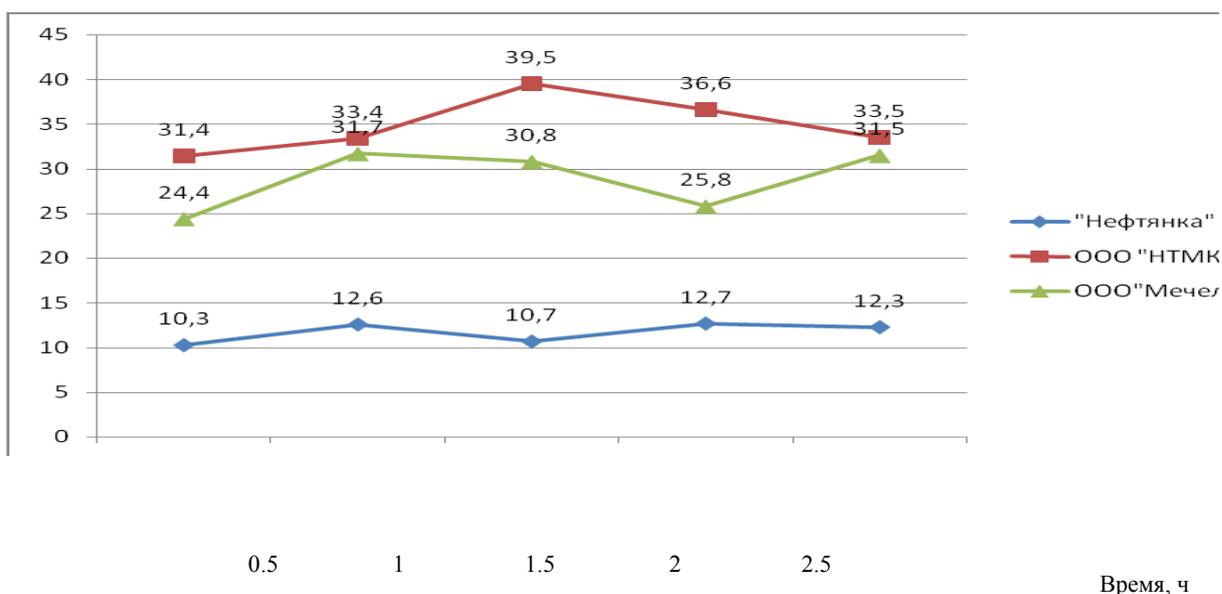


Рисунок - Разрушаемость анодной массы в токе CO<sub>2</sub>.

По окончании испытания печь отключали и проводили быстрое охлаждение образца до 100 °С при расходе углекислого газа 0,2-0,5 дм<sup>3</sup>/мин. До комнатной температуры образец охлаждали в эксикаторе. Всю осыпавшуюся часть взвешивали с точностью до ±0,1 г.

Расчет общей разрушаемости ( $P_p$ ) обожженной анодной массы в токе CO<sub>2</sub> производили по формуле:

$$P_p = \frac{P_1 - P_2}{S * t} * 1000 \text{ мг/см}^2 * \text{час}$$

где  $P_1$  - масса образца до испытания, г;  $P_2$  - масса образца после испытания, г;  $S$  - площадь боковой поверхности образца, см<sup>2</sup>;  $t$  - продолжительность испытания, час.

Результаты исследования представлены на рис. Они показали, что самая низкая разрушаемость в токе CO<sub>2</sub> наблюдалась у анодной массы на основе нефтяного кокса, тогда как самая высокая разрушаемость наблюдается на пековом коксе производства компании ООО “Нижнетагильский МК”. Поэтому следует ожидать наименьшего выхода угольной пены на анодной массе с нефтяным коксом и, как следствие, оптимизации технико-экономических показателей электролиза, в том числе и снижение расхода анодной массы [1-6].

#### *Библиографический список*

1. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2001. – 670с.
2. Гринберг И.С. Производство анодной массы / И.С. Гринберг, Л.В. Рагозин, В.П. Ланьшин изд.«МАНЭБ», 2003. – 209с.
3. Янко Э. А. Производство алюминия: Пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов. — СПб.: Изд- во С.-Петербург. ун-та, 2007.— 304 с.
4. Производство алюминия в электролизерах с верхним токоподводом / И.С.Гринберг, Л.В[и др] изд.: «МАНЭБ» - 2003.- 299 с.
5. Справочник металлурга. Производство алюминия и сплавов на его основе. /И.С.Гринберг, Б.С. Громов [и др] изд.: «МАНЭБ» - 2005. – 691с.
6. Металлургия алюминия / Ю.В. Борисоглебский, Г.В. Галевский [и др]- Новосибирск: Наука, 2000. - 438 с.

## ОЧИСТКА РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО РАФИНИРОВАНИЯ МЕДИ ОТ МЫШЬЯКА

А.А.Васильев<sup>1</sup>, Н.Н. Урлапкина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> канд. техн. наук, доцент каф. МЦМ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: vasilev@yandex.ru

<sup>2</sup> магистрант гр. МЦМ-16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: n.urlapkina@yandex.ru

Мировая добыча меди в январе-феврале 2016 г. составила 3,095 млн.т., что на 3,3 % выше, чем в аналогичный период 2015 г. Мировое производство рафинированной меди за 2 мес. 2016 г. выросло на 3,7 % до 3,767 млн.т. Мировое потребление меди за 2 мес. 2016 г. выросло на 5,5 % до 3,691 млн.т. При этом спрос в Китае вырос на 15 %.

В мире около 80-85 % меди производят из сульфидных руд по пирометаллургической технологии. Процесс производства меди из таких руд состоит из нескольких переделов:

- получение медного концентрата (флотационное обогащение руды);
- производство черновой меди (плавка на штейн, конвертирование);
- производство рафинированной меди (огневое рафинирование - получение анодной меди, электролитическое рафинирование - получение катодной меди) [1].

Конечной стадией производства меди по данной технологии является электролитическое рафинирование. Целью этого процесса является глубокая очистка меди от вредных примесей, а также попутное извлечение из меди таких ценных компонентов, как селен, теллур, серебро, золото и др. [1, 5].

На электролитическое рафинирование поступает медь в виде анодов после огневого рафинирования. Электроды размещают в электролизной ванне, заполненной раствором медного купороса и серной кислоты.

При протекании тока через электролизер анод растворяется, медь переходит в раствор и далее выделяется из него на катоде в виде чистого металла [1, 5].

Анодная медь содержит 99,4 - 99,6 % Cu. Основные примеси в анодной меди, %: 0,2 Ni; 0,1 S; 0,2 Sb; 0,2 As; 0,1 Pb; 0,15 Se + Te; 0,1 Au + Ag.

Наиболее трудно удаляемой из электролита примесью является мышьяк, так как он растворяется, накапливается в растворах и может привести к снижению качества катодной меди за счет выделения на катоде.

В настоящее время существуют различные методы удаления мышьяка из металлургического цикла, основанные, главным образом, на химической и экстракционной очистке растворов [2, 3].

Для отделения малых количеств As широко используют метод осаждения в виде *малорастворимых арсенатов*. Метод основан на образовании двойного слоя на поверхности носителя, состоящего из катионов  $Ba^{2+}$ , с последующим образованием  $Ba_3(AsO_4)_2$ , и на принципе сорбции мышьяка образующимся сульфатом бария [3, 4].

Наиболее рациональным и эффективным способом извлечения мышьяка из медного электролита является процесс экстракционной очистки. В результате экстракции получают мышьяксодержащий экстракт и медьсодержащий рафинат [5, 6].

Одним из перспективных является экстрагент Суапех 923 – смесь четырех триалкил-фосфин-оксидов. Экстрагент представляет собой бесцветную жидкость с температурой кипения  $310^{\circ}C$  и температурой самовоспламенения равной  $281^{\circ}C$ . В зависимости от температуры имеет разную вязкость: 40 сП при температуре  $25^{\circ}C$  и 13,7 сП при  $50^{\circ}C$ . Основным преимуществом экстрагента по сравнению с аналогичными реагентами является его полная совместимость со всеми стандартными углеводородными растворителями, даже при низких температурах окружающей среды. Объемная доля экстрагента Суапех 923 в разбавителе может достигать 50 %. Данный реагент, помимо очистки растворов от мышьяка, позволяет извлекать сурьму и висмут. Реэкстракцию проводят очищенной водой.

Реагент Суапех 923 позволяет селективно извлекать As из обратного электролита, что оказывает положительное влияние на технико-экономические показатели процесса электролитического рафинирования меди.

#### *Библиографический список*

1. Газарян Л.М. Пирометаллургия меди. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Metallurgy, 1965. — 360 с.
2. Травкин В.Ф., Кубасов В.Л., Миронова Е.В., Глубоков Ю.М. // Выделение соединений мышьяка из технологических растворов предприятий цветной металлургии. Цв. металлургия, 2001, с. 20 - 24..
3. Лебедь, А. Б. Получение солей сульфата меди и никеля сернокислого на ОАО «Уралэлектромедь» : учебное пособие / А. Б. Лебедь, Л. Ф. Акулич, С. С. Набойченко. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 136 с.
4. В.А. Козлов, И.В. Заузоков, Л.Г. Лавров, В.А. Шмурак. // Современное состояние, пути развития медерафинировочного производства и повышения качества рафинированной меди., Москва 1988. Выпуск 2.
5. Schlesinger M.E. Extractive Metallurgy of Copper. Fifth Edition. Elsevier, 2011.
6. Уотсон Е.К.;др. Экстракция растворителем . Ионный обмен, 6, №2, 20-207 стр., 1988.

7. Романова В.В. Утилизация мышьяка из отработанного медьсодержащего электролита: Автореф. дис. – Екатеринбург, 2013.

## ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ПЕРЕРАБОТКИ ПЫЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Е.Патрушов<sup>1</sup>, Н.В.Немчинова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> аспирант ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [apatrushov@mtrci.ru](mailto:apatrushov@mtrci.ru)

<sup>2</sup> д.т.н., заведующая кафедрой металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [ninavn@istu.edu](mailto:ninavn@istu.edu)

В связи со всевозрастающим негативным воздействием производственной деятельности ферросплавных и электросталеплавильных цехов (ЭСЦ) и предприятий на окружающую среду наибольшую важность приобретают технологии, обеспечивающие устойчивое развитие за счет повышения энергоэффективности, комплексного использования сырья, снижения экологической нагрузки и производственных издержек [1].

Основой для подтверждения осуществимости новых промышленных технологических линий, разработанных на основе теоретических знаний, является лабораторное доказательство «работоспособности» технологии. Переработка пылей ЭСЦ с получением двух высококачественных готовых продуктов – железа и оксида цинка – получило опытное подтверждение возможности реализации данной технологии на производстве.

Технологическая линия по переработке пылей основана на углетермическом восстановлении окатышей, шихта которых состоит из пыли ЭСЦ, углеродистого восстановителя и флюсовых добавок. За основу лабораторной установки взята высокотемпературная печь ЛНТ 08/17 (Nabertherm, Германия). Поскольку по технологической линии переработки пылей ЭСЦ оксид цинка улавливается в отходящем печном газовом потоке, печь ЛНТ 08/17 была дополнительно оснащена водохлаждаемым газоходом с принудительным отводом газообразных продуктов реакции (через водяной фильтр) [2].

Ввиду того что в промышленном варианте переработка пылей ЭСЦ осуществляется на кольцевой печи, целью лабораторных опытов было моделирование условий в лабораторной печи как в кольцевой.

Эксперименты велись в следующей последовательности:

- подготовка компонентов шихты (измельчение до требуемой фракции) и смешение компонентов в необходимых соотношениях;
- изготовление шихтовых гранул весом 20 г;
- загрузка в корундовый тигель (объемом ~ 55 мл) 20-30 г каменноугольного кокса крупностью 0,5-1,0 мм; поверх кокса - подготовленная гранула;

- загрузка тигля в печь при температуре 1150 °С;
- подъем температуры в печи до 1350÷1400 °С со скоростью ~ 11 °С/мин;
- выдержка тигля с шихтой при заданной температуре в течение 10 мин;
- снижение в течение 8-10 мин температуры в камере печи до 1150 °С;
- охлаждение тигля с продуктами плавки до комнатной температуры, взвешивание продуктов плавки шихты;
- чистка установки для улавливания возгонов, взвешивание уловленных и сконденсированных продуктов;
- направление уловленных цинковых возгонов на прокалку.

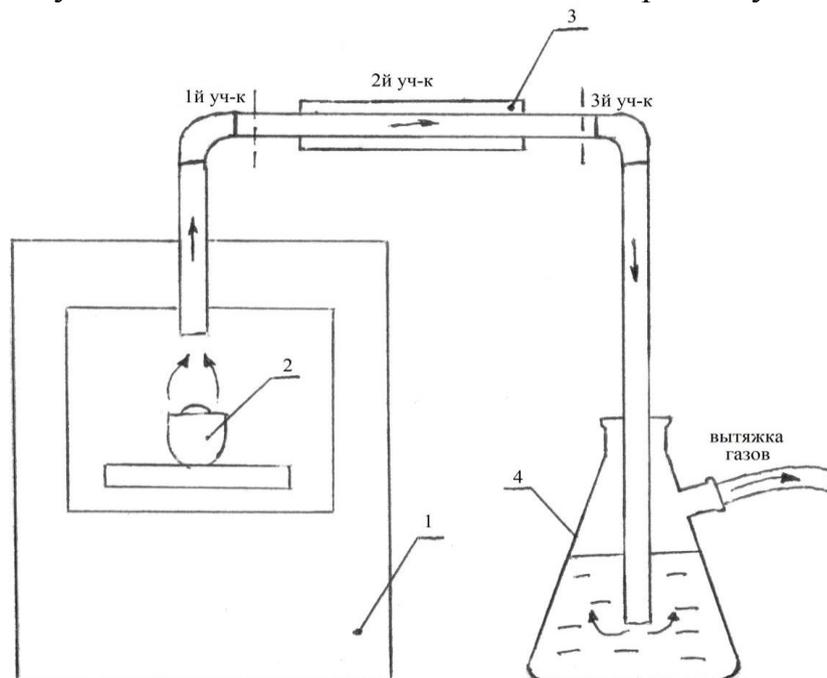


Рисунок – Схема лабораторной установки для переработке пыли ЭСПЦ:  
 1 – высокотемпературная печь; 2 – тигель с гранулой; 3 – водоохлаждаемый конденсатор; 4 – водяной фильтр.

Полученные в результате опытов гранулы чугуна, шлака, а также цинковые возгоны направлялись на химический анализ на определение соответствия заявленным параметрам готовой продукции технологической линии переработки пыли ЭСПЦ.

Работа выполнена по НИР 11.7210.2017/БЧ в рамках государственного задания Министерства и образования и науки РФ

#### *Библиографический список*

1. Процессы утилизации пыли сталеплавильного производства. Часть 1. Высокопроизводительные промышленные процессы переработки пыли и других железосодержащих отходов / А. П. Стовпченко [и др.] // Электрометаллургия. – 2010. – № 1. – С. 25-32.

2. Немчинова Н.В., Черных В.Е., Тютрин А.А., Патрушов А.Е. Переработка пылей электросталеплавильного производства с целью извлечения цинка и железа // Сталь. – 2016. – №5. – С. 68-72.

## КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПИРИТНЫХ ОГАРКОВ

А.О.Перепелкина<sup>1</sup>, Т.С.Минеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦМ-16-1 ИМХТ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [anastasiya.perepelkina.94@mail.ru](mailto:anastasiya.perepelkina.94@mail.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИМХТ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu)

Одним из важных техногенных ресурсов для извлечения драгоценных, цветных и черных металлов являются отходы производства серной кислоты - огарки после обжига пиритных концентратов. При этом они находятся в виде тонкодисперсного материала, который можно перерабатывать без больших затрат на добычу и подготовку.

В связи с этим была исследована проба лежалого пиритного огарка, отобранного с огаркоохранилища одного из предприятий РФ. Основными полезными компонентами являются: золото – 1,8 г/т; серебро – 13,4 г/т, медь – 0,23 %, цинк – 0,28 % и железо – 48,5 %. По гранулометрическому составу основная масса огарка относится к классу минус 0,2 мм, в том числе 35-50 % к классу минус 0,074 мм.

По минералогическому составу проба на 75 % состоит из магнетита с гематитом с преобладанием последнего. Нерудные минералы представлены преимущественно кварцем (15 %) и в меньшей степени глинисто-гидрослюдистыми минералами (5 %), гипсом (3 %), баритом (1 %).

По данным рационального анализа лежалых пиритных огарков прямым цианированием извлекается 68,3 % золота.

Анализ информации по проблеме переработки пиритных огарков показал низкую эффективность методов обогащения (гравитация, флотация, магнитная сепарация) применительно к данному типу сырья. Поэтому более перспективными являются гидрометаллургические технологии извлечения.

В связи с отсутствием универсального растворителя, способного одновременно переводить в раствор цветные и благородные металлы с приемлемыми технико-экономическими показателями, были проведены исследования по реализации двухстадиальной схемы переработки огарков: водное или серноокислотное выщелачивание цветных металлов на первой стадии и извлечение благородных металлов на второй.

Водную отмывку проводили на вакуумном фильтре (воронка Бюхнера) при комнатной температуре. Предварительно огарок распульповывали до Ж:Т=1:1 и агитировали в течение 0,5 ч. По результатам анализа растворов концентрация меди изменялась от 188 мг/л в первой фракции фильтрата до 0,2 мг/л в пятнадцатой, а концентрация цинка изменялась - от 276 мг/л до 0,05 мг/л. Железо в данных условиях переходит в раствор незначительно (менее 0,5 %), и его концентрация в фильтрате не превышает 2,81 мг/л.

Для интенсификации процесса перевода меди и цинка в раствор пульпу пиритного огарка подвергали выщелачиванию при нагревании до 60 °С с серной кислотой и без кислоты в течение 2 ч при перемешивании. Извлечение цветных металлов в раствор с повышением расхода серной кислоты (от 0 до 125 кг/т) увеличивается: меди от 7,5 до 32,6 %, цинка от 8,3 до 35,4 % соответственно. Более эффективно процесс выщелачивания протекает при расходе серной кислоты 100 кг/т. Извлечение меди повысилось до 38,1 %, цинка - до 40,2 %. При этом извлечение железа в раствор повышается до 5,9 %. Повышение температуры процесса до 60 °С заметно ускоряет скорость растворения цветных металлов.

Проведены сравнительные тесты по определению эффективности таких растворителей благородных металлов как тиокарбамид, сульфит натрия, гипохлорит натрия и цианид натрия. Материалом для исследований служил пиритный огарок, предварительно обработанный серной кислотой и отмытый водой от кислотности и цветных металлов [1].

Лучшие результаты получены при цианировании: извлечение золота в раствор 62,9 %, серебра – 60,0 %. Следующим по эффективности растворителем является тиокарбамид, обеспечивающий извлечение золота и серебра - 49,5 % и 44,6 % соответственно. Извлечение золота при выщелачивании сульфитом натрия не превышало 15 %. При гипохлоритном выщелачивании огарка извлечение золота составило 31,5 %, серебра – 42 %. Полученные результаты по хлоринации пиритного огарка свидетельствуют о расходе гипохлорита натрия на нецелевое взаимодействие с восстановителями, в основном оксида железа (II), содержание которого в сырье значительно больше, чем массовая доля благородных металлов. Оптимизация процесса хлоринации по ОВП требует высоких расходов активного хлора, что делает процесс экономически нецелесообразным применительно к пиритным огаркам с относительно низким содержанием благородных металлов.

На основании полученных результатов для дальнейших исследований по оптимизации параметров процесса выщелачивания благородных металлов из пиритных огарков рекомендованы цианид натрия и тиокарбамид.

### *Библиографический список*

1. Студенцов В.В., Владимиров В.П. К вопросу переработки пиритных огарков // Сб. Metallургия, обогащение и металловедение. Алма-Ата: КазПТИ. – 1979. – 35-41
2. Меретуков М.А., Орлов А.М. Metallургия благородных металлов. Зарубежный опыт. М.: Metallургия, 1991. - 415 с.
3. Котляр Ю.В., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Metallургия благородных металлов (в двух 2-х томах). – М.: Издательский дом «Руда и металлы». – МиСиС, 2005. – 823 с.

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕАКЦИЙ АТМОСФЕРНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЗОЛОТОМЕДНОГО ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА**

Р.Н. Набиулин<sup>1</sup>, А.В. Богородский<sup>2</sup>, Т.С. Минеева<sup>3</sup>, С.В. Баликов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>магистрант гр. МЦм-15, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [nabiulinrus@mail.ru](mailto:nabiulinrus@mail.ru)

<sup>2</sup>к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории металлургии АО «Иргиредмет», г. Иркутск

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедры металлургии ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск

<sup>4</sup>д.т.н., главный научный сотрудник АО «Иргиредмет», г. Иркутск

Изучение металлургических процессов классическими методами исследования требует проведение большего объема трудоемких экспериментальных работ. Кроме того, в большинстве проводимых экспериментов имеется возможность изучения только исходных и конечных продуктов металлургических реакций.

Одной из задач исследований является конечный результат металлургического процесса. Задача сводится к изучению состояния равновесия рассматриваемой системы и решается с помощью термодинамических расчетов [1].

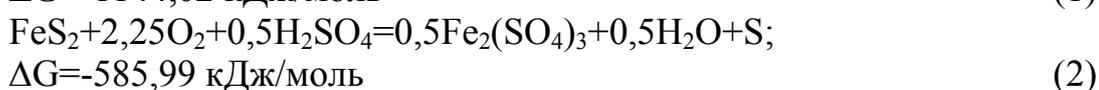
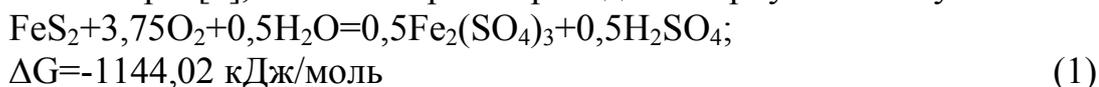
Переработка сульфидных золотомедных руд и концентратов по классической цианистой технологии приводит к высоким расходам реагентов и низкому извлечению золота. Для повышения эффективности процесса извлечения драгоценных металлов необходимо разрушить сульфидные минералы и извлечь медь из продукта переработки перед цианированием, что позволит снизить расходы основных реагентов.

Одним из перспективных направлений в области гидрометаллургической переработки упорных сульфидных золотомедных флотоконцентра-

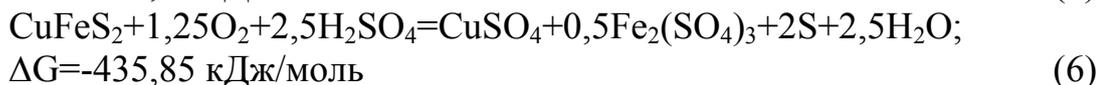
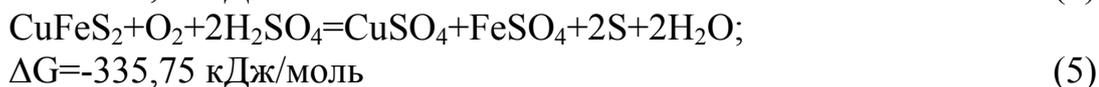
тов, золото в которых заключено в пирите, халькопирите и теннантите, является использование атмосферного окисления.

С целью изучения химии процесса атмосферного окисления упорных сульфидных золотомедных флотоконцентратов проведены термодинамические расчеты по методу Темкина и Шварцмана. Для термодинамических расчетов использовались термодинамические базы данных, опубликованные в справочной литературе и в сети Интернет – ИВТАНТЕРМО, FACT (Facility for the Analysis of Chemical Thermodynamics), JANAF, HSC Chemistry.

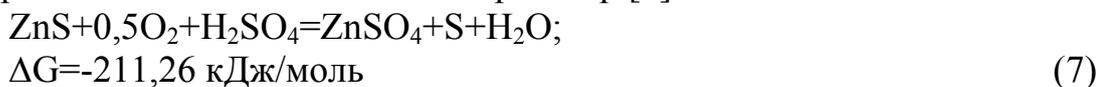
Окисление пирита происходит с образованием сульфата железа [1] и элементарной серы [2], часть которой переходит в серную кислоту:



Окисление теннантита также сопровождается образованием элементарной серы [3, 4], однако ее количество в разы больше, чем при окислении пирита. Медь переходит в раствор в виде медного купороса, также как и при окислении халькопирита [5, 6]. Часть мышьяка остается в твердом продукте в виде скородита, остальная часть образует мышьяковистую кислоту и остается в жидком остатке:



При наличии в продукте переработки сфалерита, цинк после окисления практически весь извлекается в раствор [7]:



Термодинамическими расчетами показано, что в процессе атмосферного окисления золотомедного флотоконцентрата в первую очередь происходит окисления теннантита ( $\Delta G = -7648,94$  кДж/моль), затем окисление пирита ( $\Delta G = -1144,02$  кДж/моль). Халькопирит и сфалерит окисляются менее интенсивно ( $\Delta G = -335,75$  кДж/моль и  $\Delta G = -211,26$  кДж/моль).

#### *Библиографический список*

1. Герасимов Я. И. Химическая термодинамика в цветной металлургии: в 2 т. / Я. И. Герасимов, А. Н. Крестовников, А. С. Шахов. – М.: Металлургия, 1960. – Т. 1 – с. 11.

2. Лодейщиков, В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд в 2-х томах / В.В. Лодейщиков – Иркутск: АО «Иргиредмет», 1999, 788 с.

3. Набиулин, Р.Н. Атмосферное окисление золотомедного флотоконцентрата / Р.Н. Набиулин, А.В. Богородский, С.В. Баликов, Ю.Е. Емельянов // Сборник тезисов докладов восьмого международного конгресса «Цветные металлы и минералы 2016», Красноярск, 2016 г, с. 462-463.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА ИЗ ДОМЕННЫХ ШЛАМОВ КУЗНЕЦКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА**

И.В. Ноздрин<sup>1</sup>, Х.О. Джалолов<sup>2</sup>, Е.А. Чистюхин, Е.Д. Павловская<sup>4</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., профессор кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии СибГИУ, г.Новокузнецк, e-mail:kafcm@sibsiu.ru

<sup>2,3,4</sup>магистранты кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии СибГИУ, г.Новокузнецк, e-mail:kafcm@sibsiu.ru

Черная металлургия в настоящее время является самым крупным источником цинксодержащих отходов из-за возросшего количества перерабатываемого оцинкованного стального лома. Большие объемы текущих отходов, а также повышенный экономический интерес к ним из-за роста мировых цен на цветные металлы привели к резкому увеличению работ, связанных с технологиями рециклинга цинка. Новые технические разработки, модернизация действующего производства, использование передового зарубежного опыта позволяют сделать предположение о скором решении проблемы переработки текущих цинксодержащих отходов в металлургии. Однако вопросы утилизации накопленных за долгие десятилетия отходов до настоящего времени практически не рассматривались [1]. Разработке научных и технологических рекомендаций по решению данного вопроса предшествует этап комплексной аттестации физико-химических свойств исследуемых материалов.

В работе приведены результаты исследования доменных шламов Кузнецкого металлургического комбината с учетом перспектив извлечения из них цинка. За годы работы доменного производства накоплено более 2,5 млн. т пылей газоочистки в виде шламов на территории площадью более 100 тыс. м<sup>2</sup>. Производство было ориентировано на переработку местных руд с достаточно высоким содержанием цинка, который практически полностью концентрировался в шламах газоочистки. Повышенное содержание цинка препятствовало использованию доменного шлама в качестве полноценного оборотного материала для получения чугуна, так как приво-

дило к нарушению хода технологического процесса, повышенному расходу восстановителя, снижению срока службы футеровки и, соответственно, кампании печи. По своим запасам данное хранилище можно классифицировать как техногенное месторождение железа и цинка.

Образцы шлама представляют собой темно-серый порошок, представленный частицами крупностью 5 - 40 мкм, влажностью от 12 до 26 % масс. Установлено, что основными составляющими минералами являются магнетит, цинкит, углерод, карбонаты и ферросиликаты. Отдельные результаты исследования химического состава приведены в таблице.

Таблица – Содержание основных компонентов в доменном шламе, % масс

Наименование	Содержание, %	Наименование	Содержание, %
Железо	22,46 – 28,69	Оксид алюминия	2,87 - 3,54
Углерод	18,42 – 23,90	Оксид магния	2,29 – 2,98
Цинк	3,67 – 8,40	Диоксид кремния	3,67 – 12,46
Сера общая	0,42 – 0,76	Фтор	0,07 – 0,09
Оксид кальция	4,66 – 7,25	П.п.п.	12,3 – 17,4

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о нецелесообразности переработки данного материала по технологии прямого пиromеталлургического извлечения цинка – дистилляцией или вельцеванием. Минимальное содержание цинка для рентабельного извлечения по технологии вельцевания составляет более 12 % масс. [2]. Кроме того, высокое содержание кремнезема в образцах приводит к снижению фильтруемости растворов при гидрометаллургическом выщелачивании, а повышенное содержание фтора препятствует «сдирке» катодного осадка при электролитическом получении цинка [3]. Основная идея переработки подобных материалов должна базироваться на выделении железосодержащей фракции, например с помощью сухого магнитного обогащения, с последующим переводом цинка в раствор, например выщелачиванием, или восстановлением в газовую фазу с дальнейшим окислением.

#### *Библиографический список*

1. Тарасов А.В. Металлургическая переработка вторичного цинкового сырья /А.В. Тарасов, А.Д. Бессер, В.И. Мальцев. – М.: Гинццветмет, 2004.–219 с.
2. Козлов П.А. Вельц – процесс/ П.А. Козлов. – М. Издательский дом «Руда и металлы», 2002. – 176 с.
3. Казанбаев Л.А. Гидрометаллургия цинка (очистка растворов и электролиз)/ Л.А. Казанбаев, П.А. Козлов, В.Л. Кубасов, А.В. Колесников. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2006. – 176 с.

## ПРАКТИКА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО РАФИНИРОВАНИЯ МЕДИ

С.С. Бельский<sup>1</sup>, А.Э. Бараускас<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры металлургии цветных металлов, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [bss@istu.edu](mailto:bss@istu.edu)

<sup>2</sup> ст. гр. МЦМ-16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Электролитическое рафинирование дает возможность получить металл высокой чистоты, а также извлечь ценные элементы, находящиеся в меди. С этой целью аноды помещаются в электролитические ванны с раствором сернокислой меди, с добавкой серной кислоты. В качестве катодов используют тонкие листы меди, осаждаемой, электролитическим способом на матрицах из холоднокатаной меди или нержавеющей стали, в ванне устанавливают до 45 катодов. Электролизная ванна имеет глубину 1,1-1,3 м и длину 3,0-6,6 м. Ванна делается из железобетона или дерева и облицовывается винипластом или листовым свинцом. Ширина ванны 1 м определяется шириной катодов. Ширина и длина катодов на 30-50 мм больше, чем анодов. Аноды и катоды устанавливаются параллельно в электролизную ванну.

Ванны группируются в блоки. В цехе размещаются 1500-2000 ванн.

В процессе электролиза анод растворяется, ионы двухвалентной меди перемещаются к катоду, где принимают два электрона. В результате кристаллы меди выделяются на катоде, прочно срастаясь с катодной основой.

Растворение анодов, которые весят 200-320 кг, длится 24-30 дней.

В процессе электролиза вместе с медью растворяются более электроотрицательные, чем медь, элементы. В том числе Zn, Fe, Sn, Ni, Bi, Sb, Pb и другие. Часть этих элементов - Pb, Sn, Sb и др. – выпадает в осадок в результате образования труднорастворимых соединений. Более электроположительные по сравнению с медью примеси – золото, серебро, селен, теллур, платиновая группа и др. – не растворяются и выпадают в осадок – шлам. При увеличении плотности тока потенциал анода вследствие поляризации возрастает и в результате возможно растворение некоторой части серебра и переход его в электролит. Чтобы связать ионы серебра, в электролит добавляют хлористый натрий. При этом образуется нерастворимое хлористое серебро, выпадающее в шлам.

Трудно растворимые соединения, образующиеся, например, при окислении мышьяка, сурьмы, частично переходят в осадок, а частично остаются в электролите, образуя плавучий или блуждающий шлам. Плавучий шлам и примеси, находящиеся в электролите, могут захватываться катодом и загрязнять катодную медь. Во избежание этого, а также для уменьшения э.д.с. поляризации электролит перемешивают путем непре-

рывной циркуляции. Часть его удаляют и после очистки возвращают в ванну. Электролит обычно содержит 140-190г/л и 150-220г/л.

Серную кислоту добавляют для повышения электропроводности и тем самым снижают напряжение на ванне. С этой же целью электролит подогревается нагреву до 55–70 °С. Количество тока при электролизе можно рассчитать по закону Фарадея

Обычно выход по току составляет около 90–95 %. Падение напряжения 0,25 – 0,3 В.

Расход электроэнергии на тонну катодной меди находится в пределах 200–400 кВт/ч. Катоды выгружают из ванны через 5–15 суток.

Переплавление катодной меди на слитки ведется в отражательных или индукционных печах. Анодные остатки в количестве примерно 15 % от начальной массы переплавляют в отражательной печи огневого рафинирования. Шлам идет на переработку, где из него извлекают ценные компоненты (золото, серебро, а также селен и теллур).

#### *Библиографический список*

1. В.И. Смирнов, А.А. Цейдлер, И.Ф. Худяков, А.И. Тихонов. Металлургия меди, никеля и кобальта (Альтернативный курс). Ч.1 Металлургия меди. – М: Металлургия 1964г – 458с.

2. Е.В. Челищев, П.П. Арсентьев, В.В. Яковлев, Д.И. Рыжонков. Общая металлургия (Металлургия черных и цветных металлов). – М: Металлургия 1971г – 480с.

3. Н.Н. Севрюков и др. Общая металлургия. – Металлургиздат, 1962.

4. <http://metal-archive.ru/tyazhelye-metally/>

5. <http://www.studmed.ru/>

6. <http://www.ngpedia.ru/id384382p1.html>

## **МИКРОКРЕМНЕЗЕМ. СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ**

С.С. Бельский<sup>1</sup>, А.Э. Бараускас<sup>2</sup>

<sup>1</sup> доцент кафедры металлургии цветных металлов, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [bss@istu.edu](mailto:bss@istu.edu)

<sup>2</sup> ст. гр. МЦм-16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

Как известно микрокремнезем является ультрадисперсным материалом, состоящим из частиц сферической формы. Обычно его получают в результате производства ферросилиция и его сплавов.

После окисления и конденсации некоторая часть монооксида кремния образует чрезвычайно мелкий продукт в виде шарообразных частиц с высоким содержанием аморфного кремнезема со средней удельной по-

верхностью около 20 кв. м/г. Является высокоактивной минеральной добавкой и состоит из оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, углерода и серы.

По результатам исследований российских и зарубежных фирм микрокремнезем в среднем имеет следующий химический состав, %:  $\text{SiO}_2$  90-92;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,6-0,8;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,4-0,7;  $\text{CaO}$  0,4-0,9;  $\text{MgO}$  0,8-1,0;  $\text{Na}_2\text{O}$  0,6-0,8;  $\text{K}_2\text{O}$  1,2-1,4;  $\text{C}$  0,9-1,2;  $\text{S}$  0,2-0,3.

По гранулометрическому составу средний размер частиц микрокремнезема составляет около 0,1 микрона.

В настоящее время микрокремнезем широко используется в производстве сухих строительных смесей, бетона, пенобетона. Также с его помощью производят цемент, керамику, облицовочные плиты, черепицу, огнеупорные массы, резину, используется в тампонажных смесях для нефтегазодобывающей промышленности, при производстве жидкого стекла, огнеупорных и теплоизолирующих смесей. Он применяется в мостостроении, дорожном строительстве, при возведении жилых и производственных объектов, плотин и дамб, буровых платформ и скважин, коллекторных трасс.

Наиболее распространенная сфера применения микрокремнезема это использование его в качестве добавки к бетонам. Микрокремнезем обеспечивает прочность на сжатие намного превышающую прочность обычных бетонов.

Исследования бетонных конструкций в возрасте до 12 лет (Норвегия, Швеция) показали, что высококачественные растворы с содержанием микрокремнезема обладают большей устойчивостью к карбонизации, чем смеси такой же прочности на обычном портландцементе и гораздо лучше предотвращают проникновение хлоридов из морской воды.

На практике 1 кг микрокремнезема дает такой же эффект прочности, как и 4-5 кг обычного портландцемента. Улучшаются такие характеристики бетона как прочность сцепления, прочность на сжатие, химическая стойкость, морозостойкость и износостойкость. Значительно снижается проницаемость. Все это увеличивает срок службы бетона.

Использование микрокремнезема в сборном бетоне позволяет уменьшить сечения некоторых элементов, облегчая их транспортировку и монтаж.

Микрокремнезем позволяет получать из рядовых материалов бетон с высокими эксплуатационными характеристиками и уникальными конструкционными возможностями.

Применение микрокремнезема в массовом строительстве также позволяет экономить до 40 % цемента без ухудшения характеристик бетона.

Опыт зарубежных стран показывает что 1 кг микрокремнезема может обеспечивать такую же прочность, как 3-5 кг обычного портландцемента.

### *Библиографический список*

1. <http://gidroizol.ucoz.ua>
2. <http://kazsilicon.kz/ru/node/89>
3. <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-70/41.htm>

УДК 541.138

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕРЕБРЕНИЯ ИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

С.П. Бугдаев<sup>1</sup>, Е.А. Анциферов<sup>2</sup>, И.В. Полынский<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ХТб-14-, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: bugdaev42@gmail.com

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры технологии продуктов питания и химии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: antsiferov@istu.edu

<sup>3</sup> аспирант ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: polinigor@yandex.ru

Материалы на основе молибдена и меди (псевдосплавы) позволяют получать изделия с уникальными потребительскими свойствами, обладают рядом ценных характеристик – демпфирующей способностью, износостойкостью, способностью к самосмазыванию при трении (низкий коэффициент трения), теплостойкостью и др. Полосы из псевдосплавов применяют для изготовления деталей с повышенной теплопроводностью и спая с алюмооксидной и бериллиевой керамиками [1].

Нами были проведены исследования материала МД-40 для определения условий подготовки поверхности для дальнейшего нанесения химических или гальванических покрытий [2]. Финишным покрытием должно стать серебрянное, обладающее строго определёнными свойствами. Предъявленные требования: безцианистый электролит серебрения, низкая пористость и шероховатость поверхности, высокая адгезия серебрянного слоя к поверхности никеля или меди, хорошая паяемость.

Целью исследования стало исследование существующих электролитов серебрения и их свойств.

Для определения потенциалов, подходящих для электроосаждения серебра снимали циклические вольтамперограммы (скорость развертки потенциала 0,1 В). Измерения проводили на потенциостате-гальваностате PGSTAT 302N.

На полученных вольтамперограммах при потенциалах -1,25 В и -1,13 В (для дицианаргентатнороданистого и пирофосфатного электролитов) наблюдали смещения тока, характеризующее восстановление ионов серебра, дальнейшее увеличение тока объясняется реакцией выделения водорода.

На вольтамперограммах обоих электролитов наблюдалось пересечение анодных и катодных ветвей, показывающие переход от беззародышевого механизма осаждения к механизму со стадией зародышеобразования [3, 4].

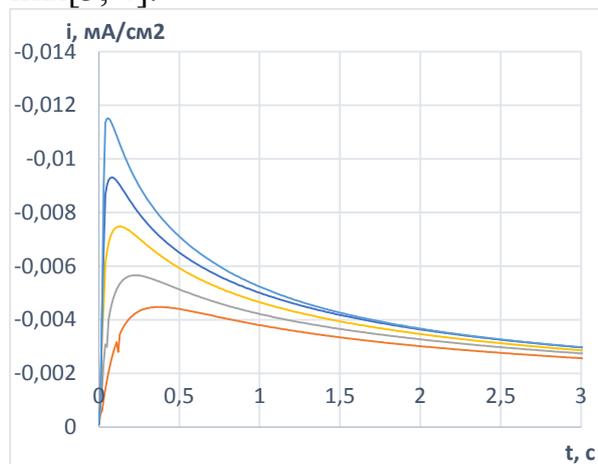


Рисунок 1- Хроноамперограммы электроосаждения серебра дицианаргентатнороданистого электролита

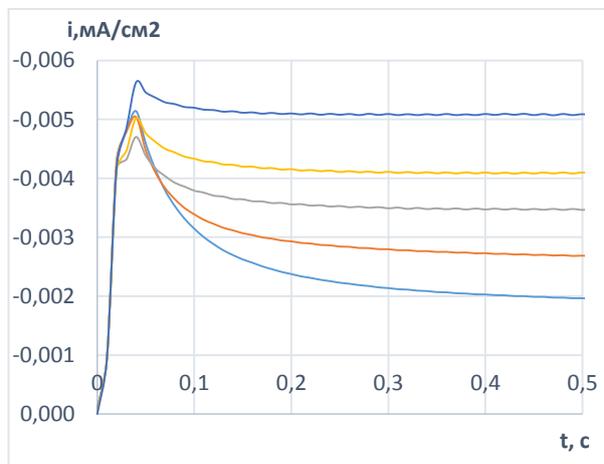


Рисунок 2- Хроноамперограммы электроосаждения серебра пирофосфатного электролита.

Для установления кинетики нуклеации и роста зародышей снимали хроноамперограммы. Кривые хроноамперограммы характеризуются максимумом катодного тока ( $i_m$ ) и последующим его снижением до предельного. Спад катодного тока объясняется исчерпанием активных центров на поверхности электрода [5]. При увеличении катодного потенциала форма транзитов меняется незначительно, на ряду с этим кривые приобретают все более выраженный пик ( $i_m$ ) и снижение соответствующего времени ( $t_m$ ).

Проводили сравнение транзитов для электролитов серебрения с теоретической моделью Шарифкера – Хиллса для мгновенной (1) и прогрессирующей (2) нуклеации. Данное сравнение показывает, каким образом происходит электроосаждение серебра и кинетику нуклеации [6].

$$\left(\frac{i}{i_m}\right)^2 = 1.9542 \left(\frac{t}{t_m}\right)^{-1} \left\{1 - \exp\left[-1.2564 \left(\frac{t}{t_m}\right)\right]\right\}^2, (1)$$

$$\left(\frac{i}{i_m}\right)^2 = 1.2254 \left(\frac{t}{t_m}\right)^{-1} \left\{1 - \exp\left[-2.3367 \left(\frac{t}{t_m}\right)\right]\right\}^2, (2)$$

Установлено, что кинетика нуклеации для дицианаргентатнороданистого электролита проходит по механизму мгновенной нуклеации. Кинетика нуклеации пирофосфатного электролита идет по механизму прогрессирующей нуклеации. Данное различие кинетики нуклеации обусловлено различной природой лигандов и различным составом электролитов.

Рассчитаны коэффициенты диффузии ионов серебра для обоих электролитов по уравнениям для мгновенной нуклеации (3) и для прогрессирующей (4):

$$D = \frac{I_m^2 t_m}{0.1629(zFc)^2}, (3)$$

$$D = \frac{I_m^2 t_m}{0.2598(zFc)^2}, (4)$$

которые составляют для дицианаргентатнороданистого электролита  $4.53 \times 10^{-6} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$  и для пиррофосфатного  $4.49 \times 10^{-6} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$  соответственно.

В ходе исследования были установлены кинетика нуклеации обоих электролитов и коэффициенты диффузии. Методами вольтамперометрии и хроноамперометрии изучены кинетические особенности гальванического серебрения, исследована кинетика зародышеобразования и роста частиц.

#### *Библиографический список*

1. <http://specmetal.ru/molibdeno-mednye-psevdosplavy>. ЗАО "Группа Компаний "СпецМеталлМастер".
2. Кузнецова С.В., Анциферова А.В., Анциферов Е.А. // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. Т. 8. № 1. С. 115-117.
3. Schindler W., Hugelmann P., Hugelmann M., et al. // J. Electroanal. Chem. 2002. V. 522. P. 49.
4. Greef R., Peat R., Peter L.M. et al. Instrumental methods in electrochemistry. Chichester: Ellis Horwood, 1985. P. 283.
5. Данилов А.И., Полукаров Ю.М. // Успехи химии. 1987. Т. 56. №7. С. 1082.
6. Scharifker B.R., Hills G. // Electrochim. Acta. 1983. V. 28. P. 879.

### **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЯ, СОКРАЩАЮЩИХ НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Бушуев К.С.<sup>1</sup>, Никаноров А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МЦБ -16-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» г. Иркутск.

<sup>2</sup> к.т.н., преподаватель кафедры «Металлургии цветных металлов» ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск.

За последние 20 лет мировое потребление алюминия увеличилось в 2,6 раза, а в России и странах СНГ - сократилось на треть. В то же время мировое потребление первичного алюминия, согласно отраслевым прогнозам, будет расти в среднем на 5-6 % ежегодно до 2020 года. Наиболее быстрые темпы роста показывают развивающиеся страны: Китай, Индия и страны Ближнего Востока.

В РФ практически не растет и среднедушевое потребление первичного

алюминия, составляющее сегодня 5,4 кг в год. Для сравнения: среднемировой уровень потребления составляет 7,5 кг в год.

Стоит отметить, что алюминий занял лидирующее положение среди конструкционных материалов и имеет хорошие перспективы в будущем. Преимущества алюминия перед другими конструкционными материалами: высокая коррозионная стойкость; легкость формования и обработки; способность к стопроцентной вторичной переработке (экономия энергии при этом составляет 95%); огнестойкость; высокая электропроводность; стойкость к низким температурам (при низких температурах он обладает даже более высокой прочностью, пластичностью и вязкостью).

Основной задачей в производстве алюминия является создание принципиально новых материалов, технологий и конструкций с учетом экологического эффекта.

В настоящее время в мировой алюминиевой промышленности уже есть такие научно-исследовательские наработки, которые могут радикально изменить технологию производства алюминия и снизить издержки производства и сократить негативное воздействие на окружающую среду. Происходят радикальные изменения в технологии алюминия и глинозема, что позволяет существенно снизить издержки производства, однако для этого необходимо ускорить модернизацию основных фондов.

Основные проблемы Российской алюминиевой промышленности это:

- значительный дефицит собственного сырья - 60 % глинозема импортируется с мирового рынка;
- низкий уровень использования вторичных ресурсов металла в производство отечественных алюминиевых сплавов и изделий;
- повышение уровня экологической безопасности.

К 2002 г. за почти 35 лет работы на ОАО " Братский алюминиевый завод" накоплено около 1 млн. т твёрдых отходов. Из трёх шламовых полей, имеющих у ОАО "БрАЗ" для складирования отходов, два практически полностью заполнены. Срок эксплуатации действующего шламового поля не превышает 3 лет. Наибольшую экологическую опасность для окружающей среды из компонентов шламовых полей представляют соединения фтора – криолит, фтористые алюминий и натрий.

Наиболее актуальная тема для обсуждения, сегодня является технология переработки красных шламов – отходов глиноземного производства, образующихся на этапе очистки бокситов.

Красный шлам содержит большое количество ценных элементов: оксидов железа, титана и других металлов. Создание технологии извлечения этих компонентов снимет необходимость дорогостоящего захоронения красного шлама и позволит создать источник дополнительной прибыли для глиноземных предприятий. Необходимо внедрять технологии, при которых будет возможно получение железа из существующих отвальных красных шламов.

К сожалению разработанные технологии часто не выходят за рамки ла-

бораторных и опытно-промышленных испытаний, что приводит к ежегодному выбрасыванию красных шламов, а это в перспективе влечет экологическую угрозу окружающей среде и прилегающим городам.

Японские и немецкие ученые рассматривают технологии, относящиеся к кислотной и щелочной обработке красного шлама с целью извлечения из него полезных компонентов.

Французские ученые запатентовали использование красного шлама для производства керамических изделий.

Наши ученые ведут исследования в направлении технологии производства глиняного кирпича на основе красного шлама, при содержании красного шлама в кирпиче до 70 %.

Таким образом, несмотря на большое количество разработок по использованию красного шлама в различных отраслях промышленности, все они не вышли не получили пока промышленного применения,

#### *Библиографический список*

1. Бизнес-система РУСАЛа [http://www.rusal.ru/development/production\\_system/](http://www.rusal.ru/development/production_system/)
2. Инновационные технологии в производстве вторичных алюминиевых сплавов <http://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-tehnologii-v-proizvodstve-vtorichnyh-alyuminievyh-splavov>
3. Коммерсант: Профиль роста [http://www.aluminas.ru/media/media-publications/kommersant\\_profile\\_of\\_growth/](http://www.aluminas.ru/media/media-publications/kommersant_profile_of_growth/)
4. Патент Японии № 20170/65 от 19.09.62.
5. Пат. Японии № 49-25118. Способ извлечения полезных компонентов из красного шлама / Сумитокмо кагаку когё К.К. Оpubл. 27.06.1974.
6. Развитие алюминиевой промышленности в мире и России <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=10888>
7. Розен, Я.Б. Переработка отходов глиноземного производства / Я.Б. Розен, Н.В. Синельщикова. - М.: ЦНИИЦЭиИ, 1981. - 52с.
8. Смирнов, М.Н. О разложении двухкальциевого силиката и переходе в раствор кремнезема при выщелачивании тонкоизмельченных алюминатных спеков / М.Н. Смирнов // Цветные металлы. - 1966. - № 1. - С. 52-60.

## ТРЕБОВАНИЯ К ГЛИНОЗЕМУ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ

А.А. Власов<sup>1</sup>, А.П. Дроженко<sup>2</sup>, Н.В. Евсеев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., с.н.с. ФГАОУ ВО «СФУ», г. Красноярск, e-mail: wlasow87@mail.ru

<sup>2</sup> студент гр. МЦм-15-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: alex\_dr93@mail.ru

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: nickevs@mail.ru

Развитие мировой алюминиевой промышленности в настоящее время ориентировано на увеличение единичной мощности электролизеров, что позволяет вести процесс с более высокими энергетическими и экономическими параметрами.

Глинозем является основным сырьевым компонентом, который растворяется в электролите и подвергается электролитическому разложению с получением алюминия и анодных газов; участвует в образовании настыли; является тепловой изоляцией ванны, находясь на корке электролита; улавливает пары фторидов; укрывает аноды, предотвращая их окисление; является адсорбентом газообразных и твердых фторидов в сухой газоочистке. В связи с совершенствованием процесса электролиза алюминия требования к качеству глинозема за последнее время значительно возросли.

Промышленные глиноземы отличаются по своим свойствам, которые определяют технологические показатели электролиза. Так, примеси  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  в глиноземе при электролизе снижают выход по току и сортность выпускаемого алюминия. Оксиды щелочных металлов ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) в процессе электролиза приводят к изменению состава электролита.

Гранулометрический состав – один из главных показателей качества глинозема. Размеры зерен изменяются в основном от 20 до 150 мкм. Высокое содержание фракции «-45 мкм» приводит к повышенному пылению, образованию осадков; создает проблемы при работе пробойников на ваннах с точечным питанием и др. Высокое содержание фракции «+150 мкм» приводит к увеличению истирания и времени растворения глинозема.

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  – наиболее устойчивая форма кристаллов глинозема, содержание которой обычно составляет от 2 до 35 %. Скорость растворения  $\alpha$ -оксида алюминия – самая медленная по сравнению с другими формами глинозема, поэтому высокое содержание  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  приводит к образованию осадков на подине электролизеров. Кроме того, электролитная корка образуется медленнее, увеличивается ее плотность и теплопроводность, что приводит к увеличению потерь тепла и фтористых соединений.

Величина удельной поверхности определяет способность глинозема адсорбировать фториды и улавливать возгоны из электролизера, поэтому этот параметр играет важную роль при использовании  $Al_2O_3$  в системах «сухих» газоочисток и в качестве укрытия на электролитной корке. Оптимальные значения по мировым требованиям находятся в диапазоне 60–90  $m^2/g$ . Более низкая удельная поверхность ухудшает адсорбционную способность глинозема, более высокая нежелательна из-за повышения гигроскопичности глинозема.

По мировым требованиям оптимальное содержание ППП в глиноземе определяется в диапазоне 0,6–0,9 %. Глинозем с низким содержанием ППП имеет низкую удельную поверхность и низкую адсорбционную способность. Более высокие значения ППП приводят к увеличению пыления глинозема при загрузке в ванну и к увеличению потерь фтора.

По величине угла естественного откоса можно косвенно оценить текучесть глинозема. Оптимальное значение угла откоса колеблется в диапазоне от 29 до 35 °. Текучесть и пыление глинозема относятся к важным его характеристикам, так как от них зависят потери сырья и эффективность транспортировки и загрузки  $Al_2O_3$  в электролизную ванну.

На практике расход  $Al_2O_3$  составляет 1907–1940 кг/т алюминия-сырца на заводах, использующих технологию ОА и ВТ, против теоретического 1888,9 кг/т Al. Потери глинозема за счет пыления и механических потерь при транспортировании могут достигать до 1% и более от общего расхода (до 50 кг/т Al).

Применение глинозема песчаного типа с содержанием фракции менее 45 мкм не более 25%,  $\alpha-Al_2O_3$  не более 10 % и углом естественного откоса 26–32° позволит уменьшить потери за счет пыления, повысить растворимость глинозема в электролите, обеспечить надежность работы систем АПГ и улучшить энергетические и экологические показатели электролиза.

Российская глиноземная промышленность ориентирована на выпуск мучнистого глинозема, что связано с технологическими особенностями переработки высококремнистого сырья. Однако, в условиях действующих производств возможно создание технологии получения крупнозернистого глинозема ВС в результате реконструкции и модернизации процесса. Актуальность такой реконструкции обусловлена возрастающими требованиями к качеству глинозема. Сейчас очевидно, что в «сухих» газоочистках также предпочтительнее использовать глинозем песчаного типа.

Питание электролизеров глиноземом и вопросы о скорости его растворения остаются важными аспектами в технологической политике. Если для питания мощных алюминиевых электролизеров будет использоваться глинозем песчаного типа с высокоразвитой поверхностной структурой, то прогнозируемый выход по току может составить > 95,5 %. Исходя из этого, особый интерес вызывает исследование поведения в условиях сверхмощного электролиза глинозема марки ВС.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ СУЛЬФИДОВ ИЗ ФЛОТАЦИОННОГО КОНЦЕНТРАТА РАСТВОРАМИ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

Ш.Р. Самихов<sup>1</sup>, Х.А. Махмудов<sup>2</sup>, О.М. Бобомуродов<sup>3</sup>, М.М. Солихов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент Институт химии им. В.И. Никитина АН РТ, г. Душанбе, e-mail: [samikhov72@mail.ru](mailto:samikhov72@mail.ru);

<sup>2</sup>аспирант Горно-металлургического института Таджикистана, г. Бустон;

<sup>3</sup>заместитель начальника химической лаборатории ООО СП "Зеравшан", Республика Таджикистан, г. Пенджикент;

<sup>4</sup>аспирант кафедры металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИ-ТУ», г.Иркутск, e-mail: [bedil1201@mail.ru](mailto:bedil1201@mail.ru)

Одним из направлений интенсификации процесса вскрытия упорных сульфидных золотосодержащих руд является способ вскрытия золотосодержащих концентратов с использованием раствора азотной кислоты с последующей регенерацией последней.

Авторами работ [1-4] для вскрытия золотосодержащих сульфидно-мышьяковых концентратов использовалась азотная кислота – эффективный окислитель минералов пирита, арсенопирита, а также сульфидов цветных металлов. В процессе разложения сульфидов азотной кислотой в раствор переходят медь, цинк, кадмий, железо, мышьяк; в нерастворимом остатке концентрируются свинец, золото, сурьма.

В настоящей работе изучено влияние различных факторов в широких интервалах изменения параметров на вскрываемость концентрата. Химический состав флотационного золото-медномышьякового концентрата месторождения Тарор, % (мас.): 40,2 г/т Au; 86,7 г/т Ag; 12,4 Cu; 1,2 As.

В табл. 1 представлены результаты опытов при различных расходах азотной кислоты, из которой видно, что при концентрации азотной кислоты 400 г/дм<sup>3</sup> наблюдается удовлетворительное вскрытие флотоконцентрата. Полученный после выщелачивания кек подвергался цианированию. Из таблицы 1 видно что, извлечение золота после азотнокислотного выщелачивания составило 90,2-97,5 %.

Нами были проведены исследования по получению меди электролизом из насыщенных растворов азотнокислотного выщелачивания. Основным компонентом электролита для рафинирования меди был раствор после азотнокислотного выщелачивания концентрата. Электролит заливался в специальную ванну при pH-2, температуре 25 °С. С помощью трансформатора марки KDF 300A/12 V был подан ток 0,5 А. В первом случае в качестве катода принимали титановую сталь. В течение времени от 2 до 6 часов медь не восстанавливалась (табл. 2). После замены титанового катода на нержавеющую сталь на катоде восстановилось 80,5% меди. Получено

7,5 гр шлама, в котором содержалось 95,6 % меди.

Таблица 1- Результаты азотнокислотного выщелачивания концентратов

№ опы-та	За-грузка HNO <sub>3</sub> г/м <sup>3</sup>	Выход кека, %	Содержание в кеке			Извлечение в кеке, %			Цианируемое золото, %	
			Au, г/т	Cu, %	As, %	Au, г/т	Cu, %	As, %	до вскры-тия	после вскрытия
1	500	45	91	0,26	0,20	99,6	2,1	2,4	42	97,5
2	450	47	82	0,29	0,22	99,2	2,4	2,8	48	97,0
3	400	50	79	0,31	0,27	99,3	2,6	2,9	51	97,2
4	350	55	73	0,32	0,29	98,6	2,9	3,3		95,7
5	300	59	68	0,37	0,32	98,9	3,0	3,8		90,2
6	200	62	64	0,40	0,36	98,8	3,2	3,9		80,5

В нашей работе кислый раствор, насыщенный ионами, подвергался очистке от мышьяка и железа путем обработки определенным количеством известкового молока и раствора сернистого натрия. Сначала в фильтрат за-гружалось порциями и перемешивалось известковое молоко, затем раствор сернистого натрия. Пульпа перемешивалась в течение 30 мин и фильтро-валась. Осадок представлял собой сложную смесь, состоящую из сульфата кальция, сульфата железа, арсената кальция, арсената железа, сульфида мышьяка, сульфида железа, гидрата окиси железа и других соединений.

Таблица 2 - Результаты получения меди электролизным методом

Объем элек-троли-та, мл	Виды катода	Время, ч	Содержание Cu, мг/л		Степень извлечения Cu, %
			до электролиза	после электролиза	
500	титановый	2	17682	17452	1,3
	титановый	4		17469	1,2
	титановый	6		17399	1,6
	стал нержав.	2		10202	42,3
	стал нержав.	4		5411	69,4
	стал нержав.	6		3589	79,7
	стал нержав.	8		3448	80,5

Результаты очистки кислого маточника приведены в табл. 3, из кото-рой видно, что содержание мышьяка в растворе можно снизить до 219 мг/л, железа - до 464 мг/л.

В условиях нашей республики применение азотнокислотной техно-логии переработки золотомышьяковых концентратов может дать значи-тельный экономический эффект и быть полезной для разработки других мышьяксо-держащих руд страны.

Таблица 3. Результаты опытов по очистке раствора (фильтрата) от железа и мышьяка

Объем фильтрата, мл	Расход раствора, мл		рН	Содержание, мг/л				Степень очистки, %	
	Ca(OH) <sub>2</sub> 17,5%	Na <sub>2</sub> S 30%		До очистки		После очистки		Fe	As
				Fe	As	Fe	As		
50	2	1,5	2,5	2321	1458	487	292	76	80
50			2,2			545	262	74	82
50			2,9			580	219	75	85
50			3,0			464	233	80	84
50			2,4			603	248	74	83

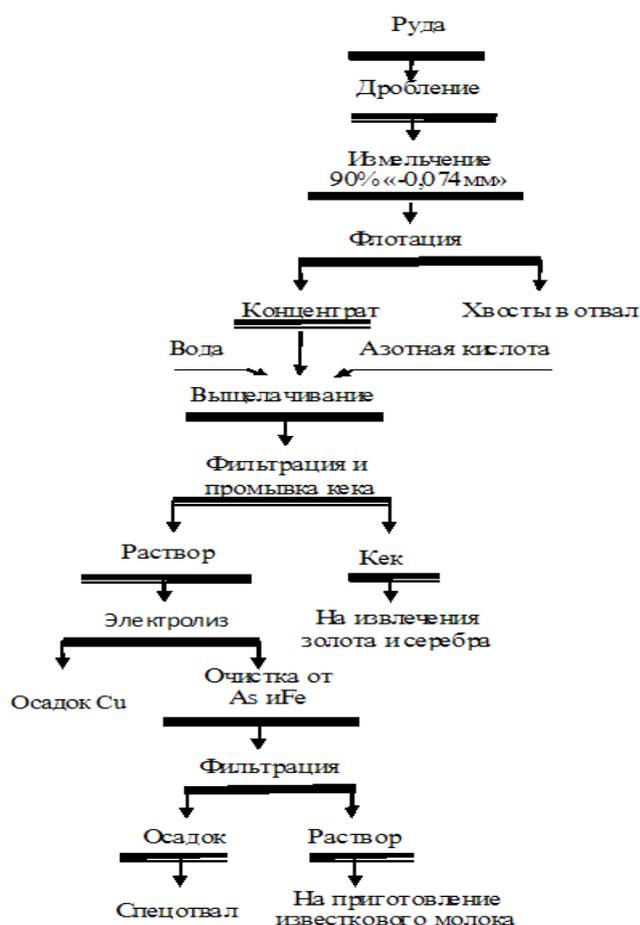


Рисунок - Принципиальная технологическая схема переработки золото-, медно-, мышьяковой руды месторождения Тарор

На основании проведенных исследований предлагается технологическая схема переработки мышьяксодержащей руды месторождения Тарор (рис.). Разработанная схема включает в себя дробление, измельчение руды до 90 % класса «-0,074мм», флотацию с получением коллективного концентрата. Концентрат направляется на безавтоклавное азотнокислотное выщелачивание. После выщелачивания концентрат фильтруется и промывается.

Кек выщелачивания, обогащенный благородными металлами, направляется на цианирование, а фильтрат на электролиз для получения меди. Раствор после электролиза направляется на утилизацию с добавлением  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Na}_2\text{S}$ . Образующийся осадок отправляется в спецотвал, а раствор может служить объектом для получения известкового молока.

*Библиографический список*

1. Успенский Я.В., Попов Е.Л., Кунбазаров А.К. и [др.] Перспективы применения гидросульфатизации азотной кислоты для вскрытия сульфидных концентратов // М: ВИЭМС – 1976. С. 17.

2. Ахмедов Х.А., Кунбазаров А.К. Гидросульфатизация золотосодержащих сульфидно-мышьяковых концентратов // В сб. «Материалы совещания по вопросам изучения эндогенных месторождений Средней Азии». – Ташкент: Изд. САИГИМСа. 1975 . С. 78–80.

3. Самихов Ш.Р., Зинченко З.А. Разработка гидрометаллургической технологии переработки сульфидно-мышьякового золотосодержащего флотоконцентрата /Матер. Республиканской конф. «Прогрессивные технологии разработки месторождений и переработки полезных ископаемых, экологические аспекты развития горнорудной промышленности». // Душанбе, 2005. С. 10–13.

4. Зинченко З.А., Самихов Ш.Р. Кислотное выщелачивание золото-мышьяковых концентратов месторождения Чоре // Золотодобыча. 2009. № 130. С. 36–39.

**СЕКЦИЯ № 2**  
**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СТОХАСТИЧЕСКИХ**  
**МОДЕЛЕЙ ПО КАНАЛУ ТЕМПЕРАТУРА В ПОВОРОТНОЙ**  
**КАМЕРЕ ТОПКИ – РАБОТА ДЫМОСОСА**

Я.В. Осипенко<sup>1</sup>, В.Г. Хапусов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутске-mail:  
[yana\\_521315@mail.ru](mailto:yana_521315@mail.ru)

<sup>3</sup> д.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов,  
 ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск e-mail: [harusov@yandex.ru](mailto:harusov@yandex.ru)

Для стабилизации температуры газа в поворотной камере в топке требуется изучить степень влияния работы дымососа на температуру.

В качестве объекта исследования был выбран газоздушный тракт котельного агрегата БКЗ-420-160. Исходной информацией для этого послужили временные ряды температуры в топке (Y) с правой стороны печи и рабочий ток дымососа (X). Данные о газоздушном тракте содержат 1800 пар последовательных наблюдений X и Y, считанных с непрерывных записей с 10-ти секундным шагом.

Чтобы проследить динамику в различных каналах связи между параметрами нужно произвести корреляционный анализ исходных данных с помощью построения взаимно-корреляционной функции (ВКФ). Сущность анализа заключается в определении степени вероятности связи между двумя случайными величинами. Ко входу X была применена процедура предварительной идентификации и оценивания [1].

Для упрощения построения модели произведено преобразование входного временного ряда в белый шум с использованием специального выбеливающего фильтра [2],

Таблица - Выборочная взаимная корреляционная функция  
 наблюдаемых рядов и преобразованных рядов

Вход	Выход	Сдвиг $k$	$r_{\alpha\beta}^{\varepsilon}(k)$							( Gr )
X	Y	0-6	.057	,005	0,003	.059	,001	0,002	0,052	.023
Вход	Выход	Сдвиг $k$	$r_{\gamma\chi}^{\varepsilon}(k)$							( Gr )
X	Y <sub>γ</sub>	0-6	.898	,896	,894	,892	.889	0.885	,88	.024

В табл. приведены выборочные взаимно-корреляционные функции для наблюдаемых рядов по каналу температуры в топке с правой стороны печи и рабочий ток дымососа  $r_{xy}(k)$  и преобразованных рядов  $r_{\alpha\beta}^*(k)$ .

Сравнение коэффициентов взаимной корреляции с их стандартными ошибками показывает, что наиболее тесно температура газа в поворотной камере печи связано со значением X- с запаздыванием 0; 30 сек. и 60 сек..

Для получения выборочных оценок наименьших квадратов и их приближенных стандартных ошибок был применен нелинейный алгоритм наименьших квадратов [3].

Окончательная динамическая стохастическая модель имеет вид:

$$(1 - \underset{\pm 0,02}{0,17} B - \underset{\pm 0,02}{0,43} B^2) \nabla Y_t = (\underset{\pm 0,006}{0,014} + \underset{\pm 0,006}{0,015} B^3 + \underset{\pm 0,006}{0,015} B^6) \nabla X_t ,$$

значение шума описывается моделью

$$((\underset{\pm 0,07}{1-0,65} B - \underset{\pm 0,05}{0,12} B^3) \nabla N_t = (\underset{\pm 0,069}{1-1,03} B + \underset{\pm 0,07}{0,35} B^3) a_t ,$$

Диагностическая проверка по автокорреляционной (P) и взаимной корреляционной функции (Q) осуществляется с помощью критерия согласия  $\chi^2$ , по формуле:

$$P = n \cdot \sum_{k=1}^K r_{aa}^2(k) \quad Q = n \cdot \sum_{k=1}^K r_{aa}^2(k)$$

Сравнение  $P=7,06$  с  $K=18$  степенями свободы с табличными значениями  $\chi^2=28,8$ , не дает оснований оспаривать адекватность модели.

Сравнение  $Q=32,4$  с табличными значениями  $\chi^2=37,7$ , для 25 степеней свободы, так же подтверждает адекватность модели.

Полученные модели могут быть использованы как для прогноза, так и для адаптивного управления газовоздушным трактом в производстве пара.

#### *Библиографический список*

1. Бокс Д, Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.:Мир, 1974. Вып.1, 2. 603с.
2. Хапусов В.Г., Баев А. В. Смешанные авторегрессионные модели и прогнозирование процесса выработки пара // Вестник ИрГТУ. 2014 №12. С 29-34.
3. Хапусов В.Г. Моделирование систем: Учеб. пособие.–Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010.- 88с.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ПУТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.В. Жмурова<sup>1</sup>, Д.В. Оконешников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [v\\_pichugina@list.ru](mailto:v_pichugina@list.ru)

<sup>2</sup> студент группы МЦм-15-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [OkoneshnikovDV@ogkg.polymetal.ru](mailto:OkoneshnikovDV@ogkg.polymetal.ru)

Одним из основных принципов построения системы управления сгустителем является обеспечение контроля ключевых технологических параметров, позволяющих фиксировать самое начало развития технологического нарушения и позволяющих своевременно и корректно реагировать, не допуская создания технологической аварийной ситуации. Одним таких ключевых параметров в процессе сгущения является уровень раздела фаз (высота осветленного слоя), при котором обеспечивается кондиционный слив сгустителя. Для контроля уровня раздела фаз предусматривается установка погружных ультразвуковых датчиков SONDAR 3000, производства фирмы IS Technologies Co. Ltd. непосредственно в сгустителе. Применение погружных датчиков позволят управлять уровнем раздела фаз и регистрировать нарушения процесса на начальной стадии. SONDAR 3000 – это высокоразвитая ультразвуковая система, обеспечивающая измерение уровня сгущенного продукта (осветленного слоя) в осветлителях, сгустителях, отстойниках и прочих подобных резервуарах при различных производствах. SONDAR 3000 состоит из микропроцессорного преобразователя, предназначенного для обработки сигналов с датчиков и формирования сигнала состояния постели сгустителя, а также бесконтактного ультразвукового датчика. Предусмотрены различные варианты комплектации, в том числе для установки на подвижный мост (ферму) сгустителя с периферическим приводом и беспроводной передачей данных, а также для установки на осветлители с вращающимся скиммером для удаления пены с поверхности. При необходимости SONDAR 3000 оборудуется водяным или воздушным устройством очистки погружного датчика.

Вторым важным параметром с точки зрения управления процессом сгущения является мутность (содержание твердого) в осветленном слое. Контроль мутности слива сгустителей для целей управления технологическим процессом осуществляется с применением системы контроля типа 5320-01, определяющих мутность на основе оптического метода. Измерение производится при помощи погружных зондов (первичных преобразователей), устанавливаемых непосредственно в точке контроля (в верхней части чаши сгустителя или желобе сбора слива сгустителя). Система типа

5320-01 состоит из погружных зондов, вторичного преобразователя и арматуры для установки и строится с применением компонентов фирмы WTW, Германия. Измерение низкой мутности, применяемое в системе, проводится на основе нефелометрического принципа, то есть регистрации величины рассеивания инфракрасного излучения твердыми частицами пульпы под углом 90 градусов. Традиционно для очистки измерительного окна погружных зондов применяется механическая очистка, представляющая собой щетку, периодически протирающую измерительное окно. Опасность использования такой системы очистки заключается в наличии в пульпе абразивных частиц, при попадании этих частиц под щетку измерительное окно может быть повреждено.

#### **Основные параметры работы технологического оборудования:**

- количество материала, подаваемого в сгуститель;
- гидростатические давления в разгрузке сгустителя;
- объемный расхода и плотность разгрузки сгустителя;
- объемный расхода слива сгустителя;
- уровень постели сгустителей (высоты осветленного слоя);
- мутность слива (содержания твердого в сливе);
- расход флокулянта/коагулянта.

#### *Библиографический список*

1. Болотаева И. И. Исследование и разработка автоматизированной системы управления процессом сгущения пульп в металлургии : дис. ... канд. техн. наук. — Владикавказ, 2006.— 127 с.

2. Колесников А. В., Шумилин Ю. П., Асадулин Р. Р., Сухобоков А.С. Влияние различных факторов на отстаивание и фильтруемость пульп цинкового производства // Цветные металлы. 2009. № 12. С. 35–37.

3. Ульрих Е. В., Шевченко Т. В., Пирогов А. Н., Мидуница Ю.С. Изучение реологических свойств флокулянтов // Химическая промышленность сегодня. 2011. № 5. С. 25-28. АООТ «ЧЭЦЗ» // Цветная металлургия. 2000. №1. С. 24–25.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОГО ОБЪЕКТА УЧЕБНОГО СТЕНДА**

Л.А. Непомилов<sup>1</sup>, А.В.Климец<sup>2</sup>, П.Р. Ершов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент группы ПСУМ-16-1, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск, e-mail: [leff94@gmail.com](mailto:leff94@gmail.com)

<sup>2</sup>студентка группы АТБ-13, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедры АПП ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск

Одноконтурная система автоматического регулирования исследуется для выбора типа автоматического регулятора и определения его настроек.

Объектом регулирования в данном случае служит эмулятор печи ЭП10. На печатной плате смонтированы встроенный нагреватель мощностью 10 Вт (ПЭВ10) и измеритель температуры (термопреобразователь сопротивления ТСМ 50М), клеммные разъемы для подключения к сети питания (220 В) и терморегулятору ТРМ, а также светодиод для индикации протекания тока через нагреватель (при включении нагрева). Печатная плата установлена в корпусе с прозрачной крышкой, предназначенном для настенного крепления или размещения на горизонтальной поверхности.

Статическая характеристика необходима для определения величины напряжения, подаваемого на нагреватель ЭП10, при котором температура в эмуляторе не будет превышать 100 °С, т.к. работа при больших напряжениях приведет к выходу его из строя. Зависимость температуры в эмуляторе от подаваемого на нагреватель напряжения представлена на рисунке 1.

Для снятия динамической характеристики было выбрано напряжение  $\approx 75$  В на нагревателе, что соответствует  $\approx 3$  В на аналоговом выходе контроллера (управление твердотельным реле).

Из кривой разгона найдены постоянная времени  $T$ , время запаздывания  $\tau$ , время регулирования  $t_p$  и коэффициент передачи объекта  $k_{об}$  и определена передаточная функция объекта.

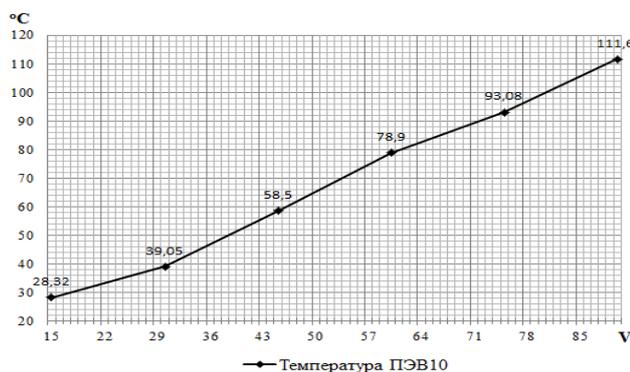


Рисунок – График зависимости температуры от напряжения

Полученная передаточная функция примет вид:

$$W_{об}(p) = \frac{22.6}{(7.14p + 1)(409.5p + 1)} e^{-12p}$$

Исходя из требований к качеству регулирования, выбран пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования (ПИД).

По экспериментальным формулам были определены настройки для аperiodического регулятора:

$$K_p = \frac{0.95}{K_{об}t/T} = 1.47; \quad T_u = 2.4 \cdot t = 28.8; \quad T_d = 0.4 \cdot t = 4.8$$

Далее при помощи пакета Simulink смоделирована одноконтурная система регулирования с блоком ПИД-регулирования.

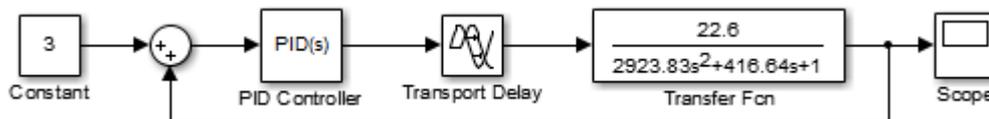


Рисунок 2 – Передаточная функция объекта с блоком ПИД-регулирования

При помощи функции Function Block Parameters блока PID Controller оптимизированы настройки ПИД-регулятора.

Proportional (P):	0.45903756462872
Integral (I):	0.0010410500773134
Derivative (D):	-2.83936559502516

Рисунок 3 – Значения, рассчитанные блоком PID Controller

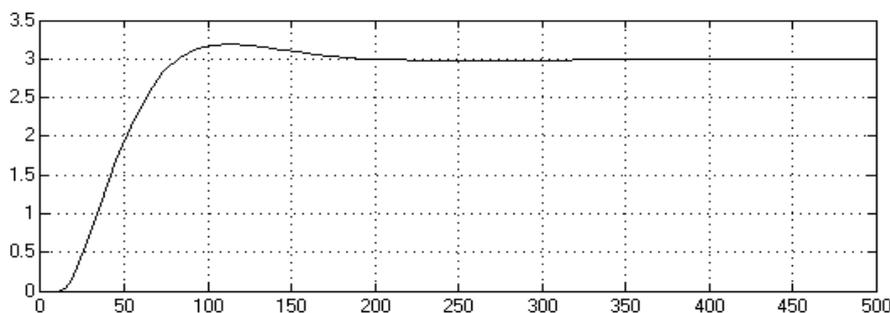


Рисунок 4 – Вид переходного процесса после оптимизации

Из графика видно, что параметры, найденные блоком PID Controller, удовлетворяют требованиям к качеству регулирования. Данная работа на учебном стенде позволит студентам получить практические навыки по определению динамических и статических характеристик реальных объектов, а так же практические навыки работы с пакетом Simulink.

#### *Библиографический список*

1. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов. М.: Металлургиздат, 1960.
2. Баев А.В., Салов В.М., Елшин В.В. Расчет линейных систем автоматического регулирования: Учеб. пособие.- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003.-71с.

## ВЫБОР СТРУКТУРЫ САУ И ТИПА ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УЧЕБНЫХ СТЕНДОВ

В.Э.Гаврищук<sup>1</sup>, И.Д.Волгарев<sup>2</sup>, П.Р. Ершов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент группы АТБ-13-1, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск,

<sup>2</sup>студент группы АТБ-13, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск,  
e-mail: IvanVolg@gmail.com

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедры АПП ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск

В химической технологии широко распространены непрерывные законы регулирования: пропорциональный, пропорционально-интегральный, пропорционально-интегрально-дифференциальный. При их выборе нужно принимать во внимание особенности объектов, которые необходимо исследовать.

Регулятор, включенный в АСР, может иметь несколько настроек, каждая из которых может изменяться в достаточно широких пределах. При этом при определенных значениях настроек система будет управлять объектом в соответствии с технологическими требованиями, при других может привести к неустойчивому состоянию. Поэтому необходимо, во-первых, определить настройки, соответствующие устойчивой системе, и, во-вторых, выбрать из них оптимальные.

Предварительным критерием выбора структуры может служить величина отношения времени запаздывания объекта и постоянной времени объекта  $\tau/T$ .

При соотношении  $\tau/T < 1$ , достаточное качество регулирования можно получить, используя одноконтурную систему регулирования. В зависимости от величины этого соотношения можно выбрать закон регулирования. При соотношении  $\tau/T < 0,2$  и при небольших изменениях нагрузки лучше использовать регулятор релейного типа, при соотношении  $\tau/T > 0,2$  лучшее качество регулирования достигается от применения регуляторов непрерывного действия, при чем с ростом соотношения необходимо применять более сложные законы (П→ПИ→ПИД).

Если  $\tau/T > 1$ , то при использовании одноконтурной системы ни один из линейных законов не обеспечит необходимого качества регулирования. В этом случае необходимо применять многоконтурные системы регулирования.

В лаборатории автоматизированных систем управления кафедры АПП ИМиХТ ИрНИТУ силами студентов и специалистов смонтирован ряд учебных стендов на базе оборудования компании ОВЕН. Для разработки методических указаний для работы со стендами необходимо было исследовать динамику тепловых объектов, установленных на них.

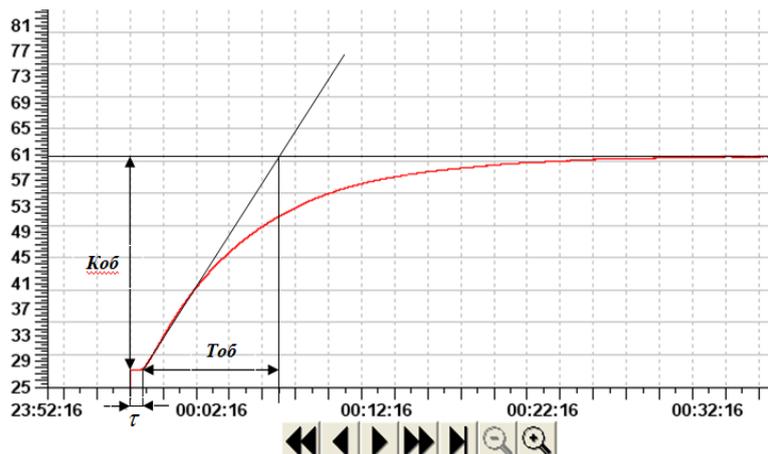


Рисунок - Кривая разгона теплового объекта

По динамическим характеристикам определялось соотношение  $\tau/T$ . Результаты представлены в табл.

Таблица

№ стенда	$\tau$	$T_{об}$	$K_{об}$	$K_p$	$T_i$	$T_d$	$\tau/T$
Стенд 3	14	492	10.6	1.26	54.6	63	0.085
Стенд 4	24	471	12.3	2.21	31.2	36	0.05
Стенд 9	26	539	16.5	1.8	33.8	39	0.05
Стенд 10	40	585	13.07	1.57	52	60	0.07

Результаты работы показывают, что одинаковых объектов не существует, даже если их изготовили по одной технологии и в каждом отдельном случае необходимы исследования их динамических характеристик. В данном случае разброс результатов в большей мере объясняется применением в качестве нагревателя на объектах резисторов ПЭВ-10, у которых отклонение от номинальных значений составляет около 20 %. В нашем случае была выбрана одноконтурная САУ и ПИД-регулятор.

#### *Библиографический список*

Беспалов А.В. Системы управления химико-технологическими процессами: учеб. издание / А.В. Беспалов, Н.И. Харитонов. – М.: Академкнига, 2007. – 690 с.

## РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО СТЕНДА «СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРОМ» НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ ОВЕН

Л.В.Шиндяева<sup>1</sup>, Д.А.Дмитриев<sup>2</sup>, П.Р. Ершов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студентка группы АТБ-13-1, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск, e-mail: Shindyaeva Lyuda@yandex.ru

<sup>2</sup>студент группы АТБ-13, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск,

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедры АПП ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск

Дисциплина «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении» предусматривает подготовку специалистов в области автоматизации промышленного производства. Одной из актуальных задач на этом пути является подготовка высококвалифицированных специалистов: бакалавров, способных внедрить новые технологии и технические средства, а также на основе научных исследований выполнить модернизацию и перевооружение производства.

Общая профессиональная и специальная подготовка бакалавра по автоматизации технологических процессов и производств в машиностроении позволяет им успешно выполнять различные виды профессиональной деятельности.

На сегодняшний день работа со специальными оборудованными стендами просто необходима, т.к. позволяет студентам практически осваивать свою профессию и непосредственно изучать средства автоматизации и управления.

Примером объекта управления для учебного стенда была выбрана технология производства строительного подвеса, реализованная на одном из заводов Алтайского края. Система управления штамповочным комплексом разработана на базе приборов ОВЕН. Станок штампует строительный подвес для сайдинга различной длины из штрипса. Оператор программирует параметры длины, через которые должны срабатывать штампы, в регистры счетчиков СИ-30. Два счетчика подключены к энкодеру, а один к фотодатчику. При включении привод начинает протягивать ленту вперед, а счетчики считывают данные с энкодера, подключённого к ведомому ролику.

Первый счетчик мы запрограммировали на большее количество импульсов от энкодера, а второй на меньшее количество импульсов (имитируется момент срабатывания штампов) и так же было запрограммировано время продолжительности остановки конвейера (время работы штампа). При достижении определенного количества импульсов на счетчике, должен сработать гидравлический штамп, а конвейер остановиться на определенное время.

Вместо штампов на стенде были использованы электрические лампы: штамп-1, штамп-2. Параметры - заданное время остановки (время остановки стабильно, точность остановки – 0,2 мм), время уставки – это время срабатывания штампов. Время работы штампов задается так же в СИ-30. После отработки последнего штампа счетчики обнуляются и процесс повторяется. Третий счетчик программируем для подсчета количества изделий, при достижении запрограммированного количества изделий происходит остановка и снова цикл работы продолжается.

Оптический датчик предназначен для подсчитывания количества изделий. Вместо изделий был использован флаг. При каждом прохождении флага датчик отправляет сигнал третьему счетчику СИ-30 который выводит на экран количество готовых изделий.

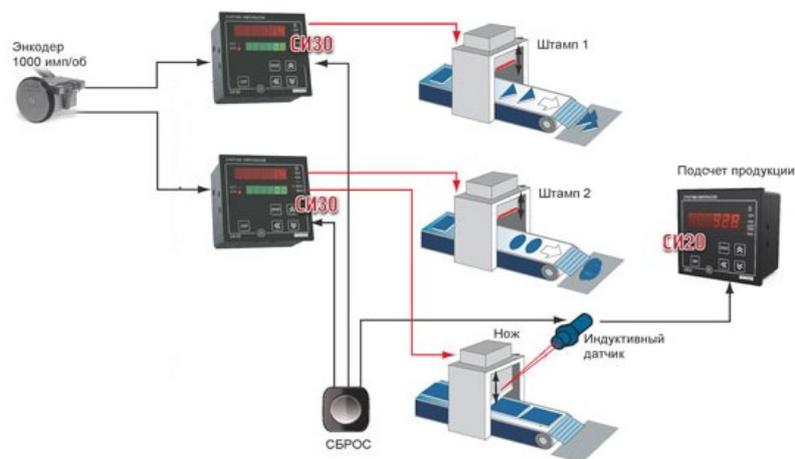


Рисунок - Технологическая схема конвейерного производства

В настоящее время функциональные возможности учебного стенда расширяются путем установки дополнительных объектов и средств автоматизации, применяемых в машиностроении.

В результате работы на стенде студенты получают навыки в проектировании и монтаже систем автоматического управления. Научатся пользоваться программным пакетом Codesys, программировать и работать с ПЛК, а также с другими средствами автоматического управления

#### *Библиографический список*

1. Тематические каталоги компаний «ОВЕН», «Сименс».
2. Шандуров Б.В. Технические средства автоматизации/ Б.В. Шандуров.
3. Шишмарев В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления: учебник/ В.Ю. Шишмарев.-4-е изд.стер.-М.: Академия, 2009.-303 с.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ САУ ТЕМПЕРАТУРЫ УЧЕБНОГО СТЕНДА

А.А.Подкорытов<sup>1</sup>, В.И. Бралгина<sup>2</sup>, П.Р.Ершов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. АСУМ-15-1 ИРНИТУ, e-mail: [podkorytov@istu.edu](mailto:podkorytov@istu.edu)

<sup>2</sup> студент гр. АТб-13-1 ИРНИТУ

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры АПП ИРНИТУ

Устройства сигнализации являются очень важной составной частью АСУ ТП и предназначены для извещения обслуживающего персонала о состоянии контролируемых объектов.

В настоящее время на кафедре АПП силами студентов и специалистов кафедры и при финансовой поддержке спонсора создается лаборатория профессиональной адаптации учащихся, занятия в которой позволят закрепить полученные теоретические знания практическими работами. Данная работа направлена на получение навыков создания систем сигнализации на базе современной техники. Задача данной работы заключается в модернизации ранее созданной системы сигнализации теплового процесса. Модернизация заключается во введении в систему элементов снятия звуковой сигнализации. В данном случае это достигается небольшой модернизацией электрической части стенда, а также изменением программы. В качестве объекта выбран эмулятор печи ЭП «ОВЕН». В качестве управляющего устройства применен контроллер марки ПЛК-154 «ОВЕН».

Структурная схема сигнализации для САУ температуры представлена на рис. 1.

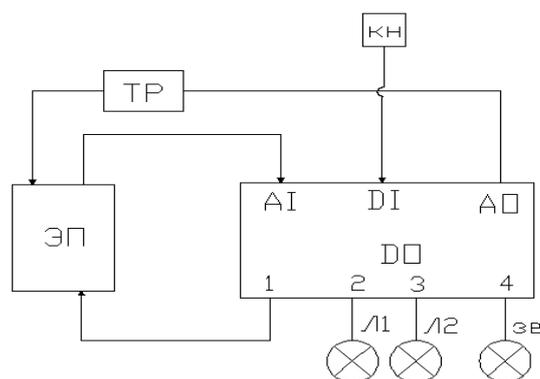


Рисунок 1- Структурная схема сигнализации САУ температуры  
ЭП – эмулятор печи; ТР – твердотельное реле. AI- аналоговый вход; AO- аналоговый выход; DI – дискретный вход; DO – дискретный выход; Л1 – лампочка 1 – рабочий режим; Л2 – лампочка 2 – аварийный режим; ЗВ- аварийный звонок; КН-кнопка снятия сигнализации на стенде.

До модернизации стенда и изменения программы при достижении аварийной температуры загоралась аварийная лампочка и одновременно

включался звуковой сигнал, отключить который было невозможно пока температура не снижалась до заданного режима. Что было не правильно с точки зрения ведения технологического процесса. После модернизации аварийная лампочка и звонок подключаются на отдельные дискретные выходы. При достижении аварийной температуры также включается аварийная лампочка и звуковой сигнал, однако теперь мы можем снять звуковой сигнал с кнопки расположенной на стенде или со SCADA-системы. При этом аварийная лампочка продолжит работать извещая оператора о том что произошла авария и необходимо применить меры по ее устранению. Также была доработана сама SCADA-система с возможностью вручную задавать температуру аварийного режима. Модернизированная SCADA-система представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – SCADA-система в среде CodeSys

Результаты проделанной работы внедрены в учебный процесс, что позволит учащимся приобретать практические навыки в создании реальных систем сигнализации технологических процессов на базе современного оборудования.

#### *Библиографический список*

1. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справ. пособие / А.С. Ключев [и др.]; под ред. А.С. Ключева.—3-е изд. стер.-М.: Альянс, 2008.-464 с.
2. «CoDeSys V3, установка и первый запуск» руководство пользователя; изд Пролог; Москва.- 2012. – 17 с.

## КОНФИГУРИРОВАНИЕ РЕГИСТРАТОРА ЭЛМЕТРО-ВиЭР104К

А.А.Фесак<sup>1</sup>, В.А. Ершов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ПСУМ -16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: LexaFesak@mail.ru

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов ИМиХТ им. С.Б. Леонова ИРНИТУ, e-mail: ershov@istu.edu

Регистратор Элметро-ВиЭР-104К предназначен для преобразования, регистрации и отображения по нескольким каналам сигналов силы и напряжения постоянного тока, сопротивления, а также преобразования сигналов термопар, термометров сопротивления и других первичных преобразователей в единицы физических величин [1]. Регистратор предназначен для замены бумажных самописцев и может выступать как система сбора и передачи данных в систему управления, т.к. имеет интерфейс с внешней сетью RS-485 (ModBus RTU) и Ethernet (Modbus/TCP).

Регистратор обеспечивает:

1. архивирование результатов преобразования входных сигналов;
2. представление результатов преобразования в цифровом виде, в виде шкал, в виде графиков и отображение на графическом дисплее;
3. отсутствие потери информации при неоднократном выключении/включении питания в произвольный момент времени во всем диапазоне питающих напряжений.

Аналоговые входы (АВ) регистратора – универсальные и индивидуально конфигурируются на преобразование сигналов.

Аналоговые входы с выходом питания (АП) рассчитаны на подключение датчиков с выходным сигналом силы постоянного тока, а также датчиков с выходным сигналом напряжения постоянного тока [2].

Каждый вход имеет встроенный изолированный преобразователь напряжения (20 В, до 25 мА) для обеспечения питания подключаемых датчиков.

Аналоговые выходы (АЕ) предназначены для преобразования заданных численных значений в аналоговый токовый сигнал и служат для подключения различных исполнительных устройств с соответствующим токовым входом.

Релейные выходы регистратора могут использоваться для управления внешним оборудованием, сигнализации и регулирования [3].

Дискретные входы (ДВ). Групповая гальваническая изоляция на каждые 4 дискретных входа. Внутренний изолированный источник, для питания вспомогательных внешних цепей (с защитой от "короткого" замыкания) – на каждую группу из 4-х входов. Цифровой фильтр для подавления дребезга.

Конфигурирование вручную с помощью клавиш регистратора осуществляется следующим образом: для входа в режим конфигурирования регистратора, находясь в режиме записи, нажмите кнопку «**Настройка**». Конфигурирование регистратора осуществляется в четырех независимых меню.

При нажатии клавиши соответствующего меню осуществляется переключение закладок конфигурации в прямом порядке. Для выбора предыдущей закладки следует нажать клавишу «**Выход**» и не отпуская нажать клавишу соответствующего меню.

Для выхода из режима конфигурирования следует кратковременно нажать клавишу «**Выход**». Изменения в конфигурации вступают в силу после выхода из режима конфигурирования. При изменении конфигурации входов начинается новая лента. Данные конфигурации сохраняются в энергонезависимой памяти.

Каждое меню состоит из нескольких закладок, на которых расположены поля для ввода или выбора данных. Выбор поля осуществляется с помощью клавиши «**Таб**», выбирается следующее поле, для выбора предыдущего поля следует нажать клавишу «**Выход**» и не отпуская нажать клавишу «**Таб**». По окончании ввода параметров нажать клавишу «**Выход**» закроется окно с настройками, регистратор готов к работе.

Таким образом, изучение и отработка теоретических и практических навыков конфигурирования на стенде с регистратором Элметро-ВиЭР104К позволяет освоить систему сбора и передачи данных в систему управления, через интерфейс с внешней сетью RS-485 (ModBus RTU) и Ethernet (Modbus/TCP).

#### *Библиографический список*

1. Сажин С.Г. Средства автоматического контроля технологических параметров: Учебник - СПб.: Лань, 2014.- 368 с.
2. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств М.: Машиностроение, 2008.-423 с.
3. Руководство по эксплуатации ЭЛМЕТРО-ВиЭР-104К [http://www.elmetro.ru/netcat\\_files/userfiles/ViER/Rukovodstvo\\_ekpluatatsii\\_ViER\\_M57\\_v.47.](http://www.elmetro.ru/netcat_files/userfiles/ViER/Rukovodstvo_ekpluatatsii_ViER_M57_v.47.) -97с.

# КОНТРОЛЬ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ

А.А. Носенко<sup>1</sup>, С.И. Половнева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры автоматизации производственных процессов, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [a.nosenko@istu.edu](mailto:a.nosenko@istu.edu)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов, ИМХТ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [polovneva\\_si@mail.ru](mailto:polovneva_si@mail.ru)

Угольные сорбенты используются в различных отраслях промышленности, таких как химическая, металлургическая, пищевая, фармацевтическая, а также применяются для очистки газов, воздуха, сточных вод и создания водоочистных фильтров, устанавливаемых в бассейнах, аквариумах и других сооружениях [1]. При производстве активного угля в качестве исходного сырья используется древесина, древесный уголь, каменные угли, бурые угли, антрацит, нефтепродукты, торф, скорлупа различных разновидностей орехов, скорлупа семян, например подсолнечника. Помимо основного сырья для производства активных углей, используют отходы текстильного материала на основе полиакрилонитрила сополимеров акрилонитрила, которые содержат азот и отличаются высокой адсорбционной способностью. Активированный уголь в большей степени содержит в себе основной элемент углерод, в меньшей степени водород, кислород и азот. Активные угли интенсивно применяются при переработки золотосодержащих руд. Результаты удельной поверхности по методу БЭТ некоторых углеродных сорбентов после активации представлены в табл.

Таблица - Удельная поверхность исходного сырья при его активации

п/п	Наименование	Удельная поверхность по методу БЭТ м <sup>2</sup> /г
1	Торфяной кокс	до 1600
2	Скорлупа лесного ореха	до 1500
3	Поливинилхлоридные отходы	до 1300

Существует два метода активирования углей: химическое активирование и газовое активирование.

При обработке углесодержащих веществ окисляющими газами в определенных условиях, часть углерода выгорает и удаляется с летучими компонентами, за счёт этого внутренняя поверхность увеличивается. В качестве окисляющих агентов используется воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода. Получение углей парогазовым активированием состоит из нескольких этапов. При дроблении уголь измельчают до необходимой фракции. Затем производится размол, то есть разделение твердых тел на отдельные части. Далее происходит смешение-пластификация, грануляция,

сушка. Следующий этап карбонизация - процесс представляет собой термическую обработку исходного сырья в безвоздушных инертных условиях с использованием высокой температуры. После карбонизации получается карбонизат, это уголь, имеющий очень незначительные адсорбционные качества по причине маленькой внутренней площади и мелких габаритов. Карбонизат подлежит активации, чтобы в результате добиться особенной структуры вещества и значительного увеличения адсорбции. Парогазовая активация осуществляется исключительно в условиях строгого контроля, при температуре от 800 до 1000 °С. Взаимодействие пара с углеродом ускоряется посредством оксидов и карбонатов щелочных металлов. Учитывая этот факт, их в малых дозах периодически добавляют к исходному материалу. Заключительные этапы методом газового активирования рассев и упаковка. Получение активного угля из карбонизата с помощью парогазовой методики дает возможность получить адсорбент с площадью поверхности до 1500 м<sup>2</sup>/г. На выходе важно получить активный уголь с необходимой удельной поверхностью для того или иного процесса [2].

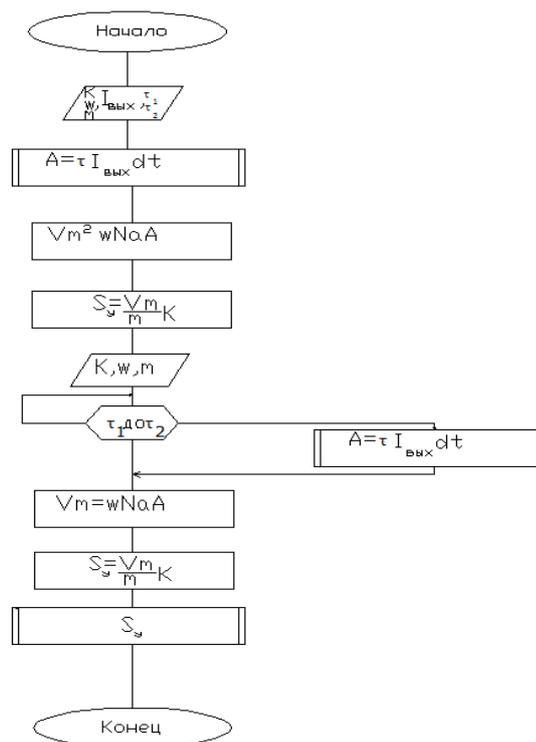


Рисунок - Алгоритм расчета программы удельной поверхности активных углей

Для точного и экспрессного анализа разработан анализатор для определения удельной поверхности сорбентов, который в ходе и после завершения технологического процесса позволяет измерить их поверхность. Создан алгоритм программы для расчета удельной поверхности (рис.), по которому производятся измерения с учетом всех параметров влияющих на процесс адсорбции и десорбции. Удельная поверхность угольного сор-

бента в процессе производства может дать информацию о ходе производственного процесса. Отслеживание состояния удельной поверхности сорбента, предоставляет возможность сократить расходы фабрик на производство активированных углей, корректирую параметры процесса, температуру, давления и др., а также производить более эффективную подборку параметров для создания высококачественных сорбентов с необходимыми свойствами.

#### *Библиографический список*

1. Леонов С.Б., Домрачева В.А., Ёлшин В.В., Дударев В.И., Ознобихин Л.М., Рандин О.И. Углеродные сорбенты на основе ископаемых углей. Монография / Иркутск, 2000.
2. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. Пер. с нем. - Л.: Химия, 1984. - 216 с.

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТОВ**

Т.Р. Мамин<sup>1</sup>, С.И. Половнева<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> магистрант гр. ПСУМ-16, ИМиХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [timurmamin@yandex.ru](mailto:timurmamin@yandex.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры АПП ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [polovneva\\_si@mail.ru](mailto:polovneva_si@mail.ru)

При выполнении проектов, конструкторской документации и систем АСУ ТП, разрабатывается большое количество документов, которые согласно статье 14, Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» № 102-ФЗ, должны подвергаться метрологической экспертизе [1]

На кафедре АПП ведется подготовка по магистерской программе «Проектирование систем управления технологическими процессами и оборудования», одной из компетенций которой, является знание и умения в области метрологической экспертизы проектов.

Под метрологической экспертизой следует понимать анализ и оценку технических решений по выбору метода измерения и выбора параметров подлежащих измерению, установлению соответствия пределов общей погрешности действующим нормам точности с обеспечением допустимого уровня автоматизации и оценка методов и средств дальнейшей поверки [2].

Метрологическая экспертиза проводится с целью анализа и оценки правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Объекты метрологической экспертизы представлены в таблице.

Законом предусмотрено проведение:

- обязательной метрологической экспертизы содержащихся в проектах нормативных правовых актов Российской Федерации требований к измерениям, стандартным образцам и средствам измерений (проводят государственные научные метрологические институты);
- обязательной метрологической экспертизы стандартов, продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и других объектов проводится также в порядке и случаях, предусмотренных законодательством Российской Федерации (проводят аккредитованные в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели);
- в добровольном порядке метрологической экспертизы продукции, проектной, конструкторской, технологической документации и других объектов, в отношении которых законодательством Российской Федерации не предусмотрена обязательная метрологическая экспертиза. Она проводится метрологической службой предприятия.

Наиболее часто встречающиеся несоответствия в метрологической экспертизе являются нарушения требования стандартов таблиц, основных надписей чертежей, ГОСТ 2.104-2006 ЕСКД, ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 2.601-2006, ГОСТ 2.610-2006.

При выполнении объектов АСУ ТП, необходимо учитывать требование новых стандартов СПДС ГОСТ 21.408-2013, ГОСТ Р21.208-2013. Метрологические характеристики средств измерения, должны излагаться в полном объеме в соответствии РМГ 29-2013 и ГОСТ 8.417-2002 и ГОСТ Р 21.1101-2013.

Таблица - Объекты метрологической экспертизы

Объекты МЭ	Нормативные документы, подлежащие МЭ								
	ТЗ	Отчеты НИР	Протоколы	ТУ, СТ.	РЭ	П. и МИ	ТР.	ТК	ПД
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Рациональность номенклатурных параметров	+	+		+	+	+	+	+	+
2. Оптимальность требований к точности измерений	+	+		+		+	+		+
3. Объективность и полнота требований к точности средств измерений	+	+		+	+	+	+		+
4. Соответствие фактической точности измерений требуемой		+	+	+		+	+	+	
5. Контроль пригодности конструкции (системы)		+			+				+
6. Возможность эффективного метрологического обслуживания средств измерений	+	+		+	+		+		+
7. Рациональность выбранных методик и средств измерений		+	+	+	+	+	+	+	+
8. Применение вычислительной техники		+		+		+	+		+
9. Метрологические термины, наименования измеряемых величин и обозначения их единиц	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Метрологическая экспертиза позволяет оптимизировать проекты, а значит повысить качество производства.

#### *Библиографический список*

1. Федеральный закон от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ
2. РМГ 63-2003 «ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации»
3. ГОСТ 2.104-2006 ЕСКД
4. ГОСТ 2.105-95
5. ГОСТ 2.601-2006, ГОСТ 2.610-2006.
6. СПДС ГОСТ 21.408-2013
7. ГОСТ Р 21.208-2013
8. РМГ 29-2013
9. ГОСТ 8.417-2002
10. ГОСТ Р 21.1101-2013.

### **ПРОЕКТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ АСУ ТП**

О.З.Турсунов<sup>1</sup>, В.М.Салов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ПСУМ-16-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: aspireone121@gmail.com

<sup>2</sup> к.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: salvo@istu.edu

Создание качественных и надежных управляющих комплексов осуществляется на протяжении всего времени применения компьютеров и компьютеризированных систем. Основная цель их создания направлена на получение своевременных и достоверных информационных ресурсов. Тенденция их осуществления выражается в создании автоматизированных систем, которые встроены в уникальные объекты технологических процессов. Автоматизация объектов информационно-технологического комплекса является важнейшей и неотъемлемой частью совершенствования технологической и технической базы систем управления [1].

Применение средств автоматизации и вычислительной техники достигло таких масштабов, что возник вопрос о создании надежной крупномасштабной системы автоматизации на основе применения компьютерных систем, которая позволит снизить риск принятия неверных решений до минимума. В настоящее время основные положения по надежности автоматизированных систем управления и основные показатели надежности, которые характеризуют состав и порядок обеспечения надежности, опре-

деляются ГОСТ 24.701-86 «Надежность автоматизированных систем управления. Все показатели ГОСТ 24.701-86 соответствуют международным требованиям, предъявляемые стандартом Международной электротехнической комиссией IEC 61508 200 год. Существуют следующие требования, предъявляемые к проектной оценке надежности АСУ ТП:

- надежность качественного функционирования и реализации рабочей системы;

- опасность возникновения аварийных ситуаций в системе управления.

Для того, чтобы определять и распознавать базовые значения частоты и интенсивности отказов системы большинство производителей оборудования систем безопасности АСУ ТП применяют рекомендации справочника Министерства обороны США ( MIL-HDBK-217F, 2 December 1991). Согласно представленному справочнику существует два основных метода для проектной системы надежности.

1. Первый способ заключается в оценки оборудования и техники в стрессовой ситуации и последующем описании его характеристик надежности. Корректировка осуществляется по перепадам температур и давлений, по сложности устройства и ряду других эксплуатационных факторов.

2. Второй метод осуществляется на ранних этапах создания оборудования, т.е. оценка производится отдельных новых компонентов, модулей и узлов.

Что касается непосредственно расчета надежности АСУ ТП, то согласно выше приведенным методам нужно предполагать, что первая методика касается расчета АСУ ТП в целом, что в общем виде можно представить следующим образом:

$$\lambda_{ACD} = \lambda_{DSC} + \lambda_{ESD} + \lambda_{PSS}, \text{ где}$$

ACD – АСУ ТП в целом;

DSC – РСУ;

ESD - ПАЗ

PSS – система бесперебойного электропитания. [2]

Также существует выражение для готовности АСУ ТП, которое имеет вид:

$$A_{ACD} = A_{DSC} + A_{ESD} + A_{PSS} . [2]$$

Дальнейший расчет надежности сводится к декомпозиции каждой подсистемы в отдельности и вычислению её характеристик, исходя из различных условий и конкретных конфигураций. Существуют и другие различные системы проектной оценки надежности АСУ ТП такие, как метод логических блок-диаграмм, анализ дерева отказов, марковский анализ.

Все перечисленные методы и подходы к оценке надежности систем должны применяться грамотно и по назначению, иначе их применение может оказаться совершенно бесполезным. Иногда возникают ситуации, когда великолепно действующее оборудование с точки зрения теоретического расчета, может оказаться непригодным и наоборот.

### *Библиографический список*

1. Абдулханова, М. Технологии производства материалов и изделий и автоматизация технологических процессов на предприятиях дорожного строительства: Учебное пособие / М. Абдулханова, В.А. Воробьев. - М.: Солон-пресс, 2014. - 564 с.

2. Федоров Ю.Н., Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. – М.: Инфа-Инженерия, 2008. – 928 стр., 12 ил.

## **РАЗНОВИДНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

М.К. Гузин<sup>1</sup>, Н.П. Коновалов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. АТбп-16-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: maks-guzin@mail.ru

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, зав. кафедры физики ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: knp@istu.edu

В наше время стало актуально использовать SCADA системы. SCADA системы предназначены для контроля огромного количества датчиков (от 1 до 10000, иногда на расстоянии в тысячи километров друг от друга), сбор информации с датчиков и отображение этой информации в едином диспетчерском центре. Диспетчер или пользователь могут не только управлять датчиками, но и контролировать саму систему. К таким объектам относятся нефтепроводы, газопроводы, водопроводы, электрораспределительные подстанции, водозаборы, дизель-генераторные пункты и т.д.

Задачи SCADA систем [1]:

- обработка информации в реальном времени;
- отображение информации на экране монитора в понятной для человека форме;
- ведение базы данных в реальном времени с технологической информацией;
- передача данных на верхние уровни;
- остановка работы в связи с авариями или повреждениями системы.

На сегодняшний день существует множество видов SCADA систем. Например: Trace mode, Круг-2000, Саргон, Master SCADA Все эти системы выполняют одну работу в разных сферах промышленности. Проблема заключается в том, что не существует на сегодняшний день универсальной системы управления, которое смогло бы полностью внедриться и управлять технологическими процессами. К примеру, SCADA системы:

- Круг-2000 применяется только в промышленных отраслях
- Саргон используется в узкой специализации (на не больших предприятиях)
- Пакет «Master SCADA» зарекомендовал себя как SCADA-система, не уступающая по заявленным характеристикам своим конкурентам и при этом обладающая очень низкой ценой. Чаще применяется для автоматизации небольших АСУ ТП.
- Недавно созданная программа «Trace Mode» смогла успешно внедриться в крупные предприятия.

Из всех существующих программ, Trace Mode [2] подходит лучше всех к единой системы управления.

Характеристика Trace Mode как единая система:

1. У этой программы есть возможность комплексной автоматизации управления как технологическими, так и бизнес-процессами производства.
2. Особое место отводится системам, использующим свободно-программируемые контроллеры
3. Использование технологии автопостроения и подход к разработке проекта распределенной системы автоматизации как единого проекта.

Остальные системы специализированы только к одной отрасли, и они не могут внедряться в другие промышленные объекты [3]. На рис. можно видеть предпочтения выбора Scada систем у производителя.

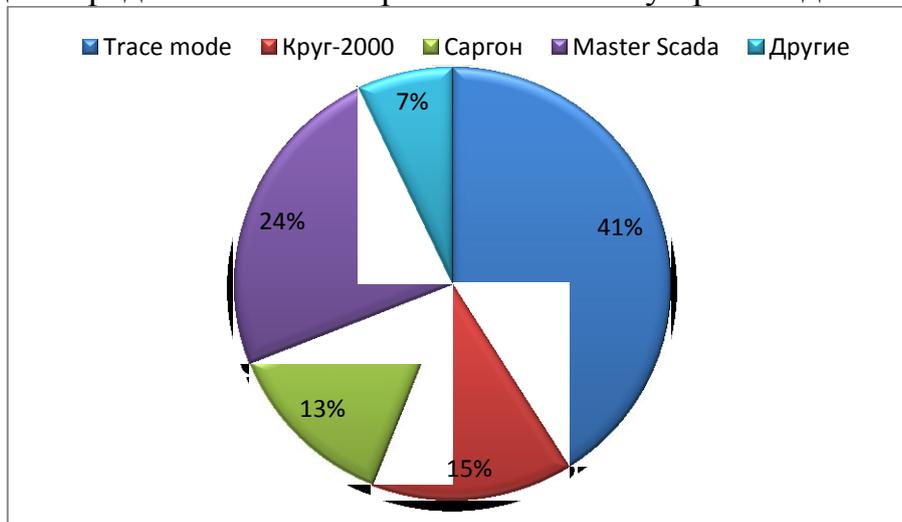


Рисунок - Диаграмма предпочтений Scada систем.

Таким образом, самая приближенная SCADA система к единой системе управления – это Trace Mode. Именно эта система может внедряться в единую систему управления, программироваться на разных языках, очень удобна и проста в управлении.

### *Библиографический список*

1. Андреев, Е.Б. SCADA-системы: взгляд изнутри / Е.Б. Андреев, Н.А. Куцевич, О.В. Синенко // М.: Издательство «РТСофт», 2004. – 176 с.: ил.
2. Пьявченко Т.А. Автоматизированные информационно-управляющие системы с применением SCADA-системы TRACE MODE. Москва, Краснодар: Лань, 2015
3. Барашко О. Г., Овсянников А. В ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ. Минск : УО «Белорусский государственный технологический университет», 2006.

## **РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ ИОНОСЕЛЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ**

А.Е. Овсюков<sup>1</sup>, А.А. Колодин<sup>2</sup>, Н.И. Блинов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> программист деканата ЗВФ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [a-ovsyukov@rambler.ru](mailto:a-ovsyukov@rambler.ru)

<sup>2</sup> ст. преподаватель кафедры АПП ИМХТ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [kolodin@istu.edu](mailto:kolodin@istu.edu)

<sup>3</sup> аспирант кафедры АПП ИМХТ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [bni-1993@mail.ru](mailto:bni-1993@mail.ru)

В настоящее время применение ионоселективных электродов (ИСЭ) занимает достаточно широкую нишу в органическом [1] и неорганическом [2] анализе, а также в других областях. Использование данных электродов позволяет определять концентрации различных компонентов в достаточно широком диапазоне. Основное практическое достоинство анализа с использованием ИСЭ — простота и экспрессность (быстрота проведения анализа). Одним немаловажным преимуществом данного метода является возможность измерения концентрации искомого компонента непосредственно в измеряемой среде, в большинстве случаев не требующей специальной подготовки. В то же время малое время отклика потенциала, высокая чувствительность и селективность электродов создают предпосылки для их использования в автоматизированных системах контроля [3].

В данной работе предлагается состав и структура стенда позволяющего исследовать влияние основных факторов и получить различные характеристики устройств на базе ионоселективных измерительных электродов (ИСЭ). С точки зрения условий измерения, ИСЭ является достаточно сложным объектом. Такие факторы как температура, щелочность, наличие посторонних мешающих веществ, гидродинамический режим могут ока-

зывать существенное влияние на измерения [4]. Основными характеристиками ИСЭ являются [1]: время отклика, коэффициент селективности, температурный коэффициент, дрейф и время жизни ионоселективного электрода.

Разрабатываемый стенд в первую очередь предназначен для оценки влияния перечисленных выше факторов, а так же получения характеристик системы измерения на базе ИСЭ.

В состав исследовательского стенда должно входить лабораторное оснащение и программно-технический комплекс, включающий в себя набор модулей ввода выводов для получения информации с датчиков и управления оборудованием и автоматизированное рабочее место (АРМ) для наглядного отображения и обработки полученной информации. Набор датчиков должен обеспечивать измерение таких параметров как температура, кислотность среды, а так же специализированный ИСЭ для измерения концентрации иона конкретного типа. В перечень требуемого оборудования так же входит электромагнитная мешалка с подогревом, для исследования различных гидродинамических режимов и влияния температуры на измерения с помощью ИСЭ; измерительные ячейки различных типов; электромагнитные клапана для возможности дозирования различных компонентов в измеряемую среду. Рабочее место представляет собой персональный компьютер с программным комплексом, который может быть представлен в виде SCADA-системы, которая реализует следующие функции: визуализацию, архивацию, автоматическую обработку результатов измерений, предоставление результатов измерения в удобном виде, управление оборудованием. Совокупность показанных решений представляет законченный комплекс по изучению ИСЭ.

В качестве аппаратных технических средств микропроцессорного управления может быть применена продукция НПО «ОВЕН», в качестве SCADA-системы – интегрированная среда разработки Adastra TRACE MODE и лабораторное оборудование отечественного производства.

#### *Библиографический список*

1. Применение ион-селективных мембранных электродов в органическом анализе Г. Байулеску, В Кошофрец издательство «МИР» Москва 1980 Перевод с английского канл. хим. наук В. В. Соболя с 230
2. Ионселективные электроды.-Л.: Химия, 1980.-240с., ил. Никольский Б.П.. Матерова Е.А. (Методы аналитической химии)
3. Ионметрия в неорганическом анализе. Л.А. Демина, Н.Б. Краснова, Б.С. Юрищева, М.С. Чупахин.-М.: Химия, 1991. 192 с. ISBN 5-7245-0576-2
4. Ионселективные электроды: пер.с чешск.-М.: Мир, 1989.-272 с., ил. Корята И., Штулик К.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АППАРАТА НЕПРЕРЫВНОЙ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА ИЗ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ

И.Д.Волгарев<sup>1</sup>, С.А.Мельник<sup>2</sup>, В.В. Елшин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент группы АТб-13-1, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

<sup>2</sup>программист кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [melniksergey@istu.edu](mailto:melniksergey@istu.edu)

<sup>3</sup>д.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [dean\\_zvf@istu.edu](mailto:dean_zvf@istu.edu)

В настоящее время большинство зарубежных и отечественных золотоизвлекательных фабрик работает по схеме "уголь в пульпе", а также с извлечением золота углеродными сорбентами из растворов. Тенденция к расширению масштабов использования такой технологии все более нарастает.

Проведённый анализ способов десорбции благородных металлов из активированных углей показал [1], что наиболее перспективной для повышения производительности и автоматизации процесса десорбции является схема непрерывного технологического процесса с противотоком жидкой и твердой фаз рабочей среды в условиях повышенных температур и давлений [2, 3].

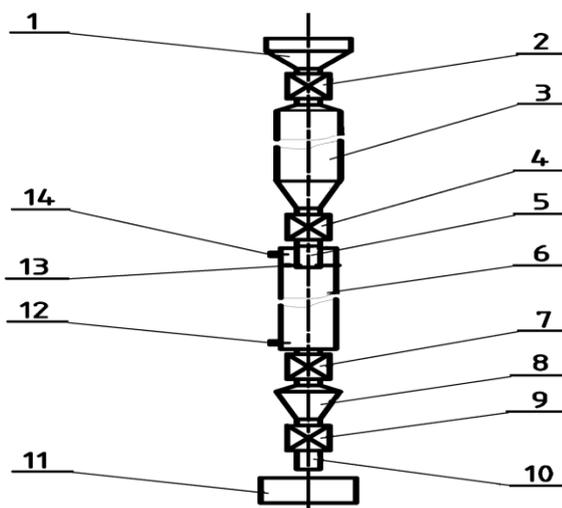


Рисунок - Схема аппарата непрерывной десорбции с увеличенным объемом шлюзового дозатора

Сотрудниками кафедры «Автоматизация производственных процессов» ИРНИТУ была предложена новая конструкция аппарата для обработки зернистого материала жидкостью. Аппарат по патенту [4] позволяет производить непрерывную обработку зернистых материалов в условиях повышенных температур и давления. Из бункера 1 зернистый материал через открытый клапан 2 (при закрытом клапане 4) заполняет шлюз 3, после

чего клапан 2 закрывается. При открытом клапане 4 зернистый материал из шлюза 3 через патрубок 5 поступает в рабочую камеру, дополняя её до уровня нижнего конца патрубка 5. В рабочей камере 6 непрерывно реализуется технологический процесс обработки зернистого материала. Из рабочей камеры зернистый материал при открытом клапане 7 и закрытом клапане 9 поступает в шлюз 8. После наполнения шлюза 8 клапан 7 закрывается. Выгрузка зернистого материала из шлюза 8 производится при открытии клапана 9 через патрубок 10 в бак 11. При очередной загрузке разгрузочного шлюза (при открытом клапане 4) из загрузочного шлюза в рабочую камеру поступает очередная порция зернистого материала. В результате синхронного перемещения зернистого материала через шлюзы 2 и 8 обеспечивается движение зернистого материала через рабочую камеру 6 сверху вниз. При этом через патрубок 12 в рабочую камеру постоянно подаётся рабочая жидкость. Через патрубок 14 рабочая жидкость из рабочей камеры 6 выводится. В результате в рабочей камере реализуется необходимый процесс обработки в противотоке зернистого материала и жидкости.

Отличительной особенностью нового аппарата является увеличенный объем загрузочного шлюза 3, вследствие чего на порядок сокращается число срабатываний запорной арматуры и повышается надежность системы дозирования.

В настоящее время установка проходит испытания на ЗИФ ГОК «Безрезняковский» АО «Южуралзолото Группа Компаний» (г. Челябинск).

#### *Библиографический список*

1. Ёлшин В.В., Мельник С.А. Современное состояние и перспективы развития технологии десорбции золота из насыщенных активированных углей./ *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 2014. № 9-10. с. 114-118.
2. Пат. № 2222620. Российская Федерация. Способ извлечения благородных металлов / А.Ф. Ращенко, С.С. Гудков, Ю.Е. Емельянов, В.В. Елшин, Е.Д. Мусин, Е.В. Галюков. Опубл. 27.01.2004.
3. Пат. № 2489508, Российская Федерация. Линия извлечения благородных металлов из цианистых растворов и/или пульп по угольно-сорбционной технологии / В.В. Ёлшин, А.Ф. Ращенко, В.П. Кольцов, А.А. Колодин, А.Е. Овсяков. Опубл. 10.08.2013.
4. Пат. №168135, Российская федерация. Аппарат для обработки зернистого материала жидкостью / Ёлшин В.В., Мельник С.А., Кольцов В.П., Колодин А.А. Опубл. 18.01.2017. Бюл. №3.

# РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТОМ НЕПРЕРЫВНОЙ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА ИЗ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ

Д.А.Дмитриев<sup>1</sup>, С.А.Мельник<sup>2</sup>, В.В. Елшин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент группы АТб-13-1, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

<sup>2</sup>программист кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [melniksergey@istu.edu](mailto:melniksergey@istu.edu)

<sup>3</sup>д.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [dean\\_zvf@istu.edu](mailto:dean_zvf@istu.edu)

Широкое распространение в промышленности получили десорберы, работающие по дискретной схеме с прерыванием технологического процесса, вызванной необходимостью загрузки аппарата, поднятия в нём давления и температуры и разгрузки после окончания технологического процесса [1–4]. Проблема сокращения времени технологического процесса в производственных условиях за счёт автоматизации и организации непрерывности процесса десорбции до настоящего не решена. Цель работы заключается в создании алгоритма автоматизированной системы управления аппаратом непрерывной десорбции золота из активных углей.

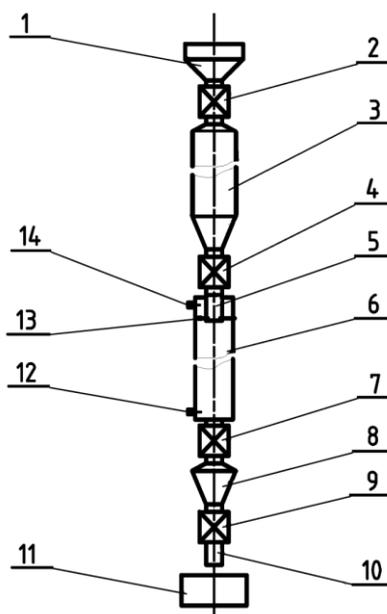


Рисунок 1- Схема аппарата непрерывной десорбции с увеличенным объемом шлюзового дозатора

Аппарат непрерывной десорбции золота из активных углей показанный на рис. 1 [4] работает следующим образом: из бункера 1 зернистый материал через открытый клапан 2 (при закрытом клапане 4, заполняет шлюз 3, после чего клапан 2 закрывается. При открытии клапана 4 зернистый материал из шлюза 3 через патрубок 5 поступает в рабочую камеру, дополняя её до уровня нижнего конца патрубка.

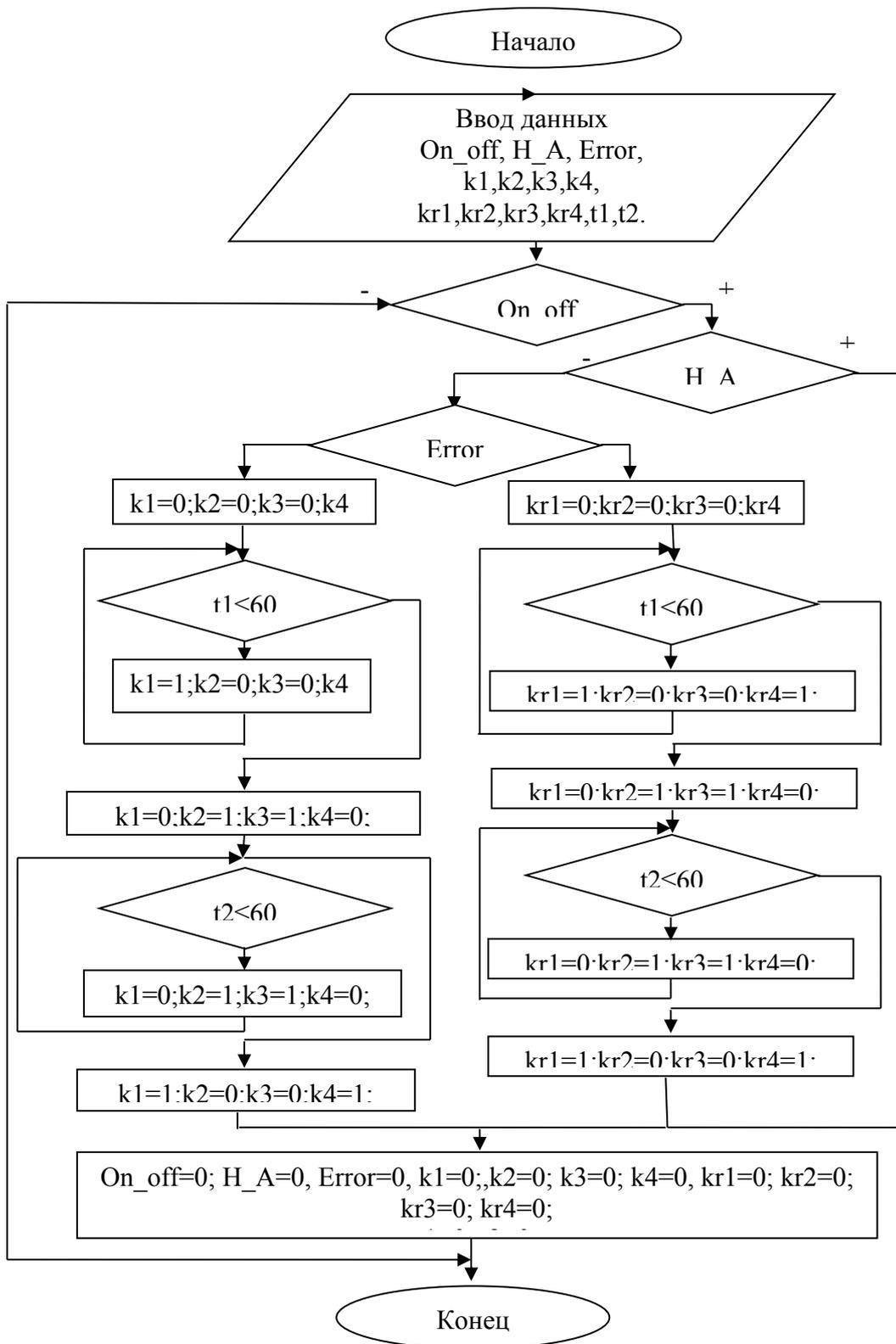


Рисунок 2 - Блок-схема алгоритма программы для управления клапанами: On\_off - кнопка включения процесса, H\_A - кнопка включения ручного режима работы, Error - имитация ошибки, k1 - управление клапаном 1, k2 - управление клапаном 2, k3- управление клапаном 3, k4- управление клапа-

ном 4, kr1-управление резервным клапаном 1, kr2 - управление резервным клапаном 2, kr3 - управление резервным клапаном 3, kr4 - управление резервным клапаном 4, t1-время загрузки и выгрузки угля в основную или резервную линию, t2 - время загрузки и выгрузки из аппарата.

В результате работы был получен алгоритм управления аппарата непрерывной десорбции, который может быть использован при разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом.

#### *Библиографический список*

1. Ёлшин В.В., Мельник С.А. Современное состояние и перспективы развития технологии десорбции золота из насыщенных активированных углей./ Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2014. № 9-10. с. 114-118.

2. Пат. № 2222620. Российская Федерация. Способ извлечения благородных металлов / А.Ф. Ращенко, С.С. Гудков, Ю.Е. Емельянов, В.В. Елшин, Е.Д. Мусин, Е.В. Галюков. Оpubл. 27.01.2004.

3. Пат. № 2489508, Российская Федерация. Линия извлечения благородных металлов из цианистых растворов и/или пульп по угольно-сорбционной технологии / В.В. Ёлшин, А.Ф. Ращенко, В.П. Кольцов, А.А. Колодин, А.Е. Овсяков. Оpubл. 10.08.2013.

4. Пат. №168135, Российская федерация. Аппарат для обработки зернистого материала жидкостью / Ёлшин В.В., Мельник С.А., Кольцов В.П., Колодин А.А. Оpubл. 18.01.2017. Бюл. №3.

**УДК: 669.213.3**

### **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ НЕПРЕРЫВНОЙ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА ИЗ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ**

А.В. Костромин<sup>1</sup>, С.А. Мельник<sup>2</sup>, В.В.Елшин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент гр. АТБ-13-1-2, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [aleks051094@mail.ru](mailto:aleks051094@mail.ru)

<sup>2</sup>программист кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [melniksergey@istu.edu](mailto:melniksergey@istu.edu)

<sup>3</sup>д.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [dean\\_zvf@istu.edu](mailto:dean_zvf@istu.edu)

Интенсификация технологических процессов является важнейшим направлением модернизации производств, влияющим на повышение эффективности работы оборудования и как следствие увеличение показателей экономической эффективности производств. В условиях горно-

обогащительных комбинатов (ГОК), в зависимости от характеристики исходной золотосодержащей руды, технологические схемы извлечения благородных металлов содержат ряд основных процессов. Одним из основных гидрометаллургических процессов в золотодобывающей промышленности является десорбция благородных металлов.

Технологическая линия цепей и аппаратов установки непрерывной десорбции представлена на рис. 1. Элюент из емкости приготовления (ЕПЭ) насосом (Н) под давлением 1 МПа. подается в теплообменное устройство (ТУ), где он забирает часть тепла у прошедшего процесс десорбции богатого элюата. Затем элюент догревается в индукционном нагревателе (ИН) и высокоэффективном индукционном нагревателе (ВИН) до температуры 170-175 °С и отправляется в противоточный аппарат непрерывной десорбции (АНД). После проведения процесса десорбции богатый элюат с концентрацией золота 1200-1500 мг/л охлаждается в ТУ и холодильнике (Х), поступает в емкость товарного элюата, откуда часть элюата отправляется на реконцентрацию угля в бункер дозатор (БД), а часть в электролизер (ЭР) для осаждения золота. Бедный элюат после БД отправляется в сорбционную колонну (СК), а затем в процесс сорбции золота из пульпы.

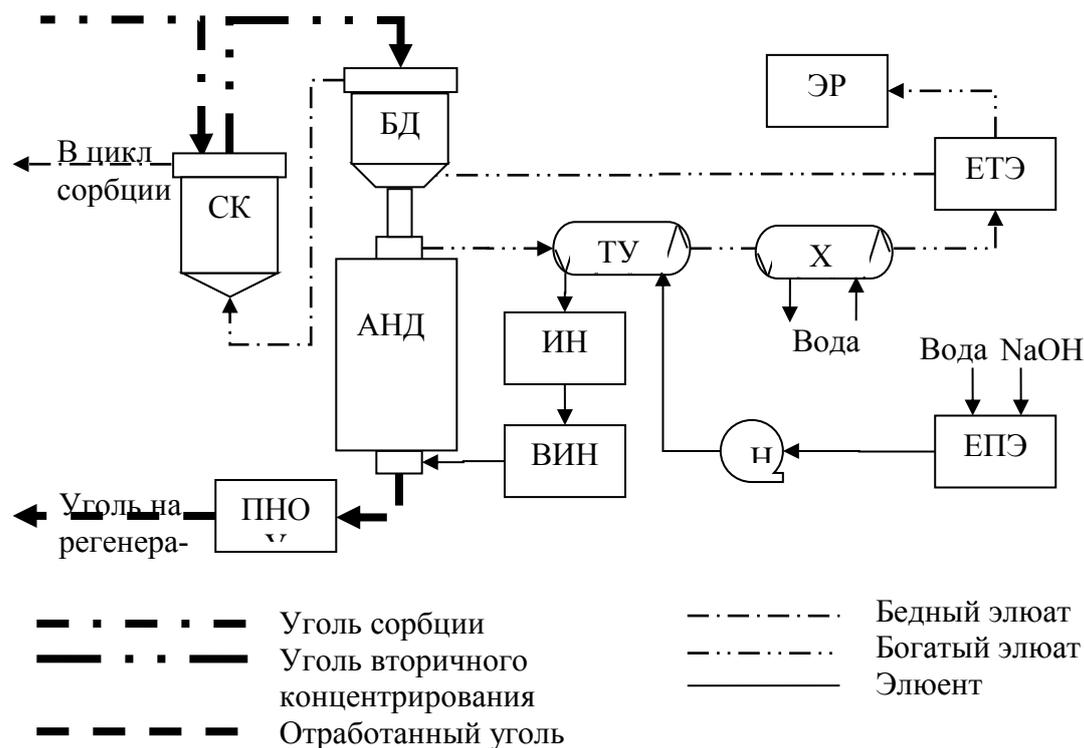


Рисунок 1. Технологическая схема цепей и аппаратов линии непрерывной десорбции

Уголь после сорбции золота из пульпы подается в СК для донасыщения ( порядка 1÷5 мг/г золота), затем в БД на операцию рецикла. В результате уголь насыщается по золоту до максимальной своей емкости в 20-30

мг/г за счет сорбции из богатых элюатов. После БД насыщенный золотом активированный уголь загружается через верхнюю загрузочную емкость в АНД для проведения процесса десорбции. Десорбированный уголь с остаточной емкостью золота менее 0.15 мг/г, через дозатор АНД (включающий емкость выгрузки угля, приемник угля, запорную арматуру), непрерывно выгружается в приемник накопитель отработанного угля (ПНОУ) и далее по трубопроводу транспортировки отработанного угля отправляется на регенерацию.

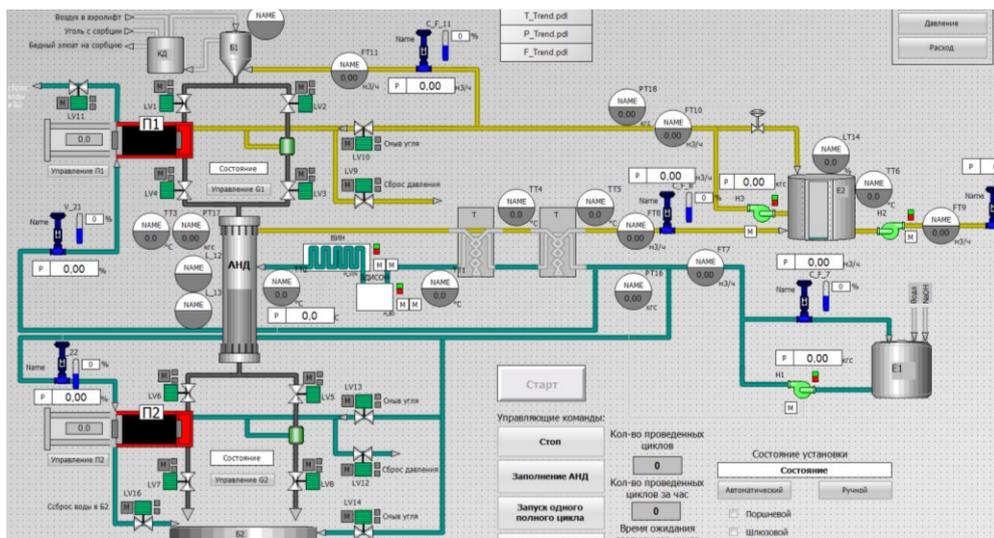


Рисунок 2. Мнемосхема управления установкой непрерывной десорбции

Автоматизированная система управления установкой содержит панель оператора (рис.2), которая позволяет:

- в широком диапазоне изменять производительность (количество загружаемого активного угля и расход элюента в десорбер) в зависимости от исходной концентрации золота на углях;
- выбирать линию дозирования (шлюзы/гидроцилиндры);
- выбирать режим управления (ручной/автоматический);
- устанавливать и поддерживать заданный температурный режим процесса десорбции;
- регулировать давление в линии десорбции;
- контролировать и поддерживать уровень загрузки АНД углем;
- регулировать потоки элюата направляемого на электролиз и в цикл реконцентрации.

Линия извлечения благородных металлов из активированных углей модернизирована системой автоматизированного управления процессом, путем внедрения устройства измерения концентрации благородных металлов в элюате для снижения энергозатрат и сокращения времени проведения процесса десорбции, а так же селективного отбора богатых растворов.

### *Библиографический список*

1. Елшин В.В., С.А. Мельник. - Современное состояние и перспективы развития технологии десорбции золота из насыщенных активированных углей. // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Австрия. №9-10, 2014. 114 – 118с.

2. Елшин В.В., С.А. Мельник, Блинов Н.И. - Разработка системы управления макетом установки непрерывной десорбции золота из активных углей./ Южно-сибирский научный вестник Россия №2, май 2014г. 35 – 37с.

3. Пат. № 155026, Российская Федерация. Аппарат для обработки зернистого материала жидкостью/ В.В. Ёлшин, В.П. Кольцов, С.А. Мельник. Опубл. 20.09.2015.

## **РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА**

А.А. Колодин<sup>1</sup>, Д.А. Бегунов<sup>2</sup>, М.А. Лазуткин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>старший преподаватель кафедры АПП ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» г.Иркутск, e-mail: [kolodin@istu.edu](mailto:kolodin@istu.edu)

<sup>2</sup>студент гр. АТбп-16-1, ИМХТ, ФБПОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск, e-mail: [danielabegunov@gmail.ru](mailto:danielabegunov@gmail.ru)

<sup>3</sup>студент гр. АТбп-16-1, ИМХТ, ФБПОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск, e-mail: [zxgladx@mail.ru](mailto:zxgladx@mail.ru)

Контролирование содержания кислорода в воде остаётся важной проблемой. Сегодня, большинство отраслей науки и промышленности, таких, как черная и цветная металлургия, химическая и нефтехимическая промышленность, сельское хозяйство, медицина и фармацевтика, биология, рыбная и пищевая промышленность, различные службы охраны окружающей среды, заинтересованы в применении различных средств измерения содержания кислорода в воде. Знание о содержании кислорода в воде необходимо для применения практически любой биотехнологии. Содержание растворенного кислорода необходимо определять как в чистых природных водах, промышленных водах на производствах, так и в сточных водах после их очистки. Важную роль кислород играет в процессах растворения благородных металлов в процессе выщелачивания [3].

На кафедре АПП под руководством д.т.н., профессора Ёлшина В.В. проводятся исследования влияния растворенного кислорода на степень вскрытия золотосодержащих руд [2]. В данной работе ставится задача разработать конструкцию и изготовить ячейку обескислороживания, а также

сравнить метрологические характеристики двух датчиков растворенного кислорода. Для этого разработана схема и выполнен монтаж ячейки обезкислораживания (рис.1).

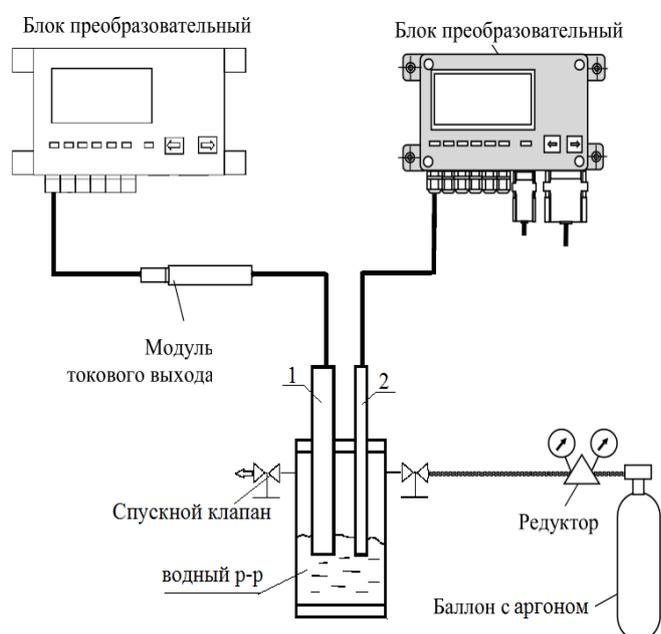


Рис 1. Схема экспериментальной установки.

1-датчик рК модели МАРК-404;  
2-датчик рК модели multi 340i, WTW

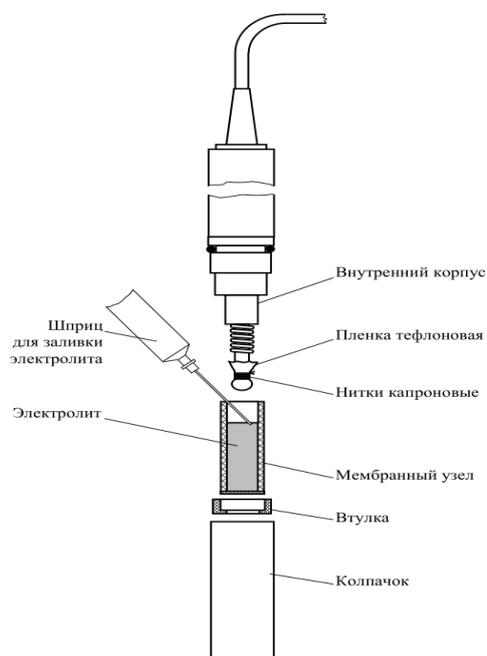


Рис 2. Устр-во датчика

По принципу действия анализатор растворенного кислорода является полиграфической ячейкой закрытого типа (рис.2). При увеличении содержания кислорода в воде или пульпе увеличивается диффузионный ток. Электроды погружены в раствор электролита, который отделен от анализируемой среды мембраной, проницаемой для кислорода, но непроницаемой для жидкости и паров воды. Кислород из анализируемой среды диффундирует через мембрану в тонкий слой электролита между катодом и мембраной и вступает в электрохимическую реакцию на поверхности катода, который поляризуется внешним напряжением, приложенным между электродами. При этом в датчике вырабатывается сигнал постоянного тока, который при фиксированной температуре пропорционален концентрации растворенного кислорода в анализируемой среде.

Изготовленная «Ячейка обезкислораживания» имеет такую конструкцию, которая позволяет использовать унифицированные элементы, входящие в состав изделия. Ячейка состоит из стандартных выпускаемых нашей промышленностью элементов (труба и крышки из оргстекла, краны, клей).

Конструкция ячейки показала свою хорошую работоспособность. При помощи «Ячейки обезкислораживания» можно добиваться получения различной концентрации растворенного кислорода в жидкости, создавая

условия, приближенные к процессам выщелачивания благородных металлов, проводить исследования по растворению, получение мат. модели растворения.

#### *Библиографический список*

1. Половнева С.И., Ёлшин В.В., Захаров А.М. Анализаторы состава и качества: учеб. пособие.- Иркутск: изд-во ИрГТУ 2014.

2. Особенности цианистого выщелачивания золота в цикле измельчения Ёлшин В.В., Колодин А.А., Овсяков А.Е., Мальчихин А.С. Металлург. 2013. №7. С. 86-90. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20183619>

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА**

Т.А. Джалилов<sup>1</sup>, Л.М.Ознобихин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. АТбп-14-1, ИРНИТУ

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов, ИРНИТУ, e-mail: [Leonid\\_Oz@mail.ru](mailto:Leonid_Oz@mail.ru)

В процессе коксования углеродного вещества возможно образование пиролитического углерода, осаждение которого на поверхности нефтяного кокса обеспечивает резкое уменьшение газопроницаемости. При этом вследствие «закупорки» микропор существенно уменьшается сорбционная способность и химическая активность нефтяного кокса.

Установлено, что химическую активность нефтяного кокса по отношению к монооксиду кремния можно увеличить обработкой углеродного материала в активирующей атмосфере парогазовой смеси, содержащей диоксид углерода, перегретый водяной пар с добавкой карбоната щелочного металла. Установлено также, что оптимальное соотношение расходов активирующих агентов  $H_2O:CO_2$  равно 3. Уменьшение соотношения приводит к необходимости повышения температуры и времени активации, а увеличение соотношения вызывает рост потерь углеродного вещества нефтяного кокса вследствие обгара.

Удельную поверхность образцов определяли методом низкотемпературной десорбции аргона с использованием принципов газовой хроматографии. Повышение химической активности нефтекокса оценивали по изменению его реакционной способности к газообразному монооксиду кремния при 1850 °С по методике, заключающейся в определении количества карбида кремния, образующегося в единицу времени.

Были испытаны варианты восстановительных смесей, включающих нефтяной кокс, прошедший активацию в токе парогазовой смеси с различными добавками в перегретый водяной пар карбоната натрия.

Полученные результаты исследований показали, что повышение количества добавки карбоната натрия в перегретый водяной пар вызывает повышение выхода летучих веществ, который после активации находили путем определения остаточного содержания летучих веществ по убыли массы нефтекокса при прокаливании навески без доступа воздуха при 1200 °С.

Добавка карбоната натрия в перегретый водяной пар способствует разрушению пленки пироуглерода и смолистых веществ, покрывающих частицы нефтяного кокса, в то же время препятствуя осаждению этих соединений на поверхности нефтекокса в процессе отгонки летучих веществ. Уменьшение толщины пассивирующей пленки, покрывающей частицы нефтяного кокса, способствует повышению выхода летучих веществ, увеличению удельной поверхности и микропористости кокса. Однако, при этом наблюдается возрастание потерь нефтяного кокса по причине обгара и снижения механической прочности. Разрушение пассивирующей пленки происходит вследствие интенсификации процесса хемосорбции кислорода и диоксида углерода на поверхности нефтяного кокса, обусловленной положительным влиянием поверхностно-активного по отношению к углероду иона натрия – продукта диссоциации карбоната.

Наряду с повышением удельной поверхности причиной роста реакционной способности нефтяного кокса по отношению к газообразному монооксиду кремния является, как было указано выше, возрастание количества активных центров на поверхности нефтяного кокса, роль которых играют комплексные соединения типа  $C_xO_y$ . Такие промежуточные комплексные прочно удерживаются на поверхности нефтяного кокса посредством гибридных ковалентных связей и играют роль активных центров в повышении реакционной способности углеродного материала по отношению к газообразному монооксиду кремния. Их образованию способствует вводимая добавка карбоната натрия, являющегося донором дополнительной углерод-кислородной группы.

Оптимальным количеством вводимого в перегретый водяной пар карбоната натрия является 0,5–3,0 масс. %. Добавки карбоната натрия менее 0,5 масс. % не вызывают существенного улучшения свойств нефтяного кокса, а расход  $Na_2CO_3$  более 3,0 масс. % приводит лишь к увеличению потерь углеродного материала в связи с обгаром, при этом насыщение поверхности кокса активными центрами сопровождается прекращением роста реакционной способности по отношению к газообразному монооксиду кремния. Оптимальные условия получения углеродного материала обеспечивают высокую механическую прочность, а в случае применения данного

материала в качестве восстановителя при выплавке кремния наибольшее извлечение ценного компонента.

Исследование влияния температуры и продолжительности активации в токе  $\text{CO}_2$  и водяного пара с добавкой  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  на свойства нефтяного кокса подтвердили справедливость выбора оптимальных параметров этой операции (температура – 800 °С; продолжительность – 2,5 мин.).

Полученные данные показали, что при повышении температуры и продолжительности активации, несмотря на существенное увеличение удельной поверхности нефтяного кокса, реакционная способность возрастает незначительно. При этом увеличивается обгар нефтекокса и снижается его механическая прочность.

В ходе экспериментов установлено, что введение в парогазовую смесь карбонатов других щелочных металлов, например,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , также способствует достижению заданной цели. Введение в качестве добавки в парогазовую смесь карбоната натрия для модифицирования нефтяного кокса объясняется его широкой доступностью.

#### *Библиографический список*

А.с. 1450363 СССР, МКИ С 10 В 55/00, 33/02, № 4079614/31-26;

Способ получения углеродсодержащего материала для выплавки кремния; Б.И.Зельберг, Л.М.Ознобихин и др.

**СЕКЦИЯ № 3**  
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИИ**  
**И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**СОПОЛИМЕРИЗАЦИЯ ДИВИНИЛСУЛЬФИДА**  
**С 4-ВИНИЛПИРИДИНОМ**

Д.Б. Багинов<sup>1</sup>, В.В. Баяндин<sup>2</sup>, Н.С. Шаглаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>аспирант, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: baginov.denis@mail.ru

<sup>2</sup>к.х.н., доцент кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: bayandinvv@yandex.ru

<sup>3</sup>д.х.н., профессор кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [ShaglaevaNS@yandex.ru](mailto:ShaglaevaNS@yandex.ru)

Исследование радикальной сополимеризации винильных производных азотсодержащих мономеров с дивинилсульфидом представляет интерес не только для изучения влияния гетероатомов (азота и серы) на реакционную способность мономеров и на механизм образования макромолекул, но и для получения на их основе высокомолекулярных соединений с комплексом ценных свойств. В качестве объектов исследования среди многочисленных азотсодержащих мономеров был выбран 4-винилпиридин [1].

Радикальной сополимеризацией 4-винилпиридина с дивинилсульфидом получены нерастворимые сополимеры (табл.), которые обладают высокой механической прочностью и осмотической стабильностью, устойчивы к действию солей, разбавленных кислот и щелочей (кипячение образцов в течение 6 часов в 10 % растворах соляной, серной, азотной кислот и едкого натра не вызывает деструкцию каркаса).

Таблица - Сополимеризация 4-винилпиридина ( $M_1$ ) с дивинилсульфидом( $M_2$ )

№	Состав исходной смеси, мол. %		Содержание, вес. %		Состав сополимера, мол. %		Выход, %
	$M_1$	$M_2$	N	S	$m_1$	$m_2$	
1	20.00	80.00	5.01	23.42	32.11	67.89	65
2	40.10	59.90	7.90	16.83	54.36	45.64	75
3	50.00	50.00	8.78	12.67	61.23	38.77	92
4	80.00	20.00	12.11	3.45	88.75	11.25	80

Процесс протекает с высоким выходом при любых соотношениях мономерной смеси. Количество звеньев дивинилсульфида в сополимере уменьшается с понижением его концентрации в исходной смеси. С увеличением содержания дивинилсульфида в исходной смеси наблюдается

уменьшение выхода целевого продукта. Образование нерастворимого продукта и данные ИК-спектроскопии указывают на то, что сополимеризация дивинилсульфида с 4-винилпиридином протекает с раскрытием двух двойных связей в дивинилсульфиде, что приводит к образованию сополимера, имеющего сетчатую структуру.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 16-08-00198) и Государственного задания (№ 4.5867.2017/БЧ).

#### *Библиографический список*

1. Семчиков Ю. Д. Высокомолекулярные соединения/ Ю. Д. Семчиков. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 222 с

### **КРЕКИНГ ГАЗОЙЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ КОМПОНЕНТА КАТАЛИЗАТОРА ЗОЛЫ УНОСА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Д.В. Медведев<sup>1</sup>, А.С. Черненко<sup>2</sup>, Н.К. Андреева<sup>3</sup>, Е.Н. Рудых<sup>4</sup>,  
С.А. Уханев<sup>5</sup>, Н.С. Филиппов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: dima93medvedev@mail.ru

<sup>2</sup> студент гр. ХТТб-13, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск

<sup>3</sup> магистрант гр. ХТм-16 кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск

<sup>4</sup> магистрант гр. ХТм-15 кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск

<sup>5</sup> студент гр. ХТб-15, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск

В настоящее время в стране накоплено огромное количество отходов теплоэлектростанций – золы уноса, образующейся в результате сжигания твердого топлива. Зола уноса представляет собой тонкодисперсный материал широкого гранулометрического состава, который улавливают электрофильтрами из дымовых газов. Размер частиц золы уноса колеблется от 3-5 до 100-150 мкм, количество более крупных частиц обычно не превышает 10-15 %. Количество такого материала, вырабатываемого на теплоэлектростанциях очень велико, что негативно сказывается на окружающей среде [1].

Используемые технологии утилизации золы уноса не потребляют весь вырабатываемый объем золы, основная её часть поступает на полигоны для захоронения [2].

На сегодняшний день зола уноса нашла широкое применение в различных областях промышленности:

- в качестве сырья для до извлечения ценных компонентов (Fe, Al, Si, Au, и др) [3, 4];
- в качестве сорбентов для очистки сточных вод [5];
- в качестве наполнителя в производстве композиционных материалов [6].

Зола уноса по физическому и фазово-минералогическому составу близка к природному минеральному сырью, используемому для получения катализаторов крекинга (алюмосиликаты), поэтому исследование возможности её применения в качестве компонента катализаторов крекинга углеводородов является перспективным направлением исследования.

Крекинг сырья проводили в лабораторном проточном трубчатом реакторе при температуре 500 °С и объёмной скорости подачи сырья 2 ч<sup>-1</sup>. В качестве сырья использовали вакуумный газойль ( $T_{\text{кипения}}=360-550$  °С), полученный вакуумной перегонкой мазута смеси западно-сибирских нефтей.

В процессе крекинга использовали два катализатора: катализатор 1 (базовый) и катализатор 2 (модифицированный золой уноса ТЭЦ 9, ПАО Иркутскэнерго).

Катализатор 1 получали смешением монтморилонитовой глины, активированной серной кислотой по методикам [7] и оксида кремния (песка), добавляемого в количестве 20 % для снижения каталитической активности полученной глины.

Катализатор 2 получен смешением катализатора 1 и золы уноса 30 %.

Результаты опытов приведены в табл.

Таблица – Продукты процесса крекинга

Продукты	Крекинг на катализатор 1	Крекинг на катализатор 2
Фракция н.к.-180 °С, % об.	1	4,5
Фракция 180-360 °С, % об.	0,3	1,5
Фракция >360° С, % об.	98,7	94

Таким образом крекинг на модифицированном катализаторе 2 протекает более глубоко, чем на катализаторе 1, т.е зола уноса обладает каталитической активностью в процессах крекинга углеводородов.

#### *Библиографический список*

1. Цельковский Ю.К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС // Новое в российской энергетике. Энергоиздат. 2000. N 2. С. 22–31.
2. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола уноса – техногенное сырье. М.: ООО ИПЦ «Маска», 2009. 320 с.
3. Сорбция тяжелых металлов зольными уносами от сжигания угля на ТЭС// Химия тв. топлива, 1990. – № 5. – С. 23–27.

4. Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В., Делицин Л.М. Золашлаковые отходы тепловых электростанций – ценный сырьевой ресурс для черной и цветной металлургии // Экология промышленного производства. 2003. N. 2. С. 45-52.

5. Казакова Е.В. Фукс С.Л. Хитрин С.В. Использование смесей отходов биохимического и энергетического производств для получения новых сорбентов // Вестник мировой науки. Серия: Психология. 2016. N 1. С.4-12.

6. Зелинская Е.В., Толмачева Н.А., Барахтенко В.В., Бурдонов А.Е., Сутурина Е. О., Федотова Н.В. Головнина А.В. Пронин С.А. Использование золы уноса в качестве наполнителя при производстве композиционных материалов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. 108 с.

7. Мухленов И.П., Добкина Е.И., Дерюкина В.И., Сороко В.Е. / Технология катализаторов / -Л.: Химия, 1979. – 328 с.

## **КРЕКИНГ МАЗУТА НА АМОΡФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗОЛОЙ УНОСА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Д.В. Медведев<sup>1</sup>, Н.К. Андреева<sup>2</sup>, А.С. Черненко<sup>3</sup>, Н.Н. Самодинская<sup>4</sup>,  
А.Д. Птичкин<sup>5</sup>, Р.А. Брекалов<sup>5</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск, e-mail: dima93medvedev@mail.ru

<sup>2</sup> магистрант гр. ХТм-16 кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск

<sup>3</sup> студент гр. ХТТб-13, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск

<sup>4</sup> магистрант гр. ХТм-15 кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск

<sup>5</sup> студент гр. ХТбп-15, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск

При эксплуатации теплоэлектростанций, работающих на твердом топливе, неизбежно образуется значительное количество отходов улавливаемых электрофильтрами из дымовых газов – золы уноса, количество которой настолько велико, что оказывает весьма ощутимое негативное воздействие на экологическую обстановку вблизи полигонов для её захоронения [1, 2].

Несмотря на то, что зола уноса находит широкое применение в различных областях промышленности (в качестве сырья для доизвлечения ценных веществ (Fe, Al, Si, Au, и др) [3]; в качестве сорбентов для очистки сточных вод [4]; в качестве наполнителя в производстве композиционных материалов [5]), этого недостаточно для утилизации всего накопившегося

ранее и образующегося в настоящий момент объема золы. Поэтому поиск новых возможностей её переработки является актуальной задачей.

Исследование состава и структуры золы уноса показали, что она представляет собой тонкодисперсный материал широкого гранулометрического состава с размером частиц колеблющемся от 3-5 до 100-150 мкм. Количество более крупных частиц обычно не превышает 10-15 %. По физическому и фазово-минералогическому составу зола близка к природному минеральному сырью, используемому для получения катализаторов крекинга – алюмосиликатам. Поэтому исследование возможности её применения в качестве компонента катализаторов крекинга углеводородного сырья на наш взгляд является перспективной задачей.

Крекинг сырья проводили в лабораторном проточном трубчатом реакторе при температуре 500 °С и объёмной скорости подачи сырья 1 ч<sup>-1</sup>. В качестве сырья использовался мазут смеси западно-сибирских нефтей.

Крекинг мазута проводили на двух катализаторах: катализатор 1 (вый) и катализатор 2 (модифицированный золой уноса ТЭЦ 9, ПАО Иркутскэнерго).

Катализатор 1 получали смешением монтморилонитовой активированной глины и оксида кремния (песок) 20 %. Активацию глины проводили по методике [6], для снижения каталитической активности, полученной глины, добавили песок.

Катализатор 2 получали смешением катализатора 1 и золы уноса 30 %.

Пастообразная основа катализаторов формировалась в гранулы при помощи экструдера. Гранулы представляют собой цилиндры диаметром 3 мм и длиной 6-10 мм.

Результаты опытов приведены в табл.

Таблица – Продукты процесса крекинга

Продукты	Крекинг на катализатор 1	Крекинг на катализатор 2
Фракция н.к.-180 °С, % об.	1,5	7
Фракция 180-360° С, % об.	1	4
Фракция >360° С, % об.	97,5	89

Из полученных данных (табл.) видно, что катализатор, имеющий в своём составе золу уноса, обладает более высокой каталитической активностью, что подтверждает перспективность исследований в данном направлении.

#### *Библиографический список*

1. Цельковский Ю.К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС // Новое в российской энергетике. Энергоиздат. 2000. N 2. С. 22–31.

2. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола уноса – техногенное сырье. М.: ООО ИПЦ «Маска», 2009. 320 с.

3. Ежова Н.Н., Власов А.С., Сударева С.В., Делицин Л.М. Золошлаковые отходы тепловых электростанций – ценный сырьевой ресурс для черной и цветной металлургии // Экология промышленного производства. 2003. N. 2. С. 45-52.

4. Казакова Е.В., Фукс С.Л., Хитрин С.В. Использование смесей отходов биохимического и энергетического производств для получения новых сорбентов // Вестник мировой науки. Серия: Психология. 2016. N 1. С.4-12.

5. Зелинская Е.В., Толмачева Н.А., Барахтенко В.В., Бурдонов А.Е., Сутурина Е. О., Федотова Н.В. Головнина А.В. Пронин С.А. Использование золы уноса в качестве наполнителя при производстве композиционных материалов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. 108 с.

6. Мухленов И.П., Добкина Е.И., Дерюкина В.И., Сороко В.Е. / Технология катализаторов / Л.: Химия, 1979. – 328 с.

## **ПОДБОР РЕЦЕПТУР И ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ТОПЛИВА МАЛОВЯЗКОГО СУДОВОГО (ТМС) С ВОВЛЕЧЕНИЕМ ТЯЖЕЛЫХ КОМПОНЕНТОВ И ДЕПРЕССОРНО-ДИСПЕРГИРУЮЩИХ ПРИСАДОК**

Ж.Н. Артемьева<sup>1</sup>, О.В. Старикова<sup>2</sup>, Т.Ю. Посельская<sup>3</sup>,  
Е.М. Галушко<sup>4</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>5</sup>

<sup>1</sup> аспирант ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», направление «Химическая технология», г. Иркутск, e-mail: [AZN-80@yandex.ru](mailto:AZN-80@yandex.ru)

<sup>2</sup> начальник отдела ИЦ-УКК АО «АНХК», г. Ангарск, e-mail: [StarikovaOV@anhk.rosneft.ru](mailto:StarikovaOV@anhk.rosneft.ru)

<sup>3</sup> бакалавр ИМХТ, группа ХТб-14, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [nikeleinator@gmail.com](mailto:nikeleinator@gmail.com)

<sup>4</sup> лаборант химического анализа 4 разряда, ИЦ-УКК ЛТ, АО «АНХК», г. Ангарск

<sup>5</sup> зав. кафедрой Химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», доктор химических наук, профессор, академик МАСИ, г. Иркутск, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

Важнейшими современными задачами развития нефтепереработки являются увеличение глубины переработки нефти и широкое использование продуктов вторичного происхождения для производства топлив в частности ТМС. Топливо маловязкое судовое (ТМС) - это топливо, которое используется в судовых дизельных двигателях, как правило, средне- и

высокооборотистых. В отличие от дизельного топлива ТМС имеет более низкое цетановое число, более высокое содержание серы.

Использование тяжелых компонентов в производстве ТМС невозможно без введения депрессорно-диспергирующих присадок (ДДП) [1, 2] для корректировок низкотемпературных показателей, так как нормативный документ ТУ 38.101567-2014 [3] регламентирует показатель «температура застывания» не выше минус 10 °С.

При эксплуатации двигателей в холодное время года возникает ряд проблем, например, нарушение прокачиваемости топлива из-за его загустевания и застывание при низких температурах, а также расслаивание топлив при холодном хранении. С применением депрессоров в топливах связаны две проблемы.

Первая проблема состоит в снижении температуры застывания топлива и улучшении его прокачиваемости. Было обнаружено, что большую роль играет масса и геометрия молекулы присадки. Это открытие способствовало созданию огромного ассортимента присадок этого назначения.

Вторая проблема заключается в расслоении топлива с депрессорной присадкой при холодном хранении. Депрессорные присадки препятствуют слипанию кристаллов парафинов с образованием малоподвижной структуры, но не могут предотвратить начало самой кристаллизации. Поэтому топлива с такими присадками при длительном холодном хранении разделяются на два слоя: нижний, обогащенный кристаллами парафинов и верхний светлый. Этот недостаток устраняется путём введения в топливо наряду с депрессором ещё одной присадки, получившей название диспергатора парафинов. И депрессор, и диспергатор могут подбираться для топлива по-отдельности, но могут использоваться в виде бифункционального пакета. В настоящее время предпочтение отдаётся именно таким пакетам [1].

Для приготовления ТМС по ТУ 38.101567-2014 [3] согласно утвержденной технологии в АО «АНХК» используют компоненты:

1. прямогонные среднестиллятные фракции с уст. ЭЛОУ+АВТ-6 (в т.ч. продукт стриппинга поз. К-9) и АТ ГК-3 (в т.ч. продукт стриппинга поз. К-3/1) НПЗ;
2. среднестиллятная промежуточная фракция с уст. Г-64 НПЗ;
3. гидроочищенная среднестиллятная фракция с уст. Л-24/6 НПЗ;
4. лёгкий газойль каталитического крекинга с уст. ГК-3 НПЗ;
5. кубовый остаток колонны поз. К-2/1 (К-2/2) с уст. 209 НПЗ;
6. среднестиллятная фракция замедленного коксования с уст. 21/10-3 М НПЗ.

Нами были предложены следующие тяжелые компоненты:

1. лёгкий газойль замедленного коксования, уст 21/10-3М;
2. продукт ВЦО-К10, уст ЭЛОУ+АВТ-6;
3. продукт стриппинга К-3/1 колонны К-2, уст АТ ГК-3;

4. продукт ВЦО-К13, уст. ГК-3;

5. вакуумный дистиллят-сырье для произв. трансформаторного масла.

Далее были проведены исследования и подобраны рецептуры получения ТМС с вовлечением тяжелых компонентов (не более 30 %). Для доведения показателя «температура застывания» до требуемых значений ТУ 38.101567-2014 использовали различные ДДП.

Сравнительные испытания ДДП различных производителей показали, что эффективны присадки производства ООО «Клариант (РУС)» - это Dodiflow 8112 (Диприс 8112) и Dodiflow 8022 и по предварительным исследованиям присадка ДД-08 производства компании «Алтайские присадки», в настоящее время нами ведутся работы по расширению депрессорно-диспергирующих присадок.

При приготовлении товарного ТМС с вовлечением тяжелых компонентов необходимо учитывать существенную разность в плотности компонентов и обеспечивать качественное смешение компонентов и присадок.

Использование тяжелых компонентов при получении ТМС позволит увеличить выход светлых нефтепродуктов приблизительно на 0,5 %, при этом экономический эффект составит в среднем 1,5 млрд. руб. в год.

#### *Библиографический список*

1. Данилов А. М. Применение присадок в топлива. – М.: Мир, 2005-288 с.
2. Папок К. К., Рагозин Н. А. Словарь по топливам, маслам, присадкам. «Химия», 1975.
3. ТУ 38.101567-2005. Топливо маловязкое судовое.

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ОТ СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

М.Л. Бахматов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр ХТм-15, ИМИХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [tough9876@mail.ru](mailto:tough9876@mail.ru)

В настоящее время наиболее распространенным способом сероочистки моторных топлив является гидроочистка. Однако не всегда достижение требуемого содержания серы в моторном топливе с помощью гидроочистки экономически выгодно. Это, прежде всего, связано с высокой стоимостью катализаторов и технологического оборудования. В связи с этим особую актуальность приобретают альтернативные методы сероочистки: экстракция, окисление, адсорбция.

Рассмотрим метод экстракционной сероочистки моторных топлив, как наиболее простой способ удаления серы.

Экстракционная сероочистка основана на более высокой растворимости серосодержащих соединений по сравнению с углеводородами (далее – УВ) в определенных растворителях. Наиболее привлекательной чертой экстракционной сероочистки является возможность осуществлять процесс при невысоких температуре и давлении без изменения химической структуры компонентов топлив. Высокая эффективность процесса может быть достигнута при условии обладания экстрагентом следующими свойствами: высокая селективность по отношению к экстрагируемым серосодержащим соединениям, температура кипения, отличная от температур кипения серосодержащих соединений, невысокая стоимость и доступность. Только при выполнении всех требований процесс становится экономически целесообразным.

Исследованные в работах [1-3, 5] растворители различной природы, среди которых серная кислота, алкиламины, щелочной раствор сульфогта-лоцианина кобальта, ацетон, этанол, полиэтиленгликоль и азотсодержащие растворители и пр. показали уровень сероочистки от 40 до 90 %, в зависимости от типа экстрагента и количества циклов экстракции.

Серная кислота как экстрагент эффективна для извлечения сероводорода, меркаптанов, сульфидов и полиароматических соединений, однако высокая коррозионная активность ограничивает её применение [1, 4].

Для удаления низкомолекулярных соединений, часть которых представлена сероводородом и легкими меркаптанами. Сероводород и меркаптаны, а также часть остальных сернистых соединений можно удалить с помощью каустической экстракции (щелочная очистка), демеркаптанизацией.

Преимуществом данного метода является невысокая стоимость оборудования, достаточно высокая эффективность, простота и мягкие условия проведения процесса, а недостатком - возможность удаления только низкомолекулярных сернистых соединений.

Принимая во внимание все выше сказанное, можно сделать следующие выводы. Экстракционные методы применимы в большей степени в части удаления низкомолекулярных сернистых соединений, присутствующих в легких бензиновых фракциях. Причиной данной области применения становится снижение степени удаления сернистых соединений с повышением их молекулярной массы, т.к. соединения серы с высокой молекулярной массой практически не вступают во взаимодействие с экстрагентами, используемыми в данном методе.

Представленный метод удаления сернистых соединений из моторных топлив может служить как в качестве дополнения к основному процессу гидроочистки, так и использоваться в виде самостоятельного метода сероочистки.

### *Библиографический список*

1. Гайле, А.А., Альтернативные негидрогенизационные методы повышения качества дизельного топлива: монография/ А.А. Гайле, Б.М. Сайфидинов - СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009 -112с.
2. Song, C. An overview of new approaches to deep desulfurization for ultra-clean gasoline, diesel fuel and jet fuel/ C. Song// Catalysis Today - 2003 - v. 86 - № 1-4 - p. 211-263.
3. Babich, I.V. Science and technology of novel processes for deep desulfurization of oil refinery streams: a review/ I.V. Babich, J.A. Moulijn - Fuel - 2003 - v. 82 - № 6 - p. 607-631.
4. Тархов, Л.Г. Серноокислая экстракция сернистых соединений из нефтяного дистиллята 190-360 °С / Л.Г. Тархов, К.А. Сибиряков// Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология - 2013 - №2 - с. 118-126.
5. Гайле, А.А. Экстракционная очистка сырья каталитического крекинга/ А.А. Гайле, А.П. Хворов, Г.Д. Залищевский, О.М. Варшавский, Л.В. Семенов //Химия и технология топлив и масел. - 2005 - № 1. - с. 19-21.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАРЕЛЬЧАТОГО АБСОРБЕРА ОЧИСТКИ КИСЛЫХ ГАЗОВ**

С.Ю. Спирина<sup>1</sup>, К.И. Дементьева<sup>2</sup>, Н.Д. Губанов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студентка гр. ХТОб-13-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [cvetlanka5667@gmail.com](mailto:cvetlanka5667@gmail.com)

<sup>2</sup>студентка гр. ХТОб-13-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [Kseniia.dementeva@mail.ru](mailto:Kseniia.dementeva@mail.ru)

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [gubanov\\_nd@istu.edu](mailto:gubanov_nd@istu.edu)

Природные, попутные (нефтяных и газоконденсатных месторождений) и технологические газы в своём составе содержат значительное количество сероводорода H<sub>2</sub>S и диоксида углерода CO<sub>2</sub>, которые снижают их качество как сырья технологических процессов. Кроме того, сероводород и диоксид углерода являясь коррозионно-активными компонентами, вызывают коррозию трубопроводов, аппаратов и отравление катализаторов нефтехимических процессов. Поэтому эти примеси необходимо удалять перед транспортировкой и переработкой газов [1].

В настоящее время на действующих установках по очистке природных, попутных и технологических газов от H<sub>2</sub>S и CO<sub>2</sub> применяется моноэтаноламин (МЭА). МЭА обладает высокой скоростью реакции с кислыми газами, высокой поглотительной способностью и легкостью регенерации.

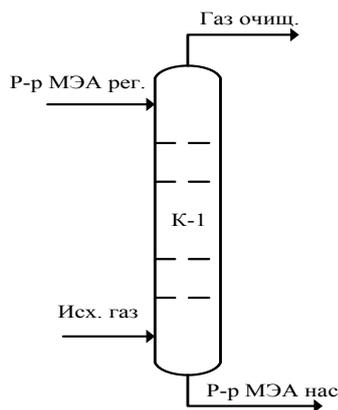


Рис. 1 - Расчётная схема абсорбера

Однако концентрация водного раствора МЭА не должна превышать 20 % масс. из-за проблем с коррозией, которая имеет место при более высоких концентрациях. Процесс моноэтаноламиновой очистки газов от  $H_2S$  и  $CO_2$  основан на их хемосорбции с образованием легко разлагаемых при нагревании солей.

В литературе отсутствуют данные по аминовой очистке от  $H_2S$  и  $CO_2$  попутных низкокалорийных газов, имеющих

в своем составе значительное количество азота.

Целью данной работы является определение минимальной концентрации МЭА и минимального давления в абсорбере для полной очистки от  $H_2S$  и  $CO_2$  попутного низкокалорийного газа Гремихинского месторождения [2], средний состав которого приведён в табл. 1.

Таблица 1- Состав попутного газа

Компонент	$O_2$	$CO_2$	$H_2S$	$N_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_3H_8$	и- $C_4H_{10}$	н- $C_4H_{10}$	и- $C_5H_{12}$	н- $C_5H_{12}$	$C_6H_{14}$
Состав, % об.	0.06	3.38	1.81	69.35	6.45	4.10	6.12	2.04	3.36	1.52	0.98	0.83

Таблица 2- Технологические параметры режима работы абсорбера

Поток	Газ		Раствор МЭА	
	исх.	очищ.	регенерир.	насыщ.
Температура, °C	46.0	44.0	44.0	69.3
Давление, кПа	2559.54	2500.7	2510.5	2549.73
Расход, кг/ч	25000.0	23409.4	27000.0	28590.6

Таблица 3-Состав конечных продуктов

Компонент	$O_2$	$CO_2$	$H_2S$	$N_2$	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_3H_8$	$\Sigma C_4H_{10}$	$\Sigma C_5H_{12}$	$C_6H_{14}$	$H_2O$	МЭА
Поток	Состав, % масс.											
Газ очищ.	0.06	0.0	0.0	64.5	3.48	4.14	8.95	10.5	5.99	2.38	0.0	0.0
Р-р МЭА нас.	0.0	4.06	1.7	0.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.1	14.1

Для моделирования режимов работы тарельчатого аминового абсорбера, содержащего 20 реальных тарелок, использовалась программа ChemCad. Расчётная схема абсорбера представлена на рис.1. Исходный газ, подогретый до температуры, исключаяющей конденсацию пентан-

гексановой фракции, подается в нижнюю часть абсорбера. Регенерированный водный раствор МЭА с концентрацией 15 % масс. из десорбера подается на верхнюю тарелку. Насыщенный раствор МЭА из нижней части абсорбера направляется на регенерацию, а очищенный газ отводится из верхней части. Результаты моделирования приведены в табл. 2, 3.

#### *Библиографический список*

1. Юсубов Ф.В., Байрамова А.С. Новый подход к тонкой очистке природных газов // Нефтепереработка и нефтехимия. -2016. -№10. – С. 25-29.
2. Блябляс А.Н., Корепанов М.А. Моделирование и экспериментальное исследование изобарного низкотемпературного разделения низкокалорийного попутного нефтяного газа // Технологии нефти и газа. -2016. - №2. –С. 7-29.

### **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОТОНПРОВОДЯЩИХ МЕМБРАН**

А.Э. Синёв<sup>1</sup>, Е.В. Янчуковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ХТОб-13, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [sinyovanton@gmail.com](mailto:sinyovanton@gmail.com)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [lenyan@istu.edu](mailto:lenyan@istu.edu)

Топливные элементы – устройства, которые постоянно вырабатывают электричество в ходе протекания химических реакций. У них множество преимуществ. Это - бесшумность, более эффективный, экологически чистый источник энергии. КПД многих из них достигает 60 %, а с использованием некоторых технологий - близок к 100 % (для сравнения КПД турбин - около 40-50 %, двигателя внутреннего сгорания - 10-20 %). В теории КПД топливных элементов может достигать 92 %, но на практике имеются потери, связанные с неравновесными процессами.

В настоящее время большое внимание уделяется твердополимерным топливным элементам.

Главной частью такого топливного элемента является протонпроводящая мембрана, которая обеспечивает транспорт протонов и разделение газов или топливных потоков на аноде и катоде.

Химическая стабильность, совместимость со структурой катализатора и газодиффузионных слоев таких мембран определяет меньшие потери на стыке границ и не приводит к "отравлению" катализаторов в диапазоне рабочих температур и влажности [1].

Наиболее распространены перфторированные сульфокислотные мембраны типа Nafion (российский аналог - МФ-4СК), широко применяемые для электрохимического синтеза и производства топливных элементов.

Несмотря на целый ряд преимуществ коммерческих мембран, имеются и определенные недостатки: ограниченный интервал рабочих температур, необходимость поддержания высокой влажности для обеспечения хороших транспортных свойств [2], высокая стоимость, которая сдерживает крупномасштабное применение их в промышленности.

Наиболее перспективным методом синтеза ионообменных мембран для топливных элементов является золь-гель синтез с участием кремнийорганических соединений и различных по химической природе органических соединений, определяющих ионообменные свойства мембран.

Для изучения свойств мембран методом золь-гель синтеза были синтезированы полимерные пленки ПСК (с участием 3-пиридинсульфокислоты) и ФБИСК (с участием 2-фенил-5-бензимидазолсульфокислоты), поливинилбутираля, ТЭОС и ортофосфорной кислоты. Исследование проводилось в сравнении с перфторированными мембранами Nafion 212 и МФ-4СК.

Мембраны представляют собой гели, состоящие из полимерной матрицы поливинилбутираля, в которой равномерно распределены частицы диоксида кремния, в трехмерную структуру которого механически встроены молекулы гетероароматических производных сульфокислот.

Протонная проводимость мембран ПСК и ФБИСК при повышении температуры увеличивается так же, как и для перфторированных мембран [3].

По протонной проводимости мембраны m-ФБИСК и m-ПСК уступают коммерческим мембранам, превосходя их по значению ионообменной емкости. Это говорит о том, что синтезированные гибридные мембраны содержат достаточное количество ионообменных групп для протонного транспорта.

Перфторированные мембраны отличаются линейным строением молекул полимера, что приводит к высокому относительному удлинению при разрыве.

Структурообразующие фрагменты синтезированных нами материалов имеют сетчатую структуру и обладают меньшим удлинением при разрыве. Однако при эксплуатации мембранных материалов в составе топливных элементов не требуется высоких показателей данной характеристики.

Таким образом, мембраны, полученные в результате проведенного синтеза, можно рассматривать как перспективные при использовании их в топливных элементах.

### *Библиографический список*

1. Hickner M.A., Ghassemi H., Kim Yu S., Einsla B. R., McGrath J. E. Alternative polymer systems for proton exchange membranes (PEMs) // Chem. Rev. 2004. V.104. P. 4587-4612.
2. Ярославцев А.Б. Перфторированные ионообменные мембраны // Высокомолекулярные соединения. А. 2013. Т. 55. № 11. С. 1367-1392.
3. Лебедева О.В., Синёв А.Э. Гибридные композиты и их свойства // Известия вузов, прикладная химия и биотехнология. 2015. ИРНТУ. №2. С. 7-11.

## **ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО И КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА НАФТЫ НА ПРОЦЕСС РИФОРМИНГА**

Танасюк К.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> магистрант группы ОХПм-15, ИМХТ им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г.Иркутск, e-mail:Christina-tanasyuk@yandex.ru

Свойства сырья каталитического риформинга оказывают существенное влияние на выход продукции и эффективность действия катализатора.

Основные свойства сырья, влияющие на процесс риформинга:

1. Температурные пределы фракций.

Важными параметрами является точка начала кипения (НК) фракции и конечная точка кипения (КК) фракции бензина подаваемого на блок риформинга.

Низкая температура начала кипения фракции (например, 70 °С) приведёт к следующему.

К более высокому содержанию в прямогонном бензине легких компонентов, таких как молекулы C<sub>5</sub> и C<sub>6</sub>. Соединения C<sub>5</sub> практически не способствуют повышению октанового числа в процессе риформинга.

В зависимости от жесткости рабочих условий использование более лёгкого сырья приведет к пониженным выходам C<sub>5+</sub>, водорода и ароматических соединений.

Ограничения по содержанию бензола в бензине оказывают большое влияние на содержание в сырье процесса риформинга исходных веществ для образования бензола, таких как циклогексан, которые в значительной степени определяют величину точки начала кипения.

С утяжелением сырья блока риформинга в пределах 62 – 105 °С увеличивается образование ароматических углеводородов и повышается октановое число бензина риформинга. Фракции с НК до 85 °С при риформинге почти не изменяются и поэтому не изменяют качество бензина[1].

Максимально допустимая температура конца кипения сырья обусловлена кроме всего прочего и требованиями к температуре кипения продукта риформинга – стабильного катализата. В зависимости от того, с каким октановым числом предполагается получать стабильный катализат, разница между температурами концов кипения бензина и сырья не должна превышать 17–25 °С. Температуру конца кипения продукта риформинга лучше сопоставлять не с таковой для сырья, а с температурой выкипания 90 %. Более высокое значение температуры конца кипения исходного сырья будет приводить к увеличению отложения кокса и образованию полициклических соединений [2].

## 2. Природа нефти.

Очень важно правильно выбрать сырьё риформинга по фракционному составу. Данные анализа по содержанию в сырье парафинов, нафтенов и ароматики являются основой для определения качества исходного сырья.

Переработка на установке риформинга сырья, содержащего избыточное количество олефинов, приведёт к повышенному потреблению водорода и образованию кокса. Рекомендуемое содержание олефинов в сырье не должно превышать 0,1 % веса. Диолефины должны удаляться из сырья полностью.

## 3. Содержание в сырье примесей.

Необходимо также контролировать содержание в сырье примесей. Присутствие в сырье серы приведёт к отравлению металлической функции катализатора, в то время как азотосодержащие соединения оказывают отрицательное воздействие на его кислотную функцию. Концентрация серы должна составлять не более 0,5 част./млн. (вес.) -  $5 \cdot 10^{-5}$  % [3].

Надо иметь в виду, что с уменьшением содержания серы в сырье увеличивается не только активность, но и избирательность катализатора.

Содержание примесей соединений металлов в исходном сырье должно поддерживаться на очень низком уровне. Это связано с тем, что они необратимо адсорбируются на катализаторе, приводя к снижению его активности.

Наилучшей подготовкой сырья к процессу риформинга является его гидрогенизационное облагораживание – гидроочистка. Благодаря этому процессу кроме удаления нежелательных компонентов удается избежать коррозии аппаратуры.

### *Библиографический список*

1. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. – М.:ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.
2. Капустин В.М., Гуреев А.А. Технология переработки нефти в 2 ч. Часть вторая. Деструктивные процессы. – М.: КолосС, 2007. – 334 с.

3. Отчет-справочник ООО «ПРИМА-ХИММАШ» Современные и перспективные технологии базовых процессов глубокой переработки нефти на мировом рынке. – С.Петербург. – 207 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ОСТАТОЧНЫХ ФРАКЦИЙ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

В. Д. Черепанов<sup>1</sup>, А. А. Аверьянова<sup>2</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>3</sup>, И.А. Семенов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> аспирант ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», направление «Химическая технология», г. Иркутск, e-mail:[vadim.cherep@gmail.com](mailto:vadim.cherep@gmail.com)

<sup>2</sup> бакалавр ИМХТ, группа ХТб-14, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail:[alexa96@yandex.ru](mailto:alexa96@yandex.ru)

<sup>3</sup> зав. кафедрой Химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», доктор химических наук, профессор, академик МАСИ, г. Иркутск, e-mail:[dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

<sup>4</sup> инженер – лаборант ОТМ ИЦ – УКК АО «АНХК», кандидат технических наук.

Выпускаемые на сегодняшний день топлива остаточные судовые на экспорт в нормативной документации имеют показатель «Вязкость кинематическая 50 °С» [1], однако для таких компонентов данных мазутов как гудрон или асфальт измерить вязкость при данной температуре не представляется возможным, так как температура 50 °С близка к температуре потери их текучести, что влечет за собой невозможность расчета необходимого количества компонента для получения качественного товара. Для решения данной проблемы нами были проведены исследования по определению кинематической вязкости расчетным методом и методом смешения.

В рамках исследований на базе программного пакета Spiral Assay был выполнен расчет параметров качеств гудронов различных фракционных составов из нефти. Была найдена зависимость вязкостных характеристик от плотности гудронов при 20 °С. (рис.)

На данном графике указаны расчетные вязкости при 50 °С в зависимости от среднегодовых плотностей гудронов установок ЭЛОУ+АВТ-6 и ГК-3, которые составили 5500 мм<sup>2</sup>/с и 3700 мм<sup>2</sup>/с, соответственно. Для подтверждения и уточнения полученных расчетным путем данных, нами были выполнены лабораторные исследования вязкостных характеристик гудрона ГК-3 и асфальта методом смешения с менее вязким компонентом – вакуумным дистиллятом. Из полученного значения вязкости смеси была вычислена вязкость гудрона и асфальта которые соответственно составили 3500 мм<sup>2</sup>/с (расчетный метод - 3700 мм<sup>2</sup>/с) и 1,218·10<sup>6</sup> мм<sup>2</sup>/с.

Для подтверждения полученных данных каждого из компонентов были приготовлены тройные смеси - гудрон, асфальт и тяжелая фракция дизельного топлива, для которых была определена вязкость расчётным и экспериментальным способом. Полученные результаты приведены в табл.

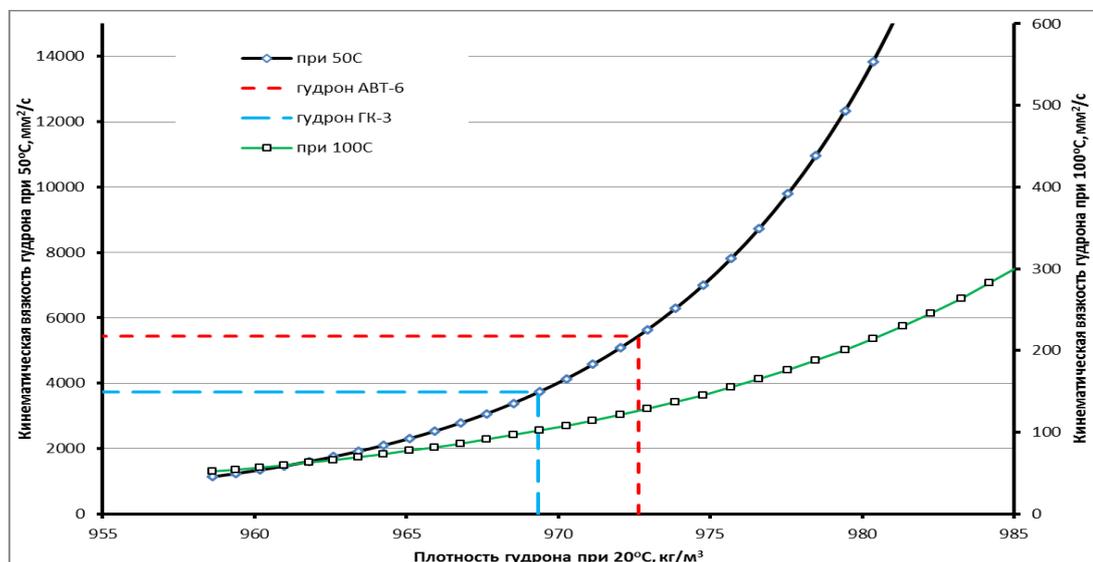


Рисунок - Зависимость кинематических вязкостей гудронов при 50 °С и 100 °С от плотности при 20 °С

Таблица - Вязкостные характеристики модельных смесей.

Показатель	Смесь № 1	Смесь № 2	Смесь № 3
Состав, % масс.			
-тяж.компДТЛ ЭЛОУ+АВТ-6	28,0	24,0	33,0
- гудрон ГК-3	50,0	71,0	20,0
- асфальт	22,0	5,0	47,0
Вязкость смеси при 50°C, мм²/с			
- факт	240,0	225,0	289,0
- расчет	241,2	226,8	289,2

Полученные значения кинематической вязкости отдельных компонентов позволили с наименьшей ошибкой рассчитать значения вязкости модельных смесей. Данные, представленные в табл., свидетельствуют о минимальных отклонениях между расчетными и фактическими лабораторными результатами.

Уточненные в ходе теоретических и лабораторных исследований значения вязкости компонентов могут быть использованы для моделирования рецептур приготовления мазутов с адекватной точностью.

#### Библиографический список

1. СТО 85778267-001-2014. Топлива судовые остаточные. Технические требования. — М.: ООО «РН-Бункер», 2016. — 4 с.

## ПОЛУЧЕНИЕ БУТИЛНИТРАТОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ ЦЕТАНПОВЫШАЮЩИХ ПРИСАДОК

Е.Е. Швалев<sup>1</sup>, И.Е. Кузора<sup>2</sup>

<sup>1</sup> аспирант, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: egor\_shvalev@mail.ru

<sup>2</sup> к.х.н., начальник исследовательского центра – управления контроля качества АО «АНХК»

В настоящее время в качестве цетанповышающих присадок (ЦПП) к дизельным топливам наиболее часто применяются алкилнитраты, среди которых 2-этилгексилнитрат – самый распространенный [1]. Однако, по литературным данным, все нитроэферы, состава  $C_3H_7ONO_2 - C_8H_{17}ONO_2$  и т.п., эффективно влияют на период задержки воспламенения топливной смеси. Прибавка цетанового числа (ЦЧ) составляет 15-19 пунктов при добавлении 1,5 % к ДТ с исходным ЦЧ - 44 [2, с.445].

Бутиловые спирты – крупнотоннажный продукт отечественной химической промышленности, одним из производителей является АО «АНХК». Представляет практический интерес получение бутилнитратов и изучение эффекта от их введения в ДТ с целью последующего исследования данных продуктов как цетанповышающих присадок.

Проведен ряд опытов по нитрованию н- и изо-бутанола, а также суммы бутиловых спиртов нитрующей смесью [3].

Параметры нитрования и полученные результаты представлены ниже:

	Продукт нитрования н-бутанола ГОСТ 5208-81	Продукт нитрования изобутанола ГОСТ 9536-2013	Продукт нитрования суммы бутиловых спиртов
Параметры нитрующей смеси	$HNO_3$ (70 % - ная) – 33 г, $H_2SO_4$ (95 % - ная) – 41 г, карбамид – 1,5 г Температура реакционной смеси – 7-9 °С		
Масса спиртового сырья	25 г	25 г	25 г (соотношение н-бутанола к изобутанолу 65:35)
Промывка продукта нитрования	1 раз водой, 2 раза – 10 %-ным раствором $Na_2SO_4$		
Масса продукта нитрования (% от теор.)	30,0 г (75 % масс.)	31,0 г (77,5 % масс.)	24,8 г (62 % масс.)
Чистота продукта по ГЖХ	99,58 %	99,41 %	61,9 % - нитроэферы 33,1% - спирты 5% - не идентиф.

Далее было проведено исследование прироста ЦЧ по ГОСТ Р 52709-2007 после добавления бутилнитратов в ДТ с начальным ЦЧ = 48. На рис. представлены усредненные данные по результатам 3-х опытов на каждой концентрации.

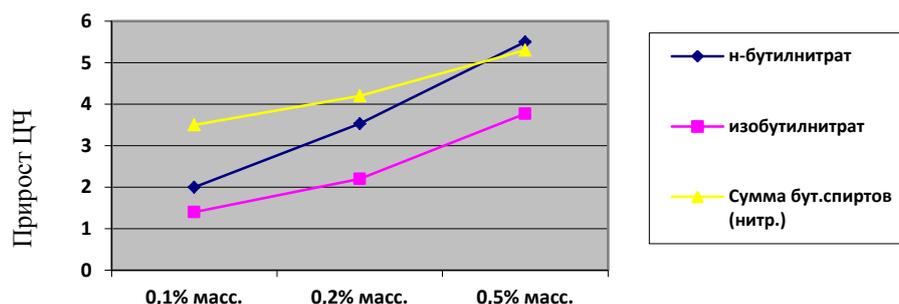


Рисунок - Влияние продуктов нитрования бутиловых спиртов на ЦЧ дизельного топлива при добавлении 0,1, 0,2, 0,5 % масс.

Выводы:

- Проведено нитрование н-бутанола, изобутанола и суммы бутиловых спиртов (соотношение н-бутанола к изобутанолу – 65:35) смесью азотной и серной кислот в одинаковых условиях.
- Установлено, что введение всех продуктов нитрования бутиловых спиртов в ДТ обеспечивает стабильный прирост ЦЧ, можно сделать вывод о большей эффективности н-бутилнитрата, по сравнению с изобутилнитратом. По приросту ЦЧ наблюдается эффект синергизма н-бутилнитрата и изобутилнитрата, ранее обнаруженный на нитроэфирах состава  $C_8H_{17}ONO_2$  [4]
- Проведено исследование образца ДТ по ГОСТ 32511-2013 с добавлением н-бутилнитрата в качестве ЦПП. Определено, что в заведомо завышенной концентрации ЦПП 0,4 % масс., прочие показатели топлива остались в пределах нормы.

#### *Библиографический список*

1. Митусова Т.Н., Полина Е.В., Калинина М.В. Современные дизельные топлива и присадки к ним. -М.: Издательство «Техника», 2002. -64 с.
2. Грузе Вильям А., Стивенс Дональд Р. Технология переработки нефти (Теоретические основы), Ленинград: Химия, 1964. - 609 с.
3. Орлова Е.Ю. Руководство по лабораторному практикуму по получению нитросоединений. – М.: Изд-во МХТИ им. Д.И.Менделеева, 1969. - 243 с.
4. НПиНХ. 2003, № 8, с. 32-33.

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЯ ASPEN ENERGY ANALYZER В РАСЧЕТАХ СХЕМ НАГРЕВА НЕФТИ С ЦЕЛЬЮ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Щербаченко С.Ю.<sup>1</sup>, Жилкин А.Г.<sup>2</sup>, Губанов Н.Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. ОХПм-15-1, ИРНИТУ, e-mail: [sega.sib@gmail.com](mailto:sega.sib@gmail.com)

<sup>2</sup> магистрант гр. ОХПм-15-1, ИРНИТУ, e-mail: [gilamm071@mail.ru](mailto:gilamm071@mail.ru)

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры химической технологии, ИРНИТУ, e-mail: [gubanov\\_nd@istu.edu](mailto:gubanov_nd@istu.edu)

В настоящее время специализированное программное обеспечение прочно вошло в обязательный атрибут выполнения проектирования. Существующие сложные последовательно-параллельные схемы соединения теплообменных аппаратов на участках нагрева нефти до и после электродегидраторов при первичной перегонке рационально оптимизировать, т.е. сделать более энергоэффективными за счет возможного применения иной последовательности и трубопроводной обвязки. При решении данной задачи был использован пакет расчетных программ AspenONE.

При этом моделирование условно разбивается на 2 этапа:

1. моделирование потоков нефти и нефтепродуктов. Данный этап выполнен в программе Hysys с применением модуля PetroleumRefining, эффективность которого рассмотрена в [1];

2. расчеты теплообменного оборудования выполнены при использовании программы Aspen Exchanger Design and Rating [2]. Программа Aspen Exchanger Design and Rating предназначена для проектных и поверочных расчетов кожухотрубчатых теплообменников, работающих с самыми разнообразными теплоносителями и хладагентами. С целью получения максимальной энергоэффективности был использован модуль Energy Analyzer [3].

Кратко особенности выполнения работы в Aspen Energy Analyzer можно изложить в следующей последовательности:

1. Построение поточной схемы процесса:
  - получение материального и теплового баланса в Aspen Hysys;
  - задание ссылок на теплоносители в схеме процесса
1. Расчет потенциала энергосбережения:
  - поиск минимальной разности температур тепловых потоков для определения сокращения потребления энергоносителей;
  - расчет минимально необходимых значений теплоносителей;
  - сравнение фактического энергопотребления с целевым
2. Оценка возможных изменений в процессе:
  - оптимизация рабочих условий с целью повысить потенциал энергосбережения;

- проверка правильности выявленных изменений с помощью средств моделирования
3. Построение модели теплообменной системы:
    - определение вариантов изменения схемы с учетом заданных ограничений;
    - анализ наиболее перспективных вариантов;
    - проверка уточненных результатов по возможному энергосбережению
  4. Перестроение модели с целью отражения предложенных изменений:
    - расчет размеров теплообменного оборудования;
    - оценка капитальных затрат на новое оборудование.

Анализ энергоэффективности позволяет использовать наилучшие из рекомендуемых методов работы с моделью, в т.ч. совместную работу с другими программными решениями AspenTech. При этом анализ энергоэффективности позволяет сократить энергопотребление на 10-30 %, повысить производительность на 10 % когда потребление теплоносителей является узким местом процесса.

Изложенный подход позволил провести моделирование и оптимизацию схем нагрева нефти в работе установок первичной переработке нефти ООО «Нижневартовское нефтеперерабатывающее объединение» [4] и ООО «Пурпенефтепереработка» при выполнении проектирования.

#### *Библиографический список*

1. Щербаченко С.Ю., Сапрыгина В.Н. Моделирование нефти в программном пакете AspenTech / Материалы VI научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов». – Иркутск: Издательство ИРНТУ, 2016 – 246 с.
2. <http://www.aspentech.com/products/aspens-edr.aspx> (дата обращения 04.03.2017)
3. [www.aspentech.com/Russian\\_webinar\\_25\\_March.pdf](http://www.aspentech.com/Russian_webinar_25_March.pdf) (дата обращения 04.03.2017)
4. Щербаченко С.Ю., Губанов Н.Д. Перевооружение установки первичной переработки нефти для ООО «Нижневартовское нефтеперерабатывающее объединение» / Сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова «Переработка природного и техногенного сырья». - Иркутск: Издательство ИРНТУ, 2016 – 300 с.

## УТИЛИЗАЦИЯ ИЛОВОГО ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД НА УСТАНОВКЕ СВЧ-ТЕРМОЛИЗА

Н.И. Днепровская<sup>1</sup>, Е.В. Янчуковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры химической технологии, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [nataliladyvip@mail.ru](mailto:nataliladyvip@mail.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры химической технологии, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [lenyan@istu.edu](mailto:lenyan@istu.edu).

Одним из главных источников загрязнения земельных и водных объектов являются отходы, образующиеся в виде илового осадка после очистки сточных вод.

В настоящее время отсутствуют надёжные технологии, которые позволили бы полностью обезвредить иловые осадки и переработать их в полезные для человека продукты.

Главные недостатки имеющихся технологий – применение дорогих реагентов, высокое энергопотребление и образование взрывчатых газов в процессе переработки.

На опытно-полупромышленной установке СВЧ-термолиза производительностью 100 кг/сутки отходов в составе мусороперерабатывающего завода ООО «Комэк» г. Тамбов [1] было проведено экспериментальное определение технологических параметров и составлен материальный баланс процесса утилизации осадка. В качестве сырья был отобран обезвоженный иловый осадок канализационных очистных сооружений ОАО «Тамбов водоканал».

Свойства поступившего на переработку осадка сточных вод: содержание активного ила - 50 %, содержание осадка первичных отстойников – 50 %, влажность - 80 % (осадок после мехобезвоживания на фильтр-прессах), удельный вес 1130 кг/м<sup>3</sup>.

Основной аппарат установки - реактор СВЧ-термолиза [2]. Реактор состоит из внутренней рабочей камеры шириной 300 мм, соединенной с СВЧ-генератором через радиопроницаемый волновод. Камера обогревается теплом сгорания топливного газа на горелке. Реактор футерован огнеупорными блоками, закрепленными на металлокаркасе; оборудован загрузочным и разгрузочным штуцерами, соединен газовым коллектором с системой фракционирования и возврата газообразных продуктов термолиза на горелки для сжигания в камере сгорания реактора.

При температуре выше 300 °С осадок сточных вод без доступа воздуха разлагается на углеродный остаток (смесь пироуглерода и минеральных компонентов осадка отстойников) и горючий синтез-газ (смесь летучих веществ: окиси углерода, водорода и сернисто-углеводородных газов).

При температуре 120-300 °С наблюдалось активное выделение водяных паров (сушка материала), их конденсация происходила в колонне фракционирования при температуре 60-70 °С.

Предлагаемая технология термолизной переработки позволяет качественно утилизировать обезвоженные иловые осадки городских канализационных очистных сооружений. Объем утилизируемого вещества при первоначальной влажности 80 % уменьшается в 6-7 раз. Масса вещества сокращается в 4–5 раз в зависимости от содержания минеральных примесей.

Применяемая обработка осадка в поле СВЧ-излучения в отличие от традиционного способа нагрева сокращает время разложения осадка (в зависимости от влажности исходного материала) с 20-30 часов в устройствах-аналогах (конвективных барабанных сушилках) до 10-12 часов.

В результате высокотемпературной обработки исходный осадок, как показали результаты биотестирования, обезвреживается до 5 класса опасности и очищается от патогенных микроорганизмов, примесей тяжелых металлов и склонных к гниению и слипанию компонентов.

Получаемый в процессе переработки иловых осадков углеродный остаток является отходом производства. В зависимости от содержания минеральных примесей (от первичных отстойников) в исходном осадке, углеродный остаток может быть использован как топливо [3] на выработку тепловой энергии для нужд очистных сооружений, либо может быть захоронен на полигонах ТБО или использован как инертный материал-подсыпка в строительно-дорожных работах.

Благодаря наличию системы газоочистки рассматриваемый процесс является технически надежным и экологически безопасным.

#### *Библиографический список*

1. Гунич С.В., Янчуковская Е.В., Днепровская Н.И. Экспериментальное определение выхода веществ и оценка перспективности СВЧ-термолиза твердых бытовых отходов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2013. № 1 (4). С.112-115.

2. Патент РФ № 2013126238. Способ переработки бытовых и производственных отходов в печное топливо и углеродное вещество, и устройство для его осуществления / С.В. Гунич, Т.И. Малышева; заявитель и патентообладатель С.В. Гунич, Т.И. Малышева. Бюлл. № 35 от 20.12.14.

3. Гунич С.В., Дьячкова С.Г., Янчуковская Е.В., Днепровская Н.И. Состав углеродного остатка при утилизации несортированных твердых бытовых отходов методом СВЧ-термолиза // Химическая технология. 2014. №9. С. 572-575.

## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КОМПЛЕКСА

О.И. Белова<sup>1</sup>, Е.В. Янчуковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. ОПХМ-15, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [o.b@hm.irk.ru](mailto:o.b@hm.irk.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [lenyan@istu.edu](mailto:lenyan@istu.edu)

Для исследования технологии приема и отгрузки метанола и нефтепродуктов из резервуаров проектируемого перегрузочного комплекса в танкеры выполняется расчет эффективности использования системы коллекторов [1].

В табл. 1 приведены данные по расчету эффективности использования системы коллекторов.

Таблица 1 – Расчет эффективности использования системы коллекторов

Режим работы	Количество коллекторов от группы резервуаров (группа – два резервуара, резервуарный парк из трех групп резервуаров), шт	Количество продуктов (разных по совместимости грузов), отгружаемых в танкер	Нагрузка на опору (1 м трубы с водой), кг	Время заполнения танкера емкостью до 60000, т час
1	1	1	181,68	72
2	2	1	363,36	36
3	2	2	363,36	36

Приведенные данные показывают, что с увеличением количества коллекторов уменьшается время заполнения танкера на причале, что позволяет увеличить грузооборот комплекса, а также позволяет увеличивать количество продуктов (несовместимых по качеству грузов), отгружаемых одновременно.

При проектировании перегрузочного комплекса требуется укладка большого количества инженерных коммуникаций, связывающих между собой объекты различного назначения. С увеличением количества коллекторов увеличивается нагрузка на конструкцию инженерной эстакады, что необходимо учитывать при проектировании комплекса.

В табл. 2 представлены данные по расчету скорости движения конкретного продукта по трубопроводу в зависимости от производительности насосов.

Результаты расчета показывают, что при объединении групп насосов происходит увеличение скорости в трубопроводах. Третий (на границе допустимой скорости) и четвертый варианты не соответствуют требованию скорости движения продукта по трубопроводу до 5 м/с [1].

Таблица 2 – Расчет скорости движения продукта по трубопроводу в зависимости от производительности насосов

№ п / п	Количество насосных групп	Производительность насосной группы, м <sup>3</sup> /ч	Скорость движения продукта по трубопроводу, м/с	Количество коллекторов DN 350 на причал от насосов
1	1	800	2,3	1
2	2	1600	2,3	2
3	2	1600	4,62	1
4	3	2400	6,9	1
5	3	2400	2,3	3

Метанол - легковоспламеняющаяся жидкость, быстро разлагается микроорганизмами, полностью растворяется в воде. Из-за малой электропроводности метанола статическое электричество накапливается только при высоких скоростях[2].

На основании представленных результатов моделирования отгрузки метанола и нефтепродуктов из резервуаров в танкеры, можно сделать вывод, что предпочтительно использование режимов № 2 и № 3 работы системы коллекторов, а осуществлять наполнение танкера конкретным продуктом по трём трубопроводам необходимо с максимальной подачей до 2400 м<sup>3</sup>/ч.

#### *Библиографический список*

1. ВНТП 5-95 Нормы технологического проектирования предприятий по обеспечению нефтепродуктами (нефтебаз). 1995. 16с.
2. ГОСТ 2222-95 Метанол технический. Технические условия. Введ. 01.01.2001 г.: Изд-во Стандартиформ. 2000. 16с.

### **ТЕХНИЧЕСКОЕ ПЕРЕВООРУЖЕНИЕ БЛОКА НАГРЕВА НЕФТИ ООО «ПУРПЕНЕФТЕПЕРЕРАБОТКА»**

Жилкин А.Г.<sup>1</sup>, Щербаченко С.Ю.<sup>2</sup>, Губанов Н.Д.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. ОХПм-15-1, ИРНИТУ, e-mail: [gilamm071@mail.ru](mailto:gilamm071@mail.ru)

<sup>2</sup> магистрант гр. ОХПм-15-1, ИРНИТУ, e-mail: [sega.sib@gmail.com](mailto:sega.sib@gmail.com)

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры химической технологии, ИРНИТУ, e-mail: [gubanov\\_nd@istu.edu](mailto:gubanov_nd@istu.edu)

На предприятии ООО «Пурпенефтепереработка» перерабатываются нефти с различных месторождений: Тарасовское, Русское, Харампурское. При этом состав нефти имеет значительные отличия. Нефть Русского месторождения «тяжелая», а в нефти Харампурского месторождения «содержание светлых» достаточно высокое [1].

При этом технологические расчёты схемы нагрева нефти показали ряд недостатков существующей схемы, которые можно изложить в виде выводов.

1. Расчеты материального и теплового баланса схемы теплообмена показали, что на установке имеются значительные теплотери. Вследствие этого, температура нефти на входе в ректификационную колонну в существующем режиме на 25-30 °С ниже, чем это следует из расчета.

2. Площади теплообмена на установке не достаточно как для нагрева нефти, так и для снижения температуры потоков мазута и дизельного топлива, выводимых с установки.

Расчеты выполнены в специализированном расчетном продукте фирмы AspenTech [2].

Для решения выявленных недостатков и получения максимальной энергоэффективности схемы нагрева нефти предложено замена существующих теплообменных аппаратов типа «труба в трубе» на кожухотрубчатые теплообменники.

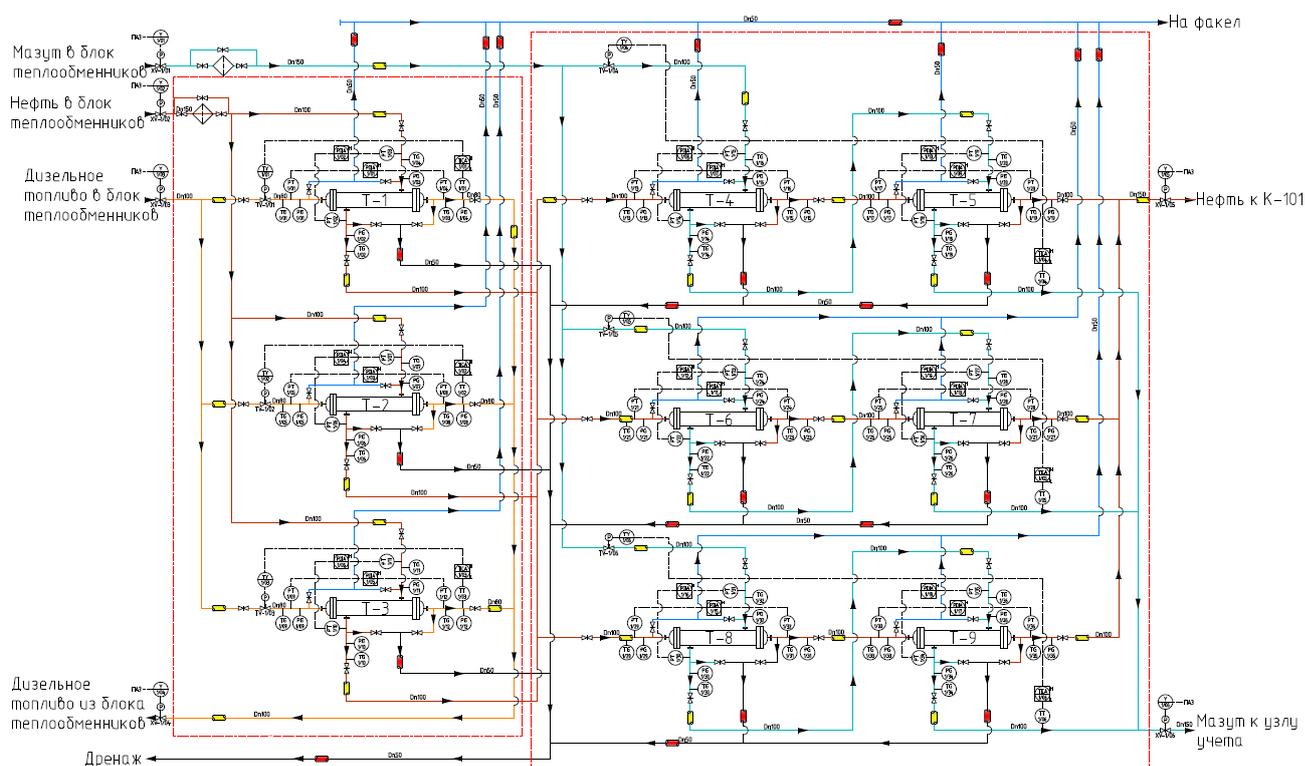


Рисунок - Принципиальная технологическая схема нагрева нефти

Технические решения по направлению технологических потоков разрабатывались на основе как общих правил, так и исходя из параметров потоков в самом теплообменном оборудовании. Проводился анализ режимов работы теплообменного оборудования на все возможные варианты направления потоков, как в трубное так и межтрубное пространство. Расчеты проводились для обеспечения максимального теплосъема потоков.

Разработанная технологическая схема является условно «классической» схемой теплообмена в нефтепереработке и уже включает в себя элемент оптимизации процесса. При этом, в процессе учтен достаточно широкий диапазон варьирования возмущающих факторов (тип нефти, сезон выработки нефтепродуктов), т.е. расчёты проводились исходя следующих данных: нефть легкая/тяжелая, продукты зима/лето. Разработанная схема приведена на рис.

Выполненная работа показала следующие преимущества рекомендуемого перевооружения – повышение эффективности работы и снижения энергопотребления за счёт более полной утилизации тепла отходящих потоков:

- температура отходящего дизельного топлива снижена с 50 °С до 29 °С;
- температура отходящего гудрона с 108 °С снижена до 68 °С;
- при этом нагрев нефти увеличен на 26 °С по сравнению с «базовым вариантом».

#### *Библиографический список*

1. Щербаченко С.Ю., Сапрыгина В.Н. Моделирование нефти в программном пакете AspenTech / Материалы VI научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов». – Иркутск: Издательство ИРНТУ, 2016 – 246 с.

2 <http://www.aspentech.com/products/aspenone-engineering/> (дата обращения 11.03.2017)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА БУТИЛОВЫХ СПИРТОВ В ПРИГОТОВЛЕНИИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ**

Ганина А.А.<sup>1</sup>, Д.С. Деркач<sup>2</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> аспирант ФГБОУ ВО «ИРНТУ», направление «Химическая технология», г. Иркутск, e-mail: [gaa301083@mail.ru](mailto:gaa301083@mail.ru)

<sup>2</sup> бакалавр ИМХТ, группа ХТб-14, ФГБОУ ВО «ИРНТУ», г. Иркутск, e-mail: [dasha\\_1997rus@mail.ru](mailto:dasha_1997rus@mail.ru)

<sup>3</sup> зав. кафедрой Химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНТУ», доктор химических наук, профессор, г. Иркутск, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

С целью увеличения выпуска высокооктановых топлив в 2015 году в АО «АНХК» была организована выработка автомобильных бензинов с вовлечением бутиловых спиртов – спирта изобутилового технического и

спирта бутилового нормального технического собственного производства, а также продуктов производства этих спиртов. Добавление их в бензин способствует повышению октанового числа на несколько пунктов. Такие оксигенаты не содержат серы, ароматических углеводородов, олефинов и металлов [1]. В АО «АНХК» процессом производства бутиловых спиртов является оксосинтез - процессы на основе реакции гидроформилирования, т. е. присоединения к олефинам углекислого газа и водорода [2]. Одним из побочных продуктов оксосинтеза является эфирная головка изобутилового спирта (ЭГИБС), которая представляет собой смесь различных низкомолекулярных спиртов и эфиров и также может применяться как компонент автомобильных бензинов [3].

Существенным недостатком ЭГИБС является высокое содержание воды – от 1,0 до 10,0 %, среднее 5,0 (данные за 2016 год). При добавлении ЭГИБС к бензиновому продукту вода образует устойчивую эмульсию, топливо мутнеет и его эксплуатационные характеристики ухудшаются (повышается коррозионная активность).

Один из способов обезвоживания ЭГИБС заключается его в разделении методом ректификации при повышенном давлении. В ходе конденсации паров верха колонны образуется смесь углеводородов с водой. После сепарации верхний углеводородный слой возвращается в колонну ректификации в виде холодного и горячего орошения, а нижний – отстоявшаяся вода, отводится в составе общей загрязненной воды на очистку. Обезвоженный кубовый остаток ЭГИБС может применяться в качестве компонента бензина [4].

В лабораторных условиях на аппарате с системой дистилляции со спиралеобразной вращающейся насадкой (модель М-690) нами было проведено 5 опытов, в ходе которых выделяли 22 % масс. отгона, что позволило снизить содержание массовой доли воды до 0,1 % в оставшейся части (78 % масс. ЭГИБС).

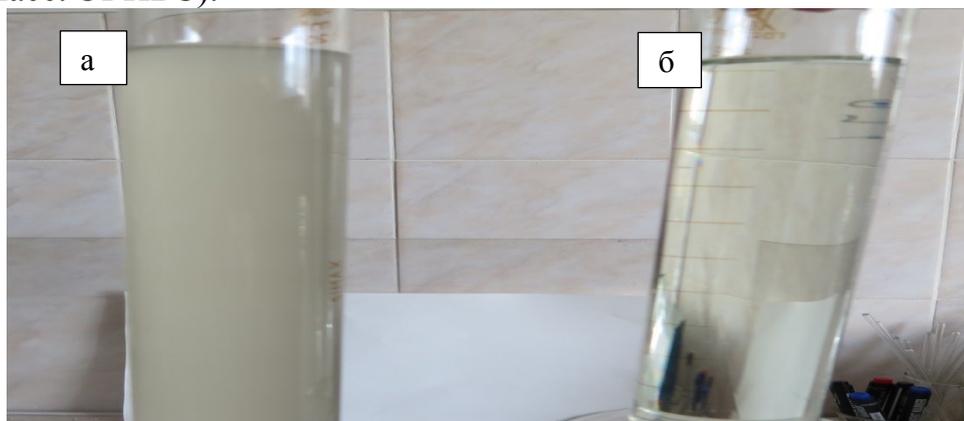


Рисунок - Внешний вид лабораторных образцов бензина с добавлением ЭГИБС до обезвоживания (а) и после (б)

На рис. представлены образцы топлива с добавлением ЭГИБС до удаления воды и после.

Таким образом, использование ректификационных процессов для обезвоживания ЭГИБС позволяет применять ее в качестве компонента автомобильных бензинов.

#### *Библиографический список*

1. Кузора И.Е., Дубровский Д.А., Марущенко И.Ю., Артемьева Ж.Н., Забродина С.В., Ганина А.А., Дьячкова С.Г. Опыт и аспекты производства бензинов неэтилированных с вовлечением бутиловых спиртов в АО «Ангарская нефтехимическая компания» // Мир нефтепродуктов-2016.-№10, с. 25-29

2. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. –М. Химия, 1981. 608 с.

3. Кузора И.Е., Иванова А.В., Хомина Л.С., Томин В.П., Микишев В.А. Разделение водно-топливных эмульсий, образующихся при смешении компонентов автомобильных бензинов //Материалы конференции 24-25.04.2003. – Ангарск, с. 42-44

4. Технологический регламент 01-72-2015 Производство бутиловых спиртов методом оксосинтеза. Часть II Ректификация бутиловых спиртов, утвержден 11.08.2015

### **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА УГЛЕВОДОРОДНОГО СОСТАВА НЕФТИ**

Л.Е. Подаренко<sup>1</sup>, Т.А. Подгорбунская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ХТб -14-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: lev.podarenko.95@mail.ru

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры химической технологии ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: tpodgor@istu.edu

Совершенствование технологии производства современных моторных топлив невозможно без изучения углеводородного состава сырья и получаемой продукции.

В наши дни для идентификации органических веществ большое развитие получили физико-химические методы исследования. Самые распространенные из них методы ИК-спектроскопии, ЯМР-спектроскопии, масс-спектрометрии, газо-жидкостной хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

В наши дни эти методы имеют огромное значение для самых разных областей, таких как судебная экспертиза, нефтехимия и нефтепереработка, фармацевтика, медицина и т.д.

В последние 50 лет наши знания о жизни растений и животных, окружающего нас мира весьма увеличились, вследствие аналитических возможностей приборной базы. Чувствительность современных методов так высока, что количество вещества в 1 мкг настолько мало, что его невозможно увидеть глазом, но легко зарегистрировать и идентифицировать с помощью прибора. Все инструментальные методы базируются на хорошо известных и достаточно простых физических и химических законах [1].

В настоящее время эффективным методом исследования состава сложных смесей органических соединений, в диапазоне температур 150-450 °С, является газовая и жидкостная хроматография. С помощью этого метода можно определить индивидуальные компоненты нефти и нефтяных фракции, в которых насчитывается свыше трехсот индивидуальных углеводородов. Также, задачу изучения соединений в подобных смесях позволяет решать высокочувствительный метод хромато-масс-спектрометрии [2].

На данный момент, хромато-масс-спектрометрия является самым информативным методом, он сочетает в себе комбинацию газо-жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии. По библиотекам масс-спектральных данных возможно провести идентификацию полученных спектров.

Нами была предпринята попытка исследования углеводородного состава Сургутской нефти методом хромато-масс-спектрометрии на приборе GCMS-QP2010 SE.

#### *Библиографический список*

1. Карасек Ф., Клемент Р. Введение в хромато-масс-спектрометрию: Пер. с англ. -М.: Мир, 1993. - 237 с.
2. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. – М.: Бином, 2003. – 493с

## **ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА СУРГУТСКОЙ НЕФТИ МЕТОДОМ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ**

А.С. Владимирова<sup>1</sup>, Т.А. Подгорбунская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ХТб -14-1 ИМиХТ им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО ИРНИТУ, e-mail: [Vladimirova\\_nastasiya@mail.ru](mailto:Vladimirova_nastasiya@mail.ru)

<sup>2</sup> научный руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии, ФГБОУ ВО ИРНИТУ, e-mail: [tpodgor@istu.edu](mailto:tpodgor@istu.edu)

В наше время применение продуктов нефтепереработки подавляет многочисленные потребности современного мира. Ежедневно добывается

около 10 млн т нефти. В направлениях переработки на качество и количество получаемых углеводородных систем большое влияние оказывает природа нефтяного сырья. Многокомпонентность данных систем приводит к различным физико-химическим свойствам [1]. Чтобы соответствовать современному миру на нефтеперерабатывающих заводах значительное внимание уделяется углублению переработки нефти, расширению ассортимента выпускаемой продукции, увеличению масштабов производства, улучшению качества товарных топлив, путем вовлечения в их состав дистиллятов вторичных процессов, поэтому проблема исследования состава и свойств нефтепродуктов не теряет своей актуальности

На современном этапе технического развития нефть и нефтяные фракции занимают ведущее положение и являются источником основных видов сырья и топлива. При определении качественного и количественного состава, как нефти, так и нефтяных фракций важное место занимает метод хромато-масс-спектрометрии. Он представляет собой комбинацию высокоэффективной капиллярной хроматографии и очень чувствительной масс-спектрометрии. Этот метод является достоверным и перспективным для исследования состава сложных смесей органических соединений. Благодаря весьма значительной чувствительности и большой библиотеки эталонных масс-спектров, хромато-масс-спектрометрия – это мощный физико-химический метод анализа и идентификации органических веществ [2].

Объединение капиллярной хроматографии и масс-спектрометрии позволяет разделять на индивидуальные компоненты смеси и проводить их количественный и качественный состав. В настоящее время анализ нефтей и нефтяных фракций данным методом дополняется использованием электронно-вычислительной техники, обеспечивающей большие возможности регистрации и анализа как получаемых хроматограмм, так и масс-спектров, каждого из зарегистрированных компонентов.

Для изучения углеводородного состава нефти Сургутского месторождения нами, согласно ГОСТ 2177-99 [3] на аппарате АРН-2 были получены фракции с интервалом кипения в 30 °С. Методом хромато-масс-спектрометрии на приборе GCMS-QP2010 SE получены и обработаны спектры фракций с помощью библиотеки масс-спектров.

#### *Библиографический список*

1. Яценко И.Г. Малопарафинистые нефти: закономерности пространственных и временных изменений физико-химических свойств / И.Г. Яценко, Ю.М. Полищук // Изв. Том.политех. ун-т, 2008. Т. 313, №1. - С. 54-58.
2. Егазьянц С.В. Хроматографические методы анализа нефтепродуктов / Вестник моск. ун-та. Сер. 2. Химия. – 2009. – Т. 50. - № 2. – с. 75-99.

3. ГОСТ 2177-99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТАНОВКИ АВТ. КОНТАКТНЫЕ УСТРОЙСТВА

И.О. Крестовникова<sup>1</sup>, Т.А. Подгорбунская<sup>2</sup>,  
А.С. Владимирова<sup>3</sup>, Л.Е. Подаренко<sup>4</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. ХТм-15-1 ИМиХТ им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [irina\\_krestovnikova1@mail.ru](mailto:irina_krestovnikova1@mail.ru)

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры химической технологии, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [tpodgor@istu.edu](mailto:tpodgor@istu.edu)

<sup>3</sup> студент гр. ХТб -14 -1 ИМиХТ им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [vladimirova\\_nastasiya@mail.ru](mailto:vladimirova_nastasiya@mail.ru)

<sup>4</sup> студент гр. ХТб -14-1 ИМиХТ им. С.Б. Леонова, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», e-mail: [lev.podarenko.95@mail.ru](mailto:lev.podarenko.95@mail.ru)

Нефтеперерабатывающая отрасль занимает ведущее положение в мире. И усовершенствование действующих нефтеперерабатывающих заводов с созданием новых энергосберегающих, экологических и высокоэффективных технологических процессов является актуальной задачей [1, 2].

На сегодняшний день существует много путей интенсификации процессов первичной переработки нефти описанных в литературе. Большинство из них не реализовано в промышленности и поэтому не подтверждены экспериментальными данными [3].

На наш взгляд достаточно актуальным с точки зрения ресурсо- и энергосберегающих технологий является интенсификация массообменных процессов за счет новых типов массообменных устройств – перекрестноточных насадок, которые наряду с низким перепадом давления обладают большей гибкостью конструктивного оформления, высокой производительностью, простотой обслуживания. Так, например, для решения этого вопроса достаточно широко применяются насадочные устройства в вакуумных процессах переработки нефти [4].

Нами была предпринята попытка замены тарельчатых контактных устройств в ректификационной колонне переработки нефти на насадочные регулярные перекрестноточные контактные устройства.

### *Библиографический список*

1. Гимаев Р.Н., Курочкин А.К. Технология кардинального углубления переработки нефти // Материалы пленарного заседания VI Конгресса

нефтегазопромышленников России. «Нефтегазовый комплекс – реальность и перспективы». – Уфа. – 2005. – С. 87-98.

2. Курочкин А.К. Глубина переработки нефти в России пропорциональна глубине модернизации отечественных НПЗ // Экологический вестник России. – 2011. – С.4-13.

3. Крестовникова И.О., Подгорбунская Т.А., Еропов В.В. Установки первичной переработки нефти. Полученный опыт // Сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых ИМиХТ им. С.Б. Леонова «Переработка природного и техногенного сырья». – Иркутск: изд-во ИРНТУ. – 2016. – С. 249-252

4. Боков А.Б., Пилюгин В.В., Богатых К.Ф., Костюченко В.П. Результаты внедрения в промышленность разработок по регулярным перекрестноточным насадкам учеными Уфимского государственного нефтяного технического университета / Нефтепереработка и нефтехимия. – 2000. – №11. – С.10-17.

## **ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРА НА УСТАНОВКЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ГК-3 АО “АНХК”**

Никитушкин С. В.<sup>1</sup>, Могилевич Н. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>магистрант гр. ХТм-16-1, института металлургии и химической технологии им. Леонова С. Б. ИРНТУ, г. Иркутск, e-mail: [nik-stas81@mail.ru](mailto:nik-stas81@mail.ru)

<sup>2</sup>инженер по стандартизации 2 категории АО “АНХК”, г. Ангарск, e-mail: [MogilevichNV@anhk.rosneft.ru](mailto:MogilevichNV@anhk.rosneft.ru)

Согласно поручению правительства РФ 2014 года нефтяные компании России, включая и “Роснефть”, приступили к реализации мер, направленных на снижение импортозависимости по катализаторам. Уже в 2015 году было налажено производство различных катализаторов на трех российских заводах, еще четыре проекта находятся на стадиях реализации [1].

В связи с этим установка ГК-3 АО “АНХК” была переведена на отечественный катализатор, что дало положительный результат: исчезла зависимость международных отношений, снизилась цена, а также свойства катализаторов Российских заводов (Ишимбай, Омск) не уступают зарубежному (США), а в каких-то показателях и превосходят (см. табл. 1) [2, 3].

На сегодняшний день степень замещения Омским катализатором марки “Н” оценивается примерно в 75 % и продолжается увеличиваться в настоящее время.

Увеличение доли замены каталитической системы на катализатор марки “Н” (г. Омск) привело к:

- увеличению выхода рефлюкса;

- увеличению содержания изобутилена и суммы бутиленов в рефлюксе;
- росту содержания пропилена в ППФ;
- увеличению О.Ч. бензина;
- активности равновесного катализатора и составляет не мене 77 %.

Таблица 1 – Сводные данные по катализаторам, которые применялись на ГК-3

Катализатор	Температура н. к. общего бензина К.К, °С	Температура к.к. общего бензина К.К, °С	О.Ч. М.М	О.Ч. И.М	Выход бензина, %	Выход головки, %
Grace Resolution -160 (США)	34	195	81,5	92,4	49,2	13,6
Октифайн-480П (Ишимбай)	33	197	82,6	91,6	53,4	13,5
Марки “Н” (Омск)	35	179	81,9	92,6	49,1	15,2

Благодаря увеличению содержания изобутилена и суммы бутиленов в рефлюксе, данное сырье становится более привлекательным для процесса МТБЭ, а также для производства высокооктановых компонентов бензина – алкилата или олигомеризата. Также целесообразным становится организация выработки пропилена высокой концентрации или ППФ как товарного продукта.

Для установки ГК-3 АО “АНХК” мощностью 970 тыс. т в год по сырью был рассчитан экономический эффект для катализаторов разных фирм. Согласно полученным данным экономический эффект увеличивается в 1,5 раза при использовании катализатора марки “Н” (см. табл. 2).

Таблица 2 – Сводная таблица стоимости катализатора

Катализатор	Цена за 1т млн. руб	Затраты млн. руб/год	Экономический эффект млн. руб.
Resolution – 160	0,264	122,918	-
Октифайн – 480П	0,200	93,12	29,8
Марки “Н”	0,165	76,824	46,1

#### Библиографический список

1. <http://special.government.ru/abb/18926/>. О приоритетных инвестиционных проектах и импортозамещения в нефтехимии.
2. Технический отчет от 2014г. “Проведение фиксированного пробег по подтверждению гражданских показателей эффективности катализатора Resolution – 160 D - Prism”.
3. Технический отчет № 16 – 2015 “Фиксированный пробег по подтверждению гарантийных показателей эффективности катализатора крекинга ОКТИФАЙН – 480П”.

# 1,3-ДИПОЛЯРНОЕ ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЕ НИТРИЛОКСИДОВ К 3-ТРИМЕТИЛСИЛИЛ-2-ПРОПИН-1-АЛЮ

Нгуен Тхи Тхюи Линь<sup>1</sup>, Нгуен Чьонг Хой<sup>2</sup>, В.В. Новокшенов<sup>3</sup>

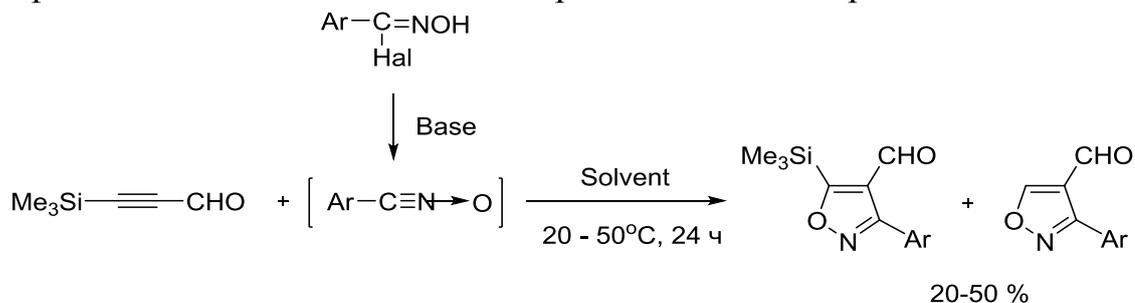
<sup>1</sup> студент гр ХТМ-16-1, ИМХТ, ФБГОУ ВО «ИРНИТУ»,  
Иркутск, e-mail: thuylinh1992.bk@gmail.com

<sup>2</sup> студент гр ХТМ-15-1, ИМХТ, ФБГОУ ВО «ИРНИТУ»,  
Иркутск

<sup>3</sup> нс, ИрИХ СО РАН, Иркутск, e-mail: vnov1971@gmail.com

Изоксазольное ядро и его производные присутствуют в большом количестве различных природных соединений [1], биологически активных веществ [2], материалов с различными функциональными назначениями [3]. Реакция 1,3-диполярного циклоприсоединения (1,3-ДПЦ) является одним из наиболее лёгких, доступных и эффективных способов получения разнообразных пятичленных гетероциклических веществ [4].

В настоящей работе приведены результаты 1,3-диполярного циклоприсоединения нитрилоксидов к 3-триметилсилил-2-пропин-1-алю, представителю функциональнозамещенных ацетиленовых альдегидов. Примеров использования пропиналей в данной реакции в литературе не обнаружено. Выяснено влияние различных факторов (среды реакции, температуры, природы основного реагента) на эффективность протекания 1,3-ДПЦ нитрилоксидов, генерируемых *in situ* из галогенпроизводных соответствующих ароматических альдоксимов к 3-триметилсилил-2-пропин-1-алю.



Ar = Ph, p-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>; Hal = Br, Cl; Base = NaHCO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Et<sub>3</sub>N; Solvent = CHCl<sub>3</sub>, acetone

## Библиографический список

1. Giomi D., Cordero F.M., Machetti F. Comprehensive Heterocyclic Chemistry III // Oxford: Elsevier. 2008.
2. Sperry J., Wright D. // Curr. Opin. Drug Discovery Dev. 2005. P 723.
3. Burrows A.D., Frost C.G., Mahon M.F. et al // J. Chem. Commun. 2010. Vol. 46. P. 5064.
4. Torssell K. B. G. Nitrile Oxides, Nitrones, and Nitronates in Organic Synthesis // New York: VCH. 1988.

**СЕКЦИЯ № 4**  
**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО**  
**ПРОИЗВОДСТВА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ**

**ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЧАСТИ**  
**ОТРАБОТАННОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВОГО**  
**ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

Э.П. Ржечицкий<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, А.А. Петровский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., старший научный сотрудник отдела инновационных технологий ФТИ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: epr523@gmail.com

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, зав. кафедрой металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск e-mail: ninavn@yandex.ru

<sup>3</sup>инженер отдела инновационных технологий ФТИ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: begimotus@mail.ru

Основным видом твердых отходов при производстве алюминия, является отработанная футеровка (ОФ), образующаяся при капитальном ремонте алюминиевых электролизеров. ОФ состоит из углеродной и теплоизоляционной частей. Углеродная часть ОФ частично используется в черной металлургии, кроме того за рубежом разработаны и применяются способы регенерации фтора [1]. Теплоизоляционная часть ОФ за рубежом нейтрализуется и хранится в отвалах, либо используется в производстве цемента, при этом имеются значительные ограничения по содержанию натрия. В России теплоизоляционная часть ОФ складировается в отвалах [2].

Теплоизоляционная часть футеровки алюминиевого электролизера состоит из выравнивающего слоя шамотной засыпки, слоя теплоизоляционных материалов (на основе диатомита, перлита или вермикулита) и слоя огнеупорных материалов на основе алюмосиликатных кирпичей или сухих барьерных смесей (СБС) [3].

При эксплуатации электролизера в процессе электролиза криолито-глиноземного расплава в результате тепловых и электрохимических факторов с теплоизоляционной футеровкой взаимодействуют пары натрия и компоненты электролита. Основным механизмом попадания фтористых солей натрия к огнеупорному слою является капиллярное течение электролита по проницаемым порам подовых углеродных блоков, межблочных и периферийных швов, заполненных подовой массой. Это обусловлено тем, что при температурах электролиза вязкость электролита соизмерима с вязкостью воды. На практике к этому механизму добавляются протечи электролита в зазоры, трещины и другие дефекты подины, возникающие при ее

обжиге. Считается, что реакция образования натрия в подовом блоке имеет вид:



При этом механизмами перемещения натрия через материал подового блока является диффузия и перенос натрия в виде пара. Продуктами взаимодействия алюмосиликатных огнеупоров с электролитом в присутствии натрия будут нефелин и альбит, сосуществующие с криолитом. За счет этих реакций масса теплоизоляционной части ОФ увеличивается на 20-30 % от первоначальной [4].

Теплоизоляционная часть ОФ по внешнему виду и составу разделяется на четыре части: слой под блоками – линза и прореагировавший кирпич, целый шамотный кирпич, теплоизоляция (диатомит, вермикулит или перлит) и шамотная засыпка. Слой под блоками образован электролитом, проникшим через подину и растворившим часть шамотного кирпича, содержит натрий, алюминий, фтор и кремний. Вторая часть – шамотный кирпич. Значительная часть кирпича является неразрушенной и содержит незначительное количество фтора – 0,2-1,5 %. Это связано со стойкостью шамота к парам фтора. Третья часть – теплоизоляция, содержащая до 7 % фтора, что обусловлено пористой структурой и высокой удельной поверхностью. Шамотная засыпка, в большинстве случаев остается неизменной. Деструкция теплоизоляционной ОФ для каждого электролизера индивидуальна. В отдельных случаях огнеупорный кирпич не разрушен, линза минимальна, содержание фтора незначительно, в других случаях электролит проникает по всей глубине теплоизоляционной футеровки [5]. Средний химический состав по результатам анализа проб от пяти электролизеров типа С8БМ мас. %: С – 1-5; F – 7-10; Al – 12-16; Na – 7-10; Ca – 0,5-1,0; Si – 16-20; Mg – 0,5-1,0; Fe – 1,0-2,0; прочие – 35-45 (кислород в виде оксидов алюминия и кремния).

В качестве основных фаз в теплоизоляционной части ОФ методом рентгеноструктурного анализа обнаружены следующие вещества: муллит  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , фтористый натрий NaF, криолит  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , хиолит  $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$ , оксид кремния  $\text{SiO}_2$  (в виде кристобалита, кварца, тридимита), фтористый кальций  $\text{CaF}_2$ , оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , нефелин  $\text{NaAlSiO}_4$ , альбит  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ .

Так как элементный и фазовый составы ОФ зависят от типа электролизеров, применяемой технологии и параметров эксплуатации [6], на основании изучения свойств вышеперечисленных веществ разрабатывается гидрохимическая и флотационная технологии переработки теплоизоляционной части ОФ.

Использование разрабатываемой технологии позволит осуществить переработку теплоизоляционной части ОФ алюминиевых электролизеров с получением фтористого алюминия и отхода с низким содержанием натрия, пригодного для использования в производстве цемента.

### *Библиографический список*

1. Куликов Б.П., Истомин С.П. Переработка отходов алюминиевого производства. 2-е изд. – С.-Пб: Изд-во МАНЭБ, 2004. – 480 с.
2. Сорлье М., Ойа Х.А. Катоды алюминиевого электролизера. – Красноярск: Версо, 2013. – 720 с.
3. Зельберг Б.И., Рагозин Л.В., Баранцев А.Г., Ясевич О.И., Григорьев В.Г., Баранов А.Н., Кондратьев В.В. Справочник металлурга. Производство алюминия и сплавов на его основе. – Иркутск: изд-во ИРНИТУ, 2015. – 764 с.
4. Юрков А.Л. Огнеупоры и углеродные катодные материалы для алюминиевой промышленности. – Красноярск: Бона компании, 2005. – 258 с.
5. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Тенигин А.Ю. Технологические решения по охране окружающей среды при производстве алюминия. - Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2013. – 160 с.
6. Сомов В.В., Немчинова Н.В., Пьявкина А.А. О способах утилизации отработанной футеровки электролизеров алюминиевого производства// Вестник ИрГТУ, 2015. – №5 (100). – С. 155-161.

## **МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ (ОГНЕУПОРНОЙ) ЧАСТИ ОТРАБОТАНОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ**

Э.П. Ржечицкий<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, А.А. Петровский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., старший научный сотрудник отдела инновационных технологий ФТИ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: epr523@gmail.com

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, зав. кафедрой металлургии цветных металлов, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск e-mail: ninavn@yandex.ru

<sup>3</sup>инженер отдела инновационных технологий ФТИ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: begimotus@mail.ru

В настоящее время основным видом твердых отходов при производстве алюминия являются материалы капитального ремонта электролизеров, в том числе отработанная футеровка (ОФ). Объем образования ОФ за рубежом составляет 15-25 кг на т произведенного алюминия, в России, из-за меньшего срока службы электролизеров, удельный показатель образования ОФ составляет 30-50 кг/т алюминия [1]. Учитывая, что в нашей стране производится более 5 млн. т алюминия в год, то ежегодный объем генерирования ОФ превышает 150 тыс. т. Отработанная футеровка при хранении на полигонах может взаимодействовать с водой и воздухом, образуя токсичные соединения и щелочные фторсодержащие растворы. В

связи с этим ОФ является экологически опасным видом отходов 3-4 классов. Стоимость переработки одной тонны ОФ за рубежом составляет от 100 до 1000 долларов США, в России за размещение в отвалах отходов 4 класса опасности, к которым относится теплоизоляционная часть ОФ, государством взимается плата в размере 663 руб. за т. Данных об экономической эффективности процессов по переработке отработанной футеровки в открытой печати практически нет.

Отработанная футеровка делится на две части: углеродсодержащую (так называемый «первый срез») и теплоизоляционную (второй срез). Углеродсодержащая часть ОФ частично утилизируется в черной металлургии в качестве флюсующей добавки при выплавке чугуна и стали; кроме того, за рубежом разработаны и используются способы регенерации фтора из углеродной части ОФ. Теплоизоляционная часть в основном складывается в специально оборудованных отвалах. В то же время в связи с содержанием в ОФ фторидов, соединений алюминия и натрия она может перерабатываться с полным извлечением ценных компонентов и надежным обезвреживанием.

Средний химический состав теплоизоляционной части ОФ представлен следующими элементами, мас. %: С – 1-5; F – 7-10; Al – 12-16; Na – 7-10; Ca – 0,5-1,0; Si – 16-20; Mg – 0,5-1,0; Fe – 1,0-2,0; прочие – 35-45. Прочие – это в основном кислород в виде  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ .

Существует проблема утилизации и рециклинга отходов капитального ремонта алюминиевых электролизеров. Одна из наиболее сложных проблем заключается в том, что футеровка неоднородна и может содержать различные компоненты в различных концентрациях, что осложняет выбор технических решений по ее переработке и требует значительных затрат на реализацию [2]. К настоящему моменту используются несколько методов переработки теплоизоляционной части ОФ. Все они относятся к технологиям хранения.

С конца 80-х годов прошлого столетия компания «Алкан» использует для нейтрализации фторидов и цианидов процесс гипсования. Первоначально ОФ измельчается, нагревается перегретым паром до 400 °С и выдерживается 60 мин для нейтрализации цианидов, затем обрабатывается серной кислотой для растворения фторидов, после чего нейтрализуется гидроксидом кальция и карбонатом кальция. Такая обработка превращает большую часть фторидов в практически нерастворимый фторид кальция, при этом гидратированный сульфат кальция выпадает в осадок. После этого следует обработка водой для осаждения свободных ионов фтора во фторид кальция. Переработанная таким образом ОФ инертна на воздухе и может храниться в необорудованных отвалах [3].

Компания «Рейнолдс» использует процесс термической детоксикации, в котором предварительно измельченная ОФ смешивается с известью и антиагломерационной добавкой и кальцинируется во вращающейся печи.

Растворимые фториды при реакции с известью образуют трудно растворимый фтористый кальций, в то время как цианиды разлагаются при высокой температуре.

В Бразилии используют измельченную теплоизоляционную часть ОФ в качестве добавки при производстве красного кирпича. Применяется стандартное оборудование кирпичного завода. Выбросы цианидов и фторидов в атмосферу не превышают установленные нормы, при этом улучшается качество кирпича по водопоглощению и прочности.

На заводе «Люмберс Ориньи» добавляют измельченную огнеупорную ОФ при производстве цемента, но высокое содержание натрия в ОФ делает невозможным производство низкощелочных цементов [4].

Наибольший интерес представляют методы переработки ОФ, позволяющие регенерировать фтористый алюминий [5].

Нами разрабатывается технология извлечения фторсолей с получением фтористого алюминия. Остаток после отделения фтора и части натрия представляет кремнийалюминийсодержащий материал с низким содержанием натрия, что позволит использовать этот продукт в производстве цемента. По сравнению с зарубежными технологиями содержание натрия снижено в 2-3 раза, а остаточное содержание фтора позволяет полезно использовать полученный продукт в качестве модификатора при производстве цементного клинкера.

#### *Библиографический список*

1. Куликов Б.П., Истомина С.П. Переработка отходов алюминиевого производства. 2-е изд. – С.-Пб: Изд-во МАНЭБ, 2004. – 480 с.
2. Юрков А.Л. Огнеупоры и углеродные катодные материалы для алюминиевой промышленности. - Красноярск: Бона компании, 2005. – 258 с.
3. Сомов В.В., Немчинова Н.В., Пьявкина А.А. О способах утилизации отработанной футеровки электролизеров алюминиевого производства// Вестник ИрГТУ, 2015. – №5 (100). – С. 155-161.
4. Сорлье М., Ойа Х.А. Катоды алюминиевого электролизера. - Красноярск: Версо, 2013. – 720 с.
5. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Тенигин А.Ю. Технологические решения по охране окружающей среды при производстве алюминия. – Иркутск: изд-во ИрГТУ. – 2013. – 160 с.

# НОВЫЕ МЕМБРАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.Д. Максименко<sup>1</sup>, А.А. Коноваленко<sup>2</sup>, А.Н. Чеснокова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>аспирант ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: irz.irk@mail.ru

<sup>2</sup>студент гр. ХТБП-15-1 ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: alexei.konovalenko@yandex.ru

<sup>3</sup>к.х.н., ведущий научный сотрудник ФТИ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск, e-mail: chesnokova@istu.edu

С каждым годом все сильнее обостряется проблема экологии и глобального энергетического кризиса. Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносит традиционная энергетика и транспорт. На долю российского энергетического сектора приходится более 50 % выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и более 20 % сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы, а также более 70 % суммарной эмиссии парниковых газов в РФ [1]. В связи с этим в последние десятилетия постепенно происходит постепенный переход от классических источников энергии, при работе которых происходит выделение большого количества выбросов в окружающую среду, на более экологобезопасные виды, например, водородные топливные элементы (ТЭ).

Фактически ТЭ – это электрохимическое устройство, предназначенное для прямого преобразования поступившего топлива в электрическую энергию за счет каталитической реакции (рис.1) [5]. Главным преимуществом водородного ТЭ является экологическая чистота, поскольку единственным побочным продуктом при его работе является чистая вода. Так же стоит отметить, что работа топливного элемента является абсолютно бесшумной, а коэффициент полезного действия выше более чем в два раза по сравнению с двигателем внутреннего сгорания.

ТЭ разрабатываются как для стационарных, так и для мобильных приложений. Приведем лишь несколько примеров использования данных систем. С 2001 года в США работает система энергосбережения почтовой службы на основе пяти топливных элементов производства «ONSI Corporation» [3]. Компанией «NEC Corporation» выпущен ноутбук, работающий на водородном ТЭ. Также серийно выпускаются автономные зарядные устройства на основе водородных ТЭ сингапурской компанией «Horizon Fuel Cell Technologies». Это устройство выдает напряжение на выходе – 5 В и силу тока – 400 мА [4].

Среди таких компаний как «Toyota», «Nissan», «GM» и др., можно увидеть не только прототипы, но и автомобили, выпускаемые малыми се-

риями, в которых вместо двигателя внутреннего сгорания применяется водородный топливный элемент (ТЭ) [5]. В Германии такие типы автомобилей уже не в новинку, в 2014 году функционировало 30 водородных заправок, на которых можно было заправлять автомобили, к концу 2015 года было построено еще 20 заправок.

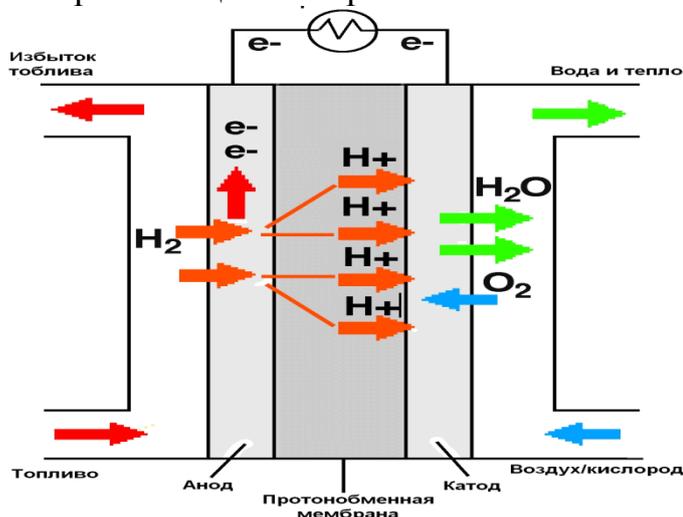


Рисунок 1 - Схематическое представление мембранно-электродного блока водородного ТЭ

Как видно из рис. 1, ключевым составляющим ТЭ является мембранно-электродный блок (МЭБ), состоящий из полимерной ионпроводящей мембраны и двух электродов. Функция МЭБ заключается в обеспечении транспорта ионов водорода и разделении газовых или топливных потоков на аноде и катоде. Химическая стабильность, совместимость со структурой катализатора и газодиффузионных слоев ионообменных мембран определяет меньшие потери на стыке границ и не приводит к "отравлению" катализаторов в диапазоне рабочих температур и влажности [6]. Наиболее известны перфторированные сульфокислотные мембраны типа Nafion (российский аналог - МФ-4СК), широко применяемые для электрохимического синтеза и производства ТЭ. Несмотря на целый ряд достоинств мембраны Nafion имеют и определенные недостатки, например ограниченный интервал температур, в котором они могут работать, и необходимость поддержания высокой влажности для обеспечения хороших транспортных свойств [7, 8]. Высокая стоимость перфторированных мембран (порядка 900 амер. долларов за м<sup>2</sup>) сдерживает крупномасштабное применение их в промышленности. В связи с этим разработка альтернативных мембранных материалов, имеющих более низкую себестоимость, является актуальной задачей.

Рядом преимуществ, по сравнению с коммерческими перфторированными мембранами Nafion, обладают композитные мембраны [9, 10, 11], полученные методом золь-гель синтеза. Данные материалы обладают свойствами как органо-полимерных (гибкость, пластичность и перерабатываемость), так и неорганических (термостойкость, сохранение механи-

ческих свойств при высокой температуре, низкий коэффициент теплового расширения) материалов [12, 13, 14]. Использование в процессе синтеза различных по химической природе органических соединений, содержащих ионогенные группы, обуславливает ионообменные свойства мембран [15, 16].

Целью работы являлось исследование и разработка протонпроводящих мембран на основе азотсодержащих гетероароматических производных сульфоновых кислот: 3-пиридинсульфонокислоты (ПСК) и 2-фенил-5-бензимидазолсульфонокислоты (ФБИСК) с участием тетраэтоксисилана (ТЭОС).

Получены гелевые мембраны, состоящие из полимерной матрицы поливинилбутираля, в которой равномерно распределены частицы диоксида кремния, в трехмерную структуру которого механически встроены молекулы гетероароматических производных сульфокислот, допированные ортофосфорной кислотой. Состав мембран охарактеризован методами элементного анализа и ИК спектроскопии. Данные элементного анализа: мембрана на основе ФБИСК (m-ФБИСК): SiO<sub>2</sub>- 12.97 %, S-6.41 %, P-0.42 %; мембрана на основе ПСК (m-ПСК): SiO<sub>2</sub>-24.49 %, S-12.67 %, P-0.54 %.

По данным дифференциальной сканирующей калориметрии мембраны m-ФБИСК и m-ПСК термически устойчивы до температур 180-190 °С, что позволяет эксплуатировать их в составе твердополимерных топливных элементов.

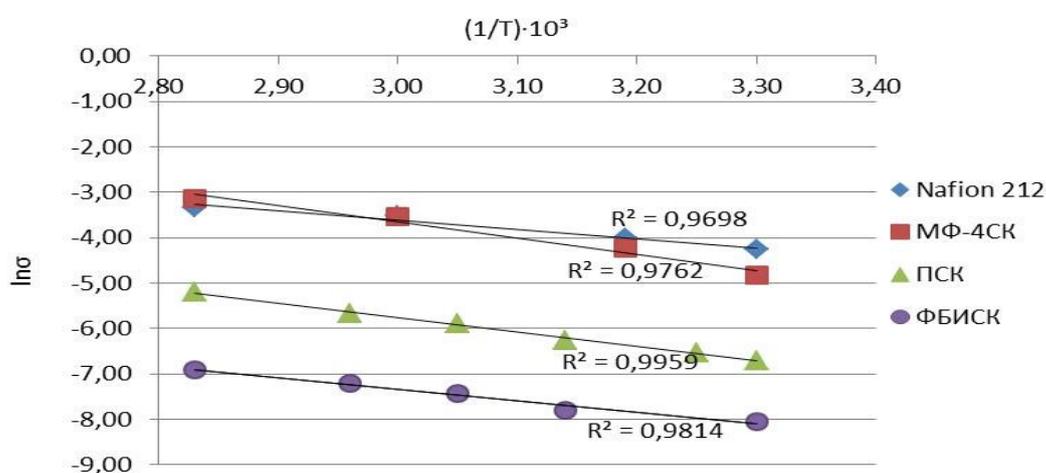


Рисунок 2 - Графики зависимости протонной проводимости исследуемых мембран от температуры

Исследована зависимость ионной проводимости мембран на основе ПСК и ФБИСК от температуры. В качестве сравнительных образцов использовали промышленно производимые мембраны Nafion 212 («DuPont», США) и МФ-4СК (ОАО «Пластполимер», Россия). На основании полученных данных построены графики зависимости протонной проводимости ис-

следуемых мембран от температуры (рис. 2), по которым определена энергия активации процесса переноса протона через мембрану согласно уравнению Аррениуса:

$$\sigma = A \exp \left( -\frac{E_a}{RT} \right),$$

где  $\sigma$  – ионная проводимость, См/см;  $A$  – предэкспоненциальный множитель;  $E_a$  – энергия активации для ионной проводимости, кДж/моль;  $R$  – газовая постоянная (8,31 Дж/моль·К);  $T$  – температура, К.

Анализ результатов исследования протонной проводимости мембран на основе ПСК и ФБИСК показал, что в интервале температур от 30 до 80 °С наблюдается линейное увеличение их протонной проводимости. Энергия активации мембран на основе ПСК и ФБИСК составляет 24,93 и 21,73 кДж/моль, соответственно. Полученные результаты исследуемых мембран сравнимы с коммерческими мембранам Нафион и МФ-4СК, энергия активации которых составляет 17,04 и 29,92 кДж/моль.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о перспективности использования золь-гель метода для изготовления полимерных протонпроводящих мембран. Данный метод позволяет изготавливать мембраны не только с хорошими механическими характеристиками, но и значительно дешевле относительно аналогов.

#### *Библиографический список*

1. Энергетика России: Взгляд в будущее (Обосновывающие материалы к Энергетической стратегии России за период до 2030 года). М.:Издательский дом «Энергия». 2010. 616стр.
2. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Рос. Федерации в связи с осуществлением мер по реформированию Единой энергетической системы России: федер. Закон от 04.11.2007 № 250-ФЗ Парламент. Газ. № 152-154.-09.11.2007.
3. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий [Электронный ресурс] // Некоммерческое партнерство инженеров: [Сайт]. [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2340](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2340) (Дата обращения 14.02.17)
4. Водородная зарядка от Horizon поступила в продажу [Электронный ресурс] // Membrana. Люди. Идеи. Технологии: [Сайт]. <http://www.membrana.ru/particle/4157>.
5. R&D Strategies for new automotive Technologies: Insights from Fuel Cells, Patrick P. Steinemann, IMVP, November 14, 1999.
6. Hickner M.A., Ghassemi H., Kim Yu S., Einsla B. R., McGrath J. E. Alternative polymer systems for proton exchange membranes (PEMs) // Chem. Rev. 2004. V. 104. P. 4587-4612.

7. Innocenzi P., Zub Y.L., Kessler V.G. Sol-gel methods for Materials Processing: Focusing on Materials for Pollution Control: Water Purification, and Soil Remediation. 2008. New York: Springer. 508 p

8. Иванчев С.С. Фторированные протонопроводящие мембраны типа Нафион - прошлое и настоящее // Журнал прикладной химии. 2008. Т. 81. № 4. С. 529-546.

9. Ярославцев А.Б. Перфторированные ионообменные мембраны // Высокомолекулярные соединения. А. 2013. Т. 55. № 11. С. 1367-1392.

10. Aparicio M., Lecoq E., Castro Y., Duran A. Proton conducting organic/inorganic sol-gel membranes produced from phenyltriethoxysilane and 3-methacryloxypropyltriethoxysilane // J. Sol-Gel Sci. and Technol. 2005. V. 34. № 3. P. 233-239.

11. Onizuka H., Kato M., Shimura T., Sakamoto W., Yogo T. Synthesis of proton conductive inorganic-organic hybrid membranes through copolymerization of dimethylethoxyvinylsilane with vinylphosphonic acid // J. Sol-Gel Sci. and Technol. 2008. V. 46. № 1. P. 107-115

12. Tadanaga K., Yoshida H., Matsuda A., Minami T., Tatsumisago M. Medium temperature operation of fuel cells using inorganic-organic hybrid films from 3-glycidoxypropyltrimethoxysilane and orthophosphoric acid // Electrochim. Acta. 2004. V. 50. № 2-3. P. 705-708.

13. Ярославцев А.Б. Композиционные материалы с ионной проводимостью – от неорганических композитов до гибридных мембран // Успехи химии. 2009. Т. 78. № 11. С. 1094-1112.

14. Бочкарева С.С., Еропов В.В. Получение гибридных композитов на основе азотсодержащих гетероциклических соединений и метилтрихлорсилана // Материалы трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции. В сборнике: Энергетика: эффективность, надежность, безопасность В 2 томах. 2015. С. 41-43

15. Lebedeva O.V., Pozhidaev Y.N., Bochkareva S.S. Hybrid composites based on organosilicon monomers and acrylic acid // Russian Journal of Applied Chemistry. 2011. Т. 84. № 8. С. 1418-1421.

16. Пожидаев Ю.Н., Лебедева О.В., Бочкарева С.С., Воропаева Е.Ф. Формирование органо-неорганических композитов на основе кремний-органических мономеров и акриловых кислот // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. №2 (49). С.151-156

17. Innocenzi P., Zub Y.L., Kessler V.G. Sol-gel methods for Materials Processing: Focusing on Materials for Pollution Control: Water Purification, and Soil Remediation. 2008. New York: Springer. 508 p

18. Lebedeva O. V., Chesnokova A. N., Badlueva T. V., Sipkina E. I., Rzhechitskii A. E. , and Pozhidaev Yu. N. Hybrid Ion-Exchange Membranes Based on Heteroaromatic Sulfonic Acid Derivatives / Petroleum Chemistry. 2015. Vol. 55. No. 5. P. 333–338.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ФТОРУГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

Н.В. Немчинова<sup>1</sup>, П.А. Якушевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д.т.н., профессор, зав. кафедрой металлургии цветных металлов ИРНИ-ТУ, г. Иркутск, e-mail: [ninavn@yandex.ru](mailto:ninavn@yandex.ru)

<sup>2</sup> специалист группы управления ремонтами, ОАО «РУСАЛ Братск», г. Братск, e-mail: [Yakushevich.Pavel@gmail.com](mailto:Yakushevich.Pavel@gmail.com)

Производство первичного алюминия на крупнейшем в России ОАО «РУСАЛ Братск» ОК «РУСАЛ» включает в себя 25 корпусов электролиза, в которых установлено 2338 электролизеров с анодом Содерберга и верхним токоподводом. Помимо первичного алюминия, являющегося основным продуктом электролизного производства, в технологическом процессе образуются техногенные продукты: пылегазовая смесь, угольная пена, отработанная футеровка. Большая часть фторуглеродсодержащих отходов, размещаемых на шламовых полях алюминиевых предприятий, образуется при производстве вторичного криолита из угольной пены и растворов мокрой газоочистки, используемой для очистки отходящих газов.

В настоящее время на ОАО «РУСАЛ Братск» остро стоит проблема переработки образующихся фторуглеродсодержащих отходов, поскольку данные материалы являются ценным сырьем, которое может утилизироваться и направляться вновь в другие отрасли промышленности, снижая тем самым экологическую нагрузку на окружающую среду.

Предлагаемая технология включает в себя обезвоживание и брикетирование фторуглеродсодержащих материалов, которые могут быть в дальнейшем использованы в качестве восстановителя в черной металлургии, т.к. обладают необходимой прочностью, достаточной реакционной и теплотворной способностью.

Однако мероприятия по реконструкции шламовых полей требуют привлечения значительных инвестиций. В Федеральном законе «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» от 25.02.1999 года №39-ФЗ даются следующие определения понятий «инвестиции» и «капитальные вложения».

«Инвестиция – денежные средства, ценные бумаги, иное имущество, в том числе имущественные права, иные права, имеющие денежную оценку, вкладываемые в объекты предпринимательской деятельности и иной деятельности в целях получения прибыли и достижения иного положительного эффекта». «Капитальные вложения – инвестиции в основной капитал (основные средства), в том числе затраты на новое строительство,

расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий, приобретение, инструмента, инвентаря, проектно- и экспериментальные работы и другие затраты».

Результаты расчета капитальных вложений на внедрение технологии утилизации фторуглеродсодержащих отходов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета капитальных вложений

Показатели	Кол-во, шт.	Сметная стоимость, руб	Стоимость с учетом монтажа, руб	Нормы амортизации, %	Амортизационные отчисления, руб.
Насос ПК-63	3	1 733 314	2 253 082	12	207 998
Насос 72/20	1	963 667	1 252 767	12	115 640
Распределительный бачок	2	193 900	310 240	7,7	14 930
Бак-мешалка	2	526 200	841 920	7,7	40 517
Пресс для брикетирования	4	6 000 000	Установка включена в цену	12	720 000
Ленточный конвейер	1	736 500	1178400	20	147 300
<b>Всего</b>		9627381	11836409		1 205 868

Себестоимость продукции является не только важнейшей экономической категорией, но и качественным показателем, характеризующим уровень использования всех ресурсов (переменного и постоянного капитала), находящихся в распоряжении предприятия.

Таблица 2. Результаты расчета себестоимости продукции

Показатель	Ед. изм.	Значение
Выпуск брикетов для производства стали	т/год	19 000
Цена 1т брикетов для производства стали	руб./т	1 740
Себестоимость 1т брикетов для производства стали	руб./т	728,27
Внутризаводские расходы на транспортировку	%	20
Инвестиции на основные фонды	тыс. руб.	12 034,23
Строительно-монтажные работы	тыс. руб.	2 761,29
Налог на прибыль	%	20
Прибыль	тыс. руб./год	13 164,36
Срок окупаемости	год	1 год

Проведенные опытно-промышленные испытания по брикетированию хвостов флотации угольной пены с добавкой шламов газоочистки в качестве связующего и сухой пыли электрофильтров для снижения влажности материалов доказали возможность внедрения данной технологии. Расчёт основных технико-экономических показателей доказывает экономическую

эффективность внедрения технологии переработки фторуглеродсодержащих отходов на ОАО «РУСАЛ Братск».

Работа выполнена по НИР 11.7210.2017/БЧ в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ.

## **НАКОПЛЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ УЩЕРБ ОТ МЫШЬЯКОВИСТЫХ ОТХОДОВ ГОРНО-ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Д.Д. Блинов<sup>1</sup>, Я.Э. Бальчинова<sup>2</sup>, О.Л. Качор<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ООСб-15, ИН, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [cheremil@yandex.ru](mailto:cheremil@yandex.ru);

<sup>2</sup> магистрант гр. ЭКОм-16, ИН, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск;

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры ОПИиООС ИН, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [olgakachor@gmail.com](mailto:olgakachor@gmail.com)

В рамках Федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009-2014)», а также областной программы «Защита окружающей среды в Иркутской области» на 2006-2015 годы, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» были проведены работы по ликвидации накопленного экологического ущерба - мышьяковистых отходов промплощадки бывшего Ангарского мышьяковистого завода (АМЗ) по переработке арсенопиритных руд МО «г. Свирск» Иркутской области, который в период с 1934 по 1949 гг. осуществлял выпуск триоксида мышьяка.

Большая часть продукции мышьяковых заводов была востребована оборонной промышленностью. Из Книги «Химический бумеранг страны Советов (хроника жизни ненужного оружия в безалаберной стране)» Федорова Л.А. «27 ноября 1941 г. Распоряжение Совнаркома СССР об увеличении производства мышьяка в 1942 г. до 22000 т в год, в том числе в расширенном цехе по выпуску металлического мышьяка при Ново-Троицком заводе до 660 т в год и во вновь построенных цехах при Ангарском (мощность 930 т в год) и Карабашском заводах (мощность 450 т в год). Мышьяк был необходим для выпуска люизита, адамсита и дифенилхлорарсина». В 1989 г. Советский Союз отказался от производства боевых отравляющих веществ, в том числе и арсинов, поэтому необходимость в их производстве отпала, целый ряд предприятий прекратил свою деятельность. Однако производственные площадки этих заводов не были ликвидированы и в настоящее время представляют собой опасные социально-экологические очаги загрязнения.

Маркшейдерскими исследованиями было определено общее количество огарков, хранившееся на 13 га промплощадки АМЗ, которое составило 156,9 тыс. т со средним содержанием мышьяка около 1 %. Непосредственно у отвалов на промплощадке располагались останки производственных зданий и технологического оборудования общий объемом 6,6 тыс. м<sup>3</sup> с содержанием в них мышьяка 150 т. Еще одним источником загрязнения промплощадки АМЗ являлся зараженный почвогрунт - 48 тыс. т. [1].

Ситуация обострялась еще и тем, что промплощадка располагалась в непосредственной близости с жилой зоной и в 600 м от реки Ангара, что являлось угрозой возникновения социально-экологической катастрофы всего природно-техногенного комплекса верхней части Братского водохранилища и, как следствие, одной из причин сложившейся неблагоприятной медико-экологической ситуации в данном районе, итогом которой уже на протяжении многих лет стали самые высокие удельные показатели смертности по Иркутской области – 20 % [2].

Промплощадка АМЗ была полностью ликвидирована в 2013 г., однако за весь период своего существования она оказала крайне негативное воздействия на объекты окружающей среды всей оставшейся территория МО «г. Свирск» и прилегающих дачных садоводств общей площадью 25 км<sup>2</sup>. В почве этой территории фиксируются превышения нормативов по мышьяку и тяжелым металлам в десятки и сотни раз. Учитывая угнетенное состояние почвы, для ее восстановления также необходимо проведение рекультивационных мер.

Промплощадка АМЗ МО «г. Свирск» - не единичный случай, подобных не ликвидированных промплощадок с мышьяксодержащими отходами в РФ много.

Таким примером является поселок «Вершино-Дарасунский» Забайкальского края, население которого составляет 5,5 тыс. человек. Заброшенная промплощадка бывшего завода по производству мышьяка находится в центральной части поселка. Завод в «Вершино-Дарасунском» как и в Свирске был построен в 30-х годах XX столетия для производства белого мышьяка. Закрыли завод в 1973 году без проведения работ по ликвидации мышьяксодержащих отходов и рекультивации территории. Работы по мониторингу данной площадки были проведены ИРННТУ в октябре 2016 г.

Во всех пробах, отобранных с промплощадки бывшего завода содержание мышьяка и тяжелых металлов значительно превосходит нормативное содержание: по мышьяку превышения в кирпичах разрушенных зданий от 150 до 840 раз, в отвалах от 1400 до 10445 раз, в пробах грунта от 2590 до 79000 раз; в несколько сотен раз превышают нормативы содержания по тяжелым металлам. Такие значительные превышения свидетельствуют о крупномасштабном загрязнении данной территории и требуют проведения работ по ликвидации накопленного экологического ущерба.

### *Библиографический список*

- 1- Ликвидация последствий деятельности мышьякового производства горно-перерабатывающей промышленности /Богданов А.В., Федотов К.В., Качор О.Л., Чайка Н.В. // Экология и промышленность России, 2014, май
- 2- Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области за 2010 год. – Иркутск: ООО Форвард, 2011. – 400 с.

## **ВОЗМОЖНОСТИ ОЧИСТКИ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ ОТ ОКСИДОВ СЕРЫ И АЗОТА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТВАЛЬНЫХ КРАСНЫХ ШЛАМОВ**

А.Б. Лебедев<sup>1</sup>, В.А. Утков<sup>2</sup>, В.Ю.Бажин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> аспирант кафедры металлургии, Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербурга, e-mail: [2799957@mail.ru](mailto:2799957@mail.ru)

<sup>2</sup> доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербурга, e-mail: [UtkovVA@yandex.ru](mailto:UtkovVA@yandex.ru)

<sup>3</sup> доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургского горного университета, г. Санкт-Петербурга, e-mail: [bazhin-alfoil@mail.ru](mailto:bazhin-alfoil@mail.ru)

В связи с актуальностью сокращения количества выбросов, оксидов серы и азота в атмосферу, представляет интерес исследования возможности использования для этих целей отвальных красных шламов глиноземного производства, поскольку они содержат, в своем химическом составе, оксиды, которые могут служить поглотителями этих вредных составляющих. Были проведены экспериментальные исследования, которые помогли выявить поглотительные способности этого материала. Эта работа имеет двойное экологическое значение: очистка газов от вредных примесей и использование выбрасываемых в шламовые отвалы отходов производства красного шлама (КШ). Это направление, в последнее время, привлекает исследователей в связи с происшествиями и крупнейшей экологической катастрофой. В частности, совсем недавно таковая произошла в 2010 г. в Венгрии. По причине разрушения ограждающей дамбы хранилища тонкодисперсный высоковлажные отходы производства глинозема из бокситов - красные шламы разлились на тысячи гектаров земли, уничтожая животный мир и загрязняя важнейшую в Европе реку Дунай. Погибли люди, на длительное время не работали средства обеспечения жизнедеятельности населения и промышленного производства.

Известно, что КШ как сорбент для очистки газов от вредных примесей испытан и внедрен зарубежной практикой (Италия, Япония). Недостатком этого способа является возвращение насыщенного сорбента в хранилище КШ. Поиск возможностей использования насыщенного КШ явля-

ется самостоятельной технической задачей. Данная работа позволяет избежать этого недостатка. Сорбционные свойства КШ используются в процессе грануляции. Получается граншлак с особыми свойствами – шламошлак. Для лабораторных исследований применялись шламы, взятые из производства. Исследованиями оценены сорбционные свойства КШ не только по отношению к летучим соединениям серы, но и к  $\text{NO}_x$ , поскольку этот газ является токсичным и для его вылавливания используются дорогостоящие сорбенты. В работе установлено, что с помощью КШ возможно полное улавливание  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{S}$  и около 50 %  $\text{NO}_x$ .

Исследованиями установлено также, что шламошлак не уступает, а по некоторым показателям, даже превосходит обычный граншлак: по скорости сушки, при подготовке его к вводу в состав шлакопортландцемента, и уменьшает расход электроэнергии при соответствующем размоле перед вводом.

#### *Библиографический список*

1. Аверкин А.Г. «Аппараты для физико-химической очистки воздуха». Учеб. пособие. В 2-х частях. Ч.1. Абсорберы. Пенза: ПГАСА, 2000. 100 с.

2. Гончаров А. «Современные продукты и решения для обработки твердого и жидкого топлива (уголь, мазут)». Технологии очистки вредных атмосферных выбросов промышленных производств. 2012.

3. В.А.Утков «Переработка отвальных шламов в качестве элемента высокотехнологичной малоотходной технологии производства глинозема из бокситов и нефелинов», Технико-экономический вестник РУСАЛ, М., 2007/18, с. 51-56.

4. В.А.Утков и Л.И.Леонтьев «Повышение прочности агломератов и окатышей при помощи бокситового красного шлама» журнал Сталь, 2005, 9 с.

5. И.И. Ребрик, В.А. Утков, В.И. Смола, В.М. Сизяков «Критерии возможности переработки красных шламов как техногенного сырья» ж. Экология и промышленность России, 2008, ноябрь, с. 26-28.

## **ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФТОРИСТЫХ СОЛЕЙ ИЗ ОТРАБОТАННОЙ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЛЮМИНИЯ**

В.О. Горовой<sup>1</sup>, А.Д. Колосов<sup>2</sup>, А.И. Балеева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Вед. инженер ИТ Центра ИРНИТУ, e-mail: [vog@istu.edu](mailto:vog@istu.edu)

<sup>2</sup> Вед. инженер ИТ Центра ИРНИТУ, e-mail: [akoloso.irk@gmail.com](mailto:akoloso.irk@gmail.com)

<sup>3</sup> студент ИРНИТУ, гр. ТХБ-13-2

Масштабы техногенного воздействия алюминиевых заводов на окружающую среду определяются техническим уровнем производства.

Поэтому решение экологических проблем напрямую связано с техническим совершенствованием действующего производства. Отработанная катодная футеровка алюминиевых электролизеров состоит из углеродистой и алюмосиликатной частей, пропитанных расплавом электролита, металла и продуктами взаимодействия перечисленных компонентов. Кроме того, отработанная футеровка имеет и самый сложный вещественный состав. Отечественные алюминиевые заводы при демонтаже извлекают металлический алюминий, стальные блюмсы и периферийный слой огнеупорных кирпичей, и отправляют на полигоны твердых промышленных отходов для складирования. До настоящего времени не предложено универсального технического решения. Предлагаемая к разработке технология станет одним из вариантов переработки угольной футеровки с получением готовых к реализации продуктов, а также позволит снизить экологическую нагрузку на территории, занимаемые под полигонами твердых промышленных отходов. В результате внедрения предлагаемой технологии на алюминиевых заводах, уменьшается экологическая нагрузка на территории занятые под размещение и хранение отходов алюминиевого производства. Научная новизна предлагаемой разработки заключается в постановке задач нацеленных на экологические аспекты и получение готовой продукции (криолит, углеродсодержащий концентрат), применение новых методов исследования, разработке новой технологии с возможностью патентной защиты полученного результата.

Отработанная футеровка содержит, в среднем, 30 мас. % углерода, 30 мас. % огнеупоров и 40 мас. % фторсолей. Наибольшее содержание фторидов, алюминия и углерода наблюдается в подовых и боковых блоках угольной части отработанной футеровки алюминиевого электролизера, качественный состав которой приведен ниже, мас. %: С 40-55;  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  15-25; NaF 10-20;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  5-6;  $\text{CaF}_2$  1-3;  $\text{Al}_4\text{C}_3$  5-10;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2-3;  $\text{Al}_{\text{мет}}$  0,5-1,0;  $\text{SiO}_2$  1-2; CaO 0-1,0;  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{Al}_3\text{F}_{14}$ , NaCN, LiF,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , Ca, Mg и др. 2-7.

Огнеупорная часть представлена шамотом неразрушенным и шамотом, прореагировавшим с электролитом. Шамот, прореагировавший с электролитом образует линзы. Зарубежный опыт, в основном, заключается в термическом обезвреживании и подготовке к хранению в отвалах или использованию в производстве (цемент, бетон).

В течение длительного времени во многих странах ведутся исследования по поиску наиболее эффективного, простого и экономичного способа обезвреживания и регенерации фтора из фторуглеродсодержащих отходов. Основными из них являются:

- нейтрализация токсичных включений и дальнейшее хранение отходов в отвалах;
- производство флюсующих добавок для сталелитейной отрасли;
- производство добавок для цементной промышленности;
- сжигание;

- щелочное или кислотное выщелачивание;
- флотация с извлечением криолита;
- пирогидроллиз или пиросульфоллиз;
- извлечение углеродной части и ее добавка в угольный катод или угольный анод;
- добавка к фтористому кальцию при производстве фтористого водорода;
- сернокислотное разложение при повышенных температурах.

В настоящей работе приводятся исследования по разработке более простых способов извлечения фторсолей с получением фтористого алюминия или фторглиноземной смеси, а также обезвреживанию отхода с низким содержанием натрия, пригодного для использования в производстве цемента на Ачинском глиноземном комбинате.

Материал подготовлен с использованием результатов работ, выполненных в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 - 2020 годы». Уникальный идентификатор ПНИЭР R F M E F I 5 7 7 1 5 X 0 1 9 0.

#### *Библиографический список*

1. Горовой В.О., Зохидов И.М. Исследования наиболее эффективного способа переработки отработанной футеровки алюминиевых электролизеров // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. ИРНИТУ 2016. С. 203-205.
2. Кондратьев В.В., Ржечицкий Э.П., Шахрай С.Г., Карлина А.И., Сысоев И.А. Переработка отработанной углеграфитовой футеровки электролизеров с регенерацией фтористого алюминия // *Металлург*. 2016. № 6. С. 28-31.
3. Климец А.В., Сысоев И.А., Ершов В.А. К вопросу о получении фтористых солей из фторсодержащих отходов алюминиевого производства // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. ИРНИТУ. 2016. С. 215-217.
4. Сокольникова Д.А., Сысоев И.А., Ржечицкий Э.П. Существующие и перспективные технологии переработки фторуглеродсодержащих отходов электролиза алюминия // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутский государственный технический университет. 2016. С. 77-80.
5. Ершов В.А., Тимкина Е.В. Перспективы переработки отработанной футеровки электролизеров при производстве алюминия // Современное состояние и перспективы улучшения экологии и безопасности жизнедеятельности

тельности Байкальского региона "Белые ночи-2016" сборник статей Международной научно-технической конференции: в 2 томах. 2016. С. 218-221.

6. Тимкина Е.В., Баранов А.Н., Петровская В.Н., Ершов В.А Термодинамика процесса выщелачивания фтора из отходов алюминиевого производства // Вестник ИРНИТУ. 2016. Т. 20. № 12 (119). С. 182-192.

## ПРОБЛЕМА ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.И. Ким<sup>1</sup>, А.А.Тютрин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МЦМ-16-1, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: kim-rk-23@mail.ru

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: an.tu@istu.edu

Проблема использования и обезвреживания твердых отходов является в настоящее время одной из приоритетных и в то же время далекой от окончательного решения. Это связано не только с большим количеством уже накопленных и вновь образующихся отходов, но и с тем обстоятельством, что при постоянно растущих объемах осуществляемых природоохранных мероприятий по очистке отходящих газов образуется также значительное количество вторичных твердых (или полужидких) материалов (пылей, шламов и др.) весьма сложного состава.

Производство металлургического кремния на ЗАО «Кремний» (г. Шелехов, Иркутская обл.) осуществляется в руднотермических печах из кремнеземсодержащего сырья путем восстановления кремния углеродистыми материалами (древесный уголь, нефтяной кокс, каменный уголь и древесная щепа) [1, 2]. Получение кремния связано с образованием значительных количеств технологических газов, содержащих вредные вещества: пыль, состоящую из  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{C}$ , оксидов  $\text{Fe}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{Na}$  и  $\text{K}$ ; газы, содержащие  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{C}_x\text{H}_y$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ . Учитывая вредность выбрасываемых при производстве кремния веществ, на предприятиях введён процесс очистки газов. Данная операция в настоящее время производится по требованиям санитарной очистки газов и сводится к выделению из них твёрдых пылей и газообразных оксидов серы [2, 3].

На стадии сухой газоочистки улавливаются твердые частицы пыли, являющиеся аморфными и характеризуются высоким содержанием  $\text{SiO}_2$  от 84 до 98 %. Объемы образования составляют около 12,5 т/сут [2]. На стадии мокрой газоочистки удавливается газообразная сера и образуется шлам, который направляется в шламонакопитель. Объемы образования

шлама составляют порядка 70-120 т/сут. Шлам состоит в основном из  $\text{SiO}_2$  и углерода (табл. 1).

Таблица 1 – Состав шлама газоочистки по данным лаборатории ЗАО «Кремний» (рентгеноспектральный анализ)

Химический компонент		$\text{iO}_2$	$\text{aO}$	$\text{O}_3$	$\text{l}_2\text{O}_3$	$\text{e}_2\text{O}_3$	$\text{}_2\text{O}$	$\text{gO}$
Содержание, %	1,3	4,3	,35	,11	,72	,49	,41	,16

Также при рафинировании кремния образуется и собирается при очистке ковшей шлак кремния. Затвердевший шлак стекловиден, в изломе однородный, блестящий, гладкий, к окружающей среде нейтрален. Основными составляющими рафинировочного шлака являются оксиды кальция (5-8 %), алюминия (2-5 %) и кремния (20-40 %) с включениями карбида кремния (1-3 %) и корольками собственно кремния (45-60 %). Потери кремния в основном связаны с запутыванием металлического кремния в шлаке (рис.).

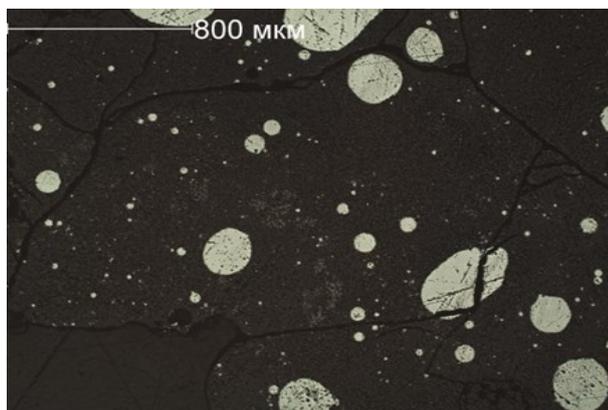


Рисунок - Включения кремния в шлаке (металлографическое исследование)

Количество шлака при рафинировании составляет 50-100 кг/т рафинированного кремния. Шлак машинами вывозится на специальную площадку и складывается. Далее осуществляется его дробление и отгрузка потребителю.

Производство металлургического кремния сопровождается получением большого количества твердых отходов: шлак кремния, пыль циклонов, шлак газоочистки, пыль газоходов. В настоящее время ограниченное применение имеет только шлак кремниевого производства. В то время как пыль и шлак газоочистки складывается в больших количествах. Одним из решений проблемы образования и переработки отходов газоочистки кремниевого производства является их окомкование и возврат в процесс.

#### *Библиографический список*

1. Немчинова Н.В., Клёц В.Э. Кремний: свойства, получение, применение. Иркутск : ИрГТУ, 2008. 272 с.

2. Производство кремния / А.Р. Школьников, А.В. Филиппов [и др.].  
Сп-Б. : Издательство МАНЭБ, 2001. 269 с.

3. Новые технологические решения по переработке отходов кремни-  
евого и алюминиевого производств / В.В. Кондратьев, Н.В. Немчинова,  
Н.А. Иванов, В.А. Ершов, И.А. Сысоев // Metallurg. М., 2013. №5. С.92-  
95.

## РЕАГЕНТ ДЛЯ ГЛУБОКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФТОРА ИЗ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Климец<sup>1</sup>, В.А. Ершов<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> студент гр. АТб-13-2 института авиамашиностроения и транспорта ИР-  
НИТУ, e-mail: [menestrelia@bk.ru](mailto:menestrelia@bk.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов ин-  
ститута металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИРНИТУ,  
e-mail: [ershov@istu.edu](mailto:ershov@istu.edu)

В процессе электролитического получения алюминия по технологии Содерберга образуются фтор и углеродсодержащие отходы. За годы разви-  
тия алюминиевой промышленности на территории промышленных площа-  
док заводов накоплено сотни тысяч тонн твердых фторуглеродсодержащих  
отходов (в основном состоящих из хвостов флотации угольной пены, пыли  
электрофильтров и шламов содовой газоочистки), хранение которых тре-  
бует специально оборудованных и достаточно дорогостоящих сооружений  
– шламовых полей [1, 2]. К тому же практически невозможно достичь иде-  
альной гидроизоляции шламовых полей, что влечет за собой неорганизо-  
ванные потери ценных для электролиза компонентов и оказывает дополни-  
тельную нагрузку на экологию промышленных регионов. Данные потери  
приводят к увеличению себестоимости металла.

Одним из наиболее оптимальных способов извлечения фтора и алю-  
миния из отходов является процесс выщелачивания, при котором отходы  
обрабатываются раствором щелочи с переходом в раствор около 90 % фто-  
ра и 50 % алюминия. Далее алюминий и фторсодержащий щелочной рас-  
твор перерабатывается на криолит. К сожалению, этот метод не позволяет  
получить чистый углеродистый остаток, т.к. остаточное содержание фтора  
в нем колеблется на уровне 1 %, что требует дальнейшего его захоронения.  
Это объясняется тем, что остаточный фтор находится в основном в виде  
труднорастворимого осадка фтористого кальция [3, 4].

В результате нескольких серий экспериментов, косвенно связанных с  
данной проблемой, специалистами лаборатории охраны окружающей сре-  
ды и производства фторсолей было выявлено, что наиболее оптимальным

реагентом для глубокого извлечения фтора из твердых фторуглеродсодержащих отходов является раствор щавелевой кислоты. При взаимодействии с остаточным фтором при температуре выше 60 °С происходит процесс, суть которого заключается в следующем: при слабой кислотности раствора щавелевой кислоты (рН среды близкая к нейтральной) и температуре процесса выше 60 °С происходит смещение электронной плотности в молекуле щавелевой кислоты в сторону атома кислорода и ионная связь с водородом разрывается. Аналогичный процесс происходит и в молекулах фтористого кальция и натрия со смещением электронной плотности в сторону фтора. В результате свободный ион кальция или натрия занимает место водорода, образуя оксалат. Образующийся фтористый водород по большей части растворяется в воде с образованием слабой плавиковой кислоты.

Подтверждение данного механизма обесфторивания получено в серии опытов по извлечению фтора и предварительно выщелаченных отходов состава, %: F – 1,02; Al – 6,3; Na – 5,2; C – 75,6. Условия экспериментов: температура процесса 80 °С, время обработки – 10 мин, навеска отходов – 200 г, раствор C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – концентрация 1,5 %, объем – 2,0 дм<sup>3</sup>.

Исследования фазового состава обесфторенных отходов показали, что основными составляющими являются углерод (C) – основа, примеси – флюорит (CaF<sub>2</sub>) и глинозем (α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

При помощи статистического анализа по методу Стьюдента, получаем, что среднеквадратичное отклонение каждого значения по содержанию фтора в обесфторенной смеси отходов составляет 0,008 %. В результате, при доверительной вероятности 95 % содержание фтора в обесфторенной смеси отходов при указанных условиях выщелачивания будет находиться в интервале от 0,118 % до 0,135 %.

Таким образом, в результате данного процесса возможно вернуть в производство практически весь фтор из твердых фторуглеродсодержащих отходов и получить достаточно чистый углеродистый продукт для дальнейшего использования в виде топливных или восстановительных ресурсов.

Исследования проведены при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-8376.2016.5.

#### *Библиографический список*

1. Соболев С.А., Ржечицкий Э.П., Козлова Л.С., Кондратьев В.В., Григорьев В.Г. Утилизация фторсодержащих отходов алюминиевых заводов путем внедрения технологии получения низкомодульного регенерационного криолита // Экология и промышленность России, № 5, 2009, с. 38-42.
2. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В. Регенерация фтористых соединений на алюминиевых заводах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 2 (49). С. 158-163.

3. Куликов Б.П., Истомин С.П. Переработка отходов алюминиевого производства / СПб.: МАНЭБ. - 2004. – 478 с.

4. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Шахрай С.Г. Сульфат натрия при производстве алюминия: проблемы и перспективы // Вестник ИрГТУ. 2011. № 8. С. 148-154.

## СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБОНИЗИРОВАННЫХ ПЕЛЛЕТ

Москалюк А.О.<sup>1</sup>, Горощенов А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. ЭСТб-15-1, ИЭ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г.Иркутск, e-mail: moskalyuk\_a@bk.ru

<sup>2</sup> аспирант ИЭ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» г. Иркутск, e-mail: goroshionov@yandex.ru

Россия известна в мире не только как основной добытчик и поставщик нефти и газа, но еще и занимает второе место по запасам древесины и входит в пятерку по ее переработке. По данным за 2016 год общая лесная площадь превысила 885 млн га, что составляет 45 % всей площади страны. Россия набирает положительную динамику роста индекса производства по виду экономической деятельности «Обработка древесины и производство изделий из дерева», так в первом полугодии 2016 года индекс производства составил 101,1 % по отношению к первому полугодью 2015 года, чему способствовала многоснежная и холодная зима 2015-2016 годов [1].

При заготовке древесины в России на уровне 500 млн м<sup>3</sup> общий выход ее отходов достигает 300 млн м<sup>3</sup>. Объем их использования составляет порядка 46 млн м<sup>3</sup>, или примерно 15 % [2]. Таким образом, количество безвозвратно теряемой древесины, с учетом потерь при сплаве леса, заведомо превышает 50 %, или, при ее плотности ~0,6 т/м, свыше 150 млн т/год (250 млн м<sup>3</sup>) [3].

Сократить выбросы древесного мусора в окружающую среду можно с помощью создания производства пеллет. Описание технологической схемы производства пеллет: древесные отходы подают в дробилку, в которой измельчают до состояния муки, далее биомасса высушивается и уже в пресс-грануляторе массу сжимают в гранулы. В процессе сжатия и прессыровки повышается температура материала и лигнин, который содержится в древесине размягчается и склеивает частицы в плотные цилиндрики.

Сами по себе древесные пеллеты не являются инновационным продуктом и во всем мире производятся еще с XX века. Россия в полном объеме обеспечена таким видом топлива, которое годится для использования лишь на бытовом уровне и в полном объеме не используется (сжигается в печах, каминах и домашних котлах). Для использования на ТЭЦ необхо-

димо чтобы энергетические характеристики пеллет соответствовали характеристикам традиционных видов топлива, таких как угли.

Для решения поставленной задачи предлагается подвергать древесные пеллеты процессу карбонизации с использованием СВЧ-энергии. Данный процесс будет происходить в устройстве - печи карбонизации, в которой нагрев пеллет происходит практически моментально до 1000 °С благодаря быстрому, глубокому и равномерному проникновению СВЧ-волн в древесный материал. При нагреве до высоких температур пеллеты темнеют, выделяют фенол и уксусную кислоту. Таким образом, процесс карбонизации воспроизводит в ускоренном виде процесс образования ископаемых углей. С теплотворной способностью около 7000 ккал и КПД сгорания 85-90 % карбонизированные пеллеты могут быть использованы взамен сортового угля на ТЭЦ [4].

Таблица - Сравнение показателей углей и пеллет

	Уголь бурый	Уголь каменный	Уголь древесный	Пеллета древесная	Пеллета карбонизированная
Теплота сгорания, ккал	3100	3500-6000	6500	4100	7500
Выход летучих веществ, %	До 55	20-45	15-20	20	10
Выделение серы, %	1-3	1-3	1	0-0,1	0-0,1
Зола %	20-45	20-30	5	1	1
КПД, %	45	55	65-75	70-80	85-90
Экологический ущерб	Высокий	Высокий	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует

Тем самым, использование современных технологий в области утилизации отходов позволяет решить экономические и экологические проблемы.

#### *Библиографический список*

1. Липунов, И.Н. Использование твердых промышленных отходов в производстве материалов строительного назначения [Текст] / И.Н. Липунов, А.А. Юпатов, В.И. Аликин. Экология и промышленность России. Январь. 2016. С.19–23.
2. Мингалева Ж.А. Устойчивое развитие экономики: инновации, рациональное природопользование и ресурсосбережение // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2012. № 4. С. 120-12.

3. Колесникова А.В. Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России // Актуальные вопросы экономических наук. 2013. № 33. С. 116-120.

4. Гильфанов М.Ф., Башкиров В.Н., Файзрахманова Г.М. Исследование термохимического метода переработки органических отходов агропромышленного комплекса деревообрабатывающей и лесной промышленности // Вестник Казанского технологического университета Т.16, №.18. - Казань: ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2013. - С. 66 -68.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГОМОГЕНИЗАЦИИ НЕФТЯНЫХ МАЗУТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОКАЛОРИЙНОГО ТОПЛИВА**

С.В. Шаргородский<sup>1</sup>, А.П. Горохов<sup>2</sup>, Н.П. Коновалов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент гр.ТЭБп-15-1, ИЭ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: s\_shargorodskiy@mail.ru

<sup>2</sup>аспирант 4 курса, ИЭ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: gorokhov\_a.p@mail.ru

<sup>3</sup>д.т.н., профессор, зав. кафедрой физики, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [knp@istu.edu](mailto:knp@istu.edu)

На сегодняшний день существует огромное количество видов топлива, благодаря которому человечество получает как тепловую, так и электрическую энергию, одним из которых является мазут. Несмотря на все минусы, отказ от использования мазута невозможен, так как он используется не только в виде основного топлива, но и в виде растопочного, аварийного и резервного топлива. ТЭЦ, имеющие свое мазутное хозяйство, встречаются с рядом проблем, связанных с хранением и эксплуатацией мазута.

В настоящее время при организации процессов горения ставится не только задача обеспечения полноты сгорания топлива, снижения вредных выбросов в атмосферу, но и проблема экономии топлива. Наличие в мазутах серы, а также различных минеральных составляющих в золе топлива обуславливают коррозию поверхностей нагрева и возникновение на них прочных отложений, сокращающих эксплуатационную кампанию между чистками и ремонтами котельных, парогенераторов. С целью уменьшения сернокислотной коррозии, уменьшения отложений и изменения структуры топочных мазутов предлагается применение процесса кавитации и сверхвысокочастотного излучения для создания водоземulsionных топочных мазутов с высокой устойчивостью к расслоению [1].

Водоземulsionный топочный мазут представляет собой гомогенную смесь с равномерно распределенными микрокаплями воды размером не

более 5 мкм, не содержащую крупных включений механических примесей (асфальтенов) (рис.) [2].

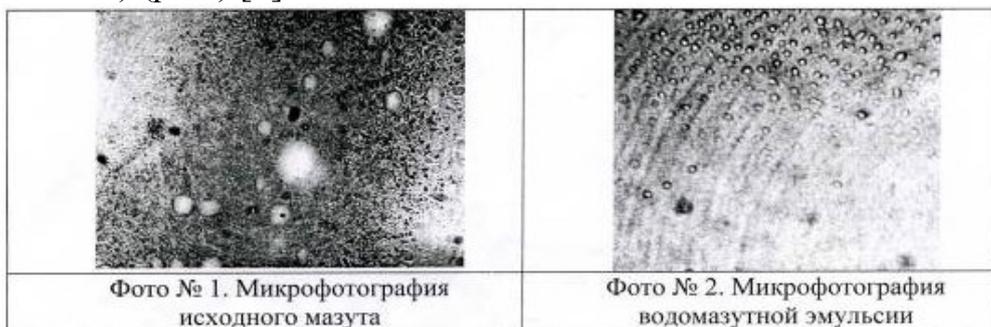


Рисунок - Микрофотографии исходного мазута и водозэмульсионного мазута.

Использование для энергетических или технологических целей водозэмульсионных топочных мазутов позволяет улучшать технико-экономические показатели работы котлов и печей в результате более рационального использования теплоты топлива, а также экологическую обстановку в районе размещения предприятия [3].

#### *Библиографический список*

1. Росляков, П. В. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П. В. Росляков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 336 с., ил.
2. Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Румынский А.А. Влияние добавки влаги в топку на интенсивность лучистого теплообмена // Теплоэнергетика. 1992 № 1. С. 41-44.
3. Котлер В. Р., Беликов В. Р. Промышленно-отопительные котельные: сжигание топлив и защита атмосферы. СПб.: Энерготех, 2001. 272 с.

## **РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ХРОМАТИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ**

А.В.Драгунский<sup>1</sup>, В.И.Дударев<sup>2</sup>, Ю.С.Тимошенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>доцент кафедры общеинженерных дисциплин Усольского филиала ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Усолье-Сибирское, e-mail: vol-sok@yandex.ru

<sup>2</sup>д.т.н., профессор кафедры общеобразовательных дисциплин ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск,

<sup>3</sup>к.т.н., доцент Усольского ХТТ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Усолье-Сибирское

При обработке металлических поверхностей с целью их обезжиривания применяют сильноагрессивные растворы соединений хрома в серной кислоте. Используемые растворы представляют собой высокоопасный

техногенный материал, недопустимый для обычной утилизации. Целью настоящей работы было создание эффективной технологии регенерации кислотных растворов хроматирования, позволяющей при небольших энергетических и материальных затратах провести регенерацию кислотных растворов хроматирования, разделять ценные компоненты хром и алюминий, которые можно использовать повторно в технологическом процессе.

Возможность регенерации отработанных технологических растворов осуществляется за счет обеспечения нового механизма разделения ионов на поверхности множества активных центров в межэлектродном пространстве в специальном электрохимическом устройстве. Оно включает кислотостойкий корпус, снабженный перегородкой, разделяющей катодное и анодное пространство. Перегородка, разделяющая катодное и анодное пространство, выполнена из непроницаемого материала, а в качестве электродов использован заполненный в катодном и анодном пространстве на высоту 0,8-0,9 от высоты перегородки гранулированный углероднопористый материал с размером частиц от 0,5 до 2 мм.

Особенность работы данного устройства связана с уникальностью свойств углероднопористого материала, а именно стойкостью к агрессивным средам, экологической безопасностью, высокой селективностью, благодаря равномерному распределению потенциала и тока внутри электрода. Углероднопористый материал доступен, не дорогой, обладает высокой производительностью очистки растворов хроматирования за счет увеличения доступной поверхности электродного материала. Так же существует возможность повторного использования электродов после регенерации.

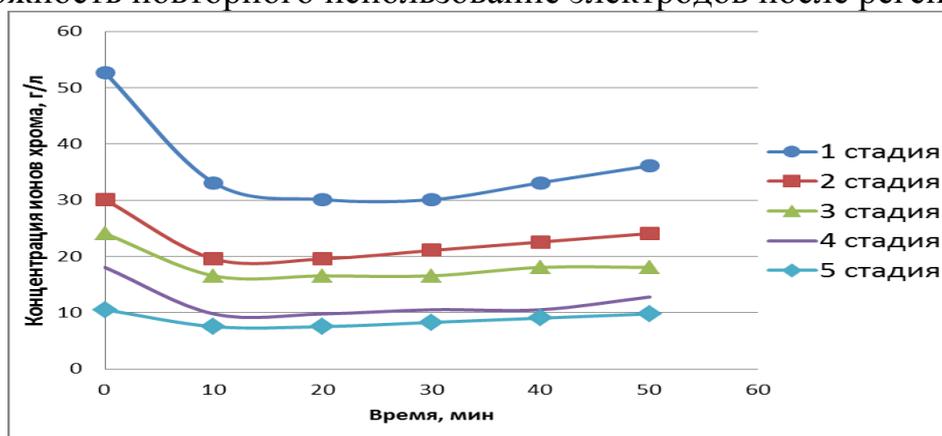


Рисунок - Кинетика изменения концентрации ионов хрома (VI) на разных стадиях очистки растворов.

В зависимости от назначения регенерации раствора хроматирования, можно уменьшить содержание хрома в получаемом катализе до определенных значений, то есть до значений, необходимых для проведения процесса хроматирования. Для более глубокого извлечения ионов хрома можно использовать многостадийный процесс очистки и регенерации кислотного раствора хроматирования. Так, например, при проведении 2-х стадий разделения исходного раствора с содержанием ионов хрома 52,671 г/л,

снизилась концентрация ионов хрома до 25,217 г/л, а при проведении 3-х стадий концентрация ионов хрома снизилась до 18,913 г/л (рис.). При очистке и регенерации кислотного раствора хроматирования концентрация хрома в катализаторе уменьшилась в 7 раз, а в анализе она возросла до значения, достаточного для повторного использования в технологическом процессе хроматирования.

Разработанная технология обеспечивает циркуляцию хрома в замкнутом технологическом цикле при отсутствии каких-либо потерь и образования отходов. Не требуется дорогостоящих химических реагентов, при регенерации шламовых отходов для дальнейшей утилизации в специальных хранилищах. В целом, применение высокоэффективного устройства по очистке и регенерации отработанных травильных растворов хроматирования через внедрение экологически безопасной технологии регенерации отработанных травильных растворов на предприятии позволит исключить регулярную утилизацию ценных компонентов за счет повторного использования очищенного раствора в технологическом процессе, что резко повысит экономическую и экологическую составляющую работы предприятия.

## **ОЦЕНКА ПОТЕРЬ НЕФТЕПРОДУКТОВ В АО «САХАНЕФТЕГАЗСБЫТ»**

А.Я. Рыбкин<sup>1</sup>, О.В. Горбунова<sup>2</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> аспирант ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [dsg2108@gmail.com](mailto:dsg2108@gmail.com)

<sup>2</sup> магистрант гр. ОХПм-16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [O.V.Gorbunova@inbox.ru](mailto:O.V.Gorbunova@inbox.ru)

<sup>3</sup> д.х.н., профессор, зав. кафедрой ХТ, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

Решение проблем, связанных с загрязнением биосферы, на сегодняшний день носит первостепенный характер. Поэтому актуальность исследований, ориентированных на анализ и поиск путей сокращения техногенных воздействий на объекты окружающей среды не вызывает сомнений.

Целью настоящей работы являлось проведение оценки потерь нефтепродуктов, на примере компании АО «Саханефтегазсбыт» и разработка рекомендаций по их снижению.

Объектами исследований являлись резервуарные парки, принадлежащие акционерному обществу, которое насчитывает 25 нефтебаз. Согласно [1] 3 нефтебазы находятся за Полярным кругом, в сибирской области арктического пояса (А); 6 нефтебаз располагаются в субарктическом

поясе (Б); 15 в континентальной восточносибирской области умеренного пояса (В) и 1 на границе муссонной дальневосточной области умеренного пояса (Г) (табл.). Состав перечня нефтепродуктов обращающихся на нефтебазах различен, к основным продуктам можно отнести: бензины автомобильные различных классов; дизельные топлива (ДЛ, ДА, ДЗ); керосин авиационный ТС-1; газоконденсат; нефть товарная.

Для оценки потерь нефтепродуктов были взяты данные мониторинга за период 2009-2013 гг., которые позволили составить представление, как по объему перевалки углеводородов (табл.), так и сезонных особенностях эксплуатации технологического оборудования, оказывающих влияние на состав и уровень техногенных эмиссий в окружающую среду.

Таблица - Характеристика нефтебаз АО «Саханефтегазбыт»

Области климатического районирования	Количество нефтебаз	Всего оборот н/п, тыс. тонн	Суммарное кол-во потерь и естеств. убыли н/п, за весь период, тонн	Лимиты ПДВ, за весь период, тонн	Коэффициент отношения суммы всех потерь н/п к обороту
А	3	1012,6	1171,6	111,6	0,00115
Б	6	1289,4	516,9	235,0	0,00040
В	15	7535,2	8346,5	653,3	0,00110
Г	1	243,3	31,4	33,8	0,00013
ИТОГО:			10066,4	1033,7	

На основе данных расчета предельно допустимых выбросов (ПДВ) вредных веществ в атмосферу, согласно [2] для АО «Саханефтегазбыт» установлены лимиты (см. табл.). Оценка суммарного количества потерь н/п и их естественной убыли на нефтебазах показала превышение лимитов ПДВ в несколько раз, за исключением резервуарного парка относящегося к климатической области Г (см. табл.). Это объясняется климатическими особенностями района расположения н/б, характеризующимися мягким температурным режимом в зимний период и прохладным дождливым летом. Так же работой н/б "с колес" железнодорожных вагон-цистерн с последующей отгрузкой на точки потребления. Потребляемые объемы хранились минимальное количество дней в емкостном парке с максимальной вместимостью, до тысячи тонн.

Принято считать, что основным критерием, влияющим на объем потерь нефтепродуктов, при эксплуатации парка, является объем грузооборота нефтепродуктов и их физико-химические свойства. Результаты наших исследований позволили нам сделать вывод, что более значимым фактором является техническое оснащение резервуарного парка и уровень аварийных ситуаций, которые вносят основной вклад в загрязнение окружающей среды. Состав поллютантов присутствующих в воздухе рабочей зоны нефтебаз ранее был исследован [3] и выявлена идентичность качественного состава органических загрязнителей.

Нами предлагается внедрить комплекс мероприятий направленных на снижение общих потерь нефтепродуктов в резервуарных парках. Это:

- применение установок герметичного налива топлива в автоцистерны;
- установка дисков отражателей, на дыхательную арматуру резервуаров предназначенных для хранения высокооктановых бензинов;
- покрытие резервуаров высокотехнологической светоотражающей краской белого цвета;
- и другие организационно–технические мероприятия.

#### *Библиографический список*

1. Любушкина С.Г. Общее земледелие: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. "География" / С.Г. Любушкина, К.В. Пашканг, А.В. Чернов; Под ред. А.В. Чернова. - М.: Просвещение, 2004. - 288 с.

2. Прил. №1 к [Приказу Госкомэкологии России от 08.04.98 N 199](#) «МУК по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров». Интернет ресурс Консультант Плюс. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/> (дата обращения 15.03.17).

3. С.Г. Дьячкова, А.Я. Рыбкин Органические загрязнители в воздухе рабочей зоны нефтебаз республики Саха (Якутия). //Мир Нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2016. – №1. – С. 25-28.

## **КАРБИДИЗАЦИЯ ТЕХНОГЕННОГО МИКРОКРЕМНЕЗЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУРОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА**

А.Е. Аникин<sup>1</sup>, Г.В. Галевский<sup>2</sup>, В.В. Руднева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: anikin1985@rambler.ru

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, директор Института металлургии и материаловедения ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

<sup>3</sup> д.т.н., профессор кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

Изучение восстановительной переработки техногенного микрокремнезема с использованием бурогоугольного полукокса представляет определенный технологический интерес с точки зрения получения так называемого «безразмольного» карбида кремния из высокодисперсных шихт печным синтезом в виде микропорошков крупностью 1–5 мкм с последующим их химическим обогащением. При проведении исследований использовались техногенный микрокремнезем, образующийся при производстве кремния (МК-Кр) и высококремнистого ферросилиция (МК-ФС), содер-

жащий диоксида кремния 93,92 и 93,00 % масс. соответственно, с удельной поверхностью 25000 м<sup>2</sup>/кг, а также полукокс из бурого угля (БПК) Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна, содержащий, % масс.: углерода – 81,9; летучих – 9,5; золы – 8,6, с удельной поверхностью 264000 м<sup>2</sup>/кг.

Таблица – Оптимальные условия получения и обогащения карбида кремния и его характеристики

Условия получения и обогащения карбида кремния и его основные характеристики	SiC (МК–ФС+БПК)	SiC (МК – Кр + БПК)
Состав шихты, % масс.:		
- микрокремнезем (МК)	58,80	58,04
- буроугольный полукокс (БПК)	42,20	41,96
Удельная поверхность компонентов шихты, м <sup>2</sup> /кг		
- микрокремнезем	20000 - 22000	20000 - 22000
- буроугольный полукокс	255000 - 265000	255000 - 265000
Температура карбидизации шихты, К	1923 - 1973	1923 - 1973
Длительность карбидизации шихты, мин.	25 - 20	25 - 20
Химическое обогащение продуктов карбидизации		
- концентрация раствора соляной кислоты, %	35	35
- соотношение Т:Ж	1:2	1:2
- температура, К	383	383
- длительность, час	3	3
Фазовый состав	β - SiC	β - SiC
Химический состав, % масс.:		
SiC	90,42 - 90,86	90,94 - 91,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10 - 0,25	0,10 - 0,15
CaO	0,32 - 0,53	0,37 - 0,49
MgO	0,12 - 0,18	0,03 - 0,10
Fe	0,08 - 0,12	0,05 - 0,11
SiO <sub>2</sub>	7,32 - 7,94	6,97 - 7,13
C <sub>своб</sub>	0,41 - 0,54	0,63 - 0,81
Si <sub>своб</sub>	0,13 - 0,17	0,23 - 0,27
Выход карбида кремния, % масс.	96,84 - 97,12	97,31 - 97,63
Крупность и морфология частиц карбида кремния:		
- удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	8000 - 9000	8000 - 9000
- размерный диапазон, мкм	0,2 - 1,0	0,2 - 1,0
- форма	неправильная	неправильная

Термодинамическое моделирование исследуемых процессов показывает, что в обеих карбидообразующих системах Si – O – C и Si – O – C – H процесс карбидообразования является доминирующим. При стехиометрическом составе шихты максимальное содержание в продуктах восстанов-

ления карбида кремния достигается при 1700 К, а при 10 %-ном недостатке углерода – 1900 К. Второй состав шихты является технологически более предпочтительным, поскольку обеспечивает получение карбида, не содержащего примесей.

Оптимальные условия получения и обогащения карбида кремния и диапазон изменения его основных характеристик приведены в табл. Можно видеть, что исследованные технологические варианты обеспечивают получение карбида кремния с воспроизводимыми фазовым, химическим и гранулометрическим составами и могут рассматриваться в качестве технологической основы для проектирования промышленного производства безразмольного карбида кремния из брикетированной высокодисперсной шихты микрокремнезем – бурого угольный полукокс.

## **МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ И ШЛАМОВ ГАЗООЧИСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУРОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА**

А.Е. Аникин<sup>1</sup>, Г.В. Галевский<sup>2</sup>, В.В. Руднева<sup>3</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: anikin1985@rambler.ru

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, директор Института металлургии и материаловедения ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

<sup>3</sup> д.т.н., профессор кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru

В настоящее время металлизация оксиджелезосодержащих отходов является важным направлением в металлургии. Особенно это актуально для минизаводов в связи с отсутствием в их составе агломерационного производства, позволяющего металлургическим предприятиям полного цикла перерабатывать прокатную окалину, шламы доменного и сталеплавильного производств. Актуальность проблемы обусловлена значительным количеством минизаводов в мире – порядка одной тысячи [1], и, соответственно, значительным объемом образования оксиджелезосодержащих отходов. Высокая дисперсность этих отходов предопределяет необходимость их окускования перед использованием. Это обуславливает технологическую целесообразность вовлечения в переработку также высокодисперсных углеродистых материалов, как техногенного происхождения, так и производимых специально. При этом в качестве восстановителя могут использоваться перспективные бурого угольные полукоксы (БПК), в частности, БПК Березовского месторождения Канско-Ачинского бассейна (КАБ).

При проведении исследований были опробованы брикетированные композиции, состоящие из оксиджелезосодержащего компонента, углеродистого восстановителя и связующего. Массовое соотношение между  $Fe_2O_3$  и С в брикетах составляло 4,44:1,0 (т.е. 81,6 %  $Fe_2O_3$  и 18,4 % С). Расход связующего (мелассы) во всех случаях составлял 10 % от массы оксиджелезоуглеродной смеси. В качестве оксиджелезосодержащих компонентов в экспериментах использовали оксид железа (III) (х.ч.), а также прокатную окалину и шлам газоочистки кислородно-конвертерного производства ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». В качестве углеродистых восстановителей применяли БПК Березовского месторождения КАБ, коксовую мелочь ОАО «Кокс» (КМ) и пыль сухого тушения кокса ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» (КП). Исследование процесса металлизации проводилось в два этапа. На первом этапе в лабораторной трубчатой электропечи в защитной атмосфере аргона изучалось восстановление железа из его оксида  $Fe_2O_3$  буроугольным полукоксом. Исследование проводилось с использованием метода планируемого эксперимента. Получены математические модели в виде следующих уравнений:

$$\eta_1 = -183,40 + 0,62 V^{daf} + 0,37 T + 1,86 \tau - 0,008 V^{daf} \cdot \tau - 0,002 T \cdot \tau; \quad 1)$$

$$\eta_2 = -430,28 + 10,52 K + 0,55 T + 8,80 \tau - 0,08 K \cdot \tau - 0,01 T \cdot \tau, \quad 2)$$

где  $V^{daf}$  – выход летучих веществ из БПК (0,6-9,5 %);

T – температура (600-900 °С);

$\tau$  – длительность металлизации (15-50 мин.);

K – реакционная способность восстановителя по  $CO_2$  (0,33-3,72  $cm^3/(г \cdot c)$ ).

Таблица – Качество металлизированных продуктов

Состав брикетированных композиций	$\eta$ , %	Содержание в металлизированном продукте, %							
		$Fe_{общ}$	$Fe_{me}$ <sub>т</sub>	FeO	S	P	C	CaO	MgO
Окалина + БПК	97,5	92,5	90,2	3,0	0,07	0,017	1,8	1,1	0,3
Окалина + КМ	70,7	87,5	61,9	33,0	0,14	0,025	3,8	0,3	0,3
Окалина + КП	71,1	88,0	62,6	32,8	0,11	0,026	3,6	0,4	0,3
Шлам + БПК	97,5	73,1	71,3	2,3	0,21	0,121	1,8	17,4	0,4
Шлам + КМ	68,9	70,2	48,4	28,1	0,28	0,130	3,8	16,6	0,3
Шлам + КП	69,2	69,7	48,2	27,7	0,25	0,131	3,6	16,7	0,3

Достигнута степень металлизации 96,7 % при следующих оптимальных условиях – температура 900 °С, длительность металлизации 40 мин. На втором этапе исследований при данных условиях в лабораторной электропечи проведена металлизация брикетированных шихт 6-и составов: из окалины и БПК, коксовых мелочи и пыли, а также из шлама с этими угле-

родистыми восстановителями. Выполнен сопоставительный анализ ее показателей и проведена физико-химическая аттестация продуктов (табл.). Степень металлизации составила от 69 до 97,5 %, причем наилучшие показатели достигнуты при использовании в качестве восстановителя БПК. Продукты металлизации шихты из окалины и БПК по степени металлизации, содержанию серы, фосфора, углерода и пустой породы соответствуют требованиям, предъявляемым к металлизированным продуктам для производства электростали.

#### *Библиографический список*

Ярошенко Ю. Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии : учеб. пособие / Ю. Г. Ярошенко, Я. М. Гордон, И.Ю. Ходоровская; под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург : ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.

### **ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОКСОВОЙ ПЫЛИ**

Н.С. Пономарев<sup>1</sup>, О.А. Полях<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МТ-14, Институт металлургии и материаловедения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru);

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии, Институт металлургии и материаловедения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru);

Использование в качестве сырья высокодисперсных материалов техногенного происхождения, не представляющих ценности и имеющих большие объемы накоплений, является относительно новым, перспективным и отвечающим требованиям ресурсосбережения направлением в технологических процессах. [1-3] К числу такого рода материалов относится коксовая пыль коксохимического производства.

Коксовая пыль на коксохимических предприятиях получается в процессе любых технологических операций связанных с коксом (рассортировки валового кокса, сухого тушения кокса, перегрузках кокса и т.д.). Применения практически не находит из-за сложности с разгрузкой и транспортировкой. Возможные направления использования:

– возвращение в шихту коксования в количестве 1 % к массе шихты (что обычно уменьшает объем полезной загрузки угольной шихты);

– переработка «на месте» путем применения разных методов уплотнения и фасовки (не получила достаточного распространения из-за отсутствия приемлемых технологий);

– упаковка в тару (мешки).

В целом, из-за тонкодисперсного состояния и высокой зольности коксовая пыль КХП мало пригодна к прямому использованию. Тем не менее, объемы образования коксовой пыли весьма велики, в среднем на одном коксохимическом предприятии около 18000–20000 т/г. Это повышает актуальность проблемы использования коксовой пыли.

Проведен анализ отечественных литературных источников, в том числе и патентный поиск по теме исследования.

Современная угольная сырьевая база очень непостоянная по марочному составу и технологическим свойствам, уголь неравномерно поставляется на заводы, а шихта для коксования является многокомпонентной. Колебания качественных показателей шихты не могут быть ликвидированы только путем организационных мероприятий в угольной промышленности. Потому проблема получения доменного кокса из шихты современного марочного состава, который колеблется, с повышенным участием слабоспекающегося угля и угля, который не спекается, при слоевом процессе коксования может быть решена только путем внедрения новых эффективных технологических процессов подготовки этой шихты с повышением плотности загрузки.

Для решения этой проблемы можно использовать отходы коксохимического производства в качестве связующего вещества при частичном брикетировании угольной шихты для коксования [2], для получения топливных брикетов [3], для получения синтетического известково-железистого шлака. Шихта для получения синтетического известково-железистого шлака содержит известковую пыль из отходов известкового производства, коксовую пыль установок сухого тушения кокса и конвертерный шлак или окалину.

Перспективным направлением использования техногенных отходов производства кокса, кремния и высококремнистых ферросплавов является их применение в электротермических процессах. При использовании в качестве сырьевых материалов высокодисперсных отходов коксохимического и ферросплавного (кремниевого) производств возможно получение микропорошка карбида кремния. [1]

Таким образом, коксовая пыль коксохимического производства, помимо непосредственного возврата в производство кокса, может быть использована для получения топливных брикетов и синтетического шлака, а также в качестве сырьевого материала в электротермических процессах.

### *Библиографический список*

1. Полях О.А. Производство микро- и нанопорошка карбида кремния на основе техногенного микрокремнезема / О.А. Полях, В.В. Руднева, Н.Ф. Якушевич, Г.В. Галевский. – Вестник горно - металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. трудов. - Вып. 32. – М.-Новокузнецк: СибГИУ, 2013. - С. 112-131.

2. Патент РФ 2529205, классы МПК: [C10L5/06](#), [C10L5/10](#), [C10L5/14](#), [C10L5/28](#). Способ получения топливных брикетов/ Папин А.В., Игнатова А. Ю., Кравцов В.П., Макаревич Е.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева" (КузГТУ).- № 2013126134/04; заявл. 06.06.2013; опубл. 27.09.2014. Бюл. № 27

3. Патент РФ 2061060, классы МПК: C21C5/54, C21C5/00, C22B1/24. Шихта для получения синтетического известково-железистого шлака и способ его получения / Маханьков А.В.; Михалев А.А.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Западно-Сибирский металлургический комбинат".- № 92002252/02; заявл. 27.10.1992; опубл. 27.05.1996.

## **ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМОЛИСТЫХ ОТХОДОВ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Х.А. Коновалова<sup>1</sup>, О.А. Полях<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МТ-14, Институт металлургии и материаловедения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru);

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии, Институт металлургии и материаловедения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru);

Производство кокса из каменного угля является одним из основных, обеспечивающих работу горно-металлургического комплекса. Помимо кокса в этом производстве получают ряд химических продуктов, в том числе каменноугольную смолу. Разгонкой последней производят ряд ценных фракций, находящих применение в химической, металлургической и других отраслях промышленности. В настоящее время основным способом адекватного использования смолистых отходов является их подача в угольную шихту, идущую на коксование. Тем не менее, до сих пор на большинстве коксохимических заводов отходы вывозят в отвал. Хотя это более простой и относительно дешевый способ уничтожения отходов, од-

нако, в связи с повышением требований к охране окружающей среды, он не должен применяться в будущем.

Систематизация литературных источников [1-4] позволяет выявить наиболее перспективные направления использования техногенных твердых отходов коксохимии:

- известна технология производства электродной продукции с использованием специально подготовленных вторичных смолистых материалов КХП;
- полимеры бензольных отделений передаются дорожно-строительным предприятиям;
- смолы и масла биохимустановок направляются в смолоперегонный цех;
- каменноугольные фусы и кубовые остатки цеха фталевого ангидрида добавляются в угольную шихту, идущую на коксование.

Одним из перспективных способов утилизации *каменноугольных фусов* является переработка их на собственном производстве в шихте на коксование. При этом наблюдается увеличение выхода и качества металлургического кокса и химических продуктов коксования. Фусы совместно с кислыми смолками могут быть использованы в качестве пластифицирующей добавки для брикетирования угольных шихт. Не менее важная область применения фусов – строительная индустрия. На основе фусов изготавливаются материалы для защитных покрытий бетонных, железобетонных и металлических изделий.

*Кислая смолка* нашла применение в качестве присадки к угольной шихте, идущей на коксование. Используется в виде эмульсии, которая состоит из кислой смолки, а так же отработанной кислоты инденкумароновых смол. Другие области применения кислой смолки – дорожное строительство. На ее основе производят битумы разных марок, добавки к цементному клинкеру для интенсификации помола и активизации твердения цемента.

*Полимеры* содержат инденкумароновые смолы, которые применяются в производстве строительных плиток, различных лаков, линолеума, типографских красок, пластмасс и т.д. Неиспользуемые полимеры передаются в смоляные хранилища.

*Кубовые остатки* содержат смолистые вещества, тяжелые углеводороды, которые совместно с пековыми дистиллятами, антраценовым и фенольными маслами используются при приготовлении шпалопропиточного масла, горючей смеси для мартеновских печей, лака для изложниц. Кубовые остатки широко используются в качестве топлива.

Представленные в данной работе способы применения смолистых отходов коксохимического производства являются наиболее перспективными в настоящее время, но требуют большего внимания для эффективной реализации. Экспорт смолистых отходов в другие страны можно считать одним из возможных решений для поддержания экономики угольных и металлургических регионов. Развитие цехов по переработке коксохимиче-

ских отходов, в частности фусов, кислой смолки и пр. помогут решить проблемы не только с размещением отходов, но и с экономией невозобновляемых ресурсов и улучшением экологической обстановки.

#### *Библиографический список*

1 Утилизация смолистых вторпродуктов в коксохимии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://newchemistry.ru/letter>.

2 Фусы, переработка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru-ecology.info/term/43173>

3 © FindPatent.ru - патентный поиск, 2012-2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/246/2468071/>

4 Коновалова Х.А. Экологические аспекты утилизации и применения отходов коксохимического производства / Х.А. Коновалова, О.А. Полях // в сб.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Всероссийская научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых / под общей ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк, СибГИУ, 2016. – С. 330-334.

## **ТЕХНОЛОГИЯ СУХОЙ СЕПАРАЦИИ МИКРОСИЛИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

С.А.Небогин<sup>1</sup>, А.С. Запольских<sup>2</sup>

<sup>1</sup> аспирант гр. аПМЭФ -15, ФТИ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [s.a.nebo@yandex.ru](mailto:s.a.nebo@yandex.ru)

<sup>2</sup> студент гр. НМб-15-1, ФТИ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», г. Иркутск, e-mail: [mengsk7@mail.ru](mailto:mengsk7@mail.ru)

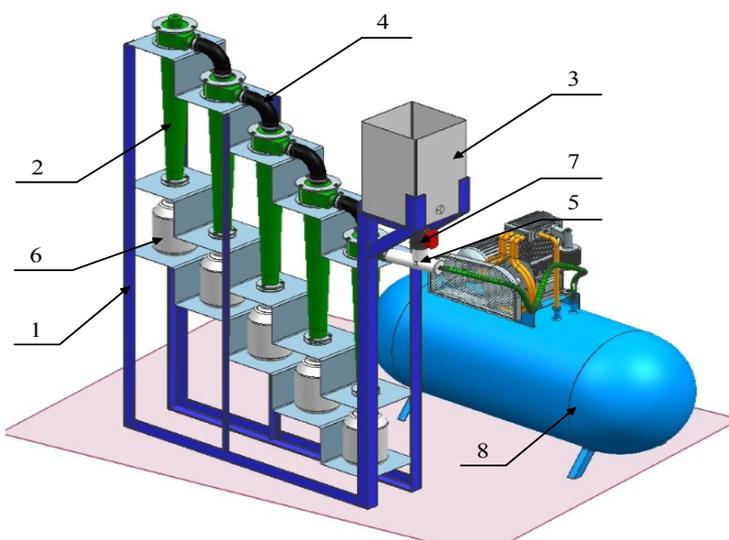
Большое количество отходов при производстве технического кремния является существенной экологической проблемой. Основными отходами является пыль, уносимая от рудотермических печей (РТП) кремниевого производства. На некоторых предприятиях соотношение массы уносимой пыли к массе готового продукта доходит до 1, что влечет за собой сложную систему пылеулавливания и образование большого количества шламовых полей.

Решением проблемы отходов кремниевого производства является внедрение технологий переработки пыли, уносимой от рудотермических печей, для получения полезных материалов. Состав пыли представляет собой преимущественно нанодисперсный шарообразный диоксид кремния с размером структур 100-500 нм. Концентрация SiO<sub>2</sub> в отходах может доходить до 85 % по массе [1]. Вторым по концентрации веществом, уносимым от РТП (до 15 %), является углерод. Согласно исследованиям с примене-

нием электронной и зондовой микроскопии, углеродная часть отходов состоит из аморфного углерода и структурированных, фулереноподобных наноструктур [2].

Известно, что нанодисперсный шарообразный диоксид кремния получил широкое распространение при производстве строительных бетонов и высокопрочных композитных легированных металлических сплавов. Также его используют при производстве резино-технических изделий, и он является наполнителем при производстве красок, керамики и др. Однако использование микрокремнезема ограничено достаточно высоким содержанием углерода в составе отходов, собственно как и также получаемый наноструктурированный углерод в отходах кремниевого производства интересен лишь в чистом виде. Поэтому остро встает вопрос обогащения микрокремнезема до 98 %, с попутным получением фракции чистого углеродного продукта с высоким содержанием углеродных наноструктур.

Авторами статьи [1, 3] был предложен флотационный метод сепарации отходов кремниевого производства, позволяющий отделять микрокремнезем, остающийся в камерном продукте, от углеродной фракции, выделяющейся в качестве пенного продукта. Данный метод имеет хорошие сепарационные показатели, однако имеет ряд недостатков, связанных с протеканием процесса сепарации в жидкой среде. Данное обстоятельство влечет за собой дальнейшую сушку и дезинтеграцию получаемого продукта. Это увеличивает энергозатраты и, как следствие, стоимость конечного продукта.



1 – рама; 2 – циклон; 3 – бункер загрузки; 4 – отвод гибкий; 5 – дозатор щелевой; 6 – емкость; 7 – затвор дисковый с электроприводом; 8 – компрессор.

Рисунок – Установка сухой сепарации отходов кремниевого производства.

Нами была рассмотрена возможность сухой сепарации отходов кремниевого производства на устройствах гравитационно-центробежного пылеулавливания (циклонах). Углерод и диоксид кремния имеют разную плотность, поэтому при условии, что частицы имеют одинаковые размеры, они будут по-разному осаждаться в циклонах. Для проверки гипотезы был собран стенд, состоящий из 5 последовательно установленных циклонов (рис.). Пылегазовый поток создавался при помощи компрессора и пыледозирующего устройства, включающего шнековый питатель и щелевой затвор.

В результате серии испытаний удалось достичь повышения концентрации микрокремнезема до 93 % с выходом продукта до 50 %. Удалось добиться увеличения концентрации углеродной фракции до 45 % с выходом продукта 10 %. Математические расчеты и результаты математического моделирования свидетельствуют о возможности увеличения сепарационных характеристик установки, в случае изменения геометрических размеров пылеулавливающих устройств.

#### *Библиографический список.*

1. В.В. Кондратьев, А.И. Карлина, А.А. Немаров, Н.Н. Иванов, Результаты теоретических и практических исследований флотации наноразмерных кремнийсодержащих структур, Техника и технологии, 2016, 9 (5), С 657-670.
2. Н.Н. Иванчик, В.В. Кондратьев, Н.А. Иванов, А.И. Карлина, Изучение свойств тонкодисперсных отходов кремниевого производства методами электронной микроскопии, Сборник докладов VII международного Конгресса «Цветные металлы и минералы», 2015. С. 234-235.
3. Н.В. Немчинова, Н.А. Иванов, В.В. Кондратьев, В.А. Ершов, Новые технологические решения по переработке отходов кремниевого производства, Metallurg, 2013, 5, С 92-95.

**СЕКЦИЯ № 5**  
**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ**  
**МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

**ОБОГАЩЕНИЕ СУРЬМЯНЫХ РУД**

Самихов Ш.Р<sup>1</sup>, Холов Х.И<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент Институт химии им. В.И. Никитина АН РТ, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, e-mail: [samikhov72@mail.ru](mailto:samikhov72@mail.ru)

<sup>2</sup> аспирант Институт химии им. В.И. Никитина АН РТ, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2, e-mail: [holmahmad90@mail.ru](mailto:holmahmad90@mail.ru)

В природе золото и серебро часто сопутствует сурьме в виде изоморфных примесей в ее минералах (в основном, в стибните). В производстве сурьмы при огневом рафинировании в очищенный металл переходит 90-95 % золота и серебра. Товарными концентратами благородных металлов являются анодные шламы или свинцовый остатков, образующийся при возгонном методе получения оксида сурьмы (III) [1].

На заводе Хиллгроув для извлечения золота из сурьмяного концентрата используют тиомочевинное выщелачивание. Содержание золота в концентрате составляет 30-40 г/т. Извлечение золота составляет 50-80 %, из раствора его выделяют с помощью угольной сорбции [2].

В работе [3] разработан ряд общих принципов и рекомендаций, касающихся проблемы рационального использования руд, содержащих золота и сурьма. Золота и сурьма как металлы обладают весьма высокой абсолютной ценностью. Это обуславливает технологическую необходимость и экономическую целесообразность извлечения указанных металлов даже при относительно низких содержаниях их в исходном сырье.

Для подготовки пробы к исследованию руда была подвергнута дроблению, грохочению и измельчению. В табл. 1 приведены результаты химического анализа руды нижнего горизонта Джижикрутского месторождения.

По данным химического анализа можно сделать вывод, что руда нижних горизонтов Джижикрутского месторождения является золотосодержащей ртутно-сурьмяной рудой. Кроме того, в руде из сопутствующих элементов представляют определенный интерес такие металлы, как таллий, селен и теллур.

Таблица 1- Результаты химического анализа исходной руды

Сурьма, %	Ртуть, %	Золота, г/т	Таллий, г/т	Селен, г/т	Теллур, г/т
3,6	0,36	2,0	25	13	12

Для изучения распределения полезных компонентов по классам крупности руда, подготовленная для технологических исследований, была подвергнута ситовому анализу (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты ситового анализа руды

Класс крупности, мм	Выход, %		Суммарный выход, %	Содержание в исходном, %	Распределение сурьмы по классам, %	Суммарное распределение сурьмы по классам, %
	кг	%				
- 2,0 + 1,0	31,4	31,4	31,4	2,87	23,9	23,9
- 1,0 + 0,63	18,6	18,6	50,0	2,91	14,4	38,3
- 0,63 + 0,315	17,3	17,3	67,3	3,36	15,4	53,7
- 0,315 + 0,125	12,4	12,4	79,7	3,9	12,8	66,5
- 0,125 + 0,063	6,2	6,2	85,9	4,0	6,6	73,1
- 0,063	14,1	14,1	100,0	7,2	26,9	100,0
Исходная руда	100	100		3,56	100	

Таблица 3 - Влияние расхода азотнокислого свинца на флотацию руды

№ оп.	Наименование продуктов	Выход, %	Содержание Sb, %	Извлечение Sb, %	Расход реагентов
1.	Концентрат	20,54	19,2	92,78	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - 350г/т КХ – 300 г/т Т-80 -80 г/т
	Пр. продукт	5,28	1,6	1,99	
	Хвосты	74,18	0,3	5,23	
	Руда	100,0	3,6	100,0	
2.	Концентрат	22,31	18,4	93,32	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - 400г/т КХ – 300 г/т Т-80 -80 г/т
	Пр. продукт	6,07	1,3	1,79	
	Хвосты	71,62	0,3	4,89	
	Руда	100,0	3,6	100,0	
3.	Концентрат	19,82	17,6	92,47	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> - 500г/т КХ – 300 г/т Т-80 -80 г/т
	Пр. продукт	6,73	0,95	1,69	
	Хвосты	73,45	0,3	5,84	
	Руда	100	3,6	100,0	

Предварительные исследования по флотации проводили по схеме (рис.), которая включала в себя основную и контрольную флотацию. Время основной и контрольной флотации было по 10 мин. Концентраты основной и контрольной флотации объединялись. Результаты флотации руды месторождения Джижикрут представлены в табл. 3.



Рисунок - Схема проведения предварительных исследований по флотации

Из представленных результатов анализов можно видеть, что во всех опытах содержание сурьмы в хвостах составило 0,3 %.

#### *Библиографический список*

1. Захаров Б.А., Меретуков М.А. Золото: упорные руды. М.: «Руда и Металлы», 2013, 450 с.
2. Millard M. Developments in mineral processing. V. 15. Ed. M. Adams. Elsevier. 2005. P. 985-991.
3. Лодейщиков В.В., Панченко А.Ф. Основы технологии извлечения золота и сурьмы из комплексных руд. В кн. Интенсификация процессов обогащения минерального сырья. М.: Наука, 1981, с. 189-193.

## **КАРБОНИЗАЦИЯ ОКСИСУЛЬФАТНОЙ ФОРМЫ ПАСТЫ СВИНЦОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

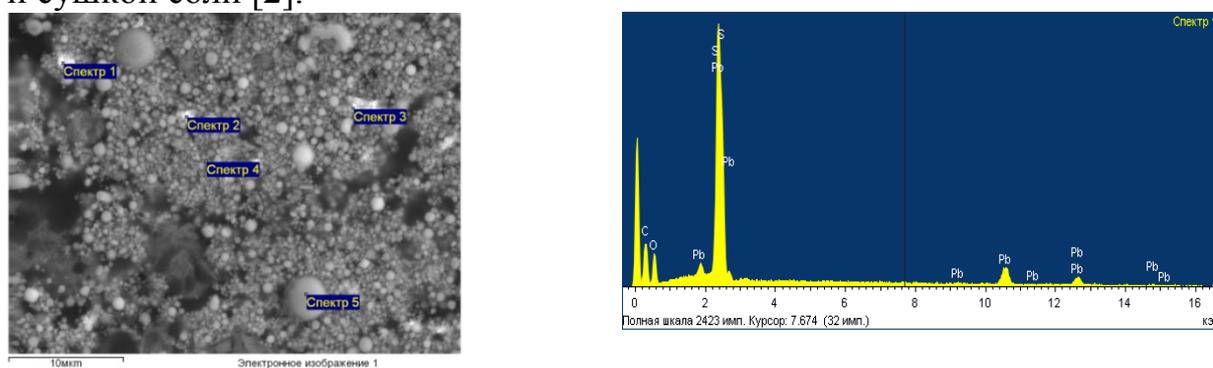
Т.Н. Каргапольцева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МТМ-250303 ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, e-mail: [diveevo@mail.ru](mailto:diveevo@mail.ru)

Производство свинца в России неуклонно развивается. Значимым источником свинца остаются отходы его производства и потребления. В

связи со значительным увеличением числа автомобилей основным видом вторичного сырья являются отработанные свинцово-кислотные батареи. Проблемой переработки вторичного свинцового сырья является свинец в оксисульфатной форме, который влечет за собой высокий расход недешевых флюсов, затраты на электроэнергию, большой выход свинца в шлак, который потом направляется в отвалы, а также экологические проблемы [1].

Объектом исследования является паста одного из свинцовых заводов уральского региона, которая получается при разделке аккумуляторного лома. Целесообразнее перед плавкой проводить операцию удаления сульфат-ионов из сульфата свинца, содержащегося в пасте, то есть десульфурризацию (десульфатацию) пасты, которую можно производить как каустической, так и кальцинированной содой. Образуется раствор сульфата натрия, пригодный для получения кристаллического  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  выпариванием и сушкой соли [2].



Спектр	O	S	Pb	Итого
Спектр 1	19.80	5.89	74.31	100.00
Спектр 2	20.02	5.11	74.87	100.00
Спектр 3	21.03	5.93	73.03	100.00
Спектр 4	22.66	4.81	72.52	100.00

Рисунок – Результаты растровой электронной микроскопии

С помощью рентгенодифрактометрического метода был определен фазовый состав исходной пасты:  $\text{PbSO}_4$  – 66,4 %,  $\text{PbO}_2$  – 32,3%,  $\text{PbO}$  – 0,7%,  $\text{Pb}$  – 0,2 % и др. Химический состав пасты по основным компонентам, %: 62,6  $\text{Pb}$ , 5  $\text{S}$ , 18  $\text{O}$ , 0,10  $\text{Fe}$ , 0,31  $\text{Na}$ , 0,21  $\text{Mg}$ ; 6 471 г/т  $\text{Ca}$ , 436,30 г/т  $\text{Sb}$ , 458,40 г/т  $\text{Sn}$ , 246,9 г/т  $\text{Al}$ , 258,10 г/т  $\text{P}$ .

Из рис. видно, что распределение элементов по отдельным частицам образца практически одинаково, что говорит о равномерности состава оксисульфатной пасты и незначительном количестве примесей (загрязнений).

Реакция (1) завершается в течение 30 минут при 293 К или в течение 15 мин при 323 К (энергия активации 36 кДж/моль). Скорость реакции незначительно зависит от отношения  $\text{PbSO}_4/\text{Na}_2\text{CO}_3$ , а при более высокой температуре в присутствии избыточного количества  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  превращению подвергается более 99% сульфата свинца.



Скорость образования карбоната свинца значительно возрастает при увеличении скорости перемешивания [3]. Температурная зависимость характеризуется величиной энергии активации 4,1 кДж/моль. Скорость реакции не зависит от концентрации сульфат-иона в растворе, но прямо пропорциональна концентрации  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Величина pH раствора после завершения реакции должна быть в интервале 6,7-7,5, в противном случае перед выпариванием необходимо нейтрализовать оставшийся бикарбонат натрия серной кислотой с получением сульфата натрия, воды и двуокси углерода.

Таким образом, десульфуризация пасты позволит уменьшить расход топлива и вспомогательных материалов на плавку, выход шлака и потери с ним свинца, выбросы серы в окружающую среду, затраты на очистку газов от  $\text{SO}_2$ , затраты на пылеулавливание за счет повышения срока эксплуатации фильтровальных материалов при очистке газов.

#### *Библиографический список*

- 1 Тарасов А.В., Бессер А.Д., Мальцев В.И. Металлургическая переработка вторичного свинцового сырья. М.: Гинцветмет, 2003. – 224 с.
- 2 Шихеева Л.В., Зырянов В.В. Сульфат натрия. Свойства и производство. – Л: Химия, 1978. – 240 с.
- 3 Arai K., Toguri J. Leaching of lead sulfate in sodium carbonate// Hydro-metallurgy. – 1984. – 12 – P. 49-59.

## **ФЛОТАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ТАДЖИКСКИХ ФОСФОРИТНЫХ РУД**

Самихов Ш.Р.<sup>1</sup>, Зинченко З.А.<sup>2</sup>, Курбонов Ш.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент Институт химии им. В.И. Никитина АН РТ, Республика Таджикистан, г. Душанбе, e-mail: [samikhov72@mail.ru](mailto:samikhov72@mail.ru)

<sup>2</sup>д.т.н. зав.лаб. обогащения руд Института химии им. В.И. Никитина АН РТ, Республика Таджикистан, г. Душанбе, e-mail: [mariya14@mail.ru](mailto:mariya14@mail.ru)

<sup>3</sup>аспирант Институт химии им. В.И. Никитина АН РТ, Республика Таджикистан, г. Душанбе, e-mail: [Shodkom\\_1990@mail.ru](mailto:Shodkom_1990@mail.ru)

Основными методами обогащения фосфоритных руд являются промывка, разделение в тяжелых суспензиях и флотация. К перспективным методам переработки и обогащения фосфоритов относят термическую обработку и магнитную сепарацию.

Основным вопросом флотации фосфоритных руд является реагентный режим: вид, расход и сочетание применяемых реагентов. В опреде-

ленных случаях этот режим тесно связан со схемами флотации и применяемыми флотационными аппаратами [1].

Одной из основных задач, стоящих перед экономикой Таджикистана, является обеспечение сельского хозяйства удобрениями местных сырьевых источников. Этой задаче и посвящена данная работа. Исследования проводились на бедной по содержанию фосфорита руде, а именно на руде Риватского фосфорсодержащего месторождения.

Минералогический анализ средней пробы фосфатной руды показал, что в составе руды имеются: кварц-фосфоритовые песчаники желтовато-серого цвета с включением зерен и редких желваков фосфоритов, мелкозернистого кварца и глинистой фракции. Содержание  $P_2O_5$  в исходной пробе составляет 5,7- 6,5 % [2, 3].

Одним из методов переработки фосфатных руд является флотационный.

Проведенный ситовой анализ дробленной до -2мм руды показал, что нельзя отдать предпочтение по содержанию  $P_2O_5$  какому-нибудь из анализируемых классов, т.е. грохочение не позволяет получить готовый концентрат. (табл. 1)

Проведены исследования по флотации данной руды. Различные режимы отмывки исходной руды с целью удаления глинистых материалов с последующей флотацией не показали значительного улучшения технологических показателей. Флотация велась в щелочной среде, создаваемой содой. На основании проведенных предварительных исследований по флотации были подобраны следующие условия: тонина помола составила 42,5 % класса «- 0,063 мм»; для создания рН среды использовалась сода (1,5 кг/т), которая подавалась в голову флотации; для депрессии пустой породы подавалось жидкое стекло (1,5 кг/т) в голову флотации вместе с содой.

Таблица 1- Распределение фосфатов по классам крупности

Класс	Выход		Содержание $P_2O_5$ , %	Извлечение $P_2O_5$ , %
	г	%		
+2,5	10	10	4,0	6,2
-2,5+1,0	6	6	4,2	3,9
-1,0+0,63	5,5	5,5	5,7	4,8
-0,63+0,40	7,5	7,5	5,7	6,6
-0,40+0,20	38,7	38,7	6,2	37,0
-0,20+0,1	23,4	23,4	8,4	30,3
-0,1+0,063	3,9	3,9	10,6	6,4
-0,063	5	5	6,3	4,8
Исх.руда	100	100	6,5	100

Дробная подача реагентов значительно улучшает показатели флотации. Поэтому проводились две основные и две контрольные флотации. Кроме того, с целью повышения извлечения  $P_2O_5$  использовалась смесь таллового масла с керосином.

Расход керосина варьировал от 1 кг/т до 3 кг/т. Из полученных данных установлено, что расход керосина 3 кг/т является оптимальным.

Результаты флотации в открытом цикле представлены в табл. 2. Исследуемая технологическая схема представлена на рис. 1.

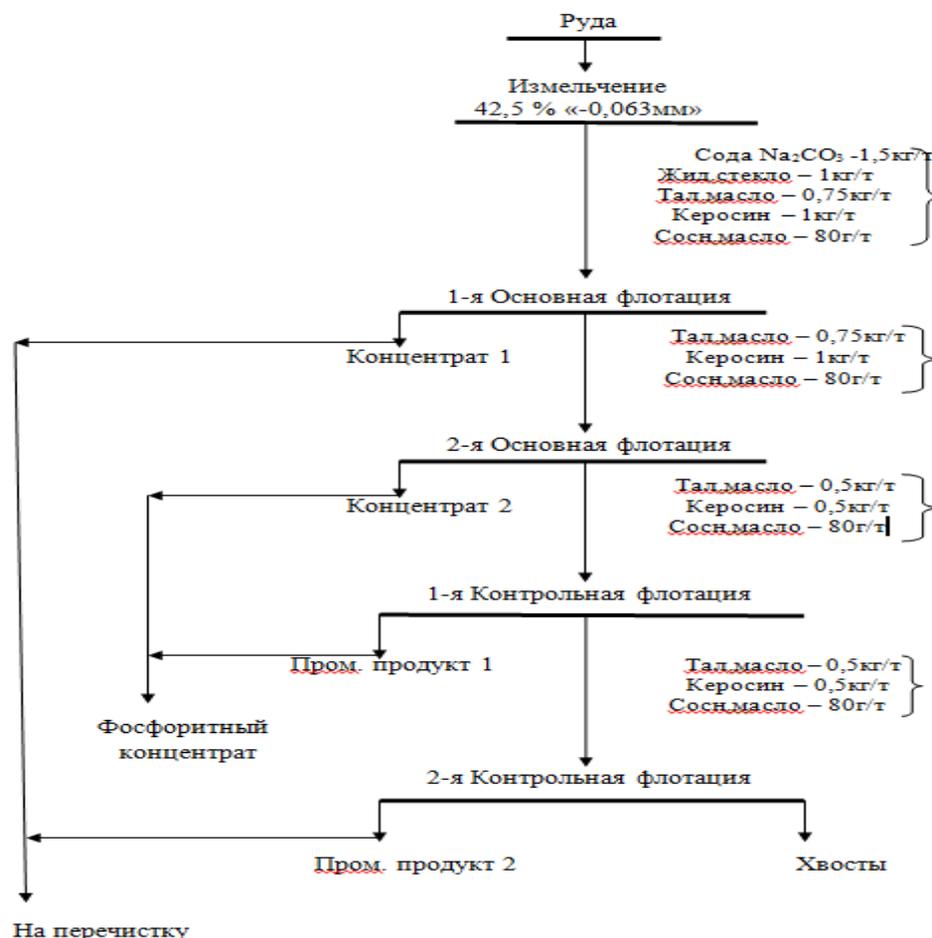


Рисунок 1. Схема флотации руды в оптимальном режиме.

Таблица 2 - Результаты флотации руды с использованием керосина

Наименование продуктов	Выход		Содержание $P_2O_5$	Извлечение, %	Условия опытов
	гр.	%			
Концентрат 1	11,3	4,52	14,21	10,90	Сода-1,5 кг/т
Концентрат 2	29,9	11,93	22,58	45,72	
Пр.пр.1 контр	25,0	9,97	18,62	31,50	Ж.ст.-1 кг/т
Конц.2+Пр.пр.1	54,9	21,9	20,6	77,22	Т.м.- 2,5 кг/т
Пр.пр.2 контр.	17,0	6,78	8,06	9,27	Керосин-3 кг/т
Хвосты	167,4	66,80	0,23	2,61	
Руда	250,6	100	5,89	100	

При этом при объединении концентратов II основной и I контрольной флотации получен концентрат с содержанием в нем  $P_2O_5$  – 20,6 %, который может быть сырьем для получения фосфорных удобрений. Содержание  $P_2O_5$  в хвостах всего 0,23 %. Концентраты I основной и II контрольной

ной флотации предполагается в дальнейшем объединить и подвергнуть перечистке.

#### *Библиографический список*

1. Можейко, Ф. Ф., Можейко, Т. Н. Поткина, И. И. Гончарик. Обогащение белорусских фосфоритных руд / Ф. Ф. Известия НАН Беларуси. Сер. хим. наук. – 2008. – № 4. – С. 33–40.

2. Зинченко З.А., Соколов Е.С., Сатарова М.А. «Достижения в области химии и химической технологии». Материалы Республиканской конференции. Душанбе-2002, стр.162-166.

3. Зинченко З.А., Исмоилова М., Самихов Ш.Р., Курбонов Ш.А. Исследование по технологии обогащения фосфоритной руды Риватского месторождения. Сборник материалов Нумановские чтения «Достижения химической науки за 25 лет государственной независимости Республики Таджикистан», посвя. 70-летию образования Института химии им. В.И. Никитина АН РТ, г. Душанбе, 2016 г. С. 170-172.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ**

Сокольникова Д. А.<sup>1</sup>, Колмогоров А. В.<sup>2</sup>, Никаноров А. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> студентка гр. МЦБ -16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» г. Иркутск.

<sup>2</sup> аспирант ФГБОУ ВО ИРНИТУ, кафедры «Металлургия цветных металлов», г. Иркутск.

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры «Металлургии цветных металлов» ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск.

Вопросы проектирования новых и модернизации существующих аппаратов тесно связаны с проблемой математического моделирования процесса. Расчет движения частицы твердой фазы основывается на информации о распределении скорости жидкости в аппарате. Ранние работы на эту тему характеризуются сильным упрощением реальной картины полей скоростей жидкости в аппарате. В последние годы для описания гидродинамики течения жидкостей в сгустителях всё большую роль играет прямое численное интегрирование уравнений движения совместно с некоторыми гипотезами, применяемыми для замыкания этих уравнений. Несмотря на сравнительно большое число публикаций, посвященных теоретическому анализу движения жидкости, разработка теории до сих пор далека от завершения.

На сегодняшний день не существует математических моделей процесса, позволяющих получить корректные расчетные результаты для полидисперсных суспензий, учитывающих воздействие на систему флоку-

лянтов, коагулянтов, рН-модификаторов, изменения содержания твердой фазы в суспензии по зонам и т. д. В гидрометаллургии, к тому же, приходится учитывать еще и физико-химические изменения одной или нескольких фаз в течение процесса.

Проведение процессов осаждения связано с движением твердых тел в жидкости. В промышленных условиях эти процессы проводятся в ограниченном объеме при большой концентрации твердой фазы. В таких условиях оседающие частицы влияют на движение друг друга. Такое осаждение называют стесненным, а его закономерности отличаются от равномерного движения единичной частицы в среде.

Сила, движущая шарообразную частицу диаметром  $d$ , выражается разностью между ее массой и выталкивающей архимедовой силой, равной массе жидкости в объеме частицы. Скорость равномерного движения тела в жидкости, называемую скоростью осаждения ( $W_{ос}$ ), можно найти из условия равенства сил движения и сопротивления. Для ламинарного режима свободного осаждения одиночной частицы  $W_{ос}$  находится по известному закону осаждения Стокса (1)

$$W_{ос} = \frac{d^2(\rho_{ТВ} - \rho_{Ж})g}{18\mu} \quad (1)$$

где  $\rho_{ТВ}$ ,  $\rho_{Ж}$  - плотность твердой и жидкой фазы в пульпе,  $\text{кг/м}^3$ ,

$g$  - ускорение свободного падения -  $9,81 \text{ м/с}^2$ ,

$\mu$  - динамическая вязкость жидкой фазы,  $\text{кг/м.с}$ .

Как показывают экспериментальные данные, эффективность разделения существенно зависит от содержания твердых частиц в исходной суспензии.

Точный расчет гидродинамического взаимодействия частиц сопряжен со значительными трудностями. Обычно применяются приближенные модели, и только для малых концентраций твердых частиц разработана строгая теория.

При практических расчетах предпочитают пользоваться экспериментально полученными формулами, например, отношение скорости движения твердых частиц относительно жидкости скорости осаждения одиночной частицы в безграничной жидкости  $W_{ос}$  для полидисперсной суспензии может быть найдено из соотношения (2)

$$\frac{W_{факт}}{W_{ос}} = \varepsilon^{n-0.6} \quad (2)$$

Здесь  $\varepsilon$  - объемная доля жидкости в суспензии. Показатель степени  $n$  может быть найден при помощи формулы (3)

$$\frac{5.1-n}{n-2.7} = 0.1Re^{0.9} \quad (3)$$

Здесь  $Re = dW_{ос}\rho_{Ж}/\mu$

Таким образом, можно записать (4) для  $W_{факт}$

$$W_{ос} = \frac{d^2(\rho_{ТВ} - \rho_{Ж})g}{18\mu} \varepsilon^{n-0.6} \quad (4)$$

Для не шарообразных частиц  $W_{\text{факт}}$  меньше в соответствии с коэффициентом формы, который находится в средних пределах 0.77-0.43.

В отличие от свободного при стесненном движении в процессах осаждения более мелкие частицы тормозят движение более крупных, а частицы больших размеров увлекают за собой мелкие частицы, ускоряя их движение. Возникает коллективное осаждение частиц с близкими скоростями в каждом сечении аппарата.

#### *Библиографический список*

1. Долгоносов Б.М.: Механизмы и кинетика деструкции органического вещества в водной среде. - М.: КРАСАНД, 2011. – 89 с.

2. Клинов А. В., Мухаметзянова А. Г. Математическое моделирование химико-технологических процессов: учебное пособие. Казанский государственный технологический университет 2012 – 144 с.

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ В КОЛОННЫХ АППАРАТАХ С НИСХОДЯЩИМ ПУЛЬПОВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ**

Сокольникова Д. А.<sup>1</sup>, Никаноров А. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студентка гр. МЦБ -16, ИМХТ, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ» г. Иркутск.

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры «Металлургии цветных металлов» ФГБОУ ВО ИРНИТУ, г. Иркутск, e-mail: nikanoroff@list.ru

Автоматизация процесса флотации – весьма сложная задача, и практически неразрешимая для флотационных машин импеллерного типа из-за отсутствия фактора механизма управления.

Для аппаратов колонной флотации полная автоматизация процесса флотации возможна только в случае решения задачи «черного ящика», в качестве управляющего элемента которого может быть применен алгоритм, использующий интеллектуальные способности технолога [1].

Задача программы управления колонным флотационным аппаратом состоит в том, чтобы независимо от исходного сырья отрегулировать процесс флотации таким образом, чтобы параметры выходного продукта соответствовали техническим требованиям.

Оператор выводит колонный аппарат в рабочий режим методом введения в ПЭВМ параметров подачи реагента и воздуха по всем необходимым точкам, исходя из результатов экспресс-анализа на входе, составу и расходу питания, а также личного опыта и мастерства. При этом все поступившие в ПЭВМ данные программа анализирует, и если действие фло-

татора привели к удовлетворительному качеству продукта, то вся информация по конкретному виду сырья и действия флотатора запоминаются.

На рис. приведена предлагаемая схема управления колонным флотационным аппаратом.

Поскольку программа запомнила, как действовать в данной конкретной ситуации, происходит ее «обучение».

Если качество исходного материала изменяется, то программа запоминает определенные действия по конкретному продукту и составляет соответствующее количество матриц, обеспечивающее стабильную и качественную работу аппарата.

Блок-схема программы управления построена по принципу постоянно замкнутого цикла. Запущенная в работу программа выполняет все предписанные операции и возвращается к началу программы или к началу цикла.

На начальном этапе программа (50000 циклов) оптимизирует и запоминает действие аппаратчика (если они ведут к положительному результату). При этом происходит анализ и оптимизация его действий.

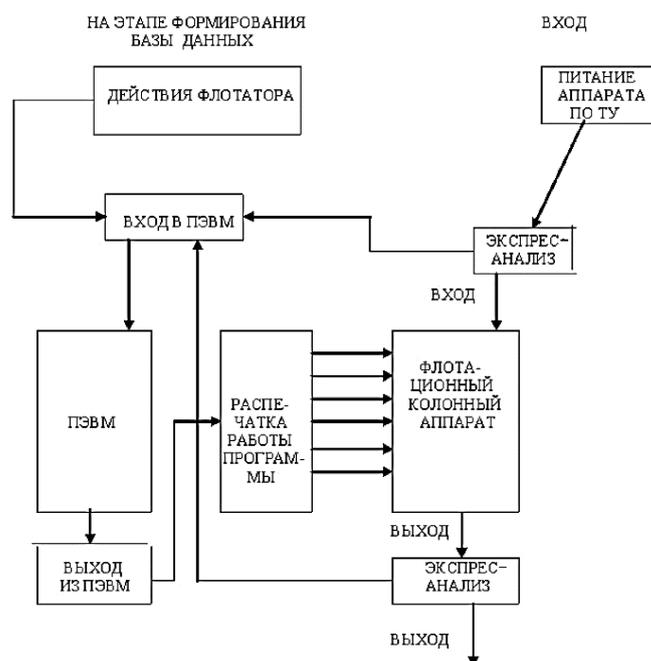


Рисунок – Схема управления колонным флотационным аппаратом с нисходящим пульвоздушным потоком

Программный пакет автоматизации аппарата выполнен в среде BORLAND PASCAL-7.0 и представляет собой четыре файла, находящихся в одной директории.

Экспериментально проверена и доказана работоспособность программного пакета автоматизации аппаратов колонной флотации с нисходящим пульповоздушным потоком в цехе ПФС ОАО «БрАЗ» на пилотной флотационной установке.

Так за счет оптимизации управления пилотной флотационной установкой с нисходящим пульповоздушным потоком, извлечение угольного концентрата повышено на 1,5 %. Соответственно содержание фтора в хвостах снижено на 0,5 %. Извлечение фтора повышено на 0,65 % с увеличением качества концентрата на 1,2 %.

#### *Библиографический список*

Никаноров А.В., Попова Н.Ю., Вавилов В.Л. Теория и практика селекции минеральных частиц в колонных аппаратах с нисходящим пульповоздушным потоком (монография).- Изд-во Восточно-Сибирского института МВД России, Иркутск, 2007.- 131 с.

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ МОЛИБДЕНОВЫХ РУД**

М. Комрони, О.А. Полях<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МММ-15, Институт металлургии и материаловедения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru);

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов и химической технологии, Институт металлургии и материаловедения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, e-mail: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru);

Производство молибдена осуществляется преимущественно из собственно молибденовых, медно-молибденовых и молибдено-вольфрамовых руд. Основным сырьем для производства молибдена, его сплавов и соединений служат молибденитовые концентраты, содержащие 47–56 % Мо, 28–32 % S, 1–9% SiO<sub>2</sub> и примеси других элементов.

Для обогащения Мо-содержащих руд применяют чаще всего флотацию – способ разделения минералов, основанный на различии в смачиваемости водой их поверхности и в способности удерживаться на границе раздела фаз. Сульфидные молибденовые руды (Мо<sub>общ</sub> = 0,03–0,06 %) относятся к наиболее легко обогатимым. Медно-молибденитовые руды перерабатывают обычно по схеме коллективной флотации с последующим разделением коллективного концентрата на медный и молибденовый, иногда получают и пиритный концентрат. При обогащении

кварцево-молибдено-вольфрамитовых руд сочетают методы гравитации (для получения вольфрамитового концентрата) и флотации (для молибденита). При обогащении некоторых медно-молибденитовых и окисленных руд получают бедные по молибдену промпродукты, которые направляются на гидрометаллургическую переработку с целью получения «химического концентрата» [1, 2].

Первичная флотация сульфидов молибдена и меди из руд не представляет затруднений, но доводка черновых компонентов и разделение коллективных медно-молибденитовых продуктов для получения отдельных кондиционных концентратов требуют хорошего знания всех технологических приемов обработки и разделения их обогатительными, химическими и металлургическими методами.

Систематизация литературных источников [1-4] позволяет выделить следующие методы разделения коллективных медно-молибденовых концентратов:

- пропарка в среде сернистого натрия (Балхашская обогатительная фабрика);
- флотация молибденита и подавление сульфидов меди и пирита после окислительной пропарки коллективного концентрата в известковой среде в плотной пульпе (Алмалыкская обогатительная фабрика);
- флотация молибденита и подавление сульфидов меди и пирита после низкотемпературного окислительного обжига коллективного концентрата;
- подавление сульфидов меди и железа гидросульфидом натрия  $\text{NaHS}$ , сульфидом аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$  или гидросульфидом аммония  $\text{NH}_4\text{HS}$  (Канада – фабрики «Бренда», «Гибралтар» и др.);
- флотация молибденита и подавление сульфидов меди и железа реагентом «Ноукс» (США – фабрики «Пима», «Эль-Сальвадор» и др.);
- подавление сульфидов меди и железа реагентом «Анимол Д» (Чили – фабрика «Чукикамата», Канада – фабрика «Лорнекс»);
- флотация молибденита и подавление сульфидов меди и железа феррицианидами или цианидом натрия в слабощелочной среде совместно с сульфатом цинка (США – фабрика «Моренси», Канада – фабрика «Гаспе» и др.);
- подавление сульфидов меди и железа с помощью окислителей, например, перекиси водорода (США – фабрика «Сан-Мануэль»);
- подавление молибденита органическими коллоидами (крахмал) и флотация сульфидов меди (США – фабрики «Магна», «Сильвер-Белл»).

Специалистами обогатительной фабрики ООО «Сорский ГОК» предложен гидрометаллургический метод дообогащения молибденового концентрата путем обработки концентратов слабым раствором соляной кислоты. Цель технологии – снизить содержание легкоплавких соединений ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  и т.д.) в концентратах, поступающих на окислительный обжиг. Это позволит получить в дальнейшем огарки с содержанием серы менее

0,1 %. Этот показатель важен для производства ферромolibдена, который в настоящее время востребован на рынке черных металлов [4].

*Библиографический список*

1 Сырьевая база для производства молибдена [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://metal-archive.ru/osnovy-metallurgii/1649-syrevaya-baza-dlya-proizvodstva-molibdena.html>

2 Абрамов А.А. Обогащение руд цветных металлов : учебник для вузов / А.А. Абрамов, С.Б. Леонов. – М. : Недра, 1991. – 574 с.

3 Обобщение и анализ практики переработки молибденовых руд [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://scibook.net/poleznyih-iskopaemyih-obogaschenie/obogaschenie-analiz-praktiki-pererabotki-11809.html>

4 Ватолин Н.А. Краткий обзор способов переработки молибденовых концентратов и поиск экологически чистой технологии / Н.А. Ватолин // Цветная металлургия. 2008. – №3. – С. 170-175.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### СЕКЦИЯ № 1

### ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

<b>Серия электролизеров для производства алюминия как объект управления</b> <i>Р.С.Вибе<sup>1</sup>, А.Э.Овчинников<sup>2</sup>, С.А. Зимарев<sup>3</sup></i> .....	3
<b>Сравнительный анализ существующих систем эвакуации отходящих газов производства алюминия по технологии Содерберга</b> <i>Д.В. Шевцов<sup>1</sup></i> .....	6
<b>Методы контроля качества нефелинового спека</b> <i>А.В. Александров<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, А.А. Володькина<sup>3</sup></i> .....	9
<b>Подбор технологического режима для повышения величины извлечения благородных металлов из бедных руд фабричным способом по технологии Меррилл-Кроу</b> <i>В.В. Жмурова<sup>1</sup>, Д.В. Оконешников<sup>2</sup></i> .....	11
<b>Поведение благородных металлов и их сплавов в процессе плавки</b> <i>И.С. Ункуев<sup>1</sup>, В.В. Жмурова<sup>2</sup></i> .....	13
<b>Актуальность адсорбционных процессов очистки от ионов железа (III) из различных производственных растворов</b> <i>Н.А. Бодяйло<sup>1</sup>, А.А. Снадченко<sup>2</sup>, Ю.С. Тимошенко<sup>3</sup>, В.И. Дударев<sup>4</sup>, А.С. Тимошенко<sup>5</sup></i> .....	16
<b>Применение углеродных адсорбентов для извлечения никеля из технологических растворов переработки окисленных руд</b> <i>Г.Н.Дударева<sup>1</sup>, Н.В.Иринчинова<sup>2</sup>, О.В.Дударева<sup>3</sup></i> .....	18
<b>Смачиваемые покрытия катодов алюминиевых электролизеров: уровень освоения, показатели, ожидания</b> <i>К.А. Ефимова<sup>1</sup>, Г.В. Галевский<sup>2</sup>, В.В. Руднева<sup>3</sup></i> .....	20
<b>Исследование получения нанодисперсного порошка молибдена в условиях низкотемпературной плазмы</b> <i>Л.С. Ширяева<sup>1</sup>, М.С. Фомин<sup>2</sup></i> .....	22
<b>Повышение эффективности ОАО «Русал Братск» путем изменения порядка эксплуатации обрабатывающей дизельной техники</b> <i>А.М.Дубнов<sup>1</sup></i> .....	25
<b>Физико-химические основы металлургического процесса получения лигатур магний-иттрий</b> <i>С.А. Савченков<sup>1</sup>, В.Ю. Бажин<sup>2</sup></i> .....	27
<b>Математическое моделирование в термоэлектрическом анализе работы электролизера</b>	

<i>В.В. Сомов<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>1</sup>, Е.Ю. Радионов<sup>2</sup></i> .....	29
<b>Криолитовое отношение как фактор, влияющий на выход алюминия по току при электролизе криолит-глиноземных расплавов</b>	
<i>А.А. Володькина<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup></i> .....	31
<b>Регенерация кремнещелочных растворов в способе Термохимия-Байер</b>	
<i>О.А. Дубовиков<sup>1</sup>, А.Д. Рис<sup>2</sup></i> .....	34
<b>Современные проблемы производства поликристаллического кремния</b>	
<i>А.Л. Александров<sup>1</sup>, Т.В. Критская<sup>2</sup>, А.А. Яковлева<sup>3</sup></i> .....	36
<b>Перспективы развития металлургической промышленности в России</b>	
<i>С.С. Бельский<sup>1</sup>, А.Э. Бараускас<sup>2</sup></i> .....	38
<b>Анализ основных методов защиты изделий от коррозии в металлургической промышленности</b>	
<i>О.Д. Петрова<sup>1</sup>, М.Ю. Кузьмина<sup>2</sup></i> .....	40
<b>Возможности твёрдого анодирования алюминия</b>	
<i>М.А. Демидов<sup>1</sup>, М.Ю. Кузьмина<sup>2</sup></i> .....	42
<b>Коррозионная стойкость алюминия и алюминиевых сплавов на воздухе</b>	
<i>О.Д. Петрова<sup>1</sup>, М.Ю. Кузьмина<sup>2</sup></i> .....	44
<b>Исследование термодинамической возможности восстановления алюминием кремния из аморфного микрокремнезёма</b>	
<i>М.П. Кузьмин<sup>1</sup>, Б.Г. Жалсанов<sup>2</sup></i> .....	46
<b>Получение силуминов с использованием аморфного микрокремнезёма</b>	
<i>М.П. Кузьмин<sup>1</sup>, В.В. Кондратьев<sup>2</sup>, Л.М. Ларионов<sup>3</sup>, Б.Г. Жалсанов<sup>4</sup></i> .....	48
<b>Аддитивные технологии в производстве изделий из алюминия и его сплавов</b>	
<i>Б.Г. Жалсанов<sup>1</sup>, М.П. Кузьмин<sup>2</sup></i> .....	50
<b>Изучение процесса низкотемпературного фазообразования в системе Ti-V-C-O</b>	
<i>Е.С. Горланов<sup>1</sup>, В.Ю. Бажин<sup>2</sup>, С.Н. Федоров<sup>3</sup></i> .....	52
<b>Форорпыты по синтезу лигатуры алюминий-эрбий из фторидно-хлоридного расплава</b>	
<i>Я.И. Косов<sup>1</sup></i> .....	54
<b>Армирование алюминия наночастицами карбида кремния</b>	
<i>Е.М. Гутема<sup>1</sup>, В.Ю. Бажин<sup>2</sup></i> .....	56
<b>Испытания опытного образца термоэлектрического преобразователя</b>	
<i>И.А. Сысоев<sup>1</sup>, Н.Н. Иванов<sup>2</sup>, Т.И. Зимина<sup>3</sup>, Д.А. Сокольникова<sup>4</sup></i> .....	58
<b>Исследование разрушаемости анодной массы в токе CO<sub>2</sub></b>	
<i>Р.В. Пятов<sup>1</sup>, О.В. Белоусова<sup>2</sup></i> .....	61
<b>Очистка растворов электролитического рафинирования меди от мышьяка</b>	
<i>А.А. Васильев<sup>1</sup>, Н.Н. Урлапкина<sup>2</sup></i> .....	63
<b>Лабораторная установка переработки пылей</b>	

<b>электросталеплавильного производства</b> <i>А.Е.Патрушов<sup>1</sup>, Н.В.Немчинова<sup>2</sup></i> .....	65
<b>Комплексная переработка пиритных огарков</b> <i>А.О.Перепелкина<sup>1</sup>, Т.С.Минеева<sup>2</sup></i> .....	67
<b>Термодинамический расчет реакций атмосферного окисления золотомедного флотоконцентрата</b> <i>Р.Н. Набиулин<sup>1</sup>, А.В. Богородский<sup>2</sup>, Т.С. Минеева<sup>3</sup>, С.В. Баликов<sup>4</sup></i> .....	69
<b>Исследование возможности извлечения цинка из доменных шламов Кузнецкого металлургического комбината</b> <i>И.В. Ноздрин<sup>1</sup>, Х.О. Джалолов<sup>2</sup>, Е.А. Чистюхин, Е.Д. Павловская<sup>4</sup></i> .....	71
<b>Практика электролитического рафинирования меди</b> <i>С.С. Бельский<sup>1</sup>, А.Э. Бараускас<sup>2</sup></i> .....	73
<b>Микрокремнезем. Свойства и применение</b> <i>С.С. Бельский<sup>1</sup>, А.Э. Бараускас<sup>2</sup></i> .....	74
<b>Исследование процесса серебрения из комплексных электролитов</b> <i>С.П. Бугдаев<sup>1</sup>, Е.А. Анциферов<sup>2</sup>, И.В. Полинский<sup>3</sup></i> .....	76
<b>Анализ технологии производства и переработки алюминия, . сокращающих негативное воздействие на окружающую среду</b> <i>Бушуев К.С.<sup>1</sup>, Никаноров А.В.<sup>2</sup></i> .....	78
<b>Требования к глинозему для производства первичного алюминия</b> <i>А.А. Власов<sup>1</sup>, А.П. Дрожженко<sup>2</sup>, Н.В. Евсеев<sup>3</sup></i> .....	81
<b>Исследования по выщелачиванию сульфидов из флотационного концентрата растворами азотной кислоты</b> <i>Ш.Р. Самихов<sup>1</sup>, Х.А. Махмудов<sup>2</sup>, О.М. Бобомуродов<sup>3</sup>, М.М. Солихов<sup>4</sup></i> .....	83

## **СЕКЦИЯ № 2**

### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

<b>Построение динамических стохастических моделей по каналу температура в поворотной камере топки – работа дымососа</b> <i>Я.В. Осипенко<sup>1</sup>, В.Г. Хапусов<sup>2</sup></i> .....	87
<b>Интенсификация процесса сгущения путем автоматизации основных параметров технологического оборудования</b> <i>В.В. Жмурова<sup>1</sup>, Д.В. Оконешников<sup>2</sup></i> .....	89
<b>Определение статической и динамической характеристик теплового объекта учебного стенда</b> <i>Л.А. Непомилов<sup>1</sup>, А.В.Климец<sup>2</sup>, П.Р. Ершов<sup>3</sup></i> .....	90
<b>Выбор структуры сау и типа закона регулирования для учебных стендов</b> <i>В.Э.Гаврищук<sup>1</sup>, И.Д.Волгарев<sup>2</sup>, П.Р. Ершов<sup>3</sup></i> .....	93
<b>Разработка учебного стенда «система управления конвейером» на базе оборудования Овен</b>	

<i>Л.В.Шиндяева<sup>1</sup>, Д.А.Дмитриев<sup>2</sup>, П.Р. Ершов<sup>3</sup></i> .....	95
<b>Модернизация системы сигнализации для САУ температуры учебного стенда</b>	
<i>А.А.Подкорытов<sup>1</sup>, В.И. Бралгина<sup>2</sup>, П.Р.Ершов<sup>3</sup></i> .....	97
<b>Конфигурирование регистратора ЭЛМЕТРО-Виэр104к</b>	
<i>А.А.Фесак<sup>1</sup>, В.А. Ершов<sup>2</sup></i> .....	99
<b>Контроль удельной поверхности при производстве активных углей</b>	
<i>А.А. Носенко<sup>1</sup>, С.И. Половнева<sup>2</sup></i> .....	101
<b>Особенности метрологической экспертизы проектов</b>	
<i>Т.Р. Мамин<sup>1</sup>, С.И. Половнева<sup>2</sup></i> .....	103
<b>Проектная оценка надежности АСУ ТП</b>	
<i>О.З.Турсунов<sup>1</sup>, В.М.Салов<sup>2</sup></i> .....	105
<b>Разновидность управления технологическими процессами в промышленности</b>	
<i>М.К. Гузин<sup>1</sup>, Н.П. Коновалов<sup>2</sup></i> .....	107
<b>Разработка стенда для исследования характеристик измерительных устройств на базе ионоселективных электродов</b>	
<i>А.Е. Овсяков<sup>1</sup>, А.А. Колодин<sup>2</sup>, Н.И. Блинов<sup>3</sup></i> .....	109
<b>Совершенствование аппарата непрерывной десорбции золота из активных углей</b>	
<i>И.Д.Волгарев<sup>1</sup>, С.А.Мельник<sup>2</sup>, В.В. Елишин<sup>3</sup></i> .....	111
<b>Разработка алгоритма управления аппаратом непрерывной десорбции золота из активных углей</b>	
<i>Д.А.Дмитриев<sup>1</sup>, С.А.Мельник<sup>2</sup>, В.В. Елишин<sup>3</sup></i> .....	113
<b>Разработка автоматизированной системы управления установкой непрерывной десорбции золота из активированных углей</b>	
<i>А.В. Костромин<sup>1</sup>, С.А. Мельник<sup>2</sup>, В.В.Елишин<sup>3</sup></i> .....	115
<b>Разработка установки для исследования динамических и метрологических характеристик датчиков растворенного кислорода</b>	
<i>А.А. Колодин<sup>1</sup>, Д.А. Бегунов<sup>2</sup>, М.А. Лазуткин<sup>3</sup></i> .....	118
<b>Увеличение химической активности углеродного материала</b>	
<i>Т.А. Джалилов<sup>1</sup>, Л.М.Ознобихин<sup>2</sup></i> .....	120

### **СЕКЦИЯ № 3**

#### **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Сополимеризация дивинилсульфида с 4-винилпиридином</b>	
<i>Д.Б. Багинов<sup>1</sup>, В.В. Баяндин<sup>2</sup>, Н.С. Шаглаева<sup>3</sup></i> .....	123
<b>Крекинг газойля с использованием в качестве компонента катализатора золы уноса теплоэлектростанций</b>	
<i>Д.В. Медведев<sup>1</sup>, А.С. Черненко<sup>2</sup>, Н.К. Андреева<sup>3</sup>, Е.Н. Рудых<sup>4</sup>, С.А. Уханев<sup>5</sup>, Н.С. Филиппов<sup>5</sup></i> .....	124

<b>Крекинг мазута на аморфных алюмосиликатных катализаторах, модифицированных золой уноса теплоэлектростанций</b> <i>Д.В. Медведев<sup>1</sup>, Н.К. Андреева<sup>2</sup>, А.С. Черненко<sup>3</sup>, Н.Н. Самодинская<sup>4</sup>, А.Д. Птичкин<sup>5</sup>, Р.А. Брекалов<sup>5</sup></i> .....	126
<b>Подбор рецептур и проведение испытаний топлива маловязкого судового (ТМС) с вовлечением тяжелых компонентов и депрессорно-диспергирующих присадок</b> <i>Ж.Н. Артемьева<sup>1</sup>, О.В. Старикова<sup>2</sup>, Т.Ю. Посельская<sup>3</sup>, Е.М. Галушко<sup>4</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>5</sup></i> .....	128
<b>Альтернативные методы очистки моторных топлив от сернистых соединений</b> <i>М.Л. Бахматов<sup>1</sup></i> .....	130
<b>Моделирование тарельчатого абсорбера очистки кислых газов</b> <i>С.Ю. Спирина<sup>1</sup>, К.И. Дементьева<sup>2</sup>, Н.Д. Губанов<sup>3</sup></i> .....	132
<b>Альтернативные полимерные системы для протонпроводящих мембран</b> <i>А.Э. Синёв<sup>1</sup>, Е.В. Янчуковская<sup>2</sup></i> .....	134
<b>Влияние фракционного и компонентного состава нефти на процесс риформинга</b> <i>Танасюк К.И.<sup>1</sup></i> .....	136
<b>Определение вязкости остаточных фракций нефтепереработки</b> <i>В. Д. Черепанов<sup>1</sup>, А. А. Аверьянова<sup>2</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>3</sup>, И.А. Семенов<sup>4</sup></i> .....	138
<b>Получение бутилнитратов и их применение в качестве цетанповышающих присадок</b> <i>Е.Е. Швалев<sup>1</sup>, И.Е. Кузора<sup>2</sup></i> .....	140
<b>Применение модуля ASPEN ENERGY ANALYZER в расчетах схем нагрева нефти с целью достижения максимальной энергоэффективности</b> <i>Щербаченко С.Ю.<sup>1</sup>, Жилкин А.Г.<sup>2</sup>, Губанов Н.Д.<sup>3</sup></i> .....	142
<b>Утилизация илового осадка сточных вод на установке СВЧ-термолиза</b> <i>Н.И. Днепровская<sup>1</sup>, Е.В. Янчуковская<sup>2</sup></i> .....	144
<b>Расчет эффективности использования системы коллекторов при проектировании перегрузочного комплекса</b> <i>О.И. Белова<sup>1</sup>, Е.В. Янчуковская<sup>2</sup></i> .....	146
<b>Техническое перевооружение блока нагрева нефти ООО «Пурпенефтепереработка»</b> <i>Жилкин А.Г.<sup>1</sup>, Щербаченко С.Ю.<sup>2</sup>, Губанов Н.Д.<sup>3</sup></i> .....	147
<b>Использование побочных продуктов производства бутиловых спиртов в приготовлении моторных топлив</b> <i>Ганина А.А.<sup>1</sup>, Д.С. Деркач<sup>2</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>3</sup></i> .....	149
<b>Физико-химические методы анализа углеводородного состава нефти</b> <i>Л.Е. Подаренко<sup>1</sup>, Т.А. Подгорбунская<sup>2</sup></i> .....	151

<b>Изучение состава сургутской нефти методом хромато-масс-спектрометрии</b> <i>А.С. Владимирова<sup>1</sup>, Т.А. Подгорбунская<sup>2</sup></i> .....	152
<b>Усовершенствование установки АВТ. Контактные устройства</b> <i>И.О. Крестовникова<sup>1</sup>, Т.А. Подгорбунская<sup>2</sup>, А.С. Владимирова<sup>3</sup>, Л.Е. Подаренко<sup>4</sup></i> .....	154
<b>Импортозамещение катализатора на установке каталитического крекинга ГК-3 АО “АНХК”</b> <i>Никитушкин С. В.<sup>1</sup>, Могилевич Н. В.<sup>2</sup></i> .....	155
<b>1,3-диполярное циклоприсоединение нитрилоксидов к 3-триметилсилил-2-пропин-1-алю</b> <i>Нгуен Тхи Тхюи Линь<sup>1</sup>, Нгуен Чьонг Хой<sup>2</sup>, В.В.</i> .....	157

#### **СЕКЦИЯ № 4**

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ**

<b>Изучение состава теплоизоляционной части отработанной футеровки алюминиевого электролизера</b> <i>Э.П. Ржечицкий<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, А.А. Петровский<sup>3</sup></i> .....	158
<b>Методы переработки теплоизоляционной (огнеупорной) части отработанной футеровки алюминиевых электролизеров</b> <i>Э.П. Ржечицкий<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, А.А. Петровский<sup>3</sup></i> .....	160
<b>Новые мембранные материалы для экологически безопасных альтернативных источников электроэнергии на основе водородных топливных элементов</b> <i>С.Д. Максименко<sup>1</sup>, А.А. Коноваленко<sup>2</sup>, А.Н. Чеснокова<sup>3</sup></i> .....	163
<b>Технико-экономические показатели внедрения технологии переработки фторуглеродсодержащих отходов производства алюминия</b> <i>Н.В. Немчинова<sup>1</sup>, П.А. Якушевич<sup>2</sup></i> .....	168
<b>Накопленный экологический ущерб от мышьяковистых отходов горно-перерабатывающей промышленности</b> <i>Д.Д. Блинов<sup>1</sup>, Я.Э. Бальчинова<sup>2</sup>, О.Л. Качор<sup>3</sup></i> .....	170
<b>Возможности очистки печных газов от оксидов серы и азота путем использования отвальных красных шламов</b> <i>А.Б. Лебедев<sup>1</sup>, В.А. Утков<sup>2</sup>, В.Ю.Бажин<sup>3</sup></i> .....	172
<b>Извлечения фтористых солей из отработанной футеровки электролизера по производству алюминия</b> <i>В.О. Горовой<sup>1</sup>, А.Д. Колосов<sup>2</sup>, А.И. Балеева<sup>3</sup></i> .....	173
<b>Проблема образования отходов кремниевого производства</b> <i>Д.И. Ким<sup>1</sup>, А.А.Тютрин<sup>2</sup></i> .....	176

<b>Реагент для глубокого извлечения фтора из отходов алюминиевого производства</b> <i>А.В. Климец<sup>1</sup>, В.А. Ершов<sup>2</sup></i> .....	178
<b>Способ получения карбонизированных пеллет</b> <i>Москалюк А.О.<sup>1</sup>, Горощенев А.С.<sup>2</sup></i> .....	180
<b>Разработка технологии гомогенизации нефтяных мазутов для создания высококалорийного топлива</b> <i>С.В. Шаргородский<sup>1</sup>, А.П. Горохов<sup>2</sup>, Н.П. Коновалов<sup>3</sup></i> .....	182
<b>Регенерация технологических растворов хроматирования металлов</b> <i>А.В. Драгунский<sup>1</sup>, В.И. Дударев<sup>2</sup>, Ю.С. Тимошенко<sup>3</sup></i> .....	183
<b>Оценка потерь нефтепродуктов в АО «САХАнефтегазсбыт»</b> <i>А.Я. Рыбкин<sup>1</sup>, О.В. Горбунова<sup>2</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>3</sup></i> .....	185
<b>Карбидизация техногенного микрокремнезема с использованием бурогоугольного полукокса</b> <i>А.Е. Аникин<sup>1</sup>, Г.В. Галевский<sup>2</sup>, В.В. Руднева<sup>3</sup></i> .....	187
<b>Металлизация прокатной окалины и шламов газоочистки с использованием бурогоугольного полукокса</b> <i>А.Е. Аникин<sup>1</sup>, Г.В. Галевский<sup>2</sup>, В.В. Руднева<sup>3</sup></i> .....	189
<b>Практика и перспективы использования коксовой пыли</b> <i>Н.С. Пономарев<sup>1</sup>, О.А. Полях<sup>2</sup></i> .....	191
<b>Практика и перспективы использования смолистых отходов коксохимического производства</b> <i>Х.А. Коновалова<sup>1</sup>, О.А. Полях<sup>2</sup></i> .....	193
<b>Технология сухой сепарации микросилики для решения экологических проблем кремниевого производства</b> <i>С.А. Небогин<sup>1</sup>, А.С. Запольских<sup>2</sup></i> .....	195

## **СЕКЦИЯ № 5**

### **ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

<b>Обогащение сурьмяных руд</b> <i>Самихов Ш.Р.<sup>1</sup>, Холов Х.И.<sup>2</sup></i> .....	198
<b>Карбонизация оксисульфатной формы пасты свинцового производства</b> <i>Т.Н. Каргапольцева<sup>1</sup></i> .....	200
<b>Флотационно-химическое обогащение Таджикских фосфоритных руд</b> <i>Самихов Ш.Р.<sup>1</sup>, Зинченко З.А.<sup>2</sup>, Курбонов Ш.А.<sup>3</sup></i> .....	202
<b>Моделирование процесса сгущения</b> <i>Сокольникова Д. А.<sup>1</sup>, Колмогоров А. В.<sup>2</sup>, Никаноров А. В.<sup>3</sup></i> .....	205
<b>Управление процессом флотации в колонных аппаратах с нисходящим пульповоздушным потоком</b> <i>Сокольникова Д. А.<sup>1</sup>, Никаноров А. В.<sup>2</sup></i> .....	207

<b>Современные технологии обогащения молибденовых руд</b>	
<i>М. Комрони, О.А. Полях<sup>2</sup></i> .....	209

Научное издание

# **Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов**

Материалы

VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием посвященная 55-летию кафедры автоматизации производственных процессов

**(Иркутск, 19–20 апреля 2017 г.)**

Публикуются с файлов, предоставленных авторами

Оформление обложки Мамин Т.Р.