

# **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

МАТЕРИАЛЫ V ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

*(ИРКУТСК, 23–24 апреля, 2015 г.)*



***ИРКУТСК***

***2015 г.***

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

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

Материалы  
V Всероссийской научно-практической конференции с международным  
участием

**(Иркутск, 23–24 апреля, 2015 г.)**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Иркутского национального исследовательского технического  
университета  
2015**

**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 V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Иркутск, 23–24 апреля, 2015 г.). – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2015. – 170 с.

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

*Редакционная коллегия:*

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

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

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

Баев А.В. – канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой автоматизации производственных процессов, ИМиХТ им. С.Б. Леонова;

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

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

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

*Технический редактор:*

Михалёва В.П. – специалист по УМР кафедры химической технологии, ИМиХТ им. С.Б. Леонова.

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

© ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2015

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

**КЛАССИФИКАЦИЯ ХРОМОВЫХ РУД**

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

<sup>1</sup> студентка гр. МЦБ-12, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [bss@istu.edu](mailto:bss@istu.edu)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [bss@istu.edu](mailto:bss@istu.edu)

Главными рудообразующими минералами хромовых руд являются хромшпинелиды переменного состава типа шпинели, общая эмпирическая формула которых имеет вид  $RO \cdot R_2O_3$ .

В состав хромшпинелидов входят три основных оксида трехвалентных металлов ( $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) и два оксида двухвалентных металлов ( $MgO$  и  $FeO$ ) [1].

Автор работы [2] предложил классификацию изоморфных минералов группы шпинелей по их химическому составу, развитую в дальнейшем применительно к хромшпинелидам автором работы [3]. В соответствии с этой классификацией типичные минеральные однокомпонентные виды должны содержать 100% молекул данного компонента, типичные трехкомпонентные виды должны содержать по 1/3 или 33,33% молекул каждого компонента и т.д. Минералы, имеющие промежуточный состав, относятся к тому или иному виду в зависимости от молекулярного соотношения компонентов. Для двухкомпонентных составов была установлена граница в 25 % молекул между одно- и двухкомпонентными минеральными видами, что составляет 1/4 суммы, для трехкомпонентных – 1/6, для четырехкомпонентных – 1/8 и т.д. Сокращенная классификация минеральных видов для хромшпинелидов, предложенная автором [2] представлена ниже в Таблице 1.

Таблице 1.- Классификация минеральных видов хромшпинелидов

Трехвалентные элементы	Двухвалентные элементы		
	Mg	Fe <sup>2+</sup>	Mg, Fe <sup>2+</sup>
Cr	Пикрохромит	Хромит	Магнохромит
Al, Cr	Хромшпинель	Алюмохромит	Хромпикотит
Fe <sup>3+</sup> , Cr	–	–	Магноферрохромит
Al, Fe <sup>3+</sup> , Cr	Феррохромшпинель	–	Феррохромпикотит

Из приведенных в Таблице видов хромовой шпинели наибольшее промышленное значение имеют магнохромит, хромпикотит и алюмохромит.

Автором работы [4] была предложена более подробная классификация хромшпинелидов из ультраосновных пород и хромовых месторождений, которая также как и классификация автора работы [2], основана на химическом составе минералов хромовых руд. Из общей формулы хромшпинелидов ( $RO \cdot R_2O_3$ ) следует, что любой хромшпинелид состоит из 50% молей оксидов двухвалентных элементов и 50% молекул оксидов трехвалентных элементов, что позволило изобразить графически независимо друг от друга вариации оксидов трехвалентных и двухвалентных элементов. Оксиды трехвалентных элементов ( $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) были нанесены на тройную диаграмму. Для оксидов двухвалентных элементов система сложнее, однако, учитывая, что такие оксиды как  $MnO$ ,  $ZnO$  и  $NiO$ , входящие в состав хромшпинелидов, всегда присутствуют в небольших количествах, и объединяя  $MnO$  и  $ZnO$  с  $FeO$ , а  $NiO$  с  $MgO$ , можно считать систему по оксидам двухвалентных элементов двухкомпонентной.

В составе хромшпинелида, пересчитанном на чистое хромшпинелидовое вещество, находят молекулярные количества для каждого оксида и выравнивают суммы  $R_2O_3$  и  $RO$ . Исправленные молекулярные количества пересчитывают на молекулярные проценты. По процентному молекулярному содержанию оксидов трехвалентных элементов находится фигуративная точка. Проектируя точку на сторону  $Al_2O_3 - Cr_2O_3$  по линии, параллельной стороне  $Al_2O_3 - Fe_2O_3$ , по процентному молекулярному содержанию находят соответствующую точку на левом поле диаграммы. Таким образом, две точки предложенной автором работы [4] диаграммы определяют состав хромшпинелида.

#### *Библиографический список*

1. Металлургия хрома. Ю.Л. Плинер, Г.Ф. Игнатенко, С.И. Лаппо. – М.: Metallurgia, 1965. – 182 с.
2. Болдырев А.К. Курс описательной минералогии, вып. 3, Госгеологиздат, 1935.
3. Бетехтин А.Г. Методика поисков, разведок, опробования и подсчета запасов месторождений хромистого железняка. Госгеологиздат, 1941г.
4. Соколов Г.А. Труды института геологических наук, Изд. АН СССР, вып. 97, 1948.

## ПРОИЗВОДСТВО ТИТАНА

О.Е. Бельская<sup>1</sup>, С.С. Бельский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦм-13, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [bss@istu.edu](mailto:bss@istu.edu)

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [bss@istu.edu](mailto:bss@istu.edu)

Титан (лат. Titanium; обозначается символом Ti) - элемент побочной подгруппы четвертой группы, четвертого периода периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева, с атомным номером 22. Легкий металл серебристо-белого цвета [1].

Открытие титана сделали практически одновременно и независимо друг от друга англичанин У. Грегор и немецкий химик М.Г. Клапрот. Грегор, исследуя состав магнитного железистого песка, выделил новую «землю» (оксид) неизвестного металла, которую назвал менакеновой. В 1795 г. немецкий химик Клапрот открыл в минерале рутиле новый элемент и назвал его титаном. Спустя два года Клапрот установил, что рутил и менакеновая земля – оксиды одного и того же элемента, за которым и осталось название «титан», предложенное Клапротом [2].

В ряду распространенности элементов титан занимает девятое место, содержание его в земной коре 0,61 % (по массе). Титан встречается в земной коре в виде диоксида, титанатов и сложных комплексных титаноиобатов и силикотитанатов.

Известно около 70 минералов титана, наибольшее промышленное значение имеют рутил ( $TiO_2$ ), ильменит ( $FeO \cdot TiO_2$ ), перовскит или титанат кальция ( $CaO \cdot TiO_2$ ) и сфен ( $CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$ ) [3].

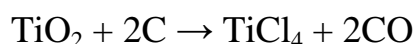
Месторождения титана находятся на территории ЮАР, России, Украины, Китая, Японии, Австралии, Индии, Цейлона, Бразилии, Южной Кореи, Казахстана [1].

Таблица 1. - Запасы на месторождениях титановой руды в 2014 году по данным US Geological Survey

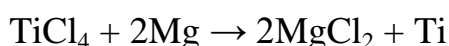
Китай	200,0
Австралия	118,0
Индия	85,0
ЮАР	71,3
Норвегия	37,0
Прочие страны	180,7
Всего запасы	692,0

Как правило, исходным материалом для производства титана и его соединений служит  $\text{TiO}_2$  со сравнительно небольшим количеством примесей. В частности, это может быть рутиловый концентрат, получаемый при обогащении титановых руд. Однако запасы рутила в мире весьма ограничены, и чаще применяют так называемый синтетический рутил или титановый шлак, получаемые при переработке ильменитовых концентратов. Для получения титанового шлака ильменитовый концентрат восстанавливают в электродуговой печи, при этом железо отделяется в металлическую фазу (чугун), а не восстановленные оксиды титана и примесей образуют шлаковую фазу. Богатый шлак перерабатывают хлоридным или серноокислотным способом.

Концентрат титановых руд подвергают серноокислотной или пирометаллургической переработке. Продукт серноокислотной обработки – порошок диоксида титана  $\text{TiO}_2$ . Пирометаллургическим методом руду спекают с коксом и обрабатывают хлором, получая пары тетрахлорида титана  $\text{TiCl}_4$  по реакции:



Образующиеся пары  $\text{TiCl}_4$  при температуре  $850^\circ\text{C}$  восстанавливают магнием по реакции:



Полученную титановую «губку» переплавляют и очищают. Рафинируют титан иодидным способом или электролизом, выделяя  $\text{Ti}$  из  $\text{TiCl}_4$ . Для получения титановых слитков применяют дуговую, электроннолучевую или плазменную плавку [2].

#### *Библиографический список*

1. <http://www.cmmarket.ru/markets/tiworld.htm>;
2. <https://ru.wikipedia.org>;
3. *Металлургия редких металлов*. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: *Металлургия* 1991. – 432с.

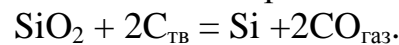
# ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕЧНЫХ ШЛАКОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Бузикова Т.А.<sup>1</sup>, Немчинова Н.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. МЦБ-11-1 ИрГТУ, кафедра металлургии цветных металлов. г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: buzik2009@mail.ru

<sup>2</sup> д.т.н, профессор, заведующая кафедрой МЦМ ИрГТУ, кафедра металлургии цветных металлов. г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: ninavn@yandex.ru

Технический кремний получают в руднотермической печи (РТП), процесс выплавки можно описать основной реакцией



В качестве сырьевых материалов при плавке кремния используют:

1. кварцит – кремнеземсодержащий материал с содержанием  $\text{SiO}_2$  97-99 %;

2. древесный уголь (берёзовый, сосновый) - содержит на сухую массу (обезвоженный) до 80% процентов твердого углерода, не более 4% золы;

3. нефтекокс - твердый остаток пиролиза нефти, содержащий до 96% твердого углерода, не более 0,6% золы;

4. каменные угли различных месторождений – обладают высокой реакционной способностью и значительным удельным электросопротивлением, однако содержание золы составляет до 6%;

5. древесная щепа - используется как восстановитель, так и для увеличения газопроницаемости шихты [1,2].

Взаимодействие кремния с углеродом интенсивно протекает при 1670 °С, однако помимо восстановления кремния из кремнеземсодержащего сырья (кварцита) происходит образование целого ряда промежуточных продуктов. При относительно низких температурах ( $t \approx 1100^\circ\text{C}$ ) возможно образование  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ . Степень перехода этих примесей в кремний колеблется в широком диапазоне – от 30 до 100% [3]. При более высокой температуре (свыше 1700 °С) образуются еще более сложные оксидные соединения типа анортита  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , геленита  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , алита  $8\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ , которые являются тугоплавкими. Неизбежным промежуточным соединением при выплавке кремния является карборунд  $\text{SiC}$ , который из-за недовосстановления до  $\text{Si}$  также переходит как в целевой продукт, так и в шлак [1].

Процесс получения кремния в РТП относится к бесшлаковым, однако незначительное количество шлака образуется, так как он является обязательным продуктом любого пирометаллургического процесса.



Шлак – это расплав оксидов, получаемых из породобразующих компонентов шихты. Шлаки бывают рудной плавки, конвертерные и рафинировочные. Основной функцией шлаков плавильных процессов является ассимиляция пустой породы руды и концентратов, что позволяет сконцентрировать ценные металлы в форме штейнов, шлаков, металлических расплавов [4].

Содержание шлака в печном кремнии может достигать 1-8% в зависимости от мощности печи, что снижает извлечение кремния на 1,2-2,2%. В составе шлака в основном содержится до 15 % Si, 33-47 %  $\text{SiO}_2$  и 6,5-25 % SiC, а также  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и CaO, имеющие высокое сродство к кислороду и не успевающие восстановиться в процессе электроплавки. Плотность шлака значительно выше, чем у кремния, следовательно, он будет опускаться на подину печи и образовывать подовую настывль [5].

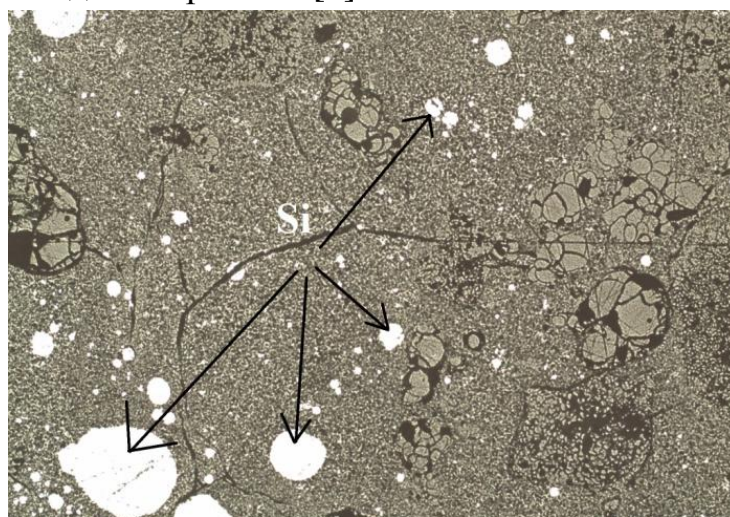
Температура шлаков подовой настывли достигает 1600 °С, являются вязкими и тугоплавкими. При выпуске расплава кремния из лётки печи шлак может попадать в горн, а затем и в сам кремний, загрязняя его. Это возможно вследствие недвосстановления шихты в зоне максимальной температуры из-за:

- недостатка углерода как восстановителя оксидов кремния и оксидов других металлов;
- неравномерности загрузки порции очередной шихты и ее провалов;
- быстрого стекания расплава на подину РТП [1].

Недостаточному восновлению кремнезема из шлака может также способствовать снижение его активности в расплаве, нарушение контакта между шлаком и восстановителем. Прекращение восновления на подине печи может быть только следствием недостаточного перегрева шлака, находящегося под слоем легкого жидкого кремния [6].

Для исследования были отобраны образцы печного шлака (ЗАО «Кремний» ОК РУСАЛ, г. Шелехов) с трех печей (РТП-1, РТП-2, РТП-3) мощностью 16,5 МВ·А.

На рис. 1 приведена фотография поверхности образца печного шлака с РТП-1, отобранного при нормальном режиме её работы. При исследовании состава изучаемого образца кремниевого производства, металлографическим методом с помощью микро-

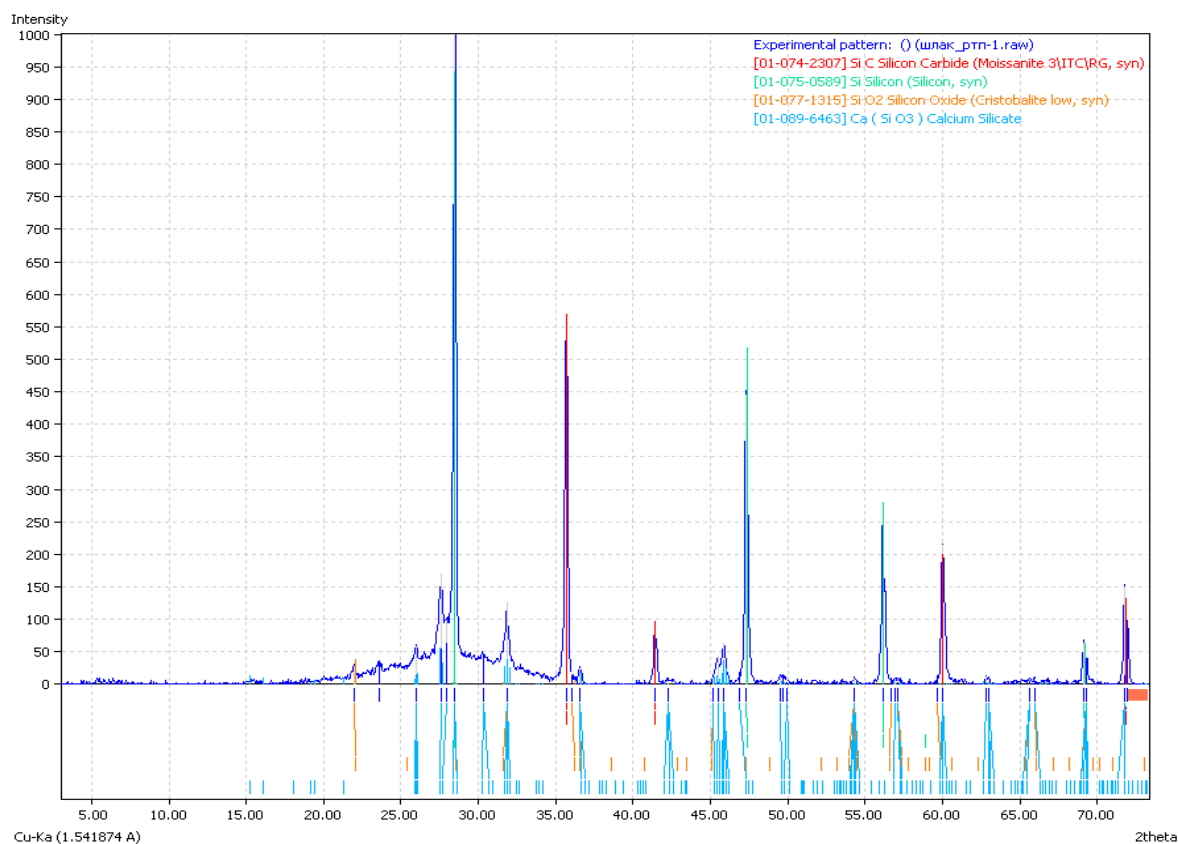


**Рис. 1.** Фотография поверхности шлифа печного шлака с РТП-1

скопа серии «Olympus GX-51» (Япония) были обнаружены крупные и мелкие вкрапления кремния.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 2), выполненного с помощью рентгеноспектрального флуоресцентного метода при помощи спектрометра с волновой дисперсией S8 TIGER (Bruker, Германия), проба шлака с РТП-1 состоит из, %, соответственно: SiC – 34,46, Si – 44,17,  $\alpha$ -SiO<sub>2</sub> – кристобалит – 1,74, CaO·SiO<sub>2</sub> – 19,63.

Поскольку печной шлак обладает высокой вязкостью, то в нем запутываются корольки кремния (см. рис.1); по результатам анализа данная проба образца практически наполовину представлена основным элементом, что приводит к снижению извлечения целевого продукта при плавке.



**Рис.2.** Рентгенограмма образца печного шлака РТП-1

Таким образом, результатами исследований было установлено, что печные шлаки руднотермической плавки имеют комплексный химический состав. Из-за сложности технологии плавки часть оксидов недовосстанавливаются и образуют шлак, в который также переходит карбид кремния, являющийся обязательным промежуточным соединением в процессе. Кроме этого, со шлаками связаны потери выплавляемого кремния, поскольку он запутывается в печном шлаке (благодаря значительной вязкости).

### *Библиографический список*

1. Катков О.М. Технология выплавки технического кремния: учеб. пособие. – Иркутск: ЗАО «Кремний», 1999. – 244 с.
2. Немчинова Н. В., Клец В. Э. Кремний: свойства, получение, применение : учеб. пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – 271 с.
3. Немчинова Н. В. Термодинамическое моделирование при изучении карботермического процесса получения кремния: монография. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. – 100 с.
4. Теория металлургических процессов: учебник для вузов / Г.Г. Минеев [и др.]. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – 524 с.
5. Тютрин А.А., Немчинова Н.В. О рафинировании кремния // Матер. междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов «Актуальные вопросы металлургии цветных металлов» (16-19 мая 2011 г., г. Красноярск). – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – С. 37-40.
6. Бузикова Т.А., Немчинова Н.В. Шлаки металлургических плавков // Переработка природного сырья: сб. науч. трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых ИМиХТ им. С.Б. Леонова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – С. 8-11.

### **МОЛОДЕЖНАЯ ПЛОЩАДКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ МЕТАЛЛУРГОВ, КАК ИНСТРУМЕНТ СОЗДАНИЯ КАДРОВОГО РЕЗЕРВА ОТРАСЛИ**

**А. А.Власов<sup>1</sup>, В. Ю.Бажин<sup>2</sup>, С.Н.Федоров<sup>3</sup>, Я. П.Комиссаренко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> к.т.н., председатель правления ассоциации «Молодежная площадка профессиональных металлургов», e-mail: wlasow87@mail.ru

<sup>2</sup> д.т.н., декан факультета переработки минерального сырья, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, e-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

<sup>3</sup> студент гр. МЦ-10-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: fedorov.sn29@mail.ru

<sup>4</sup> студентка 2-го курса магистратуры, Санкт-Петербургского государственного экономического университета, г. Санкт-Петербург.

Металлургия является одним из наиболее важнейших промышленных комплексов России. Основываясь на богатейших запасах минеральных ресурсов, а также на дешевых и экологичных источниках энергии в конце 1980-х годов металлургия стала одной из ведущих отраслей в мире. Однако сегодня ситуация изменилась - промышленное развитие резко замедли-

лось, многие предприятия стали убыточными, уровень конкурентоспособности на мировом рынке постоянно падает. Данные тенденции в первую очередь связаны с утратой базовых государственных институтов, которые обеспечивали выстраивание инфраструктуры, системы отраслевого планирования и целеполагания, контроля и поддержки узких звеньев отрасли [1].

В настоящее время одно из центральных мест в проблемах металлургического комплекса занимает кадровый вопрос:

- доля персонала предпенсионного и пенсионного возраста на предприятиях отрасли возрастает и в настоящее время составляет около 46%;
- доля специалистов с высшим образованием в добывающих отраслях составляет около 17%;
- лишь около 10% выпускников химико-металлургических кафедр вузов и техникумов идут работать по специальности.

Система образования отстает от практического применения знаний. Сегодня этот разрыв стал еще больше. Преподаватели зачастую не привлекаются к работе с реальным сектором экономики и учат тому же самому, чему когда учили их, передают знания 20-30-ти летней давности.

Таким образом, назрела необходимость в объединении усилий субъектов отрасли для изменения негативного тренда. В этой связи необходимо обеспечить тесную связь по принципу государственно-частного партнерства (государство - предприятие - вуз) за счет дополнительной надстройки, агента реализации государственной молодежной политики в области металлургии [2].

Некоммерческая организация (ассоциация) «Молодежная площадка профессиональных металлургов» создана с целью подготовки и адаптации молодых металлургов, закреплению их в профессии. Целью Площадки является консолидация молодых специалистов-металлургов через их объединение на основе государственно-частного партнерства, а также формирование и развитие кадрового потенциала отрасли.

Достижение основной цели основано на решении перечня задач: освещение аспектов работы промышленных предприятий отрасли, формирование положительного имиджа профессии металлурга, выявление талантливой молодежи, содействие их развитию в профессии металлурга.

#### *Библиографический список*

1. Сизяков В.М. Роль государства в области инновационной деятельности предприятий цветной металлургии России / В.М. Сизяков, В.Ю.Бажин, Т.А. Селищева, А.А. Власов // Металлург. М.: 2014. № 1. С. 4-7. Scopus и Web of Science.

2. Власов А.А. Звено в развитии научных исследований в рамках вуза / А.А. Власов, В.Ю. Бажин // Профессиональное образование, наука ин-

новации в XXI веке, Санкт-Петербург, 2012. Горный университет. С. 107-110.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В Г. ИРКУТСКЕ

Э.С. Доржиева<sup>1</sup>, О.А. Ладенкова<sup>2</sup>, А.Н. Баранов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> – магистрант гр. АЗОСм–13-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [Zheka6580@mail.ru](mailto:Zheka6580@mail.ru)

<sup>2</sup> – магистрант гр. АЗОСМ-14-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [Ladenkova91@mail.ru](mailto:Ladenkova91@mail.ru)

<sup>3</sup> – д. т. н., профессор кафедры металлургии и цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [baranov@istu.edu](mailto:baranov@istu.edu)

Важнейшей составной частью управления экологической безопасностью промышленных производств является инженерная защита и предупреждение загрязнения окружающей среды на основе исследования распределения компонентов выбросов в атмосфере, атмосферных осадках, снежном покрове и других объектах окружающей среды. В атмосфере загрязняющие вещества переносятся на дальние расстояния преимущественно в направлении ветрового переноса, при поступлении с атмосферными осадками через поверхностные и грунтовые воды могут переноситься в иных направлениях на значительные расстояния, расширяя зону воздействия предприятий. Распространение и распределение выбросов загрязняющих веществ в атмосфере представляют реальную угрозу для здоровья и качества жизни населения, функционирования природных экосистем, что является актуальным, особенно для Байкальского региона. Байкальский регион находится в центре азиатского материка, его важнейшее стратегическое значение определяется нахождением здесь крупнейшего на планете источника питьевой воды – озера Байкал – и огромных территорий с практически ненарушенными экосистемами [1].

Проведен отбор снега 12 марта 2015 г. в Ново-Разводной 1 (1-11 пробы) и Ново-Разводной 2 (12 проба). Ново-Разводная 1 и 2 находятся на 9 км. Байкальского тракта на расстоянии друг от друга 400 м. Ново-Разводная 1 расположена ближе к заливу Иркутского водохранилища, Ново-Разводная 2 ближе к трассе. Пробы отбирались в полиэтиленовые пакеты, с площади 5×5 см. на глубине 20-40 см, объемом 0,5-1,0 дм<sup>3</sup>. После таяния снега, проба объемом 100 мл. отбиралась в стандартный контейнер.

По данным исследования выявлена убыль массы металла за время испытания  $t=168$  часов после удаления продуктов коррозии. Следовательно, удельный показатель изменения массы является отрицательным [2].

Для подтверждения результатов, полученных гравиметрическим методом, нужно использовать потенциостат – гальваностат «Пи – 50 – Pго». В данном исследовании потенциостат – гальваностат «Пи – 50 – Pго» применить сложно, так как удельная электропроводность снеговой воды мала, соответственно невозможно измерить вольт-амперную кривую и силу тока. Поэтому мы использовали коррозиметр Эксперт - 004. Преимущества коррозиметра: широкий диапазон измерений 0,01-60000 мкм/год, высокая чувствительность, малые габариты прибора. Прибор автоматически определяет показатели общей и питтинговой коррозии, потенциал коррозии металлов, их сплавов и покрытий, находящихся в жидких средах.

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о том, что скорость коррозии стали Ст3 в снеговой воде определенная гравиметрическим способом составляет менее 0,0001 мм/год, что свидетельствует о низкой коррозионной активности снеговой воды так, как согласно шкалы коррозионной стойкости [3] 1 группа стойкости стойкие. Результаты скорости коррозии полученные электрохимическим методом с помощью коррозиметра Эксперт - 004 составляет 0,032 мм/год, что на 2 порядка выше и т коррозионная стойкость стали согласно этих данных в снеговой воде относится к пониженностойкой. Вероятно, это объясняется тем, что измерения электрохимическим способом определяют начальную скорость коррозии до образования защитной оксидной пленки, а гравиметрическим способом мы определили среднюю скорость коррозии за 168 часов и за этот период на поверхности стали образовалась оксидная пленка, которая в 100 раз повысила коррозионную стойкость стали.

#### *Библиографический список*

1. Янченко Н.И., Баранов А.Н. Управление экологической безопасностью производства алюминия на основе исследования распределения компонентов выбросов в атмосферных выпадениях: монография. 2-е изд. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 156 с.

2. Михайлов Б. Н., Баранов А. Н. Защита металлов от коррозии: Учеб. пособие. – Иркутск: Издательство ИрГТУ, 2007. – 152 с.

3. ГОСТ 9. 908-85. Единая система защиты от коррозии и старения. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости. - Введен с 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999 – 6 с.



## ПРОИЗВОДСТВО ГЛИНОЗЕМА В РОССИИ

М.А. Ермолаев<sup>1</sup>, С.С. Бельский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МЦБ-14-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: ermia96@mail.ru

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: bss@istu.edu

Современное производство алюминия невозможно представить без добычи глинозема. Глинозем – оксид алюминия, из которого в процессе электролиза вырабатывается сам металл. Толчком для начала производства глинозема в нашей стране послужили новые способы переработки сырья, открытые в Ленинградском государственном институте прикладной химии. В 1938 году эти разработки позволили запустить Тихвинский глиноземный завод, а спустя год - Уральский алюминиевый завод, представлявший из себя уже комплекс предприятий по производству и глинозема, и алюминия [1]. В нашей стране впервые в мировой практике была освоена комплексная переработка нефелинового сырья на глинозём, содопродукты и цемент, что позволило значительно расширить сырьевую базу алюминиевой промышленности. На этом виде сырья работают Волховский и Пикалевский заводы и Ачинский глинозёмный комбинат [2].

В настоящее время 40 % потребностей России в глиноземе обеспечивается отечественным сырьем, остальная часть поступает из-за границы (из Гвинеи, Ямайки и др.). Крупнейшие мощности российского производства глинозема сосредоточены на Урале (Богословский и Уральский алюминиевые заводы) и в Восточной Сибири (Ачинский глиноземный комбинат, работающий на нефелинах Кия-Шалтырского месторождения) [3].

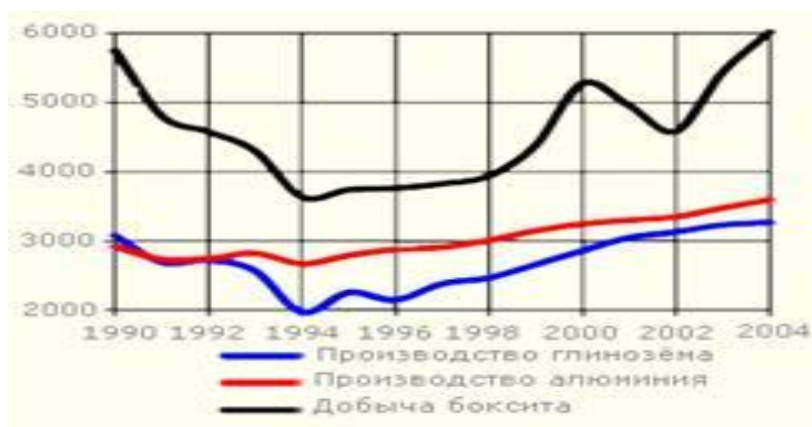


Рис.1. График производства глинозема в сравнении с алюминием и бокситами

Увеличение производства алюминия и глинозема в России будет происходить за счет интенсификации действующих технологических процессов, внедрения новых технологий, повышения степени использования оборудования и сырья, а также в результате строительства новых предприятий.

Под повышением степени использования сырья подразумевается прежде всего его комплексная переработка. Расширение глиноземного производства в России, необходимое для обеспечения алюминиевых заводов глиноземом, приведет к увеличению расхода используемых, изученных видов сырья и к вовлечению в сферу производства новых руд. Многолетний отечественный опыт переработки диаспор-бемитовых и глинистых гидраргиллитовых бокситов и нефелинов по разработанным еще в Советском Союзе технологическим схемам показал большую экономическую эффективность производства глинозема на высоком техническом уровне.

В настоящее время в сферу производства глинозема все больше привлекается низкокачественное сырье, содержащее значительное количество примесей. Поэтому повышение экономической эффективности использования такого сырья может быть достигнуто извлечением наряду с глиноземом других основных его составляющих, а также получением новых видов продукции на глиноземных заводах [4].

#### *Библиографический список*

1. [http://www.deripaska.ru/in\\_focus/det](http://www.deripaska.ru/in_focus/det)
2. <http://newsruss.ru/doc/index.php>
3. <http://media.ls.urfu.ru/201/584/1259/>
4. <http://www.chemport.ru/alumprom.shtml>

## **ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ ДИБОРИДА ТИТАНА**

**К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, Т.И. Алексеева**

Сибирский государственный индустриальный университет, кафедра  
Металлургии цветных металлов и химической технологии,  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843)-74-89-13  
email: [kafcmets@sibsiu.ru](mailto:kafcmets@sibsiu.ru)

Диборид титана  $TiB_2$  – синтетический сверхтвердый, тугоплавкий, жаропрочный, износостойкий материал, востребованный для производства керметов, огнеупоров, защитных покрытий различного назначения. Сравнительно новым и значительным по объему направлением является применение его в электролитическом производстве алюминия в качестве компо-



нента смачиваемого покрытия катодов электролизеров, защищающего их от разрушающего воздействия криолитоглиноземного расплава. Для получения такого покрытия готовится водная суспензия, содержащая 68 – 70% твердого (90% -  $TiB_2$ , 10% -  $Al_2O_3$ ). Физическая и химическая связь между коллоидными частицами  $Al_2O_3$  и частицами  $TiB_2$  в суспензии приводит к образованию вязкоэластичного желеподобного состояния. Такой материал не выделяет воду и ведет себя после сушки как твердый.

Для синтеза диборида титана использовался промышленный плазмометаллургический комплекс, созданный СибГИУ и ООО «Полимет», основа которого – трехструйный прямоточный вертикальный плазменный реактор мощностью 150 кВт. Основные параметры синтеза и характеристики диборида титана представлены в табл. 1. Сопоставление двух вариантов синтеза позволяет выбрать в качестве более перспективного борирование титанового порошка. Нанопорошок диборида титана представлен агрегатами шаровидной формы размером 120 – 500 нм, образованных сообществом округлых частиц достаточного широкого размерного диапазона от 10 до 80 нм. Округлая форма наночастиц диборида титана показывает на возможность из образования по механизму «пар – расплав – кристалл», предположительно при взаимодействии «титанового» аэрозоля с борводородами.

Основные параметры синтеза и характеристики диборида титана представлены в табл. 1. Сопоставление двух вариантов синтеза позволяет выбрать в качестве более перспективного борирование титанового порошка. Нанопорошок диборида титана представлен агрегатами шаровидной формы размером 120 – 500 нм, образованных сообществом округлых частиц достаточного широкого размерного диапазона от 10 до 80 нм. Округлая форма наночастиц диборида титана показывает на возможность из образования по механизму «пар – расплав – кристалл», предположительно при взаимодействии «титанового» аэрозоля с борводородами.

Предполагается, что по фазовому и химическому составам, уровню дисперсности, основным технологическим показателем предлагаемый способ получения диборида титана является конкурентоспособным и может занять лидирующее положение в производстве диборида для защитных смачиваемых алюминиевых катодных и гальванических композиционных покрытий.

Таблица 1 – Основные параметры синтеза и характеристики диборида титана.

Параметры синтеза и характеристики диборида титана	Технологические варианты синтеза	
	1(Ti + B + H <sub>2</sub> )	2(TiO <sub>2</sub> + B + CH <sub>4</sub> )
Состав газо – теплоносителя, % об.		
- азот	74,0	
- водород	25,0	
- природный газ (метан)	1,0	
Крупность титансодержащего сырья, мкм	1...3	1...5
Крупность борсодержащего сырья, мкм	0,25...0,40	
Количество бора в порошкообразной шихте, % от стехиометрического	100 – 120	
Количество восстановителя (метана), % от стехиометрического	-	100-120
Начальная температура плазменного потока, К	5400	
Температура закалки, К	2600 - 2800	
Фазовый состав	TiB <sub>2</sub>	
Химический состав, %		
TiB <sub>2</sub>	92,0 – 93,0	90,05 – 91,30
свободный бор	1,30 – 1,15	1,91 – 1,04
титан свободный	1,91 – 1,45	-
углерод свободный	-	1,42 – 0,92
кислород	2,29 – 1,83	3,72 – 3,52
азот	2,05 – 1,92	2,26 – 2,11
летучие	0,45 – 0,65	0,64 – 1,11
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	46000 – 48000	35000 - 37000
Форма частиц	округлая	
Окисленность порошков x10 <sup>7</sup> , кг O <sub>2</sub> /м <sup>2</sup> удельной поверхности	3,82 – 4,98	9,51 – 10,63
Производительность по сырью, кг/ч	3,6	
Производительность по TiB <sub>2</sub> , кг/ч	3,42	2,35
Интенсивность, кг/ч·м <sup>3</sup>	1556	1070

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА

К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, Т.И. Алексеева

Сибирский государственный индустриальный университет, кафедра  
Металлургии цветных металлов и химической технологии,  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843)-74-89-13  
email: [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru)

Для выбора титансодержащего сырья проведено моделирование взаимодействия плазменного и сырьевого потоков. В связи с доступностью порошков титана, его диоксида и бора, углеводородного сырья – метана и плазмообразующего газа – азота объектами термодинамического моделирования являлись системы В – Н- N, Ti – O – C – B – H – N, Ti – B – H – N. Необходимые для анализа составы газообразных и конденсированных продуктов рассчитывались «константным методом». Расчеты выполнялись с использованием программы компьютерного моделирования высокотемпературных сложных химических равновесий «PLASMA». При расчетах рассматривалась область температур 1000 – 6000 К при общем давлении в системе 0,1 МПа.

Результаты расчета равновесных составов системы В – Н - N представлены на рис. 1 а,б. В исследуемой системе имеет место «газификация» бора, усиливающаяся с разбавлением системы водородом. Газификация бором обусловлена высокой термодинамической стабильностью в области температур 2650 – 3250 К бороводорода состава  $BH_2$ . При соотношении В:Н = 1:6 степень превращения бора в  $BH_2$  достигает 1. Конденсация бора из газовой фазы термодинамически возможна при температуре ниже 2650 К. Таким образом, следует признать целесообразным разбавление системы водородом и прогнозировать влияние концентрации его в газовой фазе на полноту протекания процессов боридообразования в условиях плазменного потока квазиравновесные составы системы В – Н – N (рис. 1 в,г) характеризуются значительным расширением температурной области устойчивости бороводорода  $BH_2$ , соответствующей 2150 – 3250 К.

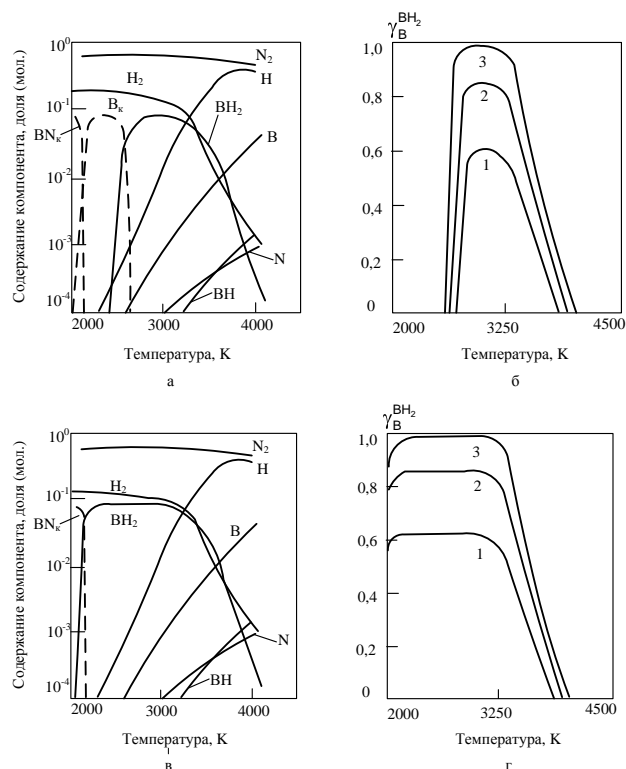
В боридообразующих системах диборид титана может быть получен при всех рассматриваемых соотношениях компонентов в интервале температур 3500-2300 К.

Степень превращения титана в диборид по реакции (1) может составлять 0,85. 100 %-ное превращение титана в диборид достигается при стехиометрическом соотношении компонентов в интервале температур 3200 – 2450 К (рис.2). При избытке в системах бора и углерода в условиях равновесия в конденсированной фазе наряду с диборидом при температуре

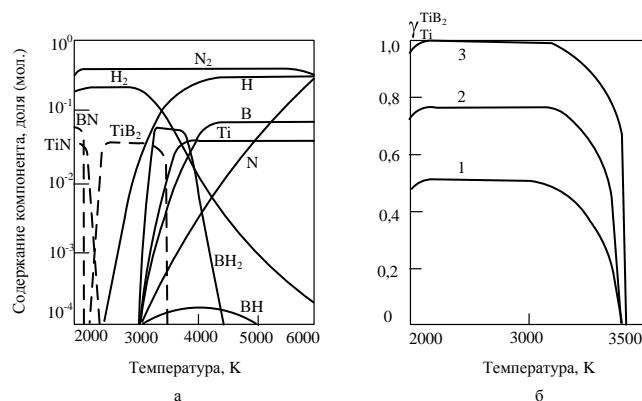
ниже 2800 К могут присутствовать нитрид бора и свободный углерод, концентрация которых зависит от соотношения В/Тi и С/О. при температуре 2300 К и ниже термодинамически возможными становятся процессы нитридообразования



Образование нитрида титана возможно наряду с диборидом, но при более высоких температурах и недостатке бора в системе.



**Рис. 1** – Результаты термодинамических расчетов системы В – Н – N  
а) равновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении В:Н:N = 1:6:20; б) равновесная зависимость степени превращения В в BN<sub>2</sub> от соотношения В:Н = 1:2 (1); 1:4 (2); 1:6 (3) и температуры; в) квазиравновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении В:Н:N = 1:6:20; г) квазиравновесная зависимость степени превращения В в BN<sub>2</sub> от соотношения В:Н = 1:2 (1); 1:4 (2); 1:6 (3) и температуры.



**Рис. 2** – Результаты термодинамических расчетов системы Ti – B – H – N  
 а) равновесные составы газовой и конденсированной фаз в зависимости от температуры при соотношении Ti:B:H:N = 1:2:12:20; б) зависимость степени превращения Ti в TiB<sub>2</sub> от соотношения Ti:B = 1:1,5 (1); 1:1,75 (2); 1:2 (3) и температуры

## ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ПОРОШКА ОКСИДА ЦИНКА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Журавлёва А.С.<sup>1</sup>, Кузьмин М.П.<sup>2</sup>, Кузьмина М.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦм-13-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, аспирант кафедры квантовой физики и нанотехнологий ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: zhuravlyova-alina@yandex.ru

<sup>2</sup> магистрант гр. МЦм-13-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: mike12008@yandex.ru

<sup>3</sup> к.х.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: kuzmina.my@yandex.ru

Сочетание особых электрических, магнитных и оптических свойств оксида цинка делает этот материал уникальным и перспективным для широкого применения (коротковолновая оптоэлектроника, химические сенсоры, УФ датчики, электроды, элементы солнечных батарей, электрокабели, лазеры, лакокрасочные материалы). Также оксид цинка является важным материалом для разработки устройств спинтроники [1].

В связи со значимостью материала для практического применения, целью работы является поиск наиболее совершенного металлургического способа производства высококачественного порошка оксида цинка.

Анализ литературных данных [2-4] показал, что гидрометаллургический способ получения оксида цинка может удовлетворить современным

требованиям производства после внедрения процессов, снижающих расход воды на единицу продукции.

Гидрометаллургический способ основан на растворении природного соединения с целью получения раствора соли этого металла и вытеснением данного металла более активным. В работе [2] оксид цинка получен осаждением из сульфатной соли ( $250 \text{ г/дм}^3$ ) или смеси с гидроксидом натрия ( $334 \text{ г/дм}^3$ ) при одновременном сливании и непрерывном перемешивании при температуре  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Полученный осадок отмывался от избытка щёлочи горячей ( $90\text{--}100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) дистиллированной водой, подсушивался на воздухе в течение 2 ч при  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  и только затем окончательно отмывался от посторонних ионов. Получаемый таким способом оксид цинка имеет удельную поверхность около  $20 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Используя  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , раствор  $\text{NaOH}$  и порошок  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ , авторами [3] осаждением получен коллоидный раствор основного карбоната цинка. После осаждения раствор промывался водой для удаления образовавшегося в ходе реакции  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и высушивался при  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Далее сухой карбонат цинка в течение 1ч подвергался прокаливанию при температурах  $300\text{--}500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Размер частиц оксида цинка, получаемого по данному способу, составляет  $10\text{--}20 \text{ нм}$ .

К числу основных достоинств гидрометаллургического способа следует отнести высокую чистоту порошка и почти полная регенерация водорода и соляной кислоты, образующихся на стадиях растворения металлосодержащего сырья и восстановления хлоридов. Кроме того, нерастворимый осадок имеет свою самостоятельную ценность, так как после перевода в раствор получаемого металла он обогащается другими ценными компонентами [4].

Для случая использования легированного металлосодержащего сырья можно регулировать состав получаемого порошка путем селективного восстановления сложных хлоридов.

Наряду с достоинствами, гидрометаллургический метод получения оксида цинка имеет существенный недостаток – относительно большой расход воды на единицу продукции.

Дальнейшая наша работа будет направлена на преодоление этого недостатка, а именно на разработку технологии оборота воды для внедрения на гидрометаллургических предприятиях и в конечном итоге их перехода на полностью бессточную технологическую схему.

#### *Библиографический список*

1. Журавлёва А.С. Структурные особенности тонких пленок  $\text{Li}_{0.06}\text{Zn}_{0.94}\text{O}$ , полученных методом импульсного лазерного напыления / Журавлёва А.С. // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 9 (92). – С. 24–29.

2. Ильина Л.А., Болотина Л.Э., Тугушева Р.Э Исследование пористой структуры соосозданных образцов гидрооксидов Ni (II) и цинка // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1990. – Т. 26. – № 11. – С. 2327–2331.

3. Jin C.-G., Zhu W.-C., Fang D., Li H. Preparation of ZnO nanocrystalline particles // Fine Chemistry. – 1999. – V. 16. – № 2. – P. 26–28.

4. Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Совершенствование гидromеталлургического способа получения оксида цинка // Переработка природного сырья: сборник науч. трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, Иркутск, дек. 2014. – С. 58–60.

## **ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ОКСИДА ЦИНКА ВЫСОКОЙ ДИСПЕРСНОСТИ**

**Журавлёва А.С.<sup>1</sup>, Кузьмин М.П.<sup>2</sup>, Кузьмина М.Ю.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦм–13–1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, аспирант кафедры квантовой физики и нанотехнологий ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: zhuravlyova-alina@yandex.ru

<sup>2</sup> магистрант гр. МЦм–13–1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [mike12008@yandex.ru](mailto:mike12008@yandex.ru)

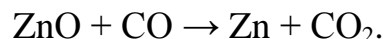
<sup>3</sup> к.х.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [kuzmina.my@yandex.ru](mailto:kuzmina.my@yandex.ru)

Особые физические и химические свойства оксида цинка делают данный материал уникальным. Оксид цинка находит широкое практическое применение в производстве лазеров, биологических сенсоров, электрокабелей, искусственной кожи, стекла, зубных паст, кремов для загара, антисептических и косметических средств. Оксид цинка также может применяться в спиновой электронике [1].

В связи этим целью работы является поиск наиболее совершенного и эффективного металлургического способа производства оксида цинка высокого качества. Анализ литературных данных [2-4] показал, что пирометаллургический способ получения оксида цинка может удовлетворить современным требованиям производства после разработки методов для снижения вредного воздействия паров металлического цинка на окружающую среду.

Различают прямые и косвенные пирометаллургические способы производства оксида цинка. Прямым пирометаллургическим способом ок-

сид цинка получают из обожженных рудных концентратов, содержащих примеси Pd, Cd, As, Fe, Mn, S, Si, силикатов, которые сопутствуют цинку в полиметаллических рудах [2]. Предварительно обожжённые и очищенные от основной массы примесей концентраты, содержащие 30–60 % (масс.) ZnO, подвергают восстановительному обжигу и отгонке металлического цинка в трубчатых печах («вельц-процесс») или шахтных печах с электродуговым обогревом. Для восстановления оксидов в шихту вводят уголь или кокс. При недостатке кислорода воздуха образуется оксид углерода, который и восстанавливает оксиды металлов:



Используя различное парциальное давление паров металлов и их оксидов при разных температурах, в восстановительной среде проводят отгонку цинка и вместе с ним свинца, кадмия и оксида свинца от других, имеющих более высокие температуры возгонки, металлов, силикатов, сульфидов и остатков угля. Пары отогнанных металлов в окислительной камере при избытке воздуха окисляются. Полученные цинковые белила содержат до 10 % (масс.) примесей и имеют серый цвет.

Косвенным пирометаллургическим способом получения оксида цинка является окисление металлического цинка при температуре 1300–2500 °С. В работах Фунахаси [3] была предложена методика синтеза оксида цинка. Согласно проведенным исследованиям [3], металлический цинк, загруженный в графитовый тигель, нагревался в электрической печи до плавления. Затем подавался азот, который смешивался с испаряющимся цинком на металлической поверхности, нагретой до требуемой температуры. Выходящий газ сжигался в потоке кислорода, при температуре 1300–1600 °С. Образующийся оксид цинка охлаждался воздухом с получением мелких частиц ZnO (0,1–0,7 мкм), обладающих высокой удельной поверхностью (около 25 м<sup>2</sup>/г).

Пирометаллургический способ получения оксида цинка является достаточно эффективным и простым в реализации. Он позволяет получать материал в промышленном количестве и с требуемыми характеристиками. Несмотря на все достоинства, этот способ имеет недостатки, связанные с запыленностью производственных помещений мелкодисперсными реагентами и возможностью выброса в атмосферу паров металлического цинка [4].

В связи с этим дальнейшая работа будет связана с разработкой методов совершенствования пирометаллургических процессов и снижения их вредного воздействия на окружающую среду.



### *Библиографический список*

1. Журавлёва А.С. Структурные особенности тонких пленок  $\text{Li}_{0.06}\text{Zn}_{0.94}\text{O}$ , полученных методом импульсного лазерного напыления // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 9 (92). – С. 24–29.
2. Ермилов П.И., Индейкин Е.А. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы. – Л. : Химия. – 1987. – 200 с.
3. Заявка 1286919 Япония, МКИ 4 С 01 G 9/03. Способ получения мелкодисперсного оксида цинка / Ц. Фунахаси, Т. Хасимото, С. Эдзаки (Япония). Оpubл. 17.11.1989.
4. Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Совершенствование пирометаллургического способа получения оксида цинка // Переработка природного сырья: сборник науч. трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, Иркутск, дек. 2014. – С. 56–58.

## **ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ОКСИДА ЦИНКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ОКИСЛЕНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЦИНКА**

**Журавлёва А.С.<sup>1</sup>, Кузьмина М.Ю.<sup>2</sup>, Кузьмин М.П.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦм–13–1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, аспирант кафедры квантовой физики и нанотехнологий ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: zhuravlyova-alina@yandex.ru

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

<sup>3</sup> магистрант гр. МЦм–13–1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [mike12008@yandex.ru](mailto:mike12008@yandex.ru)

Оксид цинка широко используется в самых различных областях промышленности, медицины и техники. Он необходим при создании резинотехнических изделий, стекла, керамики, абразивных зубных паст, цементов, кремов для загара и косметических продуктах. Оксид цинка обладает высокой фотокаталитической активностью, что на практике используется для создания самоочищающихся поверхностей, бактерицидных покрытий для стен и потолков в больницах. Тонкие пленки и иные наноструктуры на основе оксида цинка могут применяться как чувствительные газовые сенсоры, а также как материалы для спиновой электроники [1].

В связи с высокой значимостью материалов на основе оксида цинка, целью работы является поиск наиболее совершенного и перспективного

способа получения оксида цинка высокого качества.

Анализ литературных источников показал, что способы производства оксида цинка можно разделить на:

- пирометаллургические – получение из металлического цинка и из обожжённых рудных концентратов или вторичного сырья, содержащих 30–60 % (масс.) ZnO [2];
- гидрометаллургические – получение из растворов солей цинка [3];
- электрометаллургические – получение электрохимическим окислением металлического цинка [4].

Все способы получения оксида цинка имеют достоинства и недостатки. Однако преимущества электрохимических методов значительно преобладают над их недостатками. К наиболее существенным достоинствам можно отнести следующие [5]:

- проведение процессов, неосуществимых химическим путём, или достижение более высоких выходов продукта;
- проведение реакций окисления или восстановления без участия неорганических окислителей или восстановителей, загрязняющих конечный продукт, возможное рафинирование продукта;
- управление скоростью и направлением процесса путем изменения условий электролиза;
- сокращение стадий процессов, количества основной и вспомогательной аппаратуры и обслуживающего персонала;
- улучшение санитарно-гигиенических условий труда работающих.

Основным затруднением в электрохимическом процессе получения оксида цинка является возникновение пассивного состояния анодов при повышении плотности тока. Дальнейшая работа будет направлена на разработку методов, позволяющих снять пассивацию.

Таким образом, анализ имеющихся литературных данных [2–5] показал, что метод электрохимического окисления металлического цинка обладает незначительными недостатками и является наиболее эффективным для производства оксида цинка. Электрохимический способ дает возможность получения очень чистого порошка оксида цинка, а изменение электрических параметров электролиза синтезировать его с необходимой дисперсностью.

#### *Библиографический список*

1. Журавлёва А.С. Структурные особенности тонких пленок  $\text{Li}_{0.06}\text{Zn}_{0.94}\text{O}$ , полученных методом импульсного лазерного напыления / Журавлёва А.С. // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 9 (92). – С. 24–29.

2. Ермилов П.И., Индейкин Е.А. Пигменты и пигментированные лакокрасочные материалы. – Л. : Химия. –1987. – 200 с.

3. Ильина Л.А., Болотина Л.Э., Тугушева Р.Э Исследование пористой структуры соосозданных образцов гидроксидов Ni (II) и цинка // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. – 1990. – Т. 26. – № 11. – С. 2327–2331.

4. Kitano M., Shiojiri M. Electrochemical reactions of Zn in water and growth of ZnO particles // J. of Electrochemical Society. – 1997. – V.144. – № 3. – P. 809–815.

5. Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Получение оксида цинка электрохимическим методом // Переработка природного сырья: сборник науч. трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, Иркутск, дек. 2014. – С. 54–56.

## ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ АНОДНОЙ МАССЫ

**М.В.Крайденко<sup>1</sup>, О.В.Белоусова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦм -13-1 ИрГТУ, e-mail: maxkrd06@mail.ru

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, e-mail: zvf1@istu.edu

Аноды алюминиевых электролизеров должны удовлетворять целому ряду требований. Главные из них - высокая электропроводность; стойкость против разъедания их криолитоглиноземным расплавом; устойчивость к воздействию высокой температуры; достаточная механическая прочность; низкая стоимость; низкая зольность. Эти требования резко ограничивают выбор материалов для изготовления анодов. Наиболее подходящими по физико-химическим свойствам являются углеродистые материалы.

Для изготовления анодной массы применяют твердые материалы и связующие вещества. Твердые материалы представляют собой основу будущего анода, а связующие, коксуясь при высокой температуре, связывают частицы твердых материалов в монолитный блок [1].

В качестве твердых материалов применяют нефтяной и пековый коксы, а роль связующего вещества играет каменноугольный пек.

При производстве анодной массы, как правило, применяют малосернистый нефтяной кокс фракции +8 мм, полученный на установках замедленного коксования.

Пековый кокс по внешнему виду похож на нефтяной. Его получают в результате коксования каменноугольных пеков. Коксование производится в специальных коксовых батареях. Пековый кокс по сравнению с нефтяным коксом обладает более высокой механической прочностью, меньшим

содержанием летучих и большей химической стойкостью, следовательно, применение его в качестве электродного сырья более предпочтительно. В производстве анодной массы применяют пековый кокс марок КПЭ-1, КПЭ-2 и КПЭ-3 (кокс пековый электродный), отличающихся друг от друга различным содержанием золы и серы. Его свойства почти удовлетворяют требованиям, которые необходимо предъявлять к коксу для получения анодной массы высокого качества.

В качестве связующего вещества при производстве анодной массы для электролизеров с самообжигающимися анодами применяют каменноугольный пек. Это вещество получается как остаток при перегонке каменноугольной смолы при температуре 300 - 360 °С. В свою очередь каменноугольная смола - это продукт коксования углей. Смолу перегоняют в кубах периодического действия. Каменноугольный пек представляет собой черное блестящее вещество плотностью 1,245 - 1,299 г/см<sup>3</sup>. При нормальной температуре пек находится в твердом состоянии.

В соответствии с ГОСТ 10200-83 отечественная промышленность вырабатывает следующие три марки электродного каменноугольного пека: А, Б и В.

На свойства анодной массы существенно влияет содержание связующего вещества, а оптимальное количество его в массе зависит от гранулометрического состава и свойств исходных материалов (пека, кокса), а также от особенностей технологии анода (высоты жидкого слоя, температуры и частоты загрузки массы). Обычно критерием при выборе оптимального содержания связующего служат пластические свойства массы (текучесть). При содержании пека 23-24 % масса получается «сухой», очень вязкой, легко слипающейся даже при незначительном остывании. Коэффициент текучести ее равен 1,1-1,4. При содержании пека до 25 % масса менее вязкая, но все еще «сухая», коэффициент текучести ее недостаточный (около 1,7-1,8). При содержании пека 25-26,5 % масса достаточно пластичная, хорошо растекается и при этом не расслаивается; коэффициент текучести ее равен 1,8-2,2. Однако при высокой температуре поверхности массы (190-200 °С) и относительно редкой загрузке она высыхает перед очередной загрузкой и для предотвращения расслоения анода в него загружают пек. Это снижает качество анода. При содержании пека более 25-26 % масса подвижная, легко растекается в аноде, но наблюдается некоторое расслоение ее. Дальнейшее увеличение содержания пека, приводит к незначительному увеличению коэффициента деформации массы, однако вязкость ее снижается так сильно и она становится настолько подвижной, что практически полностью расслаивается и легко вытекает из анода через отверстия в нем, образующиеся при перестановке штырей и через неплотности анодного кожуха [2,3].

По существующим техническим условиям анодная масса в зависи-

мости от содержания в ней золы выпускается нулевого (АМ-0) и первого (АМ-1) сортов. Оценка качества массы производится по физико-химическим, механическим свойствам и показателю пластичности [3].

#### *Библиографический список*

1. Терентьев В.Г. Производство алюминия/ В.Г. Терентьев, А.В.Сысоев, А.Е. Гринберг и др. - М.: Metallurgy, 1997.- 350с.

2. Янко Э.А. Производство алюминия. Пособие для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых анодов. Санкт-Петербург 2007г. 304с.

3. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров. Санкт-Петербург 2001г. 293с.

### **ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДНОЙ ПЛЁНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ НА ВОЗДУХЕ**

**Кузьмин М.П.<sup>1</sup>, Кузьмина М.Ю.<sup>2</sup>, Журавлёва А.С.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦМ–13, института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [mike12008@yandex.ru](mailto:mike12008@yandex.ru)

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

<sup>3</sup> магистрант гр. МЦМ–13, института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [zhuravlyova-alina@yandex.ru](mailto:zhuravlyova-alina@yandex.ru)

Алюминий является химически активным металлом ( $E^{\circ}_{Al_3+/Al} = -1,662В$ ). При окислении алюминия на нём образуется тонкая плёнка оксида (5–10 нм), благодаря которой он имеет хорошую коррозионную стойкость на воздухе. Алюминий образует с кислородом устойчивое соединение  $Al_2O_3$ , обладающее большим числом модификаций [1]. Стабильной модификацией оксида алюминия (III) при всех температурах является  $\alpha-Al_2O_3$  (корунд), имеющий ромбоэдрическую решетку с параметром  $a = 0,5129$  нм [2,3].

Оксидная плёнка, образующаяся на алюминии при анодном окислении, отличается ячеистой структурой с конической порой в центре ячейки, причём пора простирается от поверхности внутрь плёнки. У поверхности металла плёнка непроницаемая, без пор. Размер пор, толщина перегородок между ячейками и, следовательно, свойства плёнки зависят от

электролита и технологии анодирования. Чем меньше растворимость оксида в электролите, тем меньше пористость и толщина плёнки [4]. При медленном нагреве алюминия и его сплавов ( $t < 927$  °С) на алюминиевой поверхности зарождается  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; при этом происходит её эпитаксиальный рост. В случае быстрого нагрева оксид  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  имеет разупорядоченную структуру. Анодирование при высоком напряжении ( $> 100$  В) или в борной кислоте и растворах боратов может привести к образованию фазы  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  вместо полностью аморфной плёнки [2,4]. Решетка  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  кубическая с параметром  $a = 0,79$  нм;  $\gamma = 3600$  кг/м<sup>3</sup>, точка плавления 1977 °С, твёрдость 20000–21000 МН/м<sup>2</sup>,  $\rho = 10^{16}$  Ом·м [1].

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 сухой и влажный воздух.

По результатам экспериментов, посвященных кинетике роста оксидной плёнки на алюминии при комнатной температуре на воздухе можно сделать вывод, что при отсутствии влаги рост пленки идёт вначале очень быстро, а затем значительно замедляется. Предельная толщина плёнки в этом случае составляет 2–3 нм. Присутствие паров воды благоприятствует росту оксидной пленки. В этом случае рост плёнки может продолжаться месяцы и даже годы, а толщина образующейся плёнки существенно возрастает [3,4]. 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 о кинетике окисления монокристалла алюминия при низких температурах в атмосферах сухого и насыщенного парами воды кислорода [3].

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 реакции 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 [4].

Структуру оксидной плёнки, образовавшейся на алюминии при окислении его на воздухе, исследовали рентгенографически. Можно предположить, что оксидные слои на алюминии аморфны при комнатной температуре. При более высоких температурах (в интервале 400–750 °С) появ-

ляется  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  с кубической структурой. Оксидные плёнки 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, наоборот, 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.

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. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов / пер. с англ. под ред. Ф.И. Квасова, Г.Б. Строганова, И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.

2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ. / под общ. ред. Н.П. Лякишева: в 3 т. – Т.1. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.

3. Окисление металлов: в 2 т. / под. ред. Ж. Бенара; пер. с фран. – Т. 2. – М.: Металлургия, 1969. – 444 с.

4. Кузьмина М.Ю., Кузьмин М.П. Окисление алюминия и алюминиевых сплавов на воздухе // Перспективы развития технологии, экологии и автоматизации химических, пищевых и металлургических производств: материалы докл. науч.-практ. конф., апр. 2009. – Иркутск, 2009. – С. 31–32.

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЛИТЬЯ НА ВЕЛИЧИНУ УСАДОЧНЫХ РАКОВИН АЛЮМИНИЕВЫХ ЧУШЕК**

**Кузьмин М.П.<sup>1</sup>, Кузьмина М.Ю.<sup>2</sup>, Журавлёва А.С.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦм–13, института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [mike12008@yandex.ru](mailto:mike12008@yandex.ru)

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

<sup>3</sup> магистрант гр. МЦм–13, института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [zhuravlyovalina@yandex.ru](mailto:zhuravlyovalina@yandex.ru)

Обострившаяся при кризисе конкуренция производителей алюминия вызывает необходимость улучшать те показатели качества продукции, которые ранее не учитывались (глубокие усадочные раковины и сопутствующие им усадочные трещины). Наличие данных дефектов влияет на безопасность переработки продукции, так как при попадании влаги в трещины при переплавке чушек может произойти выброс металла [1–4].

Целью работы является уменьшение размеров концентрированных усадочных раковин, минимизация числа раковин, заканчивающихся пустотами глубоко в теле чушки. Работа проведена на базе технологии и оборудования ОАО «РУСАЛ-ИрКаз».

На литейном конвейере отобраны и отмечены пять новых изложниц, которые были равномерно окрашены антипригарной краской в области логотипа “irkaz-sual”.

Отработана методика измерения температуры изложниц. Температуру замеряли бесконтактным прибором «Термоpoint» по двум точкам дна – с одной и с другой стороны изложницы. При измерении температуры в данных точках угол падения луча был близок к 90 °С, что обеспечивало минимальную погрешность измерения. Отработана методика замера глубины усадочных раковин ( $V_p$ ) при помощи линейки и щупа. При наличии 2–3 усадочных раковин для замера выбиралась наиболее глубокая из них.

Исследование проводили в два этапа. На первом этапе выполнялась серия однофакторных экспериментов по установлению зависимости характеристик усадочных раковин от каждого из следующих факторов при его фиксации на трёх уровнях:

- скорость литья:  $5 \pm 1$  чушек/мин;
- температура металла при литье:  $700 \pm 20$  °С;
- температура изложниц:  $380 \pm 35$  °С.

В каждом опыте производили замер температур изложниц и характеристики усадочных раковин (число и глубину). Результаты экспериментов позволили определить рациональные технологические параметры литья, которые почти не уменьшают производительность литья чушек, обеспечивая низкий уровень усадочных дефектов:

- скорость литья: не более 6 чушек/мин;
- температура металла при литье: не более 720 °С;
- температура изложниц: не более 380 °С.

Определили зависимость глубины усадочных раковин ( $V_p$ ) малогабаритных алюминиевых чушек от способа покраски изложниц противопригарной краской. Покраску производили тонким слоем водного раствора каолина. Увеличение площади окраски увеличивает значение  $V_p$ . Окраска области логотипа не влияет на величину  $V_p$ . Поэтому рекомендуется красить только логотип, что также способствует возрастанию его стойкости и срока службы изложницы в целом.



Наблюдения показали, что в наибольшей степени глубину раковин увеличивает толстый слой краски на донной части изложницы. В таком случае нарушается заданная направленность затвердевания металла – снизу-вверх. Последние порции жидкости остаются как в верхней, так и в средней части чушки. Верхняя открытая усадочная раковина соединяется с небольшой раковиной в глубине чушки с образованием глубоких каверн.

Был опробован другой способ формирования направленного затвердевания – утепление верха чушки. Верх утепляли путём укрытия листовым асбестом. Но, в данном случае значимых результатов не получили. Видимо, это связано со слабым воздействием теплоотвода от верхней части чушек на характер затвердевания. Подавляющая масса тепла отводится через изложницу.

В результате проведения работы определены рациональные технологические параметры, не уменьшающие производительность литья чушек, и обеспечивающие низкий уровень усадочных дефектов.

#### *Библиографический список*

1. Степанов Ю.А. Технология литейного производства: учеб. для вузов / Ю.А. Степанов, Г.Ф. Баландин, В.А. Рыбкин. – М. : Машиностроение, 1983. – 287 с.

2. Михайлов А.М. Литейное производство / А.М. Михайлов, Б.В. Бауман, Б.Н. Благо. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 256 с.

3. Лернер Л. Твердое анодирование алюминия: история и современность // Цветные металлы. – 2003. – № 6. – С. 84–87.

4. Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Ликвация и повышение качества проб литейных алюминиевых сплавов // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 12 (83). – С. 156–162.

## **ВИДЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ИХ СВОЙСТВА**

**И.С. Куликов<sup>1</sup>, А.А. Тютрин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. МЦб-14-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: farad96@mail.ru

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: an.tu@inbox.ru

Алюминий - легкий и мягкий металл, который легко поддается обработке. Оксидная пленка, образующаяся на поверхности в воздушной среде, защищает металл от коррозии, а это полезное свойство делает его столь востребованным в автомобилестроении. Алюминий называют крылатым

металлом, поскольку его используют в самолетостроении - примерно на две трети самолетов состоит из алюминия и сплавов на его основе. Применяют его и в машиностроении, электропромышленности, пищевой промышленности. В производстве металлов алюминий на втором месте после железа. С целью улучшения физических свойств алюминия разрабатываются различные сплавы. Благодаря этому, алюминий находит все больше мест применения, от строительства, и до авиастроения. Наиболее востребованными в строительстве являются сплавы на основе алюминия, с примесью магния, отличающиеся повышенной прочностью, и на основе алюминия, с примесью кремния, отличающиеся хорошими литейными свойствами. [1, 2].

По способу обработки различают деформируемые и литейные сплавы алюминия. Первые подвергают горячей и холодной обработке давлением-прокатке, прессованию, ковке или штамповке, волочению. Из них получают плиты, листы, профили, прутки, поковки, проволоку. Из литейных сплавов алюминия методами литья в земляные, корковые или металлические (кокильные) формы, а также [литья под давлением](#) изготавливают фасонные отливки.

Существует много различных алюминиевых сплавов. Наиболее распространенные из них сплавы с легирующими добавками марганца, магния, кремния и меди.

Сплавы алюминия с марганцем (Al-Mn) отличаются от технического алюминия повышенными прочностными свойствами при сохранении высокой пластичности. Для них характерна также высокая коррозионная стойкость и хорошая свариваемость. Обрабатываемость резанием неудовлетворительная, особенно в отожженном состоянии. Эти сплавы используются в различных отраслях промышленности: для малонагруженных деталей (сварные баки, бензо- и маслопроводы и др.), изготавливаемых глубокой вытяжкой; для радиаторов тракторов и автомобилей, в строительстве, для упаковочных материалов и т.д. Используется для заклепок из проволоки.

Сплавы алюминия с магнием (Al-Mg) являются термически неупрочняемыми, поэтому они имеют невысокие прочностные характеристики – временное сопротивление и, в особенности, предел текучести, но отличаются высокими пластическими свойствами, хорошей коррозионной стойкостью в различных средах, хорошо свариваются аргонодуговой сваркой. Из этих сплавов выпускаются все виды деформированных полуфабрикатов, прежде всего катаные – плиты, листы, ленты, а также прессованные панели, профили, прутки, трубы и кованные – поковки, штамповки [3].

Сплавы алюминия с кремнием (Al-Si) обладают высокими литейными свойствами, легко обрабатываются резанием, хорошо свариваются. Эти сплавы используют для изготовления корпусов компрессоров, картеров, блоков цилиндров двигателей и т.д.

Сплавы алюминия с медью (Al-Cu) подвергаются упрочнению после закалки и искусственного старения. Они сохраняют высокие механические свойства при повышенных температурах и хорошо обрабатываются резанием. Литейные свойства сплавов невысокие, поэтому их используют для отливок небольших деталей простой формы [4].

В настоящее время количества сплавов, обладающими различными свойствами, постоянно увеличивается – разрабатываются новые и совершенствуются существующие. Сплавы алюминия обладают рядом полезных свойств: малой плотностью (до 3,0 г/см<sup>3</sup>), хорошими технологическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью, теплопроводностью, электрической проводимостью, жаропрочностью, прочностью и пластичностью при низких температурах, хорошей светоотражательной способностью. На изделия из сплавов алюминия легко наносятся защитные и декоративные покрытия. Они легко обрабатываются резанием и свариваются контактной сваркой, а некоторые и сваркой плавлением. Благодаря этим свойствам сплавы алюминия широко используются в промышленности.

#### *Библиографический список*

1. Машиностроение. Том II-3. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы / под ред. К.В. Фролова – М. : Машиностроение, 2001. – 880 с.
2. Алюминий и сплавы на его основе / С.И. Гринева [и др.]. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2003. – 22 с.
3. Химический портал ChemPort.Ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.chemport.ru/>
4. Алюминий и его сплавы / А.Р.Луц [и др.]. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с

### **ВЛИЯНИЕ КРУПНОСТИ МАТЕРИАЛА НА ПРОЦЕСС АВТОКЛАВНОГО ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ**

**Р.Н. Набиулин<sup>1</sup>, А.В. Епифоров<sup>2</sup>, Т.С. Минеева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>студент гр. МЦМ-10, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, e-mail: nabiulinrus@mail.ru

<sup>2</sup> к.т.н., с.н.с. лаборатория металлургии ОАО «Иргиредмет», г. Иркутск, e-mail: epiforov@irgiredmet.ru

<sup>3</sup>к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, e-mail: kafmcm@istu.irk.ru

Основной технологией извлечения золота из руд является цианистый процесс. Однако существует категория руд, непосредственное цианирование которых либо вообще невозможно, либо характеризуется крайне низкими показателями. Данные руды относятся к категории «упорных» [1]. Особое место среди упорного сырья занимают сульфидные руды и концентраты. К перспективным способам вскрытия золота и серебра в сульфидных концентратах относится автоклавное окисление (АО) [2].

Полнота протекания процесса АО возрастают с увеличением степени дисперсности твердой фазы [3]. Однако переизмельчение материала энергоемко, осложняет обезвоживание пульпы и получение осветленных растворов. Заметно усиливается пенообразование, что сокращает эффективность использования реакционного объема автоклава и осложняет надежность работы датчиков контрольно-измерительных приборов, а в итоге – безопасную эксплуатацию автоклавов.

В связи с этим представляется целесообразным оценить влияние крупности частиц золотосульфидного флотоконцентрата на степень окисления сульфидов при АО.

Исследуемый концентрат [4] содержал, %:  $S_{\text{сульф.}}$  – 29,7; Fe – 24,3; As – 8,3;  $C_{\text{орг.}}$  – 0,3. Содержание золота составляло 16,6 г/т.

Концентрат с исходной крупностью 95 % класса минус 0,071 мм доизмельчали до крупности 95 % класса минус 0,04, 0,03 и 0,02 мм и подвергали АО при  $t = 220\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $P_{\text{O}_2} = 0,7\text{ МПа}$  (Таблица 1).

Таблица 1. -Результаты опытов по АО при различной тонине помола.

№ п/п	$R_{95}$ , мм	Выход кека, %	Eh, мВ	Концентрация в жидкой фазе, г/л				Содержание в кеке, %		Степень окисления сульфидов, %
				$H_2SO_4$	$Fe^{3+}$	$Fe^{2+}$	As	$S_{\text{общ.}}$	$S_{\text{сульф.}}$	
1	0,071	21,5	550	225,4	50,4	0,0	17,6	1,63	0,22	99,4
2	0,040	29,2	458	269,5	49,6	13,4	13,8	6,09	0,23	99,4
3	0,030	18,2	443	259,7	53,2	18,5	20,0	0,63	0,48	98,7
4	0,020	18,7	444	245,0	51,8	16,2	16,4	0,48	0,22	99,4

На Рис. 1 представлено влияние крупности материала на продолжительность процесса АО.

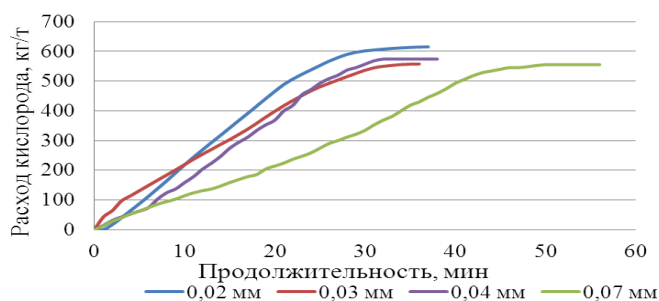


Рис. 1 – Зависимость продолжительности АО от крупности материала

Результаты опытов свидетельствуют о том, что доизмельчение флотоконцентрата до 40 микрон и менее способствует снижению продолжительности окисления с 56 до 38 минут при степени окисления 98-99 %.

С целью определения влияния крупности материала на процесс цианирования, кеки автоклавного окисления подвергали сорбционному цианированию в агитационном режиме при концентрации цианистого натрия 2 г/л и соотношении Ж:Т=4:1. Продолжительность цианирования составляла 24 часа. Для поддержания pH на уровне 10,5÷11,0 использовали известь. В качестве сорбента использовали активированный уголь.

В таблице 2 представлены результаты цианирования кеков АО.

Таблица 2.- Результаты цианирования кеков АО

№ п/п	R <sub>95</sub> , мм	Выход кека, %	Eh, мВ	Концентрация в жидкой фазе, г/л				Содержание в кеке, %		Степень окисления сульфидов, %
				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	As	S <sub>общ.</sub>	S <sub>сульф.</sub>	
1	0,071	21,5	550	225,4	50,4	0,0	17,6	1,63	0,22	99,4
2	0,040	29,2	458	269,5	49,6	13,4	13,8	6,09	0,23	99,4
3	0,030	18,2	443	259,7	53,2	18,5	20,0	0,63	0,48	98,7
4	0,020	18,7	444	245,0	51,8	16,2	16,4	0,48	0,22	99,4

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что оптимальная крупность для переработки данного концентрата составляет 40 мкм. При данной степени измельчения сокращается продолжительность процесса АО, расход цианистого натрия и извести составляет 10,2 и 12,0 кг/т соответственно, дальнейшее уменьшение крупности материала приводит к увеличению расхода реагентов, при этом продолжительность автоклавного окисления и извлечение золота не изменяются.

#### *Библиографический список*

1. Захаров Б.А, Меретуков М.А. Золото: упорные руды.-М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2013.-452 с.
2. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов: учебник/ С. С. Набойченко [и др.]. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, т.1, 2008. –375 с.; т.2, 2009.–611с.; т.3, 2009.– 281с.
3. Елифоров А.В., Набиулин Р.Н., Баликов С.В. Низкотемпературное автоклавное окисление упорных сульфидных золото-медных флотоконцентратов с последующим сульфидным выщелачиванием драгоценных металлов из окисленных кеков // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014.- С. 31-38.
4. Набиулин Р.Н., Минеева Т.С. Автоклавное вскрытие упорных руд и концентратов // Переработка природного сырья: сборник научных трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых химико-металлургического факультета.- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.- С. 77-80.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЛАТУННОГО СЫРЬЯ В ТРОФ-КОНВЕРТЕРЕ С ЦЕЛЬЮ ЕЕ ОПТИМИЗАЦИИ

Новиков Д.О.<sup>1</sup>, Меньшиков А.А.<sup>2</sup>, Жуков В.П.<sup>3</sup>, Агеев Н.Г.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>магистрант кафедры металлургии тяжелых цветных металлов УрФУ им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,

<sup>2</sup>аспирант кафедры металлургии тяжелых цветных металлов УрФУ им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,

<sup>3</sup>профессор кафедры металлургии тяжелых цветных металлов УрФУ им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, e-mail: juk.vladimir2012@yandex.ru

<sup>4</sup>профессор кафедры металлургии тяжелых цветных металлов УрФУ им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,

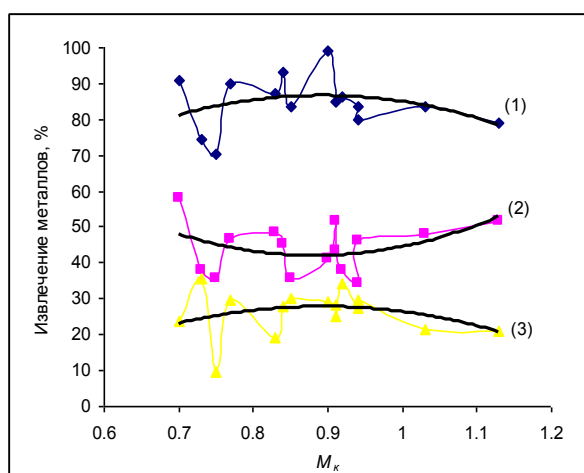
С целью совершенствования технологии плавки латунного сырья в «Троф-конвертере» выполнен статистический анализ более 500 плавок применительно к условиям работы ОАО "Новгородский металлургический завод".

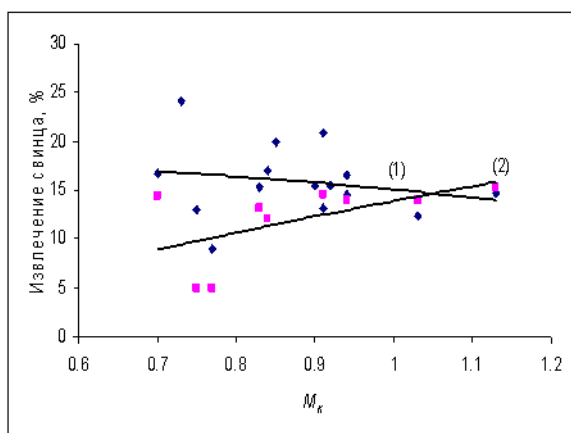
Обработку исходных данных осуществляли методами статистики по стандартным программам. На рис.1. показана зависимость извлечения меди от коэффициента кислотности шлака, рассчитанного по формуле:

$$M_k = (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3) / (\% \text{FeO} + \% \text{CaO} + \% \text{K}_2\text{O} + \% \text{PbO}).$$

Выборка из массива данных при построении кривой 1 осуществлена для практически одинакового содержания меди в шихте (64-66 %) и доле смешанного лома, изменяемой в сравнительно узких пределах 50-60 %.

Извлечение меди в зависимости от кислотности шлака возрастает в интервале значений  $M_k = 0,7-0,9$  (основные шлаки) и обнаруживает экстремум при  $M_k \sim 0,9$ . Из практики плавки вторичной меди известно, что наиболее оптимальными являются шлаки состава, %: 35-40 FeO; 23-29 SiO<sub>2</sub>; 8-14 CaO; 9-13 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, имеющие в среднем близкий к 0,9 модуль кислотности равный 0,8. Для шлаков данного состава характерно наличие легкоплавких эвтектик железо-кальциевых силикатов. Представляет интерес изучение условий образования Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, которые являются





**Рис. 2.** Извлечение свинца в шлак (1) и пыль (2) в зависимости от модуля кислотности шлака

Активность цинка в шлаке связана с поведением меди и активностью шлакообразующих компонентов, что может являться предметом отдельных исследований.

Извлечение свинца в шлак и пыль в зависимости от модуля кислотности показано на рис.2.

Аналогично с цинком здесь наблюдается законопеременный характер кривых. С ростом кислотности шлака снижается извлечение свинца в шлак и возрастает его переход в пыль. При значении  $M_k \geq 1,07$  характер кривых меняется.

В результате исследований можно сформулировать вывод: извлечение меди в черновую металл, а также распределение цинка и свинца между шлаком и пылью зависит от кислотности шлака. При работе на основные шлаки наблюдается некоторый рост извлечения меди и после достижения определенного значения модуля кислотности (в нашем случае 0,9) наблюдается уменьшение извлечения с ростом кислотности. В этой связи, представляется целесообразным дальнейший поиск флюсующих компонентов на основе щелочных металлов, принятых в соответствующих пропорциях с кремнеземом, оксидами железа ( $Fe_2O_3$ ), обеспечивающие получение легкоплавких, текучих шлаков.

главными фазами основных шлаков, содержащих CaO и заметно влияющие на температуру ликвидуса системы.

Из данных рис.1. видно, что перевод цинка в шлак и пыль имеет законопеременный характер. В области значений  $0,9 > M_k > 0,7$  снижается извлечение цинка в шлак, соответственно, возрастает его перевод в пыль (кривые.2 и 3) и наоборот, при величинах  $M_k > 0,9$ . Общей особенностью является экстремальный характер кривых (1, 2, 3) с точкой  $M_k \sim 0,9$ , т.е. можно предполагать, что

**Рис.1.** Извлечение металлов в зависимости от модуля кислотности шлака ( $M_k$ ): (1) -меди в черновую медь; (2) – цинка в шлак; (3) – цинка в пыль



### *Библиографический список*

1. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник для вузов/ С.С. Набойченко [и др.]. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. – 700 с.

2. Теория металлургических процессов // Г.Г. Минеева и [др.]. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – 524 с.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ РУД**

**А.О.Перепелкина<sup>1</sup>, А.В. Евдокимов<sup>2</sup>, Т.С.Минеева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. МЦб-12-1 ИрГТУ, e-mail: [anastasiya.perepelkina.94@mail.ru](mailto:anastasiya.perepelkina.94@mail.ru)

<sup>2</sup> к.т.н. старший научный сотрудник лаборатории гидрометаллургии ОАО «Иргиредмет»

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu)

На исследование поступили технологические пробы золотосодержащей руды, из которых была скомпонована композитная проба в массовом соотношении 1:1. Исследуемая проба руды относится к золото-кварцевому типу, по степени сульфидности к убогосульфидному типу руд. Основными породообразующими минералами являются полевые шпаты и кварц.

Степень окисления руды, рассчитанная по железу, в композитной пробе равна 48 %. Таким образом, ее можно отнести к смешанному типу руд.

Основным полезным компонентом пробы руды является золото, содержание которого по результатам лабораторных исследований [1] составляет  $2,3 \pm 0,3$  г/т. В исследуемой композитной пробе преобладает мелкое и тонкое золото (класс крупности минус 0,071 мм составляет 78,2 %). На долю крупного золота (класс крупности + 0,071 мм) приходится 21,8 %.

По данным рационального анализа [2] сорбционным цианированием из пробы руды извлекается 82,2 % золота. В том числе, в свободном (доступном амальгамации) виде присутствует 40,4 %, а в сростках с рудными и породообразующими компонентами 41,8 %.

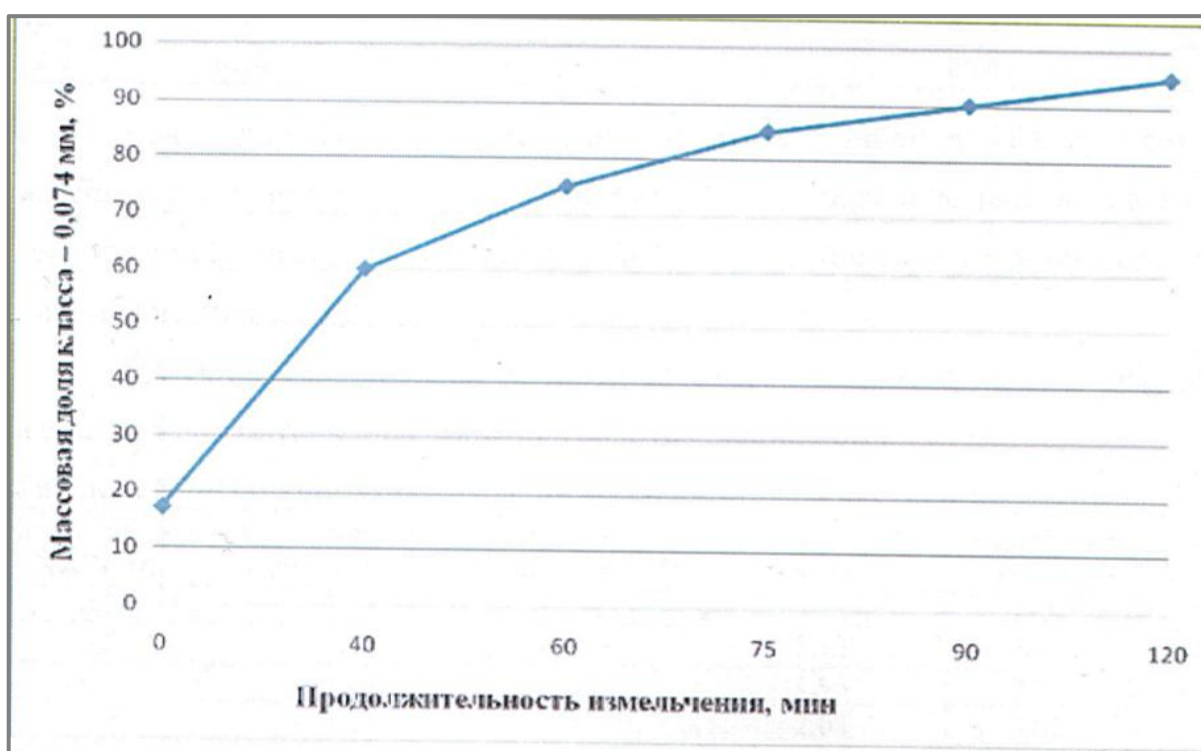
Упорность к цианированию композитной пробы обусловлена следующими причинами: ассоциацией золота с минералами, растворимыми в соляной кислоте – гидроксидами железа, карбонатами, хлоритами и пр.; с



сульфидами – пиритом, арсенопиритом, халькопиритом и пр.; а также его тонкой вкрапленностью в породообразующие минералы.

При проведении лабораторных исследований [3] по оптимизации процесса цианирования композитной пробы руды было изучено влияние степени измельчения (65, 75, 85, 90 и 95 % класса минус 0,074 мм), отношения Ж:Т, концентрации цианида натрия, продолжительности цианирования на извлечение золота.

Первоначально было изучено влияние крупности материала на извлечение золота. Для проведения исследований руду измельчали в шаровой мельнице при отношении Ж:Т:Ш = 1:1:6 в течение определенного времени. Затем проводили ситовой анализ по классу 0,074 мм, результаты экспериментов представлены на Рис. 1.



**Рис. 1.** Влияние продолжительности измельчения руды на выход класса минус 0,074 мм

По данному рисунку можно сделать вывод о том, что при увеличении продолжительности измельчения руды массовая доля класса - 0,074 мм увеличивается.

Далее были проведены эксперименты по определению влияния крупности руды на показатель извлечения. Условия проведения опыта: Ж:Т = 1,5:1, концентрация NaCN – 1 г/л, продолжительность цианирования – 24 ч, расход извести – 1 кг/т. Результаты экспериментов показывают, что с повышением тонины с 60 % класса минус 0,071 мм до 95 % класса минус 0,044 мм извлечение золота увеличивается с 74,0 до 90,4 %. При этом рас-

ход цианида натрия остается на одном уровне и составляет 1,5 кг/т. За optimum принята степень измельчения руды – 95 % класса минус 0,071 мм, однако при степени измельчения 95 % класса минус 0,044 мм получены наилучшие показатели, но для достижения данной крупности возможно увеличение энергозатрат на измельчение.

Следующим этапом было изучено влияние отношения Ж:Т на показатели извлечения золота. Опыты проводили в следующих условиях: крупность измельчения 95 % класса минус 0,071 мм; концентрация NaCN – 1 г/л; продолжительность - 24 ч.

При снижении массовой доли твердого в пульпе с 50 % до 33 % содержание золота в кеке остается практически на одном уровне, но при этом увеличивается расход цианида натрия с 1 кг/т до 2 кг/т.

Далее проведена серия экспериментов по влиянию концентрации цианида натрия на показатели цианирования золота.

По результатам эксперимента можно сделать вывод, о том, что повышение концентрации цианида натрия с 0,3 до 1 г/л приводит к повышению извлечения золота с 77,8 % до 82,2 %, но при этом значительно повышается расход растворителя (с 0,45 до 1,5 кг/т). Оптимальная концентрация цианида натрия составляет 0,7 – 1,0 г/л.

Также изучено влияние продолжительности процесса на извлечение золота в раствор при различной крупности исходной руды.

Установлено, что при крупности измельчения 95 % класса минус 0,071 мм и концентрации цианида натрия 1 г/л с увеличением продолжительности цианирования с 4 до 24 ч извлечение золота составляет 82 – 84 % при остаточном содержании золота в кеках цианирования 0,37 г/т. Дальнейшее увеличение продолжительности цианирования до 36 ч приводит к незначительному снижению содержания золота в кеке до 0,34 г/т, что соответствует извлечению благородного металла на уровне 83,9 %.

При крупности измельчения руды 90 % класса минус 0,071 мм концентрация цианида натрия не оказывает значительного влияния на динамику растворения золота. Увеличение продолжительности цианирования с 4 до 24 ч приводит к снижению содержания золота в кеке, при этом извлечение золота возрастает с 74 до 80 %. Оптимальная продолжительность процесса выщелачивания золота составляет 24 ч. Данная продолжительность необходима из-за наличия в руде свободного золота.

С целью сокращения расхода цианида натрия были проведены эксперименты по влиянию предварительной известковой обработки с продувкой воздуха в следующих условиях: продолжительность обработки – 6 ч, рН – 11,0-11,5; цианирование: Ж:Т = 1:1, концентрация цианида натрия – 1 г/л, продолжительность – 24 ч. В указанных режимах извлечение золота составило 82,3 % при расходе растворителя – 1 кг/т, извести 2 кг/т.

Из результатов исследований следует, что известковая обработка не сокращает расход цианида натрия и не влияет на показатели извлечения золота.

На основании выполненных исследований был установлен оптимальный режим цианирования комбинированной пробы руды: крупность измельчения – 90 – 95 % класса минус 0,074 мм; отношение Ж:Т = 1 – 1,5:1, концентрация цианистого натрия – 1,0 г/л; загрузка извести – 1 кг/т; продолжительность выщелачивания – 24 ч; расход цианистого натрия 1 кг/т. Извлечение золота составило 81 -82 %.

Для подтверждения установленного оптимального режима цианирования комбинированной пробы руды были проведены эксперименты на трех параллельных навесках.

Выбранный режим является оптимальным для переработки руды данного месторождения.

В этих условиях ожидаемое извлечение золота составило 81,7 – 82,1 % при остаточном содержании золота в кеке цианирования на уровне 0,41 – 0,42 г/т, расходе цианида и извести 1 кг/т.

Проведенные исследования показали перспективность переработки данного типа руды гидрометаллургическим методом цианирования с высоким показателем по извлечению золота и с низким расходом реагентов.

#### *Библиографический список*

1. Зеленов В. И. Методика исследования золотосодержащих руд – М.: Недра, 1978. – 300 с.
2. ОАО «Иргиредмет». Методика проведения рационального анализа на золото и серебро руд и продуктов переработки. М-Л1-04-2009.
3. ОАО «Иргиредмет». Методика цианирования руд и концентратов. М-Л15-01-2009.

### **СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЦИНКА И ЕГО ОКСИДА**

**О.Д. Петрова<sup>1</sup>, А.С. Журавлева<sup>2</sup>, М.Ю. Кузьмина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. МЦБ – 12 – 1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [olga\\_19.24@mail.ru](mailto:olga_19.24@mail.ru)

<sup>2</sup> магистрант гр. МЦм – 13 – 1, института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, аспирант кафедры квантовой физики и нанотехнологий ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [zhuravlyova-alina@yandex.ru](mailto:zhuravlyova-alina@yandex.ru)

<sup>3</sup> к.х.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [kuzmina.my@yandex.ru](mailto:kuzmina.my@yandex.ru)

Цинк среди всех цветных металлов по общим объемам потребления является третьим после алюминия и меди в металлургии. Прежде чем ознакомиться со всеми возможностями использования этого элемента, рассмотрим его физические и химические свойства.

Цинк – это серебристо-белый, мягкий металл, плотность которого составляет  $7140 \text{ кг/м}^3$ . В отличие от щелочно-земельных металлов он принадлежит к тяжелым металлам. Среднее содержание цинка в земной коре составляет  $8,3 \cdot 10^{-3} \%$  (масс.). Температура плавления равна  $419,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , а температура кипения –  $906,4 \text{ }^\circ\text{C}$  [1].

На воздухе цинк теряет блеск, так как покрывается оксидной пленкой. Для цинка не характерны соединения с водородом. Исключением является, синтезированный косвенным путем,  $\text{ZnH}_2$ , разлагающийся при  $90^\circ\text{C}$ . Соли сильных кислот, образованные цинком, хорошо растворяются в воде и выделяются из растворов в виде кристаллогидратов.

Для получения цинка его сульфидные концентраты подвергают окислительному обжигу, а затем проводят карботермическое восстановление. Наряду с пирометаллургическим способом, цинк получают и гидрометаллургическим способом. В этом методе обожженную руду в виде оксидов растворяют в разбавленной серной кислоте, а раствор подвергают катодному восстановлению.

Металлический цинк используется для восстановления благородных металлов добываемых подземным выщелачиванием (золото, серебро). Применяется для защиты стали от коррозии (оцинковка). Также используется как материал для отрицательного электрода. Листовой цинк широко применяют в производстве гальванических элементов. В настоящее время с практической точки зрения одним из наиболее перспективных соединений цинка является оксид цинка [1-5].

Оксид цинка – амфотерный оксид, кристаллический бесцветный порошок, сублимирующийся при  $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ . При изменении степени отклонения от стехиометрии  $\text{ZnO}$  меняет цвет от темно-красного при избытке Zn до светло-желтого при избытке кислорода [2]. Нерастворим в воде. Химические свойства оксида цинка представляют собой широкий спектр взаимодействия с различными веществами. Реагируя с кислотами, он образует соли. Цинковый оксид растворим в аммиачном водном растворе, образуя комплексный аммиакат. При сплавлении с оксидами и щелочами образует цинкаты.

Способы производства оксида цинка можно разделить на: пирометаллургические – получение из металлического цинка и из обожженных рудных концентратов или вторичного сырья, содержащих 30–60 % (масс.)

ZnO [3]; гидрометаллургические – получение из растворов солей цинка [4]; электрометаллургические – получение электрохимическим окислением металлического цинка [5].

Оксид цинка применяется в качестве белого пигмента красок, является активатором вулканизации и наполнителем в резиновой промышленности, используется в косметической промышленности и в медицине, как антисептическое и противовоспалительное средство. На сегодняшний день оксид цинка является одним из наиболее привлекательных материалов для создания устройств квантовой электроники, оптоэлектроники и спинтроники. Сочетание уникальных оптических, механических, пьезоэлектрических и магнитных свойств ZnO определяет перспективность материала для применения в коротковолновой оптоэлектронике, в различных химических сенсорах, УФ датчиках, электродах, элементах солнечных батарей.

Из описанного выше можно сделать вывод, что цинк и оксид цинка находят широкое применение в промышленности, технике и медицине. В связи с этим, важно проводить исследования по увеличению эффективности их производства.

#### *Библиографический список*

1. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия: учеб. для вузов. 2-е изд., испр. М.: Высшая школа, 2000. - 528 с.
2. Лякишев Н.П., Диаграммы состояния двойных металлических систем; Справочник: В 3 т., - М.: Машиностроение, 2001. – 872 с.
3. Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Совершенствование пирометаллургического способа получения оксида цинка // Переработка природного сырья: сб. науч. трудов, Иркутск, дек. 2014.– С. 56–58.
4. Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Совершенствование гидрометаллургического способа получения оксида цинка // Переработка природного сырья: сб. науч. трудов, Иркутск, дек. 2014.– С. 58–60.
5. Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю. Получение оксида цинка электрохимическим методом // Переработка природного сырья: сб. науч. трудов, Иркутск, дек. 2014. – С. 54–56.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТОВ.

Пшеников А.Н.<sup>1</sup> Минеева Т.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦМ-13-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: Anp.78@mail.ru

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры МЦМ ИрГТУ, г.Иркутск, e-mail:  
[kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu)

В последние годы как в российской, так и в мировой практике наблюдается непрерывный рост производства золота. Это связано с ослабевающим спросом на благородный металл в промышленном и в финансовом секторах экономики, что также отражается на его биржевой стоимости. При этом с каждым годом минерально-сырьевая база легкообогащаемых золотосодержащих руд неуклонно истощается. В переработку всё чаще вовлекаются упорные руды, извлечение золота из которых с применением традиционных подходов в ряде случаев не позволяет добиться приемлемых технико-экономических показателей. В связи с этим требуется разработка и внедрение принципиально новых и усовершенствование существующих технологических процессов.

Ведущее место по распространённости в природе занимают упорные руды с тонковкрапленным золотом. Переработка таких руд в принципе может быть эффективно осуществлена на основе метода цианирования после предварительного механического, химического или термохимического вскрытия золота, ассоциированного с соответствующими минеральными компонентами[1].

Основными носителями тонковкрапленного золота обычно являются сульфиды (пирит, арсенопирит и др.), поэтому в промышленности для переработки таких руд применяется процесс флотационного обогащения с последующим цианированием флотационного концентрата[1].

Особенностью концентрата флотации одного из месторождений Забайкальского края является наличие тонкодисперсного золота, заключённого в сульфидах, что обуславливает упорность данного концентрата. Концентрат имеет крупность  $R_{80}=71$  мкм и содержит ~ 20 г/т золота. По данным исследований цианистый процесс позволяет получить извлечение золота в раствор из концентрата исходной крупности на уровне 80 %.

Исследования по вскрытию данного концентрата различными методами, проведённые в разные годы рядом организаций, показали возможность повышения извлечения золота при цианировании с 80 % до 90-95 %. Наиболее целесообразно сверхтонкое измельчения концентрата перед циа-

нированием в шаровых мельницах до крупности  $P_{80}=32$  мкм при этом извлечение золота составляет 88-92 %.

Повышение извлечения золота в раствор возможно и при более тонком измельчении в мельницах с перемешиванием мелющей среды [2,3].

Современные технологии сверхтонкого измельчения позволяют измельчать материалы до крупности 5-10 мкм при меньшем расходе электроэнергии и расходных материалов в сравнении с общепринятыми [4,5].

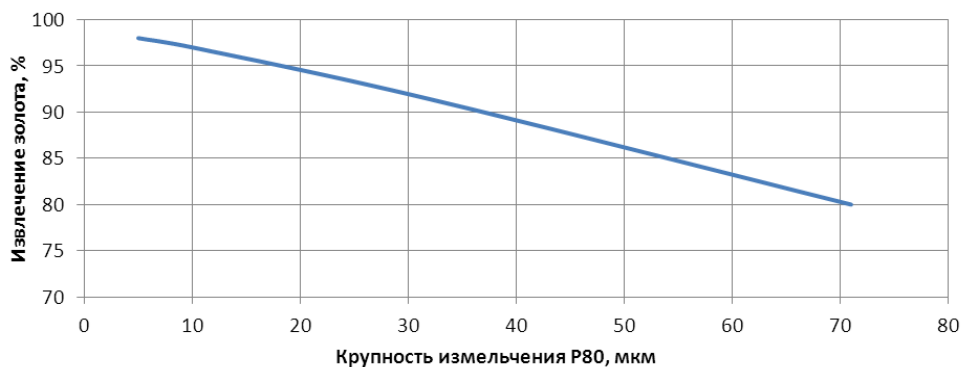


Рисунок 1 - Зависимость извлечения золота в раствор при цианировании исследуемого золотосодержащего концентрата флотации от крупности измельчения

Измельчение исследуемого флотационного концентрата в мельницах с перемешиванием мелющей среды до крупности  $P_{80}=10$  мкм может позволить при последующем цианировании повысить извлечение золота до 97-98 % [1].

#### *Библиографический список*

1. В.В.Лодейщиков. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд и концентратов: В 2х томах.-Иркутск: ОАО «Иргиредмет»,1999.
2. Золото: химия, минералогия, металлургия./ М.А. Меретуков.- М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2008.-528 с.
3. <http://www.isamill.com/RU/Pages/default.aspx>
4. [http://www.metso.ru/ru/home\\_ru.nsf/WebWID/WTB-091015-22576-E451C?OpenDocument](http://www.metso.ru/ru/home_ru.nsf/WebWID/WTB-091015-22576-E451C?OpenDocument)
5. Effect of stirrer speed on grinding performance in a horizontal stirred mill./ Li Maolin , Cui Rui and Wang Guanghui –XXVII IMPC 2014. Santiago-Chile.

## ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ ОШИНОВКИ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРОВ С-8БМ НА ОАО «РУСАЛ КРАСНОЯРСК»

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

<sup>1</sup>аспирант кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, менеджер отдела математического моделирования и измерений, ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, e-mail: Evgeniy.Radionov@rusal.com

<sup>2</sup> д.т.н., заведующая кафедрой металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: ninavn@istu.edu

На опытной группе электролизёров типа С-8БМ ОАО «РУСАЛ Красноярск» была произведена модернизация ошиновки. Целью работы стало повышение основных технико-экономических показателей (ТЭП) работы электролизёров: увеличение выхода по току, уменьшение расхода электроэнергии, снижения расхода сырья.

Модернизация ошиновки заключалась в снижении влияния вертикальной компоненты магнитного поля от обратного ряда электролизёров, а также в выравнивании токораспределения по блюмсам.

Известно, что основные потери металла в электролизере связаны с протеканием обратной реакции окисления алюминия анодными газами с образованием  $Al_2O_3$ . Одной из основных причин, способствующих развитию данной обратной реакции, является волнение металла на границе с электролитом в результате действия некомпенсированных сил Лоренца, образующихся при взаимодействии магнитного поля и горизонтальных токов в металле.

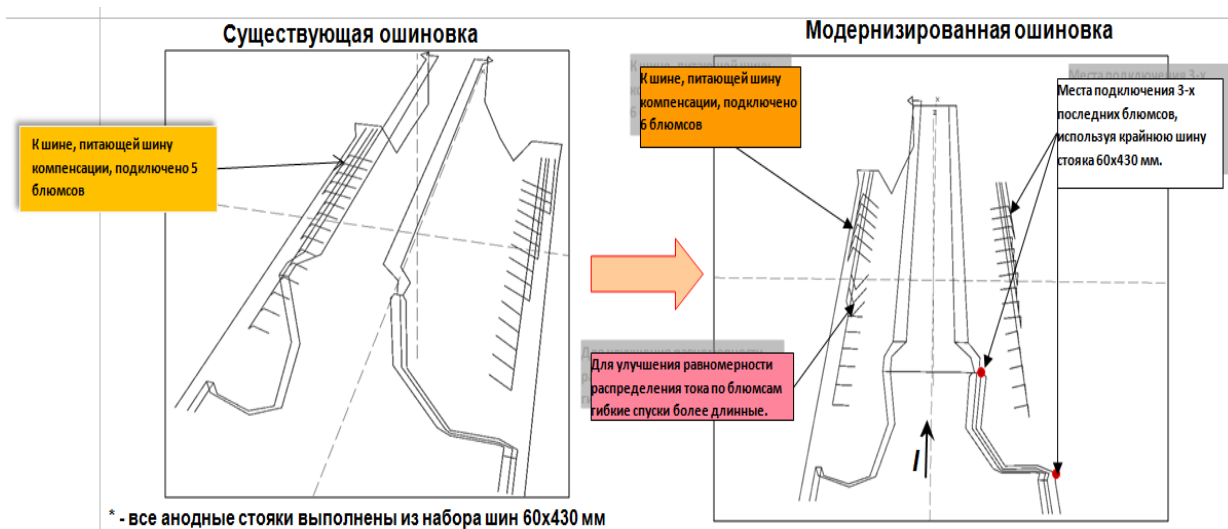
С помощью трехмерной математической модели магнитной гидродинамики удалось подобрать наиболее оптимальную конфигурацию ошиновки, позволяющей скомпенсировать негативное влияние магнитного поля, и тем самым, преобразовать состояние поверхности металла, уменьшив средние и максимальные скорости движения на его поверхности и создав многоконтурную систему циркуляции.

На рис. 1 представлена расчетная форма циркуляции металла на электролизёре с существующей (а) и модернизированной (б) ошиновкой.

Полученная конфигурация ошиновки позволила выполнить модернизацию с минимальными затратами, как на работающей ванне, так и в процессе капитального ремонта.



На Рис. 2 схематично представлен перевод с одного типа ошиновки на другой.



**Рис. 2.** Схема перевода с одного типа ошиновки на другой

Последующие испытания опытных электролизеров показали улучшение по сравнению с ваннами-свидетелями (с существующей ошиновкой) следующих ТЭП: увеличение выхода по току – на 1,2%, снижение расхода  $AlF_3$  – на 0,4 кг/т, снижение расхода электроэнергии – на 234 кВтч/т

### Выводы

1. Используя методы математического моделирования, удалось подобрать оптимальную конфигурацию ошиновки электролизера С-8БМ, позволяющую скомпенсировать негативное влияние магнитного поля от обратного ряда электролизёров.

2. Перевод с одного типа ошиновки на другой может быть реализован как при капитальном ремонте, так и при работе электролизера на ходу.

### Библиографический список

1. Гринберг И.С., Терентьев В.Г., Чалых В.И., Черных А.Е. Электрометаллургия алюминия. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2009. – 350 с.

2. Радионов Е.Ю., Немчинова Н.В., Окулов М.Д. Пути модернизации ошиновки электролизера при производстве алюминия // Матер. III междунар. науч.-технич. конф. «Металлургия легких и тугоплавких металлов». – Екатеринбург : Изд-во УрФУ, 2014. С. 103-108.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ОШИНОВОК И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

**Е.Ю.Радионо<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>аспирант кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, менеджер отдела математического моделирования и измерений, ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, e-mail: Evgeniy.Radionov@rusal.com

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

Математическое моделирование магнитогидродинамических (МГД) характеристик электролизеров производится с использованием специализированных программ. Среди отечественных программных продуктов можно выделить такие программы как «Smelter», «Blums» и «Arc@RUSAL»; среди зарубежных аналогов наиболее известны «MHD-Valdis» и «Phonix Pro».

Выбор наилучшего варианта ошиновки осуществляется на основе подбора оптимальных МГД–параметров, электрических характеристик электролизера.

Разработку ошиновки можно разбить на несколько этапов.

1. Разработка концепции ошиновки – учитываются требования к электролизеру и, исходя из этого, особенности конструкции ванны; выбирается базовый вариант ошиновки для дальнейших расчетов.

2. Подбор токораспределения по токоведущим элементам ошиновки – с учетом принятого токораспределения по стоякам подбирается длина и сечение отдельных элементов ошиновки; при этом основной задачей является обеспечение равномерности распределения тока по блумсам и анодам; необходимо также при этом учитывать форму рабочего пространства (длину настыли).

3. Построение в графической САД-среде модели ошиновки и ферромагнитных элементов (катодный кожух, балка–коллектор, перекрытия шинных каналов) с последующей их передачей в расчетную модель.

4. Выполнение расчета МГД–характеристик на основании полученных данных по токораспределению (напряженность магнитного поля, скорости и контуры циркуляции металла, перекося металла) для базового варианта ошиновки.

5. Анализ полученных результатов на основании теоретических и практических знаний по данному вопросу с последующей оптимизацией базового варианта ошиновки для получения скомпенсированного магнитного поля, оптимальных скоростей и контуров циркуляции, минимального перекося металла и высокого уровня МГД–стабильности.

В общем виде основные требования к структуре магнитного поля и МГД–характеристикам электролизеров формулируются следующим образом:

- минимизация поперечной составляющей магнитной индукции  $B_x$  (для электролизеров с поперечным расположением) и  $B_y$  (для электролизеров с продольным расположением) для уменьшения сил Лоренца, действующих вдоль длинной стороны электролизера;
- симметризация планарных составляющих магнитной индукции относительно продольной ( $B_y$ ) и поперечной ( $B_x$ ) осей электролизера с переменной знака максимально близко к ним;
- знакопеременность вертикальной составляющей магнитной индукции  $B_z$  по сторонам для снижения скорости циркуляции контуров расплава;
- минимизация абсолютного значения (модуля) вертикальной составляющей магнитной индукции  $B_z$  и ее градиента по длинной стороне электролизера для снижения пороговых значений МГД–нестабильности, т.е. максимальное значение вертикальной составляющей напряженности магнитного поля должно быть ниже 20 Гаусс.

Выполнение указанных требований позволяет обеспечить приемлемые показатели по созданию многоконтурной схемы циркуляции расплава с максимальной скоростью  $\sim 10$  см/с, перекосом  $2\div 4$  см и достаточным запасом по МГД–устойчивости.

### **Выводы**

1. Приведены пять наиболее важных этапов разработки ошинок электролизёров.
2. Оптимальное магнитное поле на электролизёре заключается в симметризации планарных компонент, знакопеременности вертикальной компоненты и минимизации абсолютных значений всех трех компонент магнитного поля.

### *Библиографический список*

1. Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. *Металлургия алюминия. Технология. Электроснабжение. Автоматизация.* – М. : Флинта: Наука, 2008. – 528 с.
2. Гринберг И.С., Терентьев В.Г., Чалых В.И., Черных А.Е. *Электрометаллургия алюминия.* – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2009. – 350 с.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СОКАРБОНИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА

**В.А. Скачков<sup>1</sup>, В.И. Иванов<sup>2</sup>, О.Р. Бережная<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии черных металлов ЗГИА, г. Запорожье, e-mail: colourmet@zgia.zp.ua

<sup>2</sup> старший научный сотрудник кафедры металлургии черных металлов ЗГИА, г. Запорожье, e-mail: colourmet@zgia.zp.ua

<sup>3</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ЗГИА, г. Запорожье, e-mail: colourmet@zgia.zp.ua

Рассматриваются технологические аспекты формирования низкоплотных углеродных композиционных материалов на основе армирующих волокон и карбонизирующихся полимерных матриц.

Формирование заданной структуры материала обеспечивается путем диспергирования его компонентов в газовой или жидкой фазе. После формирования композитной конструкции выполняется высокотемпературная обработка, обеспечивающая процесс сокарбонизации волокон и матричного материала. Указанная обработка характеризуется значительной объемной усадкой и трещинообразованием материала.

С целью оптимизации высокотемпературной обработки композиционного материала рассматривается связанная статистическая задача деформирования и разрушения микронеоднородных сред с пористой структурой. Структурные изменения и реальные значения физико-механических характеристик компонентов композиционного материала задаются термоструктурными функциями, описывающими кинетику термохимических превращений для отдельных компонентов и зависящими от технологических параметров режима карбонизации, а также случайными функциями, устанавливающими зависимости характеристик компонентов от степени структурных изменений.

Разработана методика и проведен комплекс экспериментальных исследований по определению параметров термоструктурных функций. Статистические параметры данных функций определяются по экспериментальным зависимостям упругих и прочностных характеристик, а также усадке компонентов композита от температуры обработки.

Расчетным путем с применением ПЭВМ выполнено прогнозирование прочностных, упругих характеристик и термохимических усадок, а также накопления структурных повреждений в процессе карбонизации

композиционных материалов на основе гидратцеллюлозных волокон и феноло-формальдегидных матриц.

УДК 669.713.7

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

**И.А. Сысоев<sup>1</sup>, М.А. Рудяга<sup>2</sup>, А.А. Березин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры электроснабжения, института энергетики ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [ivansys@istu.edu](mailto:ivansys@istu.edu)

<sup>2</sup> студент гр. МЦБ -14-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [rud\\_miha@mail.ru](mailto:rud_miha@mail.ru)

<sup>3</sup> студент гр. ТПб -12-1, института пищевой инженерии и биотехнологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [alextrik@inbox.ru](mailto:alextrik@inbox.ru)

Электролитическое получение алюминия - один из наиболее энергоемких промышленных процессов. Так, например, для получения одной тонны алюминия методом Эру-Холла в зависимости от типа электролизера требуется затратить 13,2-16,0 тыс. кВт×час электроэнергии. На сегодняшнее время, в связи с ужесточением требований к энерго- и ресурсосбережению, актуальными являются исследования по созданию энергосберегающей технологии получения алюминия.

Одной из главных составляющих энергоэффективности процесса электролиза алюминия является правильно подобранная температура электролита и величина перегрева. Перегрев электролита ( $T_{SH}$ ) определяется разностью между рабочей температурой электролита ( $T_{EL}$ ) и температурой ликвидус ( $T_L$ ) или его кристаллизации:

$$T_{SH} = T_{EL} - T_L. \quad (1)$$

Авторами данной работы был разработан собственный алгоритм управления энергетическим режимом электролизера, основанный на инновационном способе определения концентрации глинозема в криолит-глиноземном расплаве [1] и базируется на следующих принципах:

- управление химической композицией расплава с помощью автоматизированных систем подачи фтористого алюминия и глинозема;
- оценка температурного режима электролизера путем ежедневных измерений рабочей температуры электролита;
- определение перегрева и температуры ликвидус расчетным способом на основе данных химического анализа проб электролита.

С целью построения корреляционных зависимостей использовалось изучение влияния криолитового отношения на температуру ликвидус.

Анализ проб электролита проводился рентгенофлуоресцентным спектрометром ARL9800 TAxA. Всего было проведено свыше 1000 анализов проб электролита, которые отбирались совместно с определением рабочей температуры электролита, температуры ликвидус и перегрева, с помощью системы «Cry-O-Therm» фирмы «Heraeus Electro-Nite».

С помощью метода регрессионного анализа была определена следующая зависимость:

$$T_L = 863,2 + 49,2 * KO - 3,6 * CaF_2 - 3,8 * MgF_2, \quad (2),$$

где  $KO$  – криолитовое отношение, дол.ед;

$CaF_2$ ,  $MgF_2$  – экспериментально определенные содержания фтористого кальция и магния в электролите, %.

С целью проведения дальнейших исследований были выполнены эксперименты по определению степени влияния на структуру температур (рабочую, ликвидус и перегрева) электролита технологических факторов: варьирования рабочего напряжения, анодных эффектов, а также операций «выливка металла» и «перестановка анодов». Подробно методика проведения экспериментов описана в работе [2].

Для поддержания оптимального энергетического режима было принято решение о разработке алгоритма и внедрении программы автоматизированного управления энергетическим режимом электролизеров по структуре температур (электролита, ликвидус и перегреву).

Для дальнейшего использования алгоритма в условиях действующего производства была разработана и получено авторское свидетельство на программу ЭВМ «Перегрев» [3].

На основе данных о температурном режиме программа управления установленная на технологический компьютер выдает рекомендации по поддержанию заданного перегрева изменением на электролизерах рабочего напряжения и ежесуточной дозы фтористого алюминия. Рекомендации программы применялись на двух опытных электролизерах в течение 3-х месяцев.

Первые испытания разработанного алгоритма и программы управления энергорегимом на опытных электролизерах показали положительные результаты. По данным замеров применение программы управления помогло оптимизировать форму рабочего пространства и обеспечить оптимальные тепловые параметры электролизеров: наличие гарнисажа достаточной толщины (около 5 см), крутопадающий профиль настыли и приемлемую температуру бортовой стенки катодного кожуха, не превышающую 350 °С.

Определение температуры ликвидус расчетным способом является малозатратным и позволяет контролировать химическую композицию электролита с целью устранения резкого изменения его состава.

Для более качественного определения влияния применения программы управления энергорежимом на технико-экономические показатели процесса необходимо проведение более длительных экспериментов на большей группе опытных электролизеров.

#### *Библиографический список*

1. Ершов В.А.; Сысоев И.А. Способ определения концентрации глинозема в криолит-глиноземном расплаве // пат. 2467095 Рос. Федерация, № 2011118778/02; заявл. 10.05.11; опубл. 20.11.12. Бюл. № 32. 3 с.

2. Сысоев И.А., Ершов В.А., Богданов Ю.В., Кондратьев В.В. Исследование влияния технологических факторов на температурные характеристики электролитов при производстве алюминия // Вестник Иркутского государственного технического университета. № 2. 2010г. С. 193-198.

3. Сысоев И.А., Ершов В.А. Программа управления энергетическим режимом электролизеров при производстве алюминия «Перегрев»: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ // Св. ГР № 2014615075 Рос. Федерация. заявл. 19.03.2014; зарегистр. 16.05.2014. 1 с.

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛУПРОДУКТОВ ШЛАМОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Ю.И. Топоркова<sup>1</sup>, В.Г. Лобанов<sup>1</sup>, Р.С. Воинков<sup>2</sup>**

1- Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина»,

2- ОАО «Уралэлектромедь», email: [toporkova.y.i@mail.ru](mailto:toporkova.y.i@mail.ru)

Традиционные технологии переработки шламов основаны преимущественно на использовании высокотемпературных процессов - обжиг, спекание, плавка и основной целью имеют получение золото-серебряного сплава, товарных селена и теллура.

Пиromеталлургические технологии переработки шламов достаточно хорошо отработаны, имеют неоспоримые преимущества, прежде всего в скорости основных процессов. Вместе с тем, специалистам очевидны недостатки плавки, которые побуждают поиск альтернативных гидрометаллургических вариантов.

Отмеченные факторы предопределяют интерес к полностью гидрометаллургической технологии переработки шламов, включающей обезмеживание, стадийное выщелачивание неблагород-

ных металлов и выделение из полученных растворов товарных продуктов.

Предлагается последовательность автоклавной обработки шламов и флотационной селекции с получением концентрата на основе халькогенов и благородных металлов. В камерном продукте остаются окисленные соединения свинца, мышьяка, сурьмы, висмута

Восстановительное выщелачивание проводят непосредственно из твердой фазы селенида серебра. Продуктами реакции является металлическое серебро и селенид – ион. Процесс может быть реализован в кислой, щелочной и нейтральной среде. Подобный прием предложен в способе катодного выщелачивания селена из шламов [1].

Помимо селенида серебра другим не менее важным компонентом шлама является окисульфатная фаза. Свинец (в виде сульфата), сурьма и мышьяк (в виде оксидов, антимонатов и арсенатов) в предельной степени окисления находятся в твердой фазе. Растворить эти соединения можно только в комплексонах, причем прочность образующихся комплексных соединений должна быть весьма высокой. Известны попытки выщелачивать свинец из шламов солевыми, щелочными и ацетатными растворами [2,3] ограничиваются лабораторными экспериментами и практического применения не нашли. К числу подобных растворителей, прежде всего, следует отнести щелочные соли некоторых высокомолекулярных органических кислот - ЭДТА, ОЭДФ и некоторых других. Термодинамические и кинетические особенности выщелачивания свинца из пылей плавильных агрегатов и других продуктов цветной металлургии подробно рассмотрены в работе [4]. Тестовые опыты, проведенные с использованием обезмеженного шлама и хвостов флотационного обогащения показали перспективность применения и убедительные преимущества указанных реагентов для выщелачивания свинца из шламов. При регенерации растворителей методом электроэкстракции данный подход может рассматриваться, как целевая операция, исключая оборот свинца и позволяющая получить товарный продукт.

#### *Библиографический список*

1. А.с. 496963 СССР. Способ извлечения селена из селенсодержащих шламов электровыщелачиванием / Угорец М.З., Костиков А.И., Букетов Е.А. и др; опубл. 25.12.1975.
2. Пат. 2071978 РФ. Способ переработки медеэлектролитных шламов / Шалаева Т.С., Южанин А.В., Мастюгин С.А. [и др.]. Оpubл. 20.01.1997.



3. Пат. 2109823 РФ. Способ переработки медеэлектролитных шламов / Шалаева Т.С., Южанин А.В., Кремко Е.Г. [и др.]. Опубл. 27.04. 1998.

4. Карелов С.В., Анисимова О.С., Мамяченков С.В., Сергеев В.А.// Известия ВУЗов. Цветная металлургия.2008.№2.С.20-24.

## **МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АЛЮМИНИЕВЫХ РОНДОЛЕЙ**

**А.А. Тютрин<sup>1</sup>, В.А. Михалев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: an.tu@inbox.ru

<sup>2</sup> студент гр. МЦБ-14-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск

Наиболее крупной отраслью цветной металлургии, занимающей лидирующее положение, является алюминиевая промышленность.

Производство алюминия намного опережает выпуск всех цветных металлов и уступает только производству стали. Алюминий славится своими физико-химическими свойствами, благодаря которым он нашел широкое применение в электротехнике, авиастроении, транспорте, фармацевтике, производстве тары и бытовой техники, автомобилестроении, строительстве и других.

В России алюминиевая отрасль представлена объединенной компанией «РУСАЛ», в состав которой входит 47 заводов, большинство из которых производят первичный алюминий (15), глинозем (11), фольгу (4). Основную часть продукции компании составляют первичный алюминий, алюминиевые сплавы, фольга и глинозем.

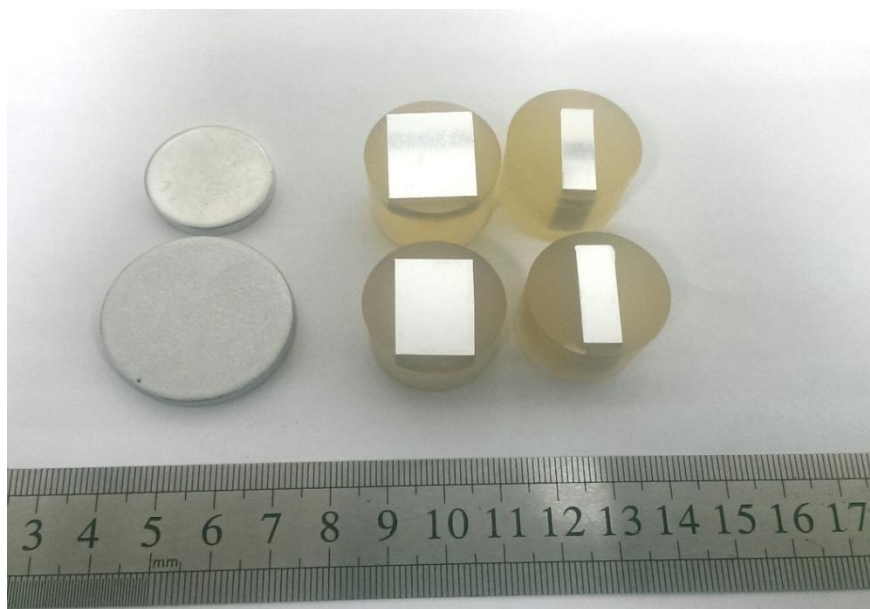
Первичный алюминий марки А7 (99,7% металла) служит сырьем для изготовления рондоли - заготовки для производства алюминиевых труб, моноблоков и баллонов для различных аэрозолей.

Технологическая схема производства рондоли включает в себя несколько операций: заливка металла в миксер и снятие шлака и оксидной пленки; выдержка металла в миксере не менее 40 минут; разливка металла через пенокерамический фильтр; следом после охлаждения он поступает на прокатный стан при нагреве 360-420 °С. Рондоль поступает на мойку, отжиг, и галтовку. Далее в галтовочном барабане совершается процесс трения рондолей друг об друга, при этом снимается заусенец.

При производстве рондолей одной из важных характеристик, определяющих качество изделия, является наличие мелкозернистой структуры для различных последующих операциях (деформация, отжиг). В связи с

этим целью наших исследований явилось изучение микроструктуры различных образцов данных изделий с определением среднего размера зерна.

Первоначальные исследования проводились на образцах алюминиевых рондолей 2-х видов: после непрерывной разливки, тепловой деформации и не подвергшихся рекристаллизационному отжигу и после рекристаллизационного отжига (с диаметром образцов 45,0х6,0 мм и 24,7х3,9 мм, соответственно). Образцы рондолей 45,0х6,0 мм были изготовлены из алюминиевой ленты производства ОАО «СУАЛ филиал «Иркутский алюминиевый завод СУАЛ» ОК РУСАЛ (г. Шелехов Иркутской обл.; с января 2015 г. – филиал ОАО «РУСАЛ Братск» в г. Шелехов), а образцы 24,7х3,9 мм – из ленты производства ООО «Красноярский металлургический завод (КраМЗ)» (г. Красноярск). Все образцы изучались в двух разрезах: продольном (собственно поверхность рондоли) и поперечном (Рис. 1).

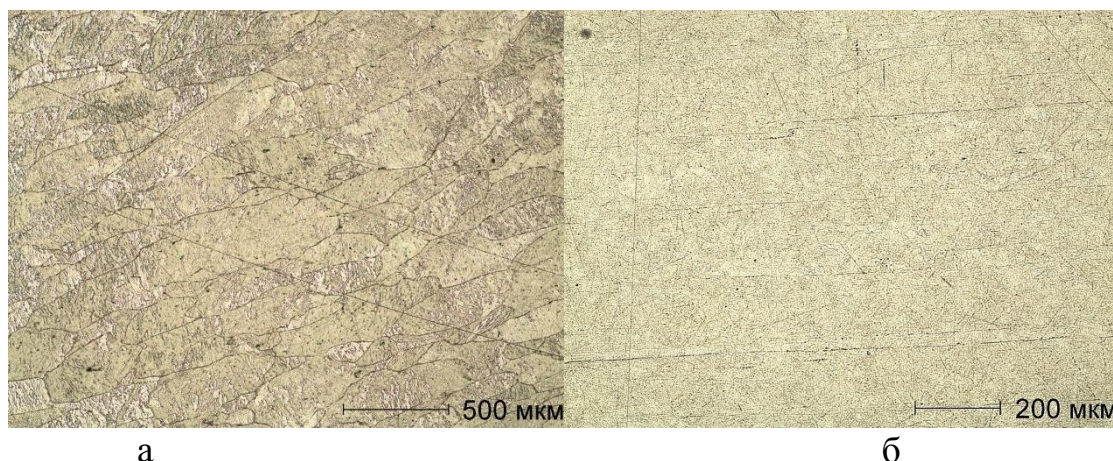


**Рис.1-** Общий вид алюминиевых рондолей и изучаемых образцов после среза, полировки и травления заливка- акриловая смола)

Металлографическое исследование начинается с подготовки образцов и заканчивается выводом аналитических данных о структуре материала. Все изменения отражаются прежде всего на структуре и, следовательно, могут наблюдаться с помощью микроскопа и быть оценены количественно [1]. Макроструктура сплавов зависит во многом от скорости охлаждения при литье: высокая скорость дает мелкозернистую структуру, низкая – наоборот – крупные зерна, вырастающие в направлении охлаждения [3].

Первая группа исследуемой алюминиевой рондоли представлена образцами после непрерывной разливки до рекристаллизационного отжига двух поставщиков (см. выше) прокатной ленты.

Микроструктура образцов, полученных из ленты производства «Иркутский алюминиевый завод», имеет четкие границы зерен, сформировавшиеся ранее – в литом металле (рис. 2а), которые заметно вытянуты в направлении деформации: их длина составляет 100-600 мкм, ширина – 50-300 мкм.



**Рис. 2** – Микроструктура поверхности образцов рондолей, не подвергнутых рекристаллизационному отжигу, двух поставщиков прокатной ленты: а – ИркАЗ; б – КраМЗ

В поперечном сечении рондоли первичные кристаллы сильно вытянуты параллельно поверхности диска и не имеют четких границ. Их длина составляет 100-400 мкм; поперечный размер – 20-50 мкм.

Рондоли, полученные из алюминиевой ленты КраМЗа, значительно отличаются характером микроструктуры поверхности. Так, микроструктура данных образцов имеет четкие границы зерен (рис. 2б), которые лишь незначительно вытянуты в направлении деформации: их длина составляет 10-25 мкм при ширине 5-15 мкм, а средний размер зерна – 9,42 мкм. В поперечном сечении деформация не заметна, форма зерен, исследуемых образцов близкая к равноосной и средний диаметр составляет 9,98 мкм.

Из полученных данных размера диаметра зерна, более мелкозернистую структуру имеют рондоли, полученные из алюминиевой ленты производства ООО «КраМЗ». Это обусловлено двумя факторами. Во-первых, на качество микроструктуры влияет степень деформации прокатной ленты. Во-вторых, влияющим на качество структуры рондоли, является форма модифицирующей добавки титана: на «ИркАЗ» используют лигатуру AlTiB в виде прутков, тогда как ООО «КраМЗ» использует собственно титан в форме таблеток.

Для получения более мелкозернистой структуры алюминия проводят рекристаллизационный отжиг. Данная операция заключается в нагреве деформируемого сплава до температур выше температуры окончания первичной рекристаллизации, применяется для получения мелкого зерна. Нагрев деформируемого металла ведет к повышению подвижности атомов, и среди вытянутых зерен идет интенсивное зарождение и рост новых равновесных, свободных от напряжений зерен. Данные новые зерна растут за счет старых, вытянутых, до их столкновения друг с другом и до полного исчезновения вытянутых зерен. При нагреве по достижении температуры начала рекристаллизации предел прочности и особенно текучести резко снижаются, а пластичность металла увеличивается [2].

Микроструктура образцов полученных из ленты производства «ИрКАЗ» имеет четкие равноосные зерна, образовавшиеся после рекристаллизации, диаметры которых колеблются от 10-20 мкм до 100-120 мкм (среднее значение – 60 мкм). В поперечном сечении рондоли также наблюдается равноосное строение зерен со средним диаметром 63 мкм.

Рондоли, полученные из алюминиевой ленты ООО «КраМЗ», также имеют равноосную зерновую структуру, на поверхности средний диаметр зерен составляет 8,36 мкм, в поперечном сечении – 9,09 мкм.

После проведения рекристаллизационного отжига рондоли из алюминиевой ленты компании ООО «КраМЗ» имеют более мелкозернистую структуру, также, как и до отжига.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Качество рондолей в большей степени зависит от пластичности материала (алюминия), из которых они изготовлены. Данное свойство, в свою очередь, зависит от размера зерна алюминиевой заготовки: чем мельче зерно, тем выше пластичность и тем лучше рондоли подвергается холодной деформации.

2. Равноосность зерен рондоли зависит от степени деформации прокатной ленты: чем выше степень деформации, тем более вытянутая геометрическая направленность зерновой структуры.

3. Рекристаллизационный отжиг позволяет уменьшить размер зерна; особенно это заметно на образцах, полученных из прокатной ленты ИрКАЗа (с 100-300 мкм до 60 мкм). Для рондолей, полученных на ООО «КраМЗ», снижение размера не столь значительно (с 9,42 мкм до 8,36 мкм). Поэтому необходимо добиваться мелкозернистой структуры еще на стадии разливки и тепловой деформации алюминиевых заготовок.

### *Библиографический список*

1. Вашуль Х. Практическая металлография. Методы изготовления образцов. – М.: Металлургия, 1988. – 320 с.
2. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 1999. – 416 с.
3. Немчинова Н.В., Гусева Е.А., Константинова М.В. Металлографическое исследование рафинированного технического кремния // Вестник ИрГТУ. – Иркутск, 2010. – № 5 (45). – С. 2007-2011.

### **ПЕРЕРАБОТКА ЦИНКСОДЕРЖАЩЕЙ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПОЛУЧЕНИЕМ ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТА**

**А.А. Тютрин<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, Е.В. Наумов<sup>3</sup>,**

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: an.tu@inbox.ru

<sup>2</sup> д.т.н., зав. кафедрой металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: ninavn@istu.edu

<sup>3</sup> студент гр. МЦБ 12-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск.

Цинк в чистом виде – довольно пластичный серебристо-белый металл. При 100–150 °С цинк пластичен. Примеси, даже незначительные, резко увеличивают хрупкость цинка. Температура плавления цинка и температура его кипения относительно низки: 419,5 °С и 906 °С, соответственно [1].

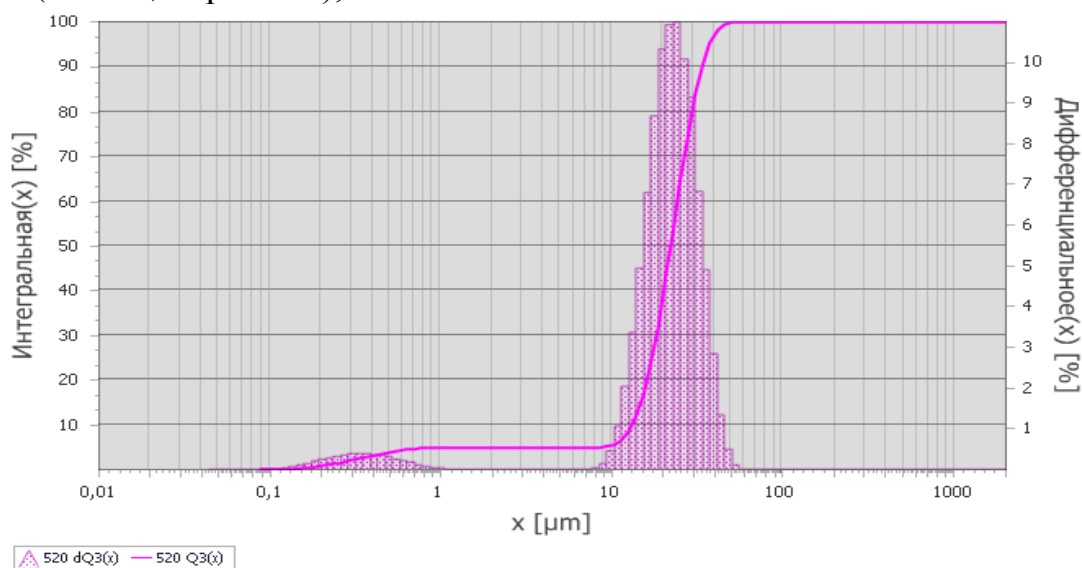
Чистый металлический цинк используется для восстановления благородных металлов, добываемых подземным выщелачиванием (золото, серебро). Кроме того, цинк используется для извлечения серебра, золота (и других металлов) из черногого свинца в виде интерметаллидов цинка с серебром и золотом (так называемой «серебристой пены»), обрабатываемых затем обычными методами аффинажа, цинк применяется для защиты стали от коррозии (оцинковка поверхностей, не подверженных механическим воздействиям, или металлизация – для мостов, емкостей, металлоконструкций).

В настоящее время известно несколько способов получения первичного цинка из полиметаллических руд, содержащих 1-4% Zn в виде сульфида [1]. По пирометаллургическому (дистилляционному) способу, существующему издавна, обожженный концентрат подвергают спеканию для

придания зернистости и газопроницаемости, а затем восстанавливают углем или коксом при 1200–1300 °С. Образующиеся при этом пары металла конденсируют и разливают в изложницы. Наиболее распространенный способ получения цинка – электролитический (гидрометаллургический). Обожжённые концентраты обрабатывают серной кислотой; получаемый сульфатный раствор очищают от примесей (осаждением их цинковой пылью) и подвергают электролизу в ваннах. Цинк осаждается на алюминиевых катодах, с которых его ежедневно удаляют и плавят в индукционных печах. Обычно чистота электролитного цинка – 99,95%, полнота извлечения его из концентрата (при учете переработки отходов) – 93–94% [1, 2].

Однако получение цинка из полиметаллических руд не является единственным способом. К одним из возможных сырьевых материалов для получения цинка является пыль электросталеплавильного производства, в которой содержится значительное (для техногенного сырья) содержание цинка и цинковых соединений. В последнее время в мире наблюдается спрос на цинк, в связи с чем возник дефицит данного металла на мировом рынке (стоимость цинка на лондонской бирже около 2000 долл. США [3]). Это связано, прежде всего, с тем, что в эксплуатацию введены новые линии непрерывного оцинкования. Таким образом, в связи с проблемами сырьевого, экологического и экономического характера переработка цинксо-держащих пылей сталеплавильного производства с получением - цинкового концентрата и гранулированного чугуна - является весьма актуальной.

Объектом исследования в данной статье является цинксодержащая пыль, представляющая собой порошок красно-коричневого цвета, с крупностью частиц менее 0,060 мм, гранулометрический состав которого был определен на лазерном анализаторе размера частиц Анализетте 22 Nano-ТесPlus (Fritsch, Германия), Рис. 1.



**Рис. 1.** – Распределение частиц цинксодержащей пыли по крупности

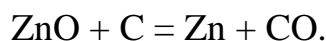


Химический анализ пыли на содержание железа, цинка и основных компонентов осуществляли рентгеноспектральным флуоресцентным методом при помощи спектрометра с волновой дисперсией S8 TIGER (Bruker, Германия), Таблица 1.

Таблица 1 – Химический состав цинксодержащей пыли

Мас. содержание компонента, %													
ZnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	Cl	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	PbO	Na <sub>2</sub> O
26,02	36,9	5,975	2,98	10,43	3,755	0,34	1,04	4,79	0,66	1,31	2,885	2,11	5,975

Для определения фазового состава основных компонентов цинксодержащей пыли был выполнен рентгенофазовый анализ, в результате которого определено что ценные компоненты пыли содержатся в виде ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и ZnO. В данной работе извлечение цинка из данных оксидов проводилось с помощью углеродистых восстановителей, по следующей реакции [2, 4]:



Для восстановления продуктов плавки применяются для вида восстановителей: каменный уголь и каменноугольный кокс с содержанием углерода 54,1% и 97 %, соответственно.

В качестве шлакообразующих флюсов в экспериментах по получению «быстрого чугуна» использовали химические реагенты марки «Ч»: - оксид кальция (CaO), оксид кремния (SiO<sub>2</sub>) крупностью частиц менее 0,1 мм. В экспериментах по отработке технологии гранулирования шихты в качестве связующего применяли карбоксил-метил целлюлозу (КМЦ).

Количество вводимых в шихту флюсующих добавок - CaO и SiO<sub>2</sub> - рассчитывали на образование шлака указанного состава с учетом наличия этих компонентов в железорудном концентрате и каменном угле; при этом необходимо выполнить условие для более полного извлечения железа: (CaO+MgO)/SiO<sub>2</sub> = 0,15-0,32 [1].

Для проведения экспериментов в процессе использовалась окомкованная шихта. Для этого к подготовленной смеси добавляли отмеренный объем воды с получением густой пасты, из которой формовали круглые гранулы массой 15-30 г (рисунок 2). Влажные гранулы сушили в лабораторной муфельной электропечи ЭКПС 10 при температуре 250 °С в течение 30 мин.



**Рис. 2 – Гранула шихты**

Высокотемпературную термообработку гранул осуществляли в высокотемпературной печи ЛНТ 08/17 (Nabertherm, Германия). Вначале в корундовый тигель объемом ~ 55 мл засыпается 20-30 г каменноугольного кокса крупностью частиц 0,5-1,0 мм, затем на поверхность кокса помещается подготовленная гранула. К отверстию печи для отходящих газов устанавливается холодильная камера, охлаждаемая водой, с принудительной откачкой газообразных продуктов реакции. Тигель с гранулой шихты загружается в печь при температуре 1150 °С, далее температура в камере печи поднимается до уровня 1350-1400 °С со скоростью ~ 11 °С/мин, таким образом тигель выдерживается с шихтой при заданной температуре в течение 10 мин. Далее электропитание печи отключается и в течение 8-10 мин температура в камере печи снижается до 1150°С, тигель с продуктами плавки извлекается из печи, охлаждается до комнатной температуры, осуществляется внешний осмотр и взвешивание продуктов плавки шихты, а установка для улавливания возгонов прочищается, взвешиваются уловленные и сконденсированные продукты.

Для установления оптимальных условий получения цинковых возгонов выполнены эксперименты с различными составами и количествами восстановителей.

По результатам проведенных экспериментов качество полученных возгонов оксида цинка значительно выше при использовании кокса (Таблица 2).

Таблица 2 – Химический состав уловленных возгонов при использовании разных восстановителей

Мас. содержание компонента, %													
ZnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	Cl	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	PbO	Na <sub>2</sub> O
26,02	36,9	5,975	2,98	10,43	3,755	0,34	1,04	4,79	0,66	1,31	2,885	2,11	5,975

Предъявляемые требования к товарному цинковому концентрату: не менее 75 мас. % ZnO, не более 0,06 мас. % Cl и не более 0,01 мас. % F. Данный продукт не отвечает требованиям товарного цинкового концентрата только по содержанию хлора и фтора.



Как видно из данных Таблицы 2 количество хлора в пробах колеблется в пределах 6,9–9,6 мас. %, фтора – до 0,63 мас. %, однако содержание оксида цинка в пробах достигает 79,82 мас. %.

Данная проблема может быть решена проведением дополнительной обработки цинковых возгонов с целью снижения содержания хлора и фтора, что и планируется в дальнейшем.

Полученные результаты лабораторных опытов, проведенных с целью отработки технологии переработки цинксодержащих пылей электросталеплавильного производства и получением цинкового концентрата, позволяют сделать следующие выводы:

– вид восстановителя значительно влияет на качество полученного в результате плавки цинкового возгона, так при использовании каменноугольного кокса вместо каменного угля содержание ZnO в продукте повысилось на 8,9 %, а содержание хлора снизилось на 28,6 %;

– величина извлечения цинка в концентрат составило 90 %;

– в дальнейшем нами планируется проведение дополнительной обработки цинковых возгонов с целью снижения содержания хлора и фтора.

#### *Библиографический список*

1. Металлургия тяжелых цветных металлов : Свинец. Цинк. Кадмий / Ю.П. Романтеев [и др.]. – М. : Изд. дом МИСиС, 2010. – 574 с.
2. Процессы и аппараты цветной металлургии / под ред. С.С. Набойченко – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1997. – 655 с.
3. Центральный металлический портал РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://metallicheskiy-portal.ru>
4. Ушаков А.Г., Ушаков Г.В. Цинксодержащие отходы промышленных предприятий и некоторые направления их утилизации / Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе: сб. трудов II Всерос. науч.-практ. конф. – Новокузнецк, 2006. – С. 181-183.

### **ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМОКРЕМНИЕВЫХ СПЛАВОВ ИЗ КИАНИТОВЫХ РУД**

**Федоров С. Н.<sup>1</sup>, Бажин В.Ю.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. МЦ-10-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: fedorov.sn29@mail.ru

<sup>2</sup> д.т.н., декан факультета переработки минерального сырья, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, e-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

Россия занимает второе место в мире по производству алюминия, выпуская 3,5-4 миллиона тонн этого металла в год. Сырьем для изготовления алюминия служит глинозем, который, в свою очередь, сегодня производится из боксита. При этом обеспеченность металлургических заводов отечественным глиноземом удовлетворяется примерно на 45 процентов, остальное сырье приходится импортировать.

Главная проблема алюминиевой отрасли России – дефицит бокситов высокого качества. Их мало, и находятся они, как правило, на больших глубинах, а вероятность найти новые месторождения бокситов ничтожна. Производится глинозем и из нефелиновых руд, запасы которых огромны. Но алюминия в них мало, и это приводит к огромным затратам электроэнергии.

Альтернативным сырьем для производства алюминия может стать другой минерал – кианит. Из-за крайне низкого кремневого модуля (<2) и отсутствия щелочей, эффективных промышленных технологий переработки его на глинозем пока нет [1].

На Кольском полуострове обнаружены огромные залежи кианита в горном массиве Большие Кейвы Мурманской области. Запасы руды на глубине до 100 метров составляют 966 миллионов тонн, а полный объем месторождения – 11 млрд т. Такая глубина дает возможность добывать руду открытым способом, который не требует больших затрат [2]. Для более эффективного производства сплавов разработаны различные способы по обогащению кианитовых руд [3, 4, 5].

Проведенный рентгенофлуоресцентный анализ немагнитной и магнитной фракций показал следующий состав концентрата (см. Табл. 1), что подходит для производства заэвтектического силумина методом карботермии.

Таблица 1 – Химический состав кианитового концентрата.

Фракция	Na <sub>2</sub> O, %	MgO, %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	SiO <sub>2</sub> , %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	S,%	K <sub>2</sub> O, %	CaO, %	TiO <sub>2</sub> , %	MnO, %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %
Немагнитная	0,2	<0,01	51,33	37,63	0,12	0,013	0,5	0,05	0,6	<0,01	0,18
Магнитная	0,25	0,21	50,98	35,64	0,19	0,029	0,49	0,25	0,67	0,054	1,85

Известны разработки в области технологии карботермии институтов ВАМИ, Гипроникеля, Горного института, в которых принимали участие известные ученые Калужский Н.А., Рапопорт М.Б., Беляев А.И., Костюков А.А., Цыплаков А.М., Баймаков Ю.В., Кожевников Г.Н., Баймаков А.Ю., Бережной И.А., Брусаков Ю.И., а также зарубежных фирм Alcoa (США) и Chalco (Китай) [6, 7, 8].

Производство алюмокремниевых сплавов методом карботермии с предварительным обогащением кианитовых руд позволит существенно снизить энергозатраты, капитальные и эксплуатационные вложения по сравнению с традиционным способом Холла-Эру. Благодаря прямому вос-

становлению руд, не нужно будет производить обособленно друг от друга алюминий и кремний, а также разработка кианитовых месторождений позволит отечественным производителям алюминия создать собственную ресурсную базу.

#### *Библиографический список*

1. Федоров С.Н., Бажин В.Ю. Расширение спектра использования кианитовых руд // Актуальные проблемы технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции – г. Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 65-66.

2. Федоров С.Н., Бажин В.Ю. Концепция развития производства алюминиевых сплавов из кианитовых руд // Теоретические и практические проблемы развития современной науки: сборник материалов 6-й международной науч.-практ. конф. –г. Махачкала: ООО «Апробация», 2014 – С. 52-56.

3. Войтеховский Ю.Л., Нерадовский Ю.Н., Гришин Н.Н., и др. Комплексное использование кианита Больших Кейв как нетрадиционного сырья для производства алюминия // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. С. 101-111.

4. Иванова А.Г., Гришин Н.Н., Нерадовский Ю.Н. и др. Комплексная переработка кианитовой руды кейвского месторождения с получением высокоглиноземистого продукта // Инновационные процессы комплексной и глубокой Переработки минерального сырья.– 2013. – С. 470-473.

5. Пат. 2489503 Российская Федерация, МПК С22В 5/10. Способ переработки кианитового концентрата / Гришин Н. Н., Иванова А. Г., Белогурова О. А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук. – № 2012109300/02; заявл. 12.03.2012; опубл. 10.08.2013 Бюл. № 22.

6. Ветюков М.М., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. Электрометаллургия и магнезия.: Учебник для вузов. М.: Metallurgy, 1987. – 320 с.

7. Пат. 2203970 Российская Федерация, МПК С22С1/10. Способ производства алюминиево-кремниевого сплава и других металлов из шихты, содержащей оксид алюминия / Коршунов

8. Е.А., Тарасов А.Г., Арагилян О.А., Третьяков В.С.; заявитель и патентообладатель Коршунов Евгений Алексеевич – № 2001112142/02; заявл. 03.05.2001; опубл. 10.05.2003.

9. US7704443 Carbothermic aluminum production apparatus, systems and methods / Joseph A. Lepish, Gerald E. Carkin / Alcoa, Inc., Elkem As; date of publ. 4.12.2007; declared 27.04.2010.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛАКОВ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Si-Ca-O

И.С. Шарафеева<sup>1</sup>, А.А. Тютрин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студент гр. МЦБ-12-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: ira4340@yandex.ru

<sup>2</sup> доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: an.tu@inbox.ru

Для получения технически чистого кремния необходимо подвергнуть кремнезем восстановлению коксом в руднотермической печи (РТП) при температуре 2000°C. Одним из крупнейших производителей кремния является ЗАО «Кремний» (г. Шелехов, Иркутской обл.). Структура ЗАО «Кремний» образует законченный металлургический цикл производства кремния. По объему производства продукции ЗАО «Кремний» занимает первое место в России (около 30 тысяч тонн кремния). За счет эффективного использования производственных мощностей и повышения производительности труда предприятие развивает производство, уделяя наибольшее внимание производству чистого рафинированного кремния для химической промышленности [1]. После получения кремния в РТП необходимо снизить содержание примесей (Ca, Al, Ti, Fe) для этого проводят окислительное рафинирование [1].

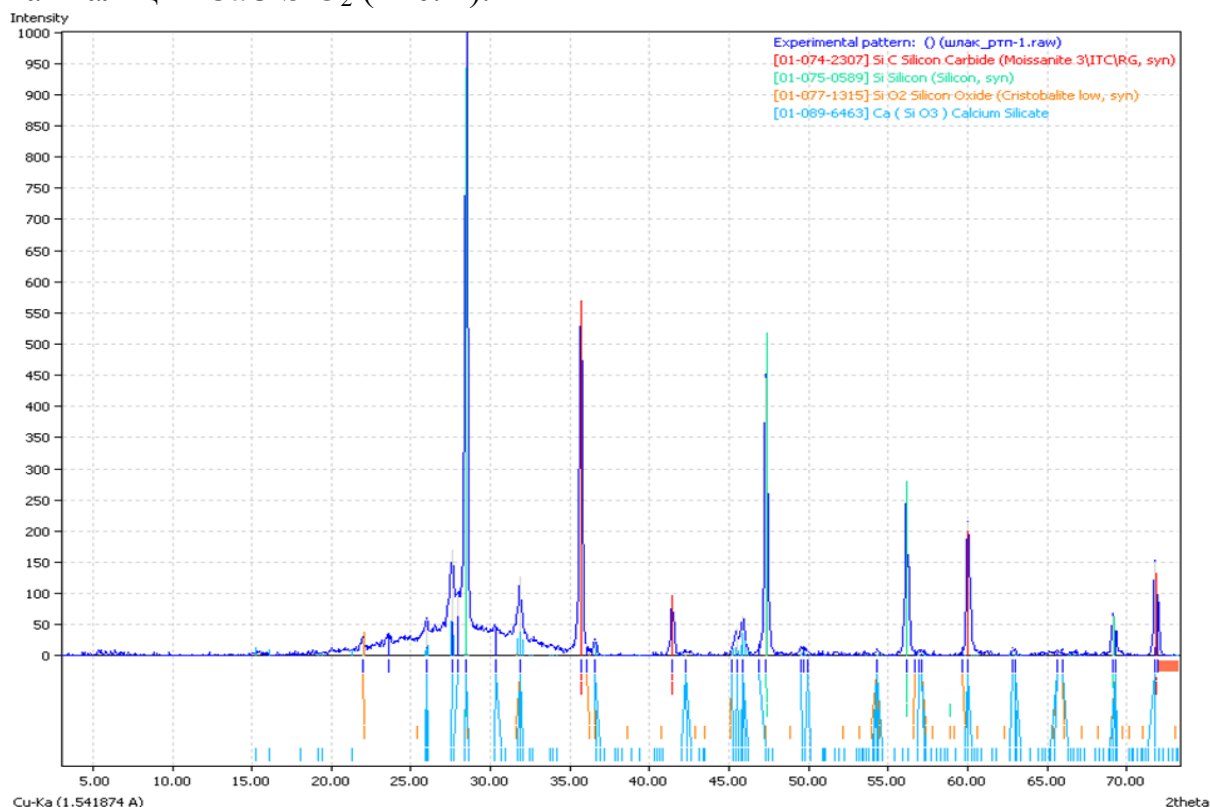
Для изучения механизма кристаллизации кремниевого расплава необходимо исследовать процесс формирования рафинировочного шлака. При рафинировании продувкой воздухом процессы формирования шлака и переход примесей в него играют важную роль для повышения качества рафинированного кремния. Основными составляющими рафинировочного шлака являются оксиды кальция, алюминия и кремния с включениями карбида кремния и корольками собственно кремния (табл. 1). Однако более детальное изучение химического состава шлака показывает, что они имеют более сложный состав [2].

Таблица 1. - Состав шлаков после окислительного рафинирования

Проба	Концентрация, мас. %						
	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$CaO$	$Si_{(мет)}$	$SiC$	$SiO_2$	Другие примеси
1	0,54	4,9	7,7	45,4	2,2	38,4	0,86
2	0,58	3,4	4,6	56,4	2,1	30,9	2,02
3	0,61	5,2	7,2	53,7	2,9	28,4	1,99
4	0,58	2,8	7,5	67,9	0,33	18	2,89
5	0,41	3,5	7,2	56,6	1,1	28,6	2,59
6	0,50	4,1	8,0	52,3	3,06	31,4	0,64

7	0,57	4,8	6,6	48,5	3	34,6	1,93
8	0,38	3,98	5,92	60	2,89	24,6	2,23

В результате проведения рентгенофазового анализа в образцах шлака зафиксированы карбид и оксид кремния, металлический кремний и силикат кальция  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (Рис. 1).



**Рис. 1** – Результаты рентгенофазового анализа

Как видно из Рисунке 1, большое количество кремния в металлическом и оксидном виде теряется со шлаком. Также в шлаке в большом количестве присутствует кальций в виде оксида и силикатов, содержание  $\text{CaO}$  находится в пределах 6-8 мас. %. Ввиду высокого содержания оксидов кремния и кальция, исследование шлака проводится с помощью тройной диаграммы состояния Si-Ca-O. Данная диаграмма изучена недостаточно полно и редко встречается в литературе.

Для ее изучения необходимо воспользоваться программным комплексом «Diatris 1.2». Данная компьютерная программа позволяет построить и проанализировать диаграммы трехкомпонентных систем элементов, а также оксидов, участвующих в окислительном рафинировании кремниевго расплава [3]. Для построения диаграмм состояния трехкомпонентных систем необходимы данные о свойствах системы. Эти данные можно получить из диаграмм состояния бинарных систем.

На данном этапе работы были подобраны необходимые характеристики: температуры плавления компонентов, удельные теплоты плавления

компонентов, число атомов в молекулах компонентов, температуры и концентрации в точках эвтектики двойных систем, сведения образующихся в системе соединениях, плавящихся конгруэнтно и инконгруэнтно.

Диаграмма состояния Si-Ca-O состоит из трех бинарных систем: Si-Ca, Si-O, Ca-O. В системе Si-Ca образуется пять соединений:  $\text{Ca}_2\text{Si}$ ,  $\text{Ca}_5\text{Si}_3$ ,  $\text{CaSi}$ ,  $\text{Ca}_3\text{Si}_4$  и  $\text{CaSi}_2$ . Соединения  $\text{Ca}_2\text{Si}$ ,  $\text{CaSi}$  и  $\text{CaSi}_2$  плавятся конгруэнтно при температурах плавления, соответственно, °C: 880, 1245 и 1000°C. В системе Si-O образуется  $\text{SiO}_2$ , данный оксид плавится при температуре 1700°C. В системе Ca-O присутствует оксид CaO, он плавится при температуре 2600°C. Также при взаимодействии всех компонентов шлака будут образовываться промежуточные соединения:  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  с температурой плавления, соответственно, 2100 и 1510, 1480 и 2040°C [4].

Все полученные данные химических соединений для построения диаграммы системы Si-Ca-O были сведены в Таблицу 2.

Таблица 2. - Сведения о системе Si-Ca-O

№	Формула	Тип плавления	Температура плавления, °C
1	Si		1417
2	Ca		839
3	O		-
4	$\text{SiO}_2$	конгруэнтное	1700
5	CaO	конгруэнтное	2600
4	CaSi	конгруэнтное	1245
5	$\text{Ca}_2\text{Si}$	конгруэнтное	880
6	$\text{Ca}_5\text{Si}_3$	конгруэнтное	900
7	$\text{Ca}_3\text{Si}_4$	инконгруэнтное	1020
8	$\text{CaSi}_2$	конгруэнтное	1000
9	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	конгруэнтное	2100
10	$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	конгруэнтное	1510
11	$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$	инконгруэнтное	1480
12	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	инконгруэнтное	2040

Также одними из основных характеристик бинарных систем являются температуры плавления и составы образующихся эвтектик. В исследуемых системах было зафиксированы эвтектики, представленные в Табл. 3.

Таблица 3. - Эвтектика псевдобинарных систем

№	Формула	Тип плавления	Температура плавления, °C
1	Si		1417
2	Ca		839

3	O		-
4	SiO <sub>2</sub>	конгруэнтное	1700
5	CaO	конгруэнтное	2600
4	CaSi	конгруэнтное	1245
5	Ca <sub>2</sub> Si	конгруэнтное	880
6	Ca <sub>5</sub> Si <sub>3</sub>	конгруэнтное	900
7	Ca <sub>3</sub> Si <sub>4</sub>	инконгруэнтное	1020
8	CaSi <sub>2</sub>	конгруэнтное	1000
9	2CaO·SiO <sub>2</sub>	конгруэнтное	2100
10	CaO·SiO <sub>2</sub>	конгруэнтное	1510
11	3CaO·2SiO <sub>2</sub>	инконгруэнтное	1480
12	3CaO·SiO <sub>2</sub>	инконгруэнтное	2040

На основе подобранных физико-химических характеристик систем Si-Ca-O, преобладающих в кремниевом шлаке, в дальнейшем планируется построение тройной диаграммы плавкости. С помощью данной диаграммы возможно исследовать механизм формирования эвтектических примесных включений в шлаке с учетом выбора первоначальных составов химической смеси и шага изменения (понижения) температуры кремниевого расплава после окислительного рафинирования при его кристаллизации.

#### *Библиографический список*

1. Немчинова Н.В., Клец В.Э. Кремний: свойства, получение, применение: учеб. пособие. – Иркутск, 2008. – 272с.
2. Удалов Ю.П. Морозов Ю.Г. Программа расчета диаграмм плавкости тройных систем Diatris 1.2 (алгоритм, интерфейс и техническое применение) // Диаграммы состояния в материаловедении: сб. трудов 6-ой Международной школы-конф. – Киев, 2001. – С. 121-142
3. Тютрин А.А. Исследование процесса формирования примесей при кристаллизации расплава кремния на основе компьютерного построения тройных диаграмм плавкости // Системы. Методы. Технологии. 2013. №2 (18). С. 110-113.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник в 3 т. / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение. – Т. 1, 1996. – 992 с.; – Т. 2, 1997. – 1024 с.; Т. 3, кн. 1, 2000. – 872 с.; кн. 2, 2000. – 448 с.

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

### СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ КОТЛОВ СУОРК

А.В.Баев<sup>1</sup>, А.А.Мельник<sup>2</sup>

<sup>1</sup> профессор, зав. кафедрой автоматизации производственных процессов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: baew@istu.edu

<sup>2</sup> аспирант кафедры автоматизации производственных процессов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [v32@istu.ru](mailto:v32@istu.ru)

Задача реконструкции теплоиспользующего оборудования на промышленных предприятиях и в энергетической отрасли приобретает всё более актуальный характер. Во-первых, это связано с тем, что значительная часть оборудования не только морально и физически устарела, но и может являться потенциальным источником опасности даже при минимальных отклонениях рабочих параметров от штатных показаний. Во-вторых, прямые (тепловые) и косвенные потери (частый ремонт, замена дорогостоящих узлов) в процессе эксплуатации изношенного оборудования становятся весомыми при оценке себестоимости выпускаемой продукции и снижают рентабельность всего предприятия. Наилучшим решением в этой ситуации является разработка полномасштабных интегрированных АСУ ТП взамен устаревших систем.

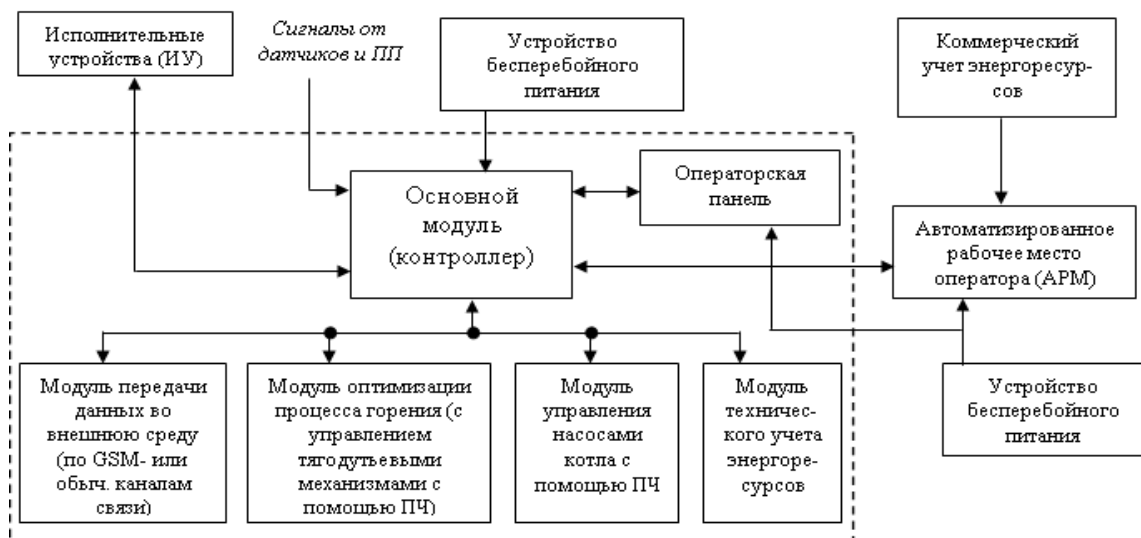


Рис. 1 Общая трехуровневая структурная схема СУОРК



Котлоагрегат является энергетической установкой, в процессе эксплуатации которой с высокой динамикой изменяются связанные между собой технологические параметры. СУОРК позволяет оптимизировать эти параметры по экономическим, экологическим, эргономическим и прочим показателям.

К основным функциям относятся:

- сбор данных от установленных датчиков и первичных преобразователей; контроль состояния и исправности датчиков;
- обработка информации, автоматическое регулирование и управление в реальном режиме времени по заданным алгоритмам во всех режимах работы;
- непрерывная диагностика подключенного оборудования и самодиагностика;
- организация предупредительной и аварийной сигнализации;
- обмен информацией с верхним уровнем системы.

Надежность системы обеспечивается:

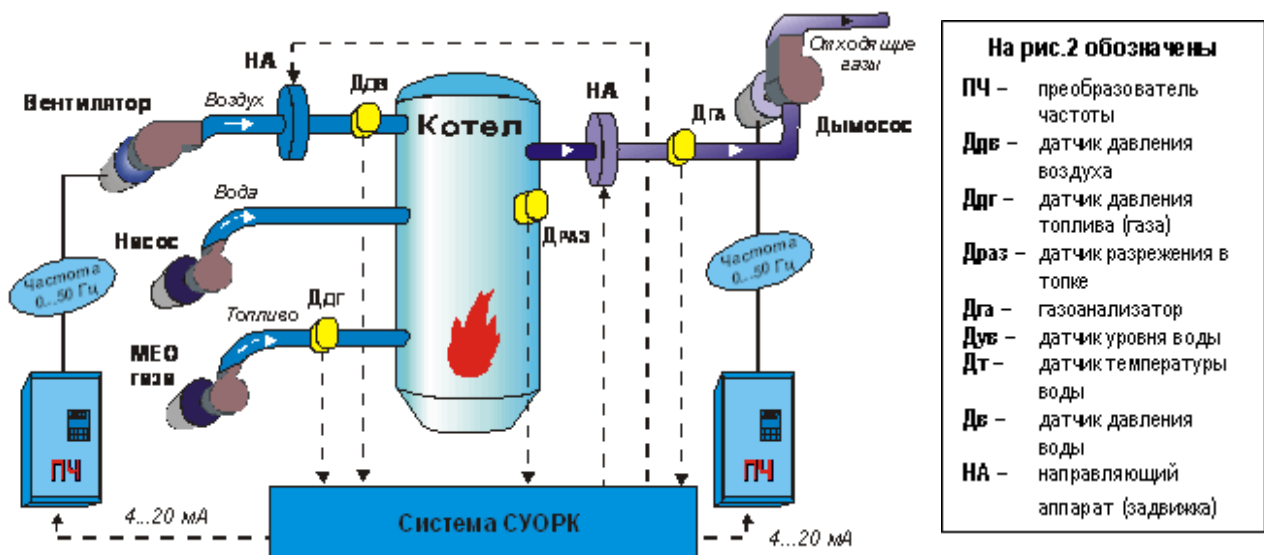
- высокой надежностью отдельных применяемых элементов системы (контроллеров, релейно-контакторной аппаратуры, датчиков);
- компоновкой системы, направленной на повышение ее «живучести»;
- применением средств защиты от промышленных помех;
- применением соответствующего программного обеспечения;
- самодиагностикой системы во всех режимах работы.

Применение преобразователей частоты позволяет получить комплексное решение по автоматизации и оптимизации процесса горения.

При установке преобразователей частоты устройства, регулирующие подачу воздуха (направляющие аппараты, задвижки), полностью открываются. При этом управление производительностью тягодутьевых устройств осуществляется с помощью преобразователей путем изменения частоты вращения ротора приводных электродвигателей.

Управление пуском преобразователя частоты — плавное с программно-задаваемой скоростью изменения выходной частоты и напряжения без броска пускового тока (с возможностью автоподхвата частоты вращения механизма при восстановлении параметров питающего напряжения).

Сигнализация и индикация в преобразователях частоты непрерывная с помощью встроенного пульта управления преобразователей частоты основных параметров работы привода (выходная частота, ток в нагрузке, напряжение, потребляемая мощность, текущее значение технологического параметра и т. д.) Диагностика аварийного отключения электропривода с индикацией и энергонезависимым запоминанием причин последних 5 отключений.



Комплекс технических средств СУОРК является материальной базой, на основе которой в совокупности с программой, составленной в соответствии с алгоритмами функционирования котла, реализуются задачи управления технологическим процессом.

#### *Библиографический список*

1. <http://www.elprom-rit.com/> ООО «Техноэлектро». Системы управления и оптимизации работы котлов СУОРК серий Е, ДЕ, ДКВР, К, КВ, КВГМ, ГМ, БКЗ, ПТВМ.

## **РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОЙ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА ИЗ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ**

**Блинов Н.И.<sup>1</sup>, Мельник С.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент кафедры АПП ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: bni-1993@mail.ru

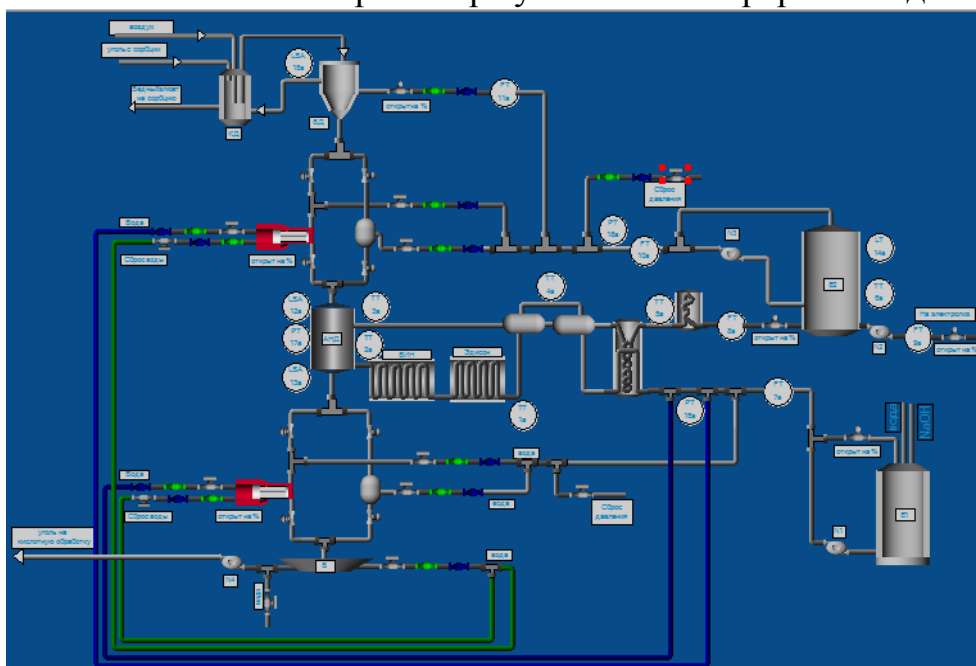
<sup>2</sup> программист кафедры АПП ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: ic-energo@ya.ru

Компьютерные тренажеры или симуляторы — это имитаторы, компьютерные или механические, которые управляют каким-либо процессом, аппаратом или транспортным средством. Можно также сказать что, компьютерный тренажер — это средство эффективного обучения, с помощью которого можно повысить качество учебного процесса.

Компьютерный тренажер для оператора процесса включает в себя:

- реализацию указанных моделей в режиме имитации (или динамического моделирования) с использованием специальных методов численного решения систем дифференциальных уравнений;
- воссоздание рабочего места оператора технологического процесса, подобного (психологически и, отчасти, физически) его рабочему месту в реальном процессе, включая организацию операторского интерфейса и органов управления;
- создание соответствующего рабочего места инструктора обучения, осуществляющего контроль и управление тренингом;
- наличие методической и дидактической базы компьютерного обучения, учитывающей специфику процессов принятия решений, обучения и переноса навыков операторами ТП;
- разработку методов анализа и оценки результатов тренинга, методов тарификации и сертификации операторов по результатам обучения на тренажерах.

Тренажер установки непрерывной десорбции золота из активных углей предназначен для обучения операторов ЗИФ работе на установке, позволяет имитировать технологический процесс десорбции в различных режимах и выполнять отработку действий в аварийных ситуациях. На Рисунке 1 показана мнемосхема тренажера установки непрерывной десорбции.



**Рис.1** - Мнемосхема установки непрерывной десорбции

В качестве программной среды для разработки тренажера используется SCADA-система Trace Mode 6. Программный комплекс позволяет реализовать модель процесса в имитационном режиме с возможностью визуализации технологической линии и средств АСУ ТП. Кроме того, система

сохраняет действия оператора, отправляя данные в архив, по которым впоследствии можно оценить их адекватность.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОВОРОТНОЙ КАМЕРЕ КОТЛА НА ДАВЛЕНИЕ В ТОЧКЕ 122

А.А. Котов<sup>1</sup>, А.А. Ермаков<sup>2</sup>, В.Г. Хапусов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>студент гр. АТП-10 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г.Иркутск.

<sup>2</sup>студент гр. АТП-10 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г.Иркутск.

<sup>3</sup>д.т.н., профессор института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г.Иркутск.

Экономичное горение в котлоагрегате требует поддержания разрежения в топке на оптимальном уровне. Тяга (снижение давления в дымовом канале котлоагрегата) создается вытяжными устройствами, а высота дымовых труб достигает 400 метров.

В данном случае воздушный тракт находится под давлением, а газовый тракт под разрежением.

Тяга дымовой трубы рассчитывается по следующей формуле:

$$Q = C A \sqrt{2 g H \frac{T_i - T_e}{T_i}}$$

= дымовая тяга/поток тяги, м<sup>3</sup>/сек

= сечение дымовой трубы, м<sup>2</sup>

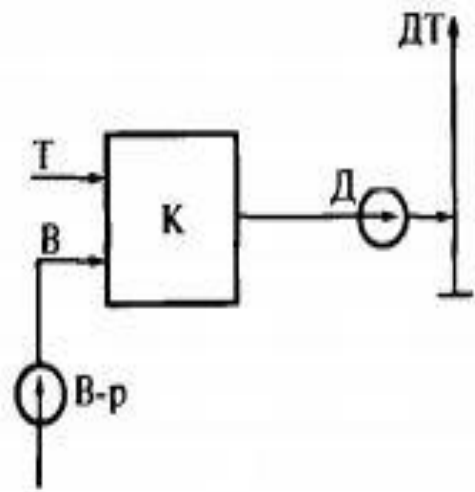
= коэффициент расхода (обычно берётся от 0,65 до 0,70)

= ускоренное свободное падение, 9,807 м/сек<sup>2</sup>

= высота трубы, м

= средняя температура внутри трубы, К

= температура наружного воздуха, К



**Рис.1.** Схема организации подачи воздуха и удаления продуктов горения

Изменение атмосферного давления влияет на создаваемую тягу внутри топки. Чем ниже атмосферное давление тем выше тяга в дымовой трубе, следовательно, создается избыточное разрежение в котле, что понижает эффективность горения, поскольку это приводит к большим подсосам воздуха в топку и газоходы, в результате понижается температура в зоне горения. Недостаток тяги может быть причиной неполного сгорания топлива в котле.

Для исследования влияния температуры в поворотной камере на давление в точке 122 были использованы данные (750 значений) считанные с непрерывных записей с 10-секундным интервалом. Чтобы проследить динамику различных каналов связи между параметрами был произведен корреляционный и регрессионный анализ. Сущность анализа заключается в определении степени вероятности связи между двумя случайными величинами.

Таблица 1. Выборочная взаимно-корреляционная функция  $R_{xy}(k)$ , для наблюдаемых данных

X	Y	MAX	$R_{xy}(k)$					
$T_{справа}$	$P_{T.122}$	118-123	0,302774	0,304650	0,305079	0,304390	0,302248	0,301901
$T_{слева}$			0,240733	0,239409	0,240472	0,239528	0,240193	0,238603

Таблица 2. Выборочная взаимно-корреляционная функция  $R_{xy}(k)$ , после предварительного выравнивания спектра по данным.

X	Y	MAX	$R_{xy}(k)$					
$T_{справа}$	$P_{T.122}$	118-123	0,302774	0,304650	0,305079	0,304390	0,302248	0,301901
$T_{слева}$			0,240733	0,239409	0,240472	0,239528	0,240193	0,238603

Были использованы модели Бокса - Джинкинса :

$$y_t = \delta^{-1} B \omega B * x_{t-b} + n_t,$$

где  $B$  – оператор сдвига назад на один шаг.

В итоге исследования для выровненных временных рядов, получены уравнения регрессии:

Слева:

$$Y_t = 0.114x_{t-120} + 0.333n_{t-1} + 0.232n_{t-2} + 0.237n_{t-3} + 0.111n_{t-4} + a_t - 0.552a_{t-1}$$

Справа:

$$Y_t = 0.116x_{t-120} + 0.385n_{t-1} + 0.180n_{t-2} + 0.187n_{t-3} + 0.117n_{t-4} + a_t - 0.558a_{t-1}$$

Статистический анализ коэффициентов регрессии с использованием критерия Стьюдента показала их значимость.

Для исследования адекватности модели исследуют остатки, представляющие собой разности наблюдаемых значений и значений, предсказанных с помощью модели.

В правильно подобранной модели остатки похожи на белый шум: в них нет периодических колебаний, систематического смещения, между ними не наблюдается сильных корреляций. Во многих случаях предпочтительнее оценить неадекватность модели по совокупному критерию согласия.

Остаточные автокорреляции вычисляются по остаточным ошибкам  $a_t$ , соответствующим оценкам наименьших квадратов, согласно формуле:

$$r_{aa}(k) = C_{aa}(k)/C_{aa}(0)$$

Наконец статистика  $Q = n \sum_{k=1}^k r_{aa}^2(k)$  сравнивается с  $X^2$  – распределением с  $\nu = K-p-q$  степенями свободы.

Если полученная модель удовлетворительна, то  $Q < X^2$ . В нашем случае коэффициенты регрессии, равные 17,70 и 8,48 меньше табличных значений, следовательно, они являются адекватными.

#### *Библиографический список*

1. Хапусов, В.Г. Моделирование систем: Учебное пособие по практическим занятиям. - Иркутск: Изд-во Иркутского госуд. технич. унив-та, 2010. – 89с.
2. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для нач. проф. образования /Б. А. Соколов. — 6-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 432 с.
3. Инструкция по эксплуатации котла БКЗ-420-140-6.

### **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА АСУ ТП**

**О.В Лазарева<sup>1</sup>, Е.А.Медунова<sup>2</sup>, М.И.Капитонова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>к.т.н, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, ИрГТУ. тел.:(3952)40-55-19, e-mail: lov\_2126@mail.ru

<sup>2</sup>студент гр. АТб-11-2 ИрГТУ, e-mail: medna2008@mail.ru

<sup>3</sup>студент гр. АТб-11-2 ИрГТУ, e-mail: kapitnvamasha@gmail.com

Определение показателей надежности информационно-измерительного канала (ИК) по внезапным и постепенным отказам осуществили на примере учебно-исследовательского стенда для изучения вторичной аппаратуры, АСУ ТП и промышленных информационных сетей.

Основная конфигурация стенда, предназначенная для построения сетей из функциональных устройств, по своему составу типична для ИК АСУ ТП. В нее входит:

- регистратор видеографический Элметро-ВиЭР с интерфейсами CAN и Ethernet;
- канал ввода-вывода многоканальный Элметро-МВВ с математической обработкой, шинами RS- 485 и Ethernet;
- преобразователь температуры Метран-286 с аналоговым токовым выходом и HART протоколом.

В Таблице 1 приведены основные характеристики надежности компонентов ИК.

Таблица 1. - Показатели надежности элементов

Тип элемента	Экспоненциальное распределение				Нормальное распределение		
	Интенсивность отказа $\lambda$ , 1/ч	СКО $\sigma \cdot 10^{-4}$	Время наработки на отказ $t_n$ , ч	Вероятность безотказной работы P	СКО $\sigma \cdot 10^2$	Квантиль нормального распределения U	Вероятность безотказной работы P
Регистратор видеографический ЭЛМЕТРО-ВиЭР	0,000025	0,083	40000	0,952	80	4,753	0,9999
Преобразователь температуры МЕТРАН-286	0,0005	1,67	2000	0,8	4	0,06	0,523

Вероятность безотказной работы (ВБР) системы с расчлененной структурой и последовательным соединением элементов рассчитывали за время, равное межповерочному интервалу  $t_{МПИ} = 1976$  ч. Номинальный годовой фонд рабочего времени оборудования в часах при работе в одну смену:  $t_{МПИ} = F_n^n \times t_{см}$ ;

где  $F_n^n$ - количество полных рабочих дней ( $F_n^n = 247$  дней);  $t_{см}$ - продолжительность рабочей смены, ч. ( $t_{см} = 8$ ч.)

Для большинства устройств и систем показатели надежности определяются как функции времени, считая, что их жизненный цикл равен времени от начала эксплуатации до ее прекращения. Таким образом, средний ресурс  $t_{ср.р}$  приравнивают к средней наработке на отказ  $t_n$ .

Интенсивность отказов элементов:  $\lambda_i = \frac{1}{t_{ни}}$ .

Среднеквадратическое отклонение (СКО) ВБР при внезапных отказах определяется по формуле:  $\sigma_i = \frac{\lambda_i}{3}$ .

Для восстанавливаемых элементов справедлив экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы, при котором надежность элементов определяется по формуле:  $P_i(t) = e^{-\lambda_i \cdot t}$ .

Вероятность безотказной работы ИК ( $P_c$ ) по внезапным отказам при условии, что отказы элементов независимы:

$$P_c \cdot t = \prod_{i=1}^n P_i \cdot t = 0.762$$

где n- количество устройств, образующих систему.

В случае возникновения постепенных отказов изменение характеристик надежности большинства объектов подчиняются нормальному закону распределения ВБР. По характеру проявления постепенные отказы являются скрытыми и могут быть выявлены только по результатам периодического контроля функционирования объекта.

При нормальном законе распределения ВБР СКО  $\sigma_i \leq 0,2 \cdot t_{ср.р}$

Вероятность безотказной работы элементов за время  $t_n = t_{МПИ}$ :

$$P_i(t_n) = F(U),$$

где  $F(U)$  - табулированная функция [1];  $U$  - квантиль нормального

распределения:  $U_i = \frac{t_{ср.р.i} - t_n}{\sigma_i}$ .

Значения  $U_i$  и  $P_i(t_n)$  приведены в таблице 1.

Вероятность безотказной работы ИК при постепенных отказах:

$$P_c \cdot t = \prod_{i=1}^n P_i \cdot t = 0.522$$

Таким образом, расчеты показывают, что основное влияние на надежность информационно-измерительных каналов АСУ ТП оказывают постепенные отказы входящих в них элементов.

### *Библиографический список*

1. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.В. Надежность машин. М.: Высшая школа,- 1988.- 240 с.



# ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЛОМ ТПП-110 ЭНЕРГОБЛОКА МОЩНОСТЬЮ 300 МВт

Медунова Е.А.<sup>1</sup>, Капитонова М.И.<sup>2</sup>

НИ ИрГТУ, кафедра Автоматизации технологических процессов

<sup>1</sup>студент гр. АТб-11-2, medna2008@mail.ru

<sup>2</sup>студент гр. АТб-11-2, kapitnvamasha@gmail.com

Тренажер предназначен для обучения персонала управлению технологическими процессами, протекающими в котле ТПП-110, с помощью программно-технического комплекса. Он реализован средствами вычислительной техники и представляет собой объединение ПТК и модели котла. Тренажер не имеет модулей ввода сигналов от датчиков и вывода команд. Модель реализуется на персональном компьютере в реальном масштабе времени.

С помощью тренажера можно обучить оперативный технологический персонал работе с ПТК перед его внедрением, ведению процессов на котле, диагностике технологических ситуаций и управлению в пусковых и аварийных режимах, а персонал АСУ ТП - обслуживанию ПТК.

Тренажер позволяет освоить:

- представление на операторских станциях значений аналоговых переменных, предупредительной и аварийной сигнализации, состояний дискретных переменных (арматуры, двигателей и др.);
- управление регулирующими органами, арматурой, двигателями;
- переключение режимов управления.

Для реализации контроллеров используются два компьютера, в каждом из которых работают программы, выполняющие обработку входных и выходных сигналов четырех контроллеров. В этих компьютерах реализованы функции первичной обработки информации и дистанционного управления.

Структурная схема технических средств тренажера является двухуровневой. На нижнем уровне вместо контроллеров используются компьютеры, в которые загружаются программы, аналогичные программам контроллеров. Вместо считывания кодов с модулей преобразования входных сигналов датчиков программы получают коды этих сигналов от компьютера, в котором программно реализована модель котла. В состав нижнего уровня тренажера помимо компьютеров-контроллеров входят также концентратор, инженерная станция и компьютер, в котором запрограммирована модель котла. Концентратор предназначен для сбора информации от контроллеров, передачи ее в модель котла и на верхний уровень, в сервер. Инженерная станция обеспечивает предоставление текущей, архивной и

диагностической информации инженеру ПТК.

Верхний уровень тренажера включает сервер, получающий информацию из концентратора, и операторские станции. Кроме того, в описываемую схему входят сетевые коммутаторы, обеспечивающие передачу информации между компьютерами.

При включении тренажера из имитатора в контроллеры однократно передаются значения управляющих воздействий и номер режима, который заказан в качестве начального. В файле имитатора задается более 400 значений управляющих воздействий. По номеру режима, переданному в модель, в ней устанавливаются начальные значения рассчитываемых переменных, согласованные с начальными значениями управляющих воздействий. В состав управляющих переменных входят значения указателей положения регулирующих органов и задвижек, а также состояния двигателей. В модели котла выполняется расчет значений переменных котла. Рассчитанные в модели значения передаются в контроллеры. После обработки в контроллерах все переменные передаются в концентратор. Из концентратора переменные передаются в инженерную станцию, в сервер верхнего уровня и модель котла. Из сервера переменные поступают в операторские станции для отображения на видеокадрах.

Высокая точность модели котла обеспечивается учетом всех его элементов, использованием только конструктивных и расчетных исходных данных и решением единой системы уравнений, описывающих тепловые и гидравлические процессы в этих элементах.

Разработанные процедуры функционирования тренажера позволяют подключать модель к ПТК при непосредственной работе на объекте. В этом режиме модель котла будет получать реальные управляющие воздействия, а вычисленные с ее помощью значения переменных значительно расширят информационные возможности системы.

## **Выводы**

1. В тренажере полностью реализованы все функции ПТК, что позволяет персоналу освоить отображение информации и дистанционное управление на новых технических средствах ПТК перед их внедрением.
2. Тренажер дает возможность обучать персонал управлению котлом, а также обслуживать информационное и программное обеспечения ПТК.
3. Разработанная всережимная динамическая модель котла может быть использована для расширения информационных возможностей ПТК, работающего непосредственно на объекте.

### *Библиографический список*

1. Иванов А.П. Программное обеспечение моделирования динамических процессов в теплоэнергетических установках при глубоких возмущающих воздействиях. Теплоэнергетика. 1988. С. 36—38.
2. Рубашкин А.С., Вербицкий В.Л., Рубашкин В.А. V: Методы моделирования технологических процессов, происходящих в энергетическом оборудовании. Теплоэнергетика. 2003. С. 44—48.
3. Френкель А.Я., Забелина Л.Г. Методика и результаты экспериментальной оценки точности нелинейной динамической модели энергоблока мощностью 1 200 МВт. Теплоэнергетика. 1987. С. 38—43.

### **ВИРТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В АСУТП ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**А.А.Мельник<sup>1</sup>, Г.А. Олзоев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> аспирант кафедры автоматизации производственных процессов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [v32@istu.ru](mailto:v32@istu.ru)

<sup>2</sup> студент кафедры автоматизации производственных процессов ИрГТУ, e-mail: [belg.ok@mail.ru](mailto:belg.ok@mail.ru)

Понятие виртуального прибора (ВП) за последние годы прочно вошло в лексикон научно-технической литературы. Широким распространением этого термина мы обязаны американской фирме National Instruments и ее программному продукту Labview. Широкое промышленное применение получили ВП вибродиагностики оборудования.

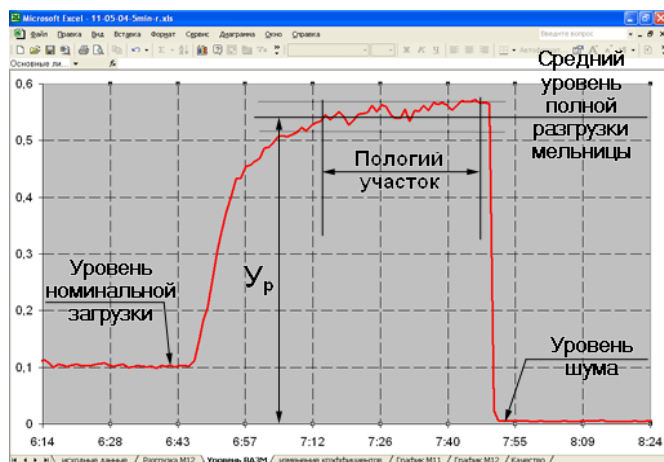
Виртуализация с использованием сложной математической обработки сигналов наиболее эффективна для приборов, где измеряемый параметр вычисляется на основе показаний нескольких датчиков. Вычислительные ресурсы современных процессорных устройств дают возможность одновременно анализировать несколько компонентов шумового поля – акустического, вибрационного и электрического, что позволяет применять один и тот же прибор практически для любых типов мельниц, отличающихся типами футеровки и мелющих тел. [1].

Описанные идеи заложены при разработке виброакустического анализатора загрузки мельниц ВАЗМ-1, который, по сути, является виртуальным прибором, анализирующим шумовые сигналы различной природы и формирующим некий относительный или абсолютный показатель, характеризующий объемное заполнение мельницы.

Встроенное программное обеспечение анализатора ВАЗМ-1 разработано на основе программного пакета LabVIEW фирмы National Instruments и реализует следующие функции:

- визуальное представление входного сигнала (аналог осциллографа);
- визуальное представление спектра сигнала;
- измерение уровня сигнала (интегральное значение) в полном диапазоне частот (общий уровень сигнала);
- измерение уровня сигнала (интегральное значение) в пяти, выбранных пользователем, частотных поддиапазонах;
- измерение амплитуды максимума спектра и его частотного положения;
- расчет частоты перехода сигнала через нулевой уровень (частоты Райса).

Программное обеспечение анализатора формирует также архив временных трендов, отражающих динамику изменения параметров входных сигналов, который является доступным серверу верхнего уровня АСУ ТП. Сформированный архив трендов, в совокупности с архивом трендов технологических параметров, может быть использован в структуре АСУ ТП для оптимизации параметров технологического процесса измельчения.



**Рис. 1**

На Рис. 1 приведен процесс разгрузки мельницы при прекращении подачи руды. Сначала уровень акустического шума возрастает, достигая состояния близкого к стационарному и соответствующему полной разгрузке. Далее после выключения привода мельницы сигнал опускается до уровня естественного шума. Фиксирование значений сигнала на уровне полной разгрузки и уровне естественного шума и соответствующая подстройка шкалы, как показала практика, позволяет обеспечить требуемую воспроизводимость показаний при износе футеровки и изменении шумового фона. При работе в составе АСУ ТП процесс подстройки может выполняться автоматически без участия оператора.

Более сложным является процесс градуировки прибора, то есть приведение его шкалы к реальным значениям объемного заполнения. Практически невозможно напрямую измерить количество материала, находящегося в данный момент в мельнице. В этом случае можно воспользоваться

косвенными методами. Для этого используется методика определения запаса в мельнице и классифицирующем аппарате. [2]. Если прибор работает в составе АСУ ТП, где имеются дополнительно датчики расходов и плотностей, то опять же можно воспользоваться процессом естественной разгрузки по рис. 2. По расходу воды в измельчительный комплекс и плотности слива классифицирующего аппарата можно оценить расход твердого из циркулирующего контура за время разгрузки.

Вычисленные значения отображаются на экране дисплея рабочего места оператора, обеспечивая оператору возможность управления и контроля за технологическими параметрами. Вместе с тем данные используются для решения следующих задач:

- автоматическое регулирование руды, поступающей последовательно в мельницу на измельчение;
- автоматическое регулирование расхода дробящей среды;
- автоматическое формирование сменных и суточных отчетов.

#### *Библиографический список*

1. Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я., Ганбаатар З., Дэлгэрбат Л. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых.
2. Улитенко К.Я., Маркин Р.П. Определение циркулирующей нагрузки измельчительных агрегатов в АСУ ТП. «Обогащение руд» 2005 г. № 2

### **ОСВОЕНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ И ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Носенко А.А.<sup>1</sup>, Половнева С.И.<sup>2</sup>, Мамин Т.Р.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>[alexnosenko@rambler.ru](mailto:alexnosenko@rambler.ru)   <sup>3</sup>[timurmamin@yandex.ru](mailto:timurmamin@yandex.ru)

ИрГТУ, кафедра автоматизации производственных процессов

Рассмотрена методика определения удельной поверхности на анализаторе Сорби-М, и приведены результаты измерения параметра образца гидроксида алюминия.

Дисперсные и пористые материалы находят широкое применение в различных отраслях современной промышленности, например, в химии, нефтехимии, гидрометаллургии, биологии и медицине, защите окружающей среды. И во всех этих областях пористые и высокодисперсные материалы выступают в качестве ключевых элементов: катализаторов, адсор-

бентов, биологически активных компонентов и элементов высоко интегрированных электронных приборов.

НИЛ “Системы измерений и АСУ ТП кафедры АПП, получен анализатор удельной поверхности Сорботметр-М фирмы SORBI<sup>®</sup>, который позволяет измерить удельную поверхность дисперсных и пористых материалов в диапазоне 0,01–2000 м<sup>2</sup>/г., с пределом допускаемой относительной погрешности измерений ± 6%. В состав анализатора входят: станция подготовки образцов SorbiPrep<sup>®</sup>, которая служит для термотренировки образца (сушки проб), сорботметр, программное обеспечение. Газом носителем является гелий, адсорбатом – азот. Задание необходимого значения  $p/p_0$  осуществляется установлением соответствующего соотношения расходов газа-носителя и газа-адсорбата автоматически. Доля азота напрямую связана с отношением  $p/p_0$ .

Испытуемая проба помещается в ампулу, непрерывно продуваемый потоком газовой смеси при атмосферном давлении, состоящей из газа-адсорбата и газа-носителя. Ампула с образцом охлаждается до температуры кипения жидкого азота и выдерживается до установления динамического равновесия, после чего осуществляется нагрев образца и измерение изменения концентрации десорбированного газа-адсорбата

Методика включает, следующую последовательность операций:

1. Взвесить пробу помещенную в пробирку, с учетом диапазона измерений анализатора
2. Выполнить сушку на станции подготовки образцов (2-2.5 часа)
3. Включить компьютер, загрузка ОС.
4. Подача газа-носителя и газа-адсорбата (открыть вентили газовых баллонов с гелием и азотом, установить с помощью редукторов выходное давление 0.3 МПа.)
5. Включить прибор. После успешной загрузки внутреннего программного обеспечения прибор издает два двойных звуковых сигнала.
6. Проверить наличия газового потока на выходе.
7. Запустить программу.
8. Залить жидкий азот в сосуд Дьюара.
9. Установить держатель с ампулой, содержащей исследуемый образец
10. Запустить измерение
11. Дождаться окончания измерения
12. При необходимости, сформировать и распечатать необходимые отчеты
13. Если работа с прибором завершена, выполнить выливку жидкого азота
14. Выключить прибор.
15. Закрыть программу Sorbi-M.

## 16. Закрывать вентили газовых баллонов с гелием и азотом

Расчет удельной поверхности осуществляется автоматически по уравнению БЭТ [1]. Первые измерения были выполнены на ГСО 77 (Рис.1).

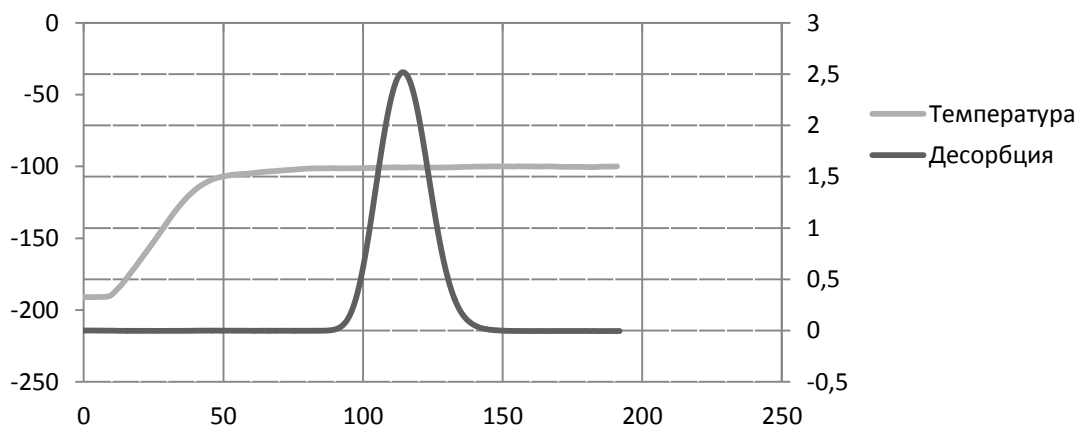


Рис. 1 График изменения температуры и процесса десорбции при относительном давлении адсорбата  $P/P_0=9\%$

Результаты измерения эталонного образца показали хорошую сходимость результата, удовлетворительную погрешность измерения, а так же общее время измерения (с термотренировкой образца) составило 2-2.5 часа, расход жидкого азота на одну пробу составил  $0,5 \text{ дм}^3$ .

### *Библиографический список*

1. Гаврилов В.Ю. Физико-химические основы адсорбционного анализа дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Изд. НХТК, 2007. - 67с.
2. Сорби-М. Руководство по эксплуатации. – Новосибирск: МЭТА, 2014. - 56 с.

## **ТЕОРЕТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ МЕТОД ВЫВОДА ФОРМУЛ**

**Л.М. Ознобихин<sup>1</sup>, А.А. Александрова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов ИРНИТУ;

<sup>2</sup> студентка гр. АТб-12-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова

Открытие на рубеже XIX и XX столетий рассуждений, совершенно справедливых с интуитивной точки зрения, но приводящих, тем не менее, к противоречиям, прозвучало как взрыв бомбы. Непротиворечивость Математики ещё следовало доказать. Усилиями Давида Гильберта и других выдающихся математиков была создана новая математическая наука, названная Метаматематикой или Математической логикой.

Теория моделей – одна из 4-х составных частей Математической логики – реализация программы Д. Гильберта, в рамках которой удалось доказать непротиворечивость неевклидовой геометрии (основание теории относительности). Эта непротиворечивость – следствие непротиворечивости евклидовой геометрии. Последняя непротиворечива, если непротиворечива Арифметика. В середине XX века непротиворечивость арифметики была доказана Новиковым.

Однако шестая проблема Гильберта (аксиоматизация физики) и доказательство непротиворечивости (хотя бы некоторых разделов) теоретической физики остается открытым вопросом.

Рассмотрим применение гомоморфизмов в теории моделей.

Пусть  $T_A, T_B$  – формальные теории (т.е. множества формул);

$M_A, M_B$  – содержательные (т.н. экспериментальные) теории, называемые моделями;

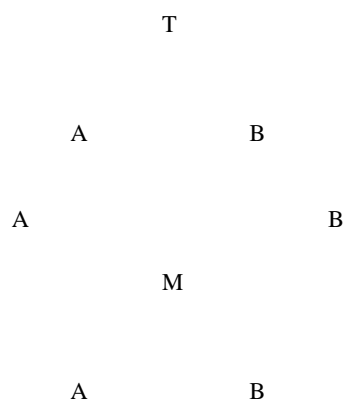
отображения  $I_A, I_B$  – интерпретации (формальных теорий в содержательные),

то есть  $I_A : T_A \rightarrow M_A, I_B : T_B \rightarrow M_B$ .

Отображения  $F^T, F^M$  – гомоморфизмы,

то есть  $F^T : T_A \rightarrow T_B, F^M : M_A \rightarrow M_B$ .

Тогда теоретико-модельный метод изображается коммутативной диаграммой:



Напомним, что гомоморфизм – это отображение  $F$ , для которого, в частности, справедливо:

- 1)  $F(f(x_1, \dots, x_n)) = f(F(x_1), \dots, F(x_n))$ , где  $f$  –  $n$ -арная функция;
- 2)  $(x_1 = x_2)$  влечет  $F(x_1) = F(x_2)$ .



Изоморфизм – это взаимно однозначный гомоморфизм.

Если  $A=B$ , то изоморфизм называют автоморфизмом.

Множества, на которых определены значения переменных и операций теории, обозначается теми же буквами, что и обозначения теорий, если это не вызывает недоразумений.

Теория называется противоречивой, если в этой теории выводима некоторая формула  $\varphi$  вместе с отрицанием этой формулы  $\neg \varphi$ .

$T \vdash \varphi$  означает, что формула  $\varphi$  выводима в теории  $T$ .

$M \models \varphi$  означает, что формула  $\varphi$  выполнима в модели  $M$  при интерпретации  $I$ .

Вывод.

Из определения гомоморфизмов (изоморфизмов или автоморфизмов) видно, что эти отображения сохраняют истинность формул!

Таким образом, гомоморфизмы можно использовать в качестве правил вывода в теориях или метатеориях.

То есть полагаем, что если  $\varphi$  – истинно,  $F$  – некоторый гомоморфизм, то  $F(\varphi)$  – истинно.

#### *Библиографический список*

Машнич В.И., Ознобихин Л.М., Дударев В.И. Непротиворечивая теория адсорбции //Журнал «Вестник Иркутского государственного технического университета».-2012., №6(65).- С.109-116.

### **ПОВЕРКА ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ**

**Осипенко Я.В.<sup>1</sup>, Агеева А.С.<sup>2</sup>, Половнева С.И.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> [yana\\_521315@mail.ru](mailto:yana_521315@mail.ru) <sup>2</sup> [josefsnaras@mail.ru](mailto:josefsnaras@mail.ru)

ИрГТУ, кафедра автоматизации производственных процессов

Оптические пирометры и тепловизоры применяют для дистанционного контроля температуры объектов теплоэнергетики, ЖКХ, металлургии.

Принцип действия пирометров основан на детектировании невидимого инфракрасного излучения, испускаемого всеми предметами. Инфракрасное излучение-это часть электромагнитного спектра, расположенного между видимым светом и радиоволнами с длиной волны 0,7-1000 мкм[2]. В температурных измерения на практике используется полоса 0,7-14 мкм.

Оптико-электронный прибор, предназначены для бесконтактного наблюдения, измерения и регистрации пространственно-

го/пространственно-временного распределения радиационной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора, путем формирования временной последовательности термограмм и определения температуры поверхности объекта по известным коэффициентам излучения и параметрам съемки.

Все оптические пирометры подлежат ежегодной поверке, согласно ГОСТ 8.395 и требования эксплуатационных документов на тепловизоры определенного типа[1]. Для градуировки и поверки пирометров в температурном диапазоне от 50 до 500°C можно использовать образцовый излучатель абсолютно-черного тела (АЧТ). Абсолютно черное тело-это идеальная модель, излучающая максимально возможную энергию, коэффициент абсолютно черного тела =1, а для реальных объектов он всегда меньше 1. Излучательная способность абсолютно черного тела подчиняется закону Планка[3].

НИЛ кафедры АПП «Системы измерения и АСУ ТП» получен образцовый излучатель абсолютно черное тело ОИ АЧТ «Медая», на котором возможна поверка и калибровка тепловизионных измерительных приборов.

Образцовый излучатель АЧТ «Медая» состоит из излучателя, блока управления и набора соединительных кабелей **Рис.1**.

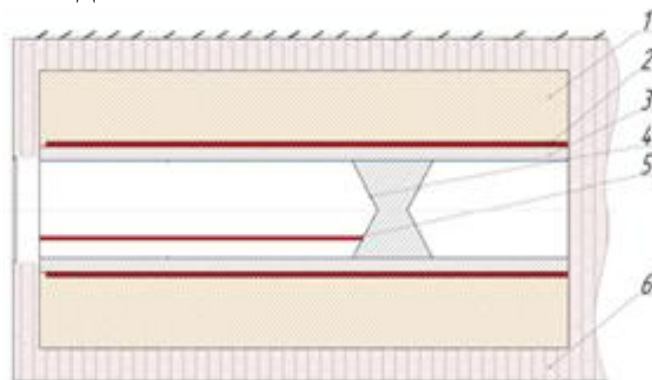


Рис. 1. Излучатель

1- теплоизоляция; 2 - нагреватель; 3 - металлическая труба;  
4 - две полости излучателя; 5 - чувствительный элемент; 6 - корпус

Блок управления предназначен для управления тепловым режимом излучателя. Регулирование температуры излучающей полости осуществляется регулятором JUMO dTron 308 по ЭТС. БУ выполнен отдельным блоком, что удобно при расположении его относительно оператора. Он имеет защиту от коротких замыканий силовых цепей, защиту от перегрева нагревательного элемента, защиту от обрыва и замыкания термоэлектрического преобразователя.

Основные функции БУ:

1. нагрев излучателя до требуемой температуры в интервале от 50 до 500 °С;
2. поддержание заданной температуры излучателя в течение неограниченного времени;
3. сигнализация (световая и звуковая) о готовности излучателя к измерению.

Основные технические характеристики.

Таблица 1. - Основные технические и метрологические характеристики

Диапазон температур, воспроизводимых АЧТ, °С	50÷500
Дискретность цифровой индикации температуры, °С	0,1
Доверительная погрешность меры, °С ▪ для 1-го разряда	0,64÷1,9
Параметры излучающей полости абсолютно черного тела: ▪ диаметр входного отверстия, мм ▪ расстояние от излучающего дна АЧТ до лицевой панели излучателя, мм ▪ эффективная степень черноты	70 470 0,998
Погрешность поддержания температуры в стационарном режиме, °С	±0,2
Электрическое питание: ▪ напряжение, В ▪ частота, Гц ▪ потребляемая мощность, кВт	однофазное 220 50 2,0

Излучатель рассчитан на эксплуатацию в нормальных климатических условиях при температуре окружающего воздуха  $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности окружающего воздуха  $60\pm 20\%$  и давлении от 84 до 107 кПа.

#### *Библиографический список*

3. ГОСТ 8.395-09 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования.-М.:Изд-во стандартов. 2009
4. Ившин В.П., Перухин М. Ю. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами: Учею.пособие.- М.:ИНФРА-М, 2013.-400 с.
5. Бабич В. И. Применение и выбор инфракрасных термометров//Мир измерений.-2003.-№4.-С.107-113.

## ПОДГОТОВКА К МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ АНАЛИЗАТОРА УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Половнева С.И.<sup>1</sup>, Погодаева А.Н.<sup>2</sup>, Носенко А.А.<sup>3</sup>, Саливон С.В.<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> к.т.н., доцент каф. АПП ИрГТУ, чл.-корр. РМА, профессор РАЕ, зам. директора НОЦ "АВТОМАТИКА"

<sup>2</sup> студентка гр.АТб-11, кафедры автоматизации производственных процессов ИРНИТУ, сот.тел. 89501347034, e-mail:pogodaeva\_istu@mail.ru.

<sup>3,4</sup> аспиранты кафедры автоматизации производственных процессов

Для серийного выпуска и последующей эксплуатации любой измерительный прибор должен пройти испытания на утверждение типа и метрологическую аттестацию, по результатам которых он регистрируется в Государственном реестре средств измерений с присвоением номера ГР и выдачей сертификата .

Метрологическая аттестация предполагает разработку следующих документов: описание типа, методику измерения, описание общих технических условий, руководство по эксплуатации и разработанную методику поверки . На данный момент в НИСЦ «Автоматика» кафедры АПП разработан технический проект анализатора, МВИ, описание типа СИ, содержащие требования безопасности, охраны окружающей среды, требования к квалификации операторов, требования к условиям измерений, описание действий к выполнению измерений и требования к отбору проб, порядок выполнения измерений, описание метода обработки результата измерения, описание контроля точности результатов измерений.

Технические условия на прибор содержат вводную часть и разделы в соответствии с ГОСТ 2.114-95[1]:

- технические требования;
- требования безопасности;
- требования охраны окружающей среды;
- правила приемки;
- методы контроля;
- транспортирование и хранение;
- указания по эксплуатации;
- гарантии изготовителя.

Данные содержащиеся в технических условиях не должны противоречить обязательным требованиям государственных (межгосударственных) стандартов, распространяющихся на данную продукцию.

Раздел основных параметров и характеристик включает в себя технические характеристики (Таб.1) и требования к режимам эксплуатации прибора.

Таблица 1. - Основные технические характеристики предлагаемого анализатора

Диапазон измерения удельной поверхности, м <sup>2</sup> /г	0,01–2000
Придел допускаемой относительной погрешности измерения удельной поверхности, %	±5
Габаритные размеры, мм	410x355x170
Рабочий диапазон температур, °С	+20±100
Напряжение питания в сети, В	220±10%
Частота сети переменного тока, Гц	50±1
Время измерения, мин	15

Так же ТУ содержит описание комплектности прибора:

- анализатор;
- программное обеспечение;
- весы лабораторные не ниже 2-го класса точности в соответствии с ГОСТ 8.520-84;
- метод поверки;
- руководство по эксплуатации.

Следующим этапом должны быть испытания типа СИ, в соответствии с ПР 50.2.009-94 [2] план которых состоит из следующих этапов:

- испытания средств измерений для целей утверждения их типа
- принятие решения об утверждении типа, его регистрация и выдача сертификата об утверждении типа средств измерений
- испытания на соответствие средств измерений утвержденному типу

По результатам испытания информация об утверждении типа средств измерений и решение о его отмене публикуются в официальных изданиях Госстандарта России.

Предлагаемый анализатор управляется с ПК. Программное обеспечение обеспечивает контроль параметров измерения и служит инструментом для обработки полученных данных. Сертификация прибора проводится в соответствии с ГОСТ 8.654-2009[3]. Стандарт устанавливает требования к программному обеспечению средств измерений, обусловленные необходимостью оценки влияния ПО на метрологические характеристики СИ и защиты обрабатываемой информации.

Межповерочный интервал предлагаемого прибора составит 1 год. Градуировка прибора будет производиться по государственным стандартным образцам удельной поверхности (№6347-92, 6348-92, 6349-92).

### *Библиографический список*

1. ГОСТ 2.114-95 Технические условия.
2. ПР 50.2.009-94 Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений.
3. ГОСТ Р 8.654-2009 Требования к программному обеспечению средств измерений.
4. ГОСТ 23401-90 Порошки металлические. Катализаторы и носители. Определение удельной поверхности.
5. ГОСТ 8.520-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы лабораторные образцовые и общего назначения. Методика поверки
6. Патент RU 2248553, G01N 15/08, опубликован 20.03.2005
7. Половнева С.И., Ёлшин В.В., Захаров А.М. Анализаторы состава и качества. Уч. Пособ.-Иркутск: ИрГТУ, 2014.-130 с.

## **МИКСЕР М-15 КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Я.А.Свириденко<sup>1</sup>, В.М. Салов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. АТП-10-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г.Иркутск, e-mail: [sviridenko.yakov@mail.ru](mailto:sviridenko.yakov@mail.ru)  
<sup>2</sup>к.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [salov@istu.edu](mailto:salov@istu.edu)

Во многих отраслях, наряду с натурным и лабораторным экспериментами, моделирование стало неотъемлемой частью проектирования нового оборудования и систем автоматизации. Это стало возможным благодаря достижениям в теории физико-математического описания процессов, химического реагирования и теплообмена, а также большому ассортименту средств автоматизации и контроля. Этому способствовало интенсивное развитие вычислительной техники, приведшее к появлению дешевых вычислительных систем высокой производительности, доступных индивидуальному пользователю.

Рассматривая работу миксера и его пространственную геометрию, необходимо отметить комплекс физико-химических процессов: переносы тепловой энергии, теплопередача в шлаке, расплаве и через футеровку. Все это влияет на качество сплавов, производительность, безопасность обслуживания и надёжность эксплуатации. Поэтому рассматривая Миксер М-15 как объект автоматизации необходимо решить, с помощью каких технических средств и систем автоматизации можно достигнуть по-

лучение алюминиевых сплавов заданного качества и обеспечить долговечность его работы.

Анализ работы Миксера М-15 как объекта автоматизации показал, что для эффективной и экономичной работы оборудования желательнее установить современную систему управления технологическим процессом на базе SIMATIC, построенную в соответствии с концепцией «полностью интегрированная система». Система автоматизации технологического процесса должна обеспечить:

- управление тепловым режимом;
- управление механизмами агрегата;
- управление регулируемого дозирования выдачи жидкого металла.

Средства контроля над ходом технологического процесса будут обеспечивать непрерывный контроль основных технологических параметров:

- давление под сводом печи;
- температура под сводом печи;
- расход газа в горелки;
- уровень металла в лотке;
- угол наклона корпуса миксера.

#### *Библиографический список*

1. В.Я. Ротач. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – М.: МЭИ, 2004. – 399 с.
2. Материалы производственной практики на заводе ОАО «МОСОБЛПРОММОНТАЖ» г. Воскресенск. 2014 г.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ В МИКСЕР**

**Я.А.Свириденко<sup>1</sup>, В.М. Салов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>студент гр. АТП-10-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [sviridenko.yakov@mail.ru](mailto:sviridenko.yakov@mail.ru)

<sup>2</sup>к.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [salov@istu.edu](mailto:salov@istu.edu)

Рассматривая работу миксера и его пространственную геометрию необходимо отметить возможность механизации и автоматизации агрегата, что повлияет на качество сплавов. При внедрении системы дозиро-

вания легирующих компонентов в миксер необходимо решить, как, с помощью каких технических средств и систем автоматизации можно обеспечить получение алюминиевых сплавов заданного качества, так как без точного дозирования получение качественных алюминиевых сплавов не возможно.

Разработка системы дозировки легирующих компонентов в миксер является целью работы. Предлагается, что она будет включать в себя: бункера для хранения легирующих элементов, ячейковые питатели, шиберные заслонки, весы, опрокидывающаяся емкость, вибрационный дозатор и щит управления. Бункера заполняют соответствующими легирующими элементами, количество материала контролируется датчиками уровня и веса. Каждый слав определяется конкретным соотношением разных компонентов, которое рассчитывает оператор и задает необходимый вес каждого из них на блоке управления.

Автоматизированная система открывает шиберную заслонку одного из бункера, включает ячейковый питатель и дозируемый легирующий компонент начинает поступать в опрокидывающуюся емкость. Набранный необходимый вес, система отключает ячейковый питатель, закрывает шиберную заслонку, опрокидывает емкость в вибрационный дозатор. По этой же схеме добавляются остальные легирующие элементы, когда все элементы добавлены в вибрационный дозатор, оператору поступает информация о готовности дозатора к подаче компонентов в миксер. Оператор открывает «дверь» миксера и вибрационный дозатор перемещается к нему, достигнув конечного положения, включается вибратор дозатора и легирующие элементы, начинают поступать в миксер. Данная система позволит задавать конкретные массы компонентов, необходимые для подачи в миксер, освобождает персонал от рутинной, монотонной работы, обеспечивает требуемую точность дозирования и заданное качество сплава.

#### *Библиографический список*

1. Н.А. Белов, С.В. Савченко, А.В. Хван. Структура и свойства промышленных силуминов: Технологический справочник. – М.: МОСОБЛПРОММОНТАЖ, 2007. – 283 с.

2. Материалы производственной практики на заводе ОАО «МОСОБЛПРОММОНТАЖ» г. Воскресенск. 2014 г.



## ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ К РОЗЛИВУ

Я.А.Свириденко<sup>1</sup>, В.М. Салов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>студент гр. АТП-10-1 института металлургии и химической технологии им. СБ. Леонова ИрГТУ, г.Иркутск, e-mail: [sviridenko.yakov@mail.ru](mailto:sviridenko.yakov@mail.ru)

<sup>2</sup>к.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [salov@istu.edu](mailto:salov@istu.edu)

Возрастающая потребность в алюминии за счет производства первичного металла наталкивается на ряд проблем экономического и экологического характера. С другой стороны, рост производства потребления алюминия обуславливает увеличение масштабов образования лома и отходов.

Выходом из создавшегося положения является интенсивное развитие вторичной металлургии алюминия, при которой можно решить ряд проблем более глубокой переработки отходов алюминиевого производства, в частности загрязненной стружки, баночной тары, шлаков различного состава и происхождения, кэшированной фольги и т.д., в экологически безопасном режиме с максимально возможной рентабельностью и внедрением новых технологий и оборудования. Наиболее перспективный способ основан на использовании вращающихся наклонных печей. На завершающей стадии при формировании сплавов используется миксер, который установлен после роторной наклонной печи, откуда в него поступает расплавленный металл.

Миксер предназначен для накопления жидкого алюминия, выдержки, доводки по химическому составу, доводки по температуре, усреднения химического состава сплава, регулируемой дозированной раздачи алюминия и сплавов на его основе. Миксер объемом 15 тонн позволит накапливать расплав с двух циклов. Конструктивно на миксере имеется технологическая дверь, которая позволяет добавлять необходимые легирующие компоненты для доводки химического состава.

Процесс подготовки расплава к розливу включает: заполнение миксера расплавом через сливной желоб РНП-10, прогрев расплава, загрузка легирующих компонентов, рафинирование флюсом, розлив сплава на конвейер, съем шлака, анализ химического состава сплава. В данный момент взвешивание, загрузка легирующих компонентов и флюса, съем шлака и анализ химического состава производятся вручную.

### *Библиографический список*

1. А.Г. Строганов, А.В. Прошкин, А.В. Киц. Рециклинг алюминия: Учебное пособие. - М.: АСТШ, 2003.-702 с.
2. Материалы производственной практики на заводе ОАО «МОСОБЛПРОММОНТАЖ» г. Воскресенск. 2014 г.

## **ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ СТЕНДОМ «РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ»**

**Устиненко Г.Г.<sup>1</sup>, Ершов П.Р.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент кафедры АПП ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: ustinenko.007@mail.ru

<sup>2</sup> доцент кафедры АПП ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: baew@istu.edu

Стенд «Регулирование давления» имитирует резервуар для хранения бензина. Для обеспечения безопасных условий хранения бензина и минимизации его потерь от испарения, в надтопливное пространство резервуаров подается, под избыточным давлением, газообразный азот. На стенде азот заменен воздухом. Давление насыщенных паров бензина, возникающее в процессе его испарения, составляет примерно  $0,7...0,8 \text{ кгс/см}^2$ . Для предотвращения испарения бензина, в надтопливном пространстве резервуара необходимо поддерживать давление, так называемой «азотной подушки», в пределах  $1,0 \text{ кгс/см}^2$ . Воздух, имитирующий азот, подается компрессором, который, в свою очередь, имитирует азотную станцию. Хранится «азот» в двух накопительно-расходных ресиверах. По трубопроводу «азот» из ресиверов через регулирующий клапан поступает в надтопливное пространство резервуаров. Так же надтопливное пространство резервуаров сообщается через предохранительный клапан со свечой рассеивания. Свеча рассеивания предназначена для сброса избыточного давления (более  $1 \text{ кгс/см}^2$ ) азота в атмосферу.

Автоматизированная система управления должна обеспечить контроль и автоматическое регулирование давления «азотной подушки» в надтопливном пространстве резервуара хранения бензина.

Управление регулирующим клапаном, повышающим давление «азотной подушки» в резервуаре (до значения  $1 \text{ кгс/см}^2$ ) осуществляется контроллером Овен ПЛК 154.

С выхода датчика избыточного давления Элемер-100 сигнал о давлении «азотной подушки» в резервуаре поступает на аналоговый вход контроллера. С выхода регулирующего клапана сигнал о положении регулирующего органа поступает на вход контроллера. Контроллер обрабатывает

поступающие на него сигналы и в соответствии с алгоритмом управления регулирующим клапаном вырабатывает управляющий сигнал. Алгоритм управления регулирующим клапаном реализован программно с помощью ПО «Trace Mode».

Регулирующий клапан обрабатывает поступающий на него сигнал управления, изменяя положение регулирующего органа (открывая) и тем самым повышая давление «азотной подушки» в резервуаре путем подачи «азота» из накопительных ресиверов.

Для понижения давления «азотной подушки» используется предохранительный клапан, путём сброса избыточного давления на свечу рассеивания.

Для визуального наблюдения за технологическим процессом контроллер ПЛК 154 связан с верхним уровнем АРМ учебного стенда по одному из трех разных каналов связи: оптоволоконному каналу ВОЛС - передача оптического сигнала, передача сигнала через GSM/GPRS модемов по сотовым каналам связи и через витую пару по интерфейсу RS485.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТА МАССЫ ПРОБЫ

В.Е. Эрдман<sup>1</sup>

<sup>1</sup> студент группы АТб-12-2, каф. АПП, e-mail: [sel-ton94@yandex.ru](mailto:sel-ton94@yandex.ru)

При измерении удельной поверхности катализаторов и сорбентов проба сыпучего материала помещается в адсорбер в виде навески определенной массы [1]. От точности измерения массы навески во многом зависит точность определения удельной поверхности. Правильно подобранное оборудование, а именно весы CE124-C, фирмы САРТОГОСМ (Табл.1), помогут добиться высокой точности взвешивания и возможности оптимизировать процесс взвешивания и расчета массы пробы.

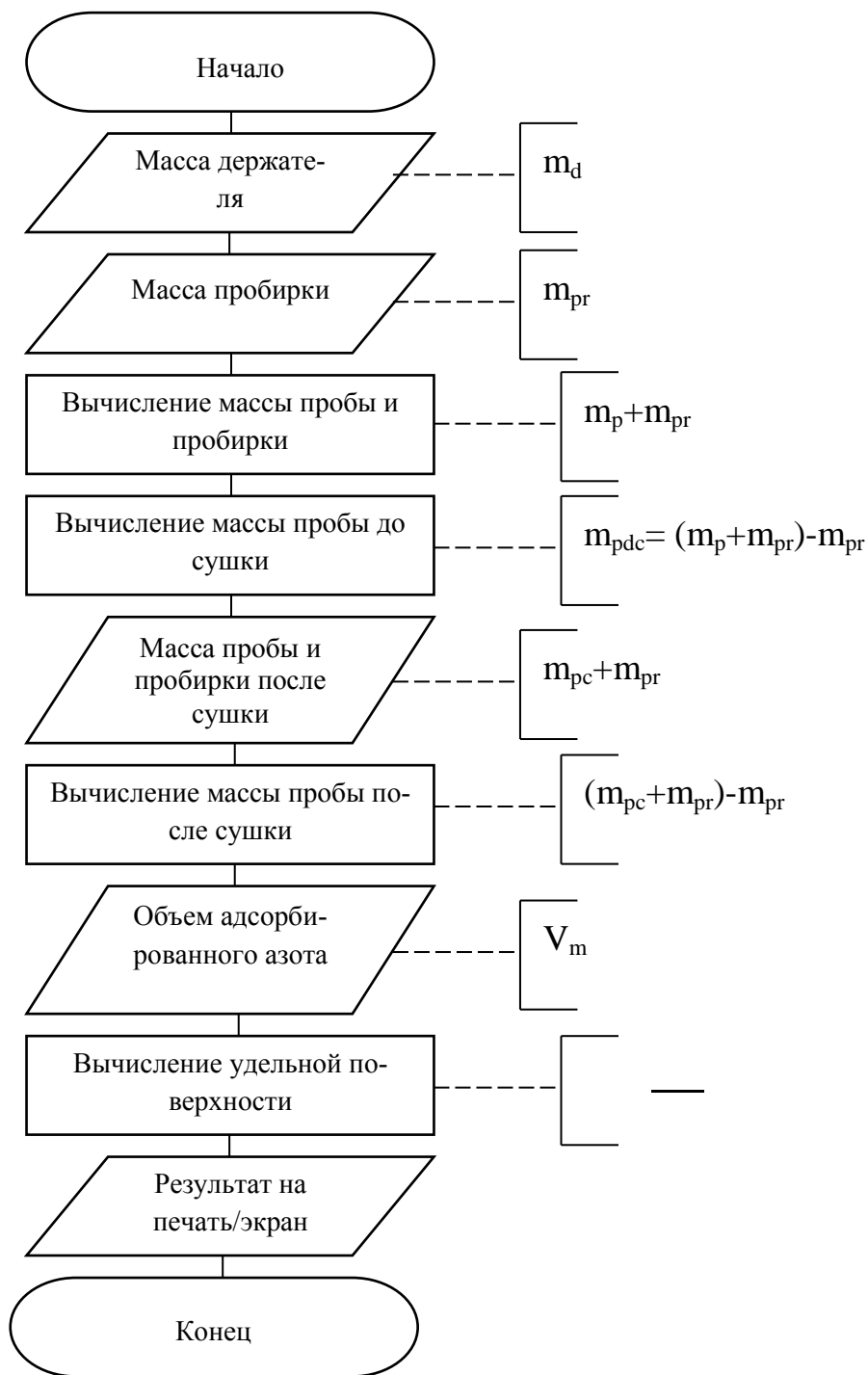
Таблица 1.- Метрологические параметры весов

Наименование характеристики	Значение характеристики для весов CE124-C
Класс точности весов по ГОСТ Р 53228	Специальный
Максимальная нагрузка весов Max, г	120
Минимальная нагрузка весов Min, г	0.01
Действительная цена деления d, мг	0.1
Поверочное деление e, мг	1
Число поверочных делений n	120000
Пределы допускаемой погрешности весов от Min до 50 г включ.	± 0.5

св. 50 г до Max включ.	$\pm 1$
Диапазон выборки массы тары, г	От 0 до Max
Время установки показаний весов, с, не более	4

Принцип действия весов основан на использовании электромагнитной силовой компенсации, при которой вес измеряемого пробы уравнивается силой взаимодействия электрического тока, протекающего по обмотке компенсационной катушки, с магнитным полем, создаваемым между полюсами постоянного магнита. Устойчивое равновесие механической системы весовой ячейки, жестко связанной с компенсационной катушкой, обеспечивается электронным регулятором. Если в нагрузке происходят изменения, то регулятор изменяет ток, протекающий через катушку, до тех пор, пока не восстановится прежнее среднее положение механической системы. Компенсационный ток, пропорциональный массе измеряемого груза, поступает в терминал для последующей обработки и индикации результатов измерений.

До настоящего времени расчет массы пробы до и после сушки выполнялся вручную. Для автоматизации расчета составлен алгоритм (рис.1) и программа для ПК на C++, что позволяет сократить время анализа и исключить субъективную погрешность.



**Рис.1.** Блок – схема расчета массы и удельной поверхности пробы

*Библиографический список*

1. Половнева С.И., Ёлшин В.В., Захаров А.М. Анализаторы состава и качества. Уч. пособ. Иркутск: ИрГТУ, 2014.-140 с.

## АНАЛИЗАТОР РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В ВОДЕ МАРК-404

Турсунов О.З., Федоров В.А. Половнева С.И.

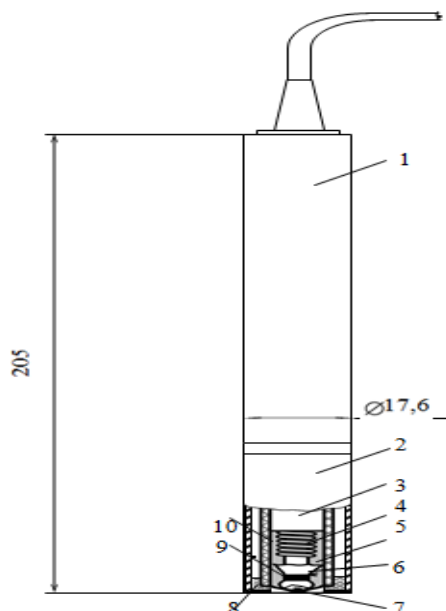
Иркутский государственный технический университет, кафедра АПП  
[aspireone121@gmail.com](mailto:aspireone121@gmail.com)

Кислород является одним из самых распространенных на Земле элементов, на его долю в составе соединений приходится 47,4 % массы твёрдой земной коры. В пресной и морской воде содержится до 88% связанного кислорода по массе. Содержание свободного кислорода в атмосфере составляет 20,95% по объему и около 23,12% по массе. Содержание растворенного кислорода в воде (КрК) необходимо определять как в чистых природных водах, промышленных водах на производствах, так и в сточных водах после их очистки. Определение концентрации растворенного кислорода является неотъемлемой частью анализа определения важнейшего показателя качества воды – биохимического потребления кислорода (БПК) [1].

Для автоматического измерения рК вНИЛ кафедры АПП имеется анализатор **МАРК-404** – шестиканальный, микропроцессорный, с преобразованием массовой концентрации растворенного кислорода в выходной ток, а также с ручным последовательным опросом каждого из каналов для вывода измеренного значения массовой концентрации растворенного кислорода (КРК) на индикатор. При измерении КРК (концентрации растворенного кислорода) используется амперометрический датчик, по принципу работы совпадающий с полярографической ячейкой закрытого типа. Electrodes 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 КРК в анализируемой среде (рис.1).

Выходной сигнал датчика поступает на модуль токового выхода. Промышленный анализатор растворенного кислорода легко встраивается в систему автоматизированного управления. Устройство формирует стандартизированные сигналы и передает их по унифицированным протоколам на контроллер или операторский пульт, а также может быть подключено к другим смежным приборам. Установить такой прибор достаточно просто,

ведь универсальный крепеж, поставляемый с анализаторами кислорода, позволяет разместить его в непосредственно рядом с емкостями с анализируемыми средами. Благодаря микропроцессорным технологиям, анализатор самостоятельно проводит диагностику, сохраняет в памяти результаты измерений и другие данные.



**Рис.1** Датчик кислородный ДК-404

1. Датчик
2. Колпачек
3. Внутренний корпус
4. Серебрянный анод
5. Электролит
6. Платиновый катод
7. Тефлоновая пленка
8. втулка
9. Капроновые нитки
10. Мембранный узел.

Выходной сигнал датчика поступает на модуль токового выхода.

#### *Библиографический список*

1. [http://www.analytpribor.ru/info/articles/analizatori\\_kisloroda\\_v\\_vode.ht](http://www.analytpribor.ru/info/articles/analizatori_kisloroda_v_vode.ht)
2. Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств. Издательство "Машиностроение", Москва, 1983
3. Анализатор растворенного кислорода МАРК-404. Руководство по эксплуатации. – Нижний Новгород 2014.
4. Котлобаев А.П., Ушев Н.И. Датчик растворенного кислорода. Труды ИПИ.- Иркутск:ИПИ, 1974.-90 с.

## ИНИЦИАТИВА ГЛОБАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ КОМПАНИИ EMERSON И ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ

**Половнев Н.П., Баев А.В., Половнева С. И.**

*Emerson Process Management, представительство, г. Иркутск,  
Институт металлургии и ХТ им. С.Б. Леонова ИРНИТУ, г. Иркутск*

В 2012 американская компания Emerson Process Management приступила к выполнению плана по укреплению позиций в сфере сервисных услуг для заказчиков по всему миру. В 2012 году компания уже расширила зону обслуживания, состоящую из 374 глобальных сервисных служб, открыв 8 предприятий полного цикла обслуживания, укомплектованных обученным персоналом. В ближайшие годы Emerson планирует к открытию до 9 региональных сервисных центров в год. Планируемый темп увеличения штата инженерного персонала будет практически в два раза опережать рост рынка средств автоматизации. Мировая потребность в ресурсах и товарах не ограничивается традиционными рынками, и Emerson расширяет свое присутствие, чтобы обеспечить оперативное локальное обслуживание предприятий вне зависимости от их расположения. На сегодняшний день Emerson предоставляет услуги по вводу в эксплуатацию в Бразилии, Катаре, Индии, Испании, Италии, Китае и Турции. В течение года компания планирует открыть девять дополнительных сервисных центров – два в Азии, два на Ближнем Востоке и Африке, один в Латинской Америке и три в Европе.

В России и странах СНГ действуют сервисные центры в Челябинске, Москве, Санкт-Петербурге, Уфе, Самаре, Сургуте, на Сахалине. Имеется сервисный центр в Николаеве (Украина). В 2011 году Emerson авторизовала первый в России сервисный центр по ремонту запорно-регулирующей аппаратуры, созданной ООО «Лукойл-Информ» на территории нефтеперерабатывающего завода «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез». Мощные подразделения исполнения проектов в Челябинске и Санкт-Петербурге обеспечивают комплекс услуг от обследования объекта заказчика до ввода в эксплуатацию. «Наши планы по расширению сервиса обусловлены двумя задачами, с которыми сегодня сталкиваются наши заказчики, – говорит президент Final Control в Emerson Process Management. – В развитых странах все больше молодых сотрудников приходит на смену опытным специалистам, вышедшим на пенсию. На рынках с развивающейся экономикой, производителям сложно найти квалифицированных работников для открывающихся новых производственных предприятий. В результате, производители все чаще обращаются к нам за услугами для обеспечения максимальной эффективности эксплуатации. Наш долг – обеспечить такие потребности с помощью локальных сервисных центров и квалифицированных специалистов». С учетом уменьшения эксплуата-



ционных смет предприятий, компания Emerson разработала систему услуг по техобслуживанию оборудования, включающую приоретезацию активов, удаленное управление активами или управление на месте, а также планирование и управление капитальным ремонтом. Многие заказчики выбирают эксплуатацию до отказа, а также максимально ограничивают количество обслуживающего персонала и запас запчастей. Emerson планирует устранять этот пробел с помощью производственных предприятий и сервисных центров, выполняющих сертифицированный ремонт и быстрые отгрузки. Такие сервисные центры будут заниматься механической обработкой, производством, монтажом, запуском, предоставлять измерительную аппаратуру и обеспечивать качество. Они разработаны для выполнения сроков, опережающих сроки производителя, в соответствии со следующими стандартами:

- Расположение сервисного центра в менее чем двух часах езды от предприятия заказчика;
- Поставка запасных деталей в течение 24 часов;
- Ремонт в режиме 24/7 (на месте эксплуатации и в ремонтной мастерской) в соответствии со сроками заказчика;
- Поставка новой продукции в течение пяти дней (10 дней для систем).

Поддержка сервисных специалистов Emerson при внедрении новых технологий и передовых практик технического обслуживания поможет компаниям увеличить период безотказной работы. Заказчики также могут воспользоваться преимуществами онлайн-тренингов Emerson, экономя на транспортных расходах и обеспечивая присутствие на рабочем месте. В настоящее время компания является бизнес-партнером ЗАО ПГ Метран, инвестирует строительство завода средств автоматизации (г. Челябинск) Кафедра автоматизации производственных процессов же в течение пятнадцати лет сотрудничает с концерном ЗАО «ПГ Метран» ( в настоящее время – Метран-Emerson, ЗАО) Среди сотрудников этих компаний есть выпускники нашего Университета. Для расширения сотрудничества и востребованности выпускников кафедры АПП в свете новой концепции глобального обслуживания необходимо в рабочих программах и при подготовке бакалавров добавить профессиональные компетенции в области ремонтов и сервисного обслуживания средств автоматизации. Материальная база, методическое обеспечение и кадры ППС для освоения указанных компетенций имеются: в 2014 году за счет бюджетного финансирования программы Национальных исследовательских университетов кафедра получила новое оборудование, три сотрудника кафедры имеют сертификаты повышения квалификации ЗАО «ПГ Метран».

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ЗДАНИЯ**

**Мельник И. А., ИрГТУ, ИМиХТ им. С.Б.Леонова, АПП  
г. Иркутск, e-mail: melival@yandex.ru**

Эксергетический анализ указывает на местоположение, величину и источники термодинамической неэффективности в системе. Эта информация является достаточной для повышения эффективности системы и уменьшения ее стоимости, а также предназначена для сравнения различных систем (потребляющих энергию разного качества) по этим показателям. Эта информация не доступна при использовании других видов анализа, например энергетического [1, 2].

Целью данной работы является составление эксергетического баланса жилого здания, определение величины потерь эксергии и влияние на них температурного графика тепловой сети. Определение эксергетической эффективности проводилось на основе теплового баланса реального жилого здания, расположенного в Иркутске с учетом требований нормативных тепловых потерь через ограждающие конструкции.

В общем случае тепловой баланс здания складывается из потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции, на инфильтрацию и естественную вентиляцию и восполнения этих потерь из тепловой сети и с бытовыми теплопоступлениями:

Для подающего ( $T=T_1$ ) трубопровода тепловой сети температурой окружающей среды будет являться температура воздуха внутри здания ( $T_0=T_v$ ), в то время как для обратного ( $T=T_2$ ) трубопровода этой температурой будет температура внутри канала теплорассы (при канальной прокладке) или температура грунта (при бесканальной прокладке) ( $T_0=T_k$ ), в общем случае за температуру канала принимаем температуру грунта, поскольку в результате теплообмена воздух канала нагревает грунт. В случае наружной прокладки тепловых сетей температурой окружающей среды для обратного теплоносителя будет являться температура наружного воздуха [3,4].

Таким образом, получаем функцию изменения потерь эксергии, в зависимости от температуры теплоносителя. Величина потерь эксергии становится равной нулю при  $T_1 = 335\text{K}$  ( $62^\circ\text{C}$ ). Предполагаем, что именно данная температура является термодинамически оптимальной температурой подачи теплоносителя потребителю. При ее отклонении в большую сторону происходит излишний перегрев теплоносителя на источнике, влекущий за собой повышенные расходы эксергии. Отклоняясь в сторону меньшей температуры подачи, увеличивается расход перекачиваемого теплоносителя и связанный с этим расход эксергии.

При составлении эксергетического баланса не учитывались потери эксергии на циркуляцию теплоносителя, а эта величина может быть достаточно весомой в вопросе определения оптимальных параметров теплоносителя в тепловой сети, поскольку расходует (в подавляющем большинстве случаев) электрическую энергию, которая полностью преобразуется в другие виды энергии, т.е. является эксергией.

В ходе выполнения данной работы были составлены эксергетические балансы зданий для разных температурных графиков систем централизованного теплоснабжения.

В процессе изучения вопроса, установления зависимостей и уточнения оптимальных параметров теплоснабжения жилых зданий необходимо учесть дополнительные источники потерь (такие как циркуляционные насосы) и пути экономии энергии (рециркуляция воздуха и рекуперация) [5]. А при учете потерь эксергии при сжигании топлива на источнике энергии получим полное представление о распределении потоков энергии/эксергии в системах теплоснабжения, включая источник и потребителей.

Благодаря полученным результатам можно сделать вывод, что оптимальным температурным графиком теплоснабжения является тот, при котором разность между температурами теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети равна разности температур внутренней среды здания и внешней среды трубопровода.

#### *Библиографический список*

1. Тсатсароннс Д. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы. Одесса: Студия «Негоциант», 2002. 152 с.

2. Толстой М.Ю., Вилор Н.В., Ярина Н.А., Баймачев Е.Э. Развитие теплоснабжения с применением теплонасосных установок-станций // Известия вузов. Строительство. 2012. № 7–8. С. 123–128.

3. Старикова Н.В., Степанов В.С. Исследование термодинамической эффективности системы теплоснабжения // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 2. С. 64–70.

4. Айзенберг И.И. Надежность систем жизнеобеспечения: учеб. пособие. Иркутск: ИрГТУ, 2008. 138 с.

5. Степанов В.С., Баймачев Е.Э., Выговец А.В., Шарова О.В. Обоснование выбора способа тепловлажностной обработки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования // Вестник ИрГТУ. 2011. № 5. С. 90–94.

**СЕКЦИЯ №3**  
**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ**  
**ТЕХНОЛОГИИ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО**  
**МИКРОСФЕРИЧЕСКОГО КАТАЛИЗАТОРА «ОКТИФАЙН-480» НА**  
**УСТАНОВКЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОАО «АНХК»**

**Р.М. Аскеров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Магистрант гр. ХТм-13, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [askerov.ren@yandex.ru](mailto:askerov.ren@yandex.ru)

Одной из важнейших проблем современной отечественной нефтепереработки является низкая глубина переработки нефти. Ключевая роль в решении этой проблемы отводится развитию деструктивных процессов переработки тяжелых нефтяных остатков.

Процесс каталитического крекинга является основным процессом, направленным на углубление переработки нефти. Целевым назначением процесса является получение высококачественного компонента автомобильных бензинов, а также производство сырья для нефтехимической промышленности. Сегодня в России эксплуатируется более 20 установок каталитического крекинга, при этом на 80 % из них отдается предпочтение импортным катализаторам. Поэтому приоритетным направлением совершенствования отечественной нефтепереработки является разработка, создание и распространение опыта эксплуатации высокоэффективных конкурентоспособных отечественных катализаторов основных каталитических процессов, в том числе и каталитического крекинга[1].

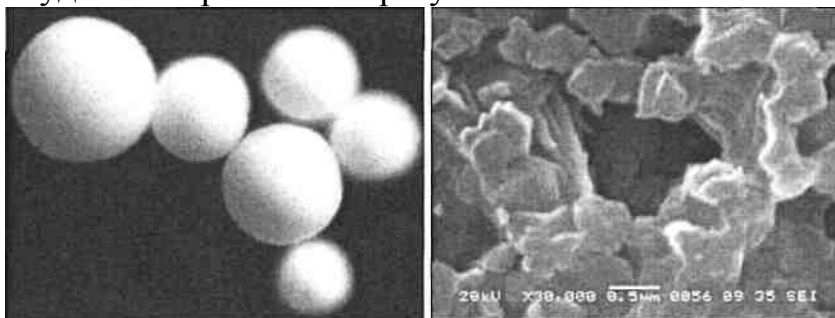
Современные микросферические катализаторы крекинга являются сложными композиционными системами и состоят из цеолита и совокупности компонентов, объединенных общим названием «матрица». Цеолит является главным носителем каталитической активности катализатора. Матрица является той средой, в которой цеолит диспергирован. Она предохраняет активный компонент от воздействия высоких температур и каталитических ядов, обеспечивает предварительное расщепление и диффузию углеводородных молекул к активным участкам крекинга.

В процессе эксплуатации к микросферическим катализаторам крекинга предъявляется ряд требований, Они должны обеспечивать требуемую структуру отбора продуктов крекинга и их качество, обладать необходимой для транспорта крекируемого сырья системой пор и высокой степенью удерживаемости в системе, хорошо регенерироваться и предотвращать выбросы вредных веществ ( $SO_x$ ,  $NO_x$ , CO) в атмосферу. Эти задачи решаются путем целенаправленного конструирования как цеолитового

компонента, так и матрицы катализатора[2].

Разработка каталитической системы под конкретную установку является сложной аналитической задачей и требует проведения большого количества испытаний.

«Октифайн-480П» является классическим «бензиновым» вариантом катализатора крекинга, действие которого направлено на увеличение выхода бензиновой фракции в процессе крекинга. Такое действие достигается благодаря особенностям строения катализатора: устойчивый к дезактивации ультрастабильный цеолит уникальной микро/мезопористой структурой в сочетании с высокоселективной матрицей, содержащей в своем составе наноструктурированный оксид алюминия, максимально снижают перекрекинг (расщепление углеводородов до газа и кокса) легких углеводородов и увеличивают селективный крекинг тяжелых фракций. С 2014 года на установке КК ГК-3 ОАО «АНХК» ведется активная работа по замене катализатора на «Октифайн-480» производства «Ишимбайского специализированного химического завода катализаторов». Испытания данного катализатора дали удовлетворительные результаты.



**Рис. 1.** Электронно-микроскопические снимки микросферического катализатора крекинга «Октифайн-480П»

Электронно-микроскопические снимки катализатора «Октифайн-480П» представлены на рис. 1. Из них видно, что частицы катализатора «Октифайн-480П» обладают практически идеальной сферической формой (фотография слева) и широкопористой структурой (фотография справа) [2].

#### *Библиографический список*

1. Суханов, В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке/ В.П. Суханов. – М.: Химия, 1973.–416 с.
2. Бодрый А.Б., Усманов И.Ф., Гариева Г.Ф., Карпов Н.С. Отечественные микросферические катализаторы крекинга: разработка, производство и опыт промышленной эксплуатации Стр. 14-18 // Катализ в промышленности 2014 год, №5.
3. Ёлшин А.И., Соляр Б. З., Глазов Л.Ш., Либерзон И. М., Моисеев В. М, Кукс И. В., Кузора И. Е., Сергеев Д. А., Сидоров И. Е., Зарубин В. М., Грибок А. С. Опыт эксплуатации реконструированной уста-

новки каталитического крекинга в составе комплекса ГК-3. №2, с. 29. 2008 год

4. Каталитический крекинг в составе современных комплексов глубокой переработки нефти // С. Н. Хаджиев [и др. ] // Нефтехимия. - 2011. - Т. 51, N 1. - С. 33-39.

## **ДОРОЖНЫЕ БИТУМЫ УЛУЧШЕННОГО КАЧЕСТВА С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕРЫ В КАЧЕСТВЕ МОДИФИКАТОРА**

**Дошлов О.И.<sup>1</sup>, Калапов И.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Научный руководитель, профессор кафедры химической технологии ИрННТУ, член-корр.РАЕН, академик МАНЭБ, г. Иркутск, e-mail: doshlov125@mail.ru

<sup>2</sup>Студент гр. ХТТб 11-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, ИрННТУ, г. Иркутск, e-mail: kalapov\_ivan@mail.ru

Актуальной задачей данной работы является получение товарного продукта с заданными физико-химическими свойствами, позволяющими производить дорожные покрытия повышенной долговечности, устойчивые к трещинообразованию, морозоустойчивые и, как следствие, требующие более редкого планового ремонта и замены, а следовательно, снижение затрат на содержание дорожного полотна в надлежащем состоянии.

Перспективным направлением повышения качества дорожных битумов является использование серы для их модификации. Техническая сера является недорогим и многотоннажным побочным продуктом промышленности. Имеется достаточный мировой опыт использования серы в дорожном строительстве, указывающий на более высокие физико-механические и реологические свойства серополимерно-битумных вяжущих (СПБВ) и смесей на их основе по сравнению с обычными битумами и асфальтобетонами.[1] Применение технической серы для модификации битумов экономически целесообразно и позволяет также решать экологические проблемы во многих регионах РФ.

СПБВ можно приготовить двумя способами:

- эмульгированием расплавленной серы в битуме в коллоидной мельнице (зазор 0,04 см, частота вращения ротора 7000 об/мин, температура 140 – 150 °С, длительность эмульгирования 8 мин) или в статическом смесителе. Приготовление СБВ как в коллоидной мельнице, так и в статическом смесителе дает возможность равномерно диспергировать серу до размера 5 – 20 мкм в битуме и получать вяжущее, а также смеси на его основе, обладающие высокими показателями свойств;

- смешением расплавленной серы и битума в заданных количествах в лопастной мешалке и немедленной подачей этого вяжущего на объединение с минеральными компонентами асфальтобетона.

СПБВ и смеси на их основе обладают более высокими показателями физико-механических и реологических свойств по сравнению с обычными битумами и асфальтобетоном.[2] Использование серы целесообразно не только с точки зрения экономии дефицитного битума, но и энергоресурсов за счет снижения температуры приготовления и укладки материалов с серой.[3]

Таблица 1. - Свойства серополимерно-битумных вяжущих

Показатель	Содержание модификатора, % по массе				Битум БНД 90/130
	20	40	60	80	
Глубина проникания иглы при 0 °С, 0,1 мм	45	48	50	51	40
Температура хрупкости, °С	-26	-27	-29	-31	-25
Растяжимость при 25 °С, см	13	17	25	26	55
Эластичность при 25 °С, %	5	25	37	45	6

Таким образом, на основании лабораторных и опытно-производственных работ нами установлена целесообразность применения серы в смеси с полимерно-битумными вяжущими для модификации битума. Применение серы в асфальтобетоне позволяет уменьшить расход битума и снизить стоимость вяжущего, понизить температуры нагрева компонентов и их смесей. Применение полимерно-битумного вяжущего позволяет снизить на 8-10°С показатель, который является очень важным для дорог первой климатической зоны – температуру хрупкости.

#### *Библиографический список*

1. Галдина В.Д. «Серобитумные вяжущие»: монография. – Омск: СибАДИ, 2011. – 124 с.
2. Дошлов О.И. Модифицированные нефтяные битумы для дорожного строительства / О.И.Дошлов, Ю.В.Чулочников, А.И.Козиенко // Учебное пособие. – ИрГТУ. – ИРДУЦ. – Иркутск. – 1997;
3. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. - М.: Транспорт, 1973.

# ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ НЕФТЕКОКСОВОЙ МЕЛОЧИ С ДОБАВКАМИ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

**Иринчеев М.А.<sup>1</sup>, Дошлов О.И.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Студент гр. ХТТб 11-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова Иркутского национального исследовательского технического университета

<sup>2</sup> Научный руководитель, член-корр. РАЕН, академик МАНЭБ, профессор кафедры химической технологии Иркутского национального исследовательского технического университета, г. Иркутск

E-mail: [mr.irincheev@mail.ru](mailto:mr.irincheev@mail.ru)

В Иркутской области, за годы хозяйственной деятельности накоплено большое количество технического гидролизного лигнина (ТГЛ) – крупнотоннажного отхода гидролизного производства. Проблема утилизации накопленных запасов стоит очень остро не только для территории, в которых находится полигоны хранения, но и для Иркутской области в целом.

Потребность населения в бытовом топливе в последние годы удовлетворяется не полностью из-за снижения объема производства брикетов. В результате хранения на складах более 40% брикетов разрушаются и превращаются в мелочь. Для улучшения сохранности брикетов возможно применять в качестве связующего при брикетировании нефтекоксовой мелочи отходы гидролизного производства — технического гидролизного лигнина (ТГЛ) [1, 2].

В зоне деятельности Иркутской области имеется большое количество гидролизных заводов, отходом производства которых является ТГЛ. В его составе содержится около 40% собственно лигнина, 25—30% полисахаридов, 5—15% гуминовых кислот. Элементный состав лигнина довольно постоянен, % на  $daf$ : углерода 61—64, водорода 5—6, кислорода около 30, азота и серы 0,1—0,3. Зольность ТЛ довольно низкая и составляет 1—8%.

Цель данной работы — исследование с помощью комплекса методов способности к изменению брикетов из нефтекоксовой мелочи с добавками от 10 до 50% технического гидролизного лигнина.

В работе использовали нефтекоксую мелочь АНХК НК «Роснефть» с характеристиками, %:  $C^{daf}$  62,3;  $H^{daf}$  5,2;  $O^{daf}$  27,2;  $N^{daf}$  0,6;  $N^{daf}$  4,5;  $W^a$  = 9,8;  $A^d$  = 20,7;  $V^{daf}$  66,0% и нейтрализованный гидролизный лигнин Тулунского гидролизного завода, %:  $C^{daf}$  59,9;  $H^{daf}$  5,6;  $O^{daf}$  31,2; 0,2;  $S^{daf}$  0,9;  $W^a$  13,1;  $A^d$  10,1;  $V^{daf}$  66,0. Брикеты из нефтекоксовой мелочи с добавками ТЛ получали под давлением 100 МПа в пресс-форме. Исследовали методами электронного параметрического резонанса (ЭПР), ИК, УФ-



спектроскопии, хромато-масс-спектрометрия, дериватографии, функционального анализа.

### *Библиографический список*

1. Беляев А.Е., Конакова Р.В. Карбид кремния: технология, свойства, применение. Х.: Химия, 2010. - 532 с.
2. Сюняев З. И. Производство, облагораживание и применение нефтяного кокса. - М.: Химия, 1973. - 296 с.
3. Походенко Н. Т., Брондз Б. И. Получение и обработка нефтяного кокса. - М.: Химия, 1986.-312 с.
4. Красюков А. Ф. Нефтяной кокс. - М.: Химия, 1966. - 264 с.
5. Дошлов О.И. Адгезия и адгезивы: учеб. пособие / О.И. Дошлов, О.П. Окладников. – Изд-во ИрГТУ, 1998. –т.3. – 250 с.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ИНГИБИРУЮЩЕЙ АКТИВНОСТИ ОДНОАТОМНОГО ФЕНОЛА ПРИ ЕГО ОКИСЛЕНИИ ПЕРСУЛЬФАТОМ КАЛИЯ**

**Е.А.Мальцев<sup>1</sup>, .Ф.Гоготов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>студент гр. ХТОБ-12-1 Института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [eugene.virtanen@gmail.com](mailto:eugene.virtanen@gmail.com)

<sup>2</sup>д.х.н., старший научный сотрудник ИрИХ СО РАН, г. Иркутск, e-mail: [alfgoga@mail.ru](mailto:alfgoga@mail.ru)

Пространственно затрудненные одноатомные фенолы, в частности, ионол, хорошо проявляют себя как ингибиторы термической полимеризации олефинов [1], но малоэффективны при ингибировании винилароматических соединений, что подтверждено данными их испытаний на пироконденсатах колонн К-20 и К-27 ОАО "Ангарский завод полимеров" [2]. Незамещенные одноатомные фенолы в качестве ингибитора полимеризационных процессов практически не используются ввиду их неэффективности.

Целью исследования являлось получение ингибирующей смеси, состоящей из смеси одно- и двуатомных фенолов. При окислении персульфатом калия одноатомных фенолов в щелочной среде [3], в мольном соотношении "фенол-окислитель" 1:1, получен продукт, эффективность которого при испытании на пироконденсате колонны К-20, составила 70% при расходе ингибитора равном 0,04% масс. При соотношении фенол-окислитель 1:0,75, эффективность ингибирования полученной смеси составила 84%, при расходе ингибитора 0,03 %масс. В дальнейшем был оптимизирован расход окислителя для получения продукта более высокой

эффективности. Добавим, что ингибирующая активность исходного фенола практически равна нулю.

Таким образом, путем несложной обработки фенола получен достаточно эффективный фенольный ингибитор полимеризационных процессов.

#### *Библиографический список*

1. Ершов В.В., Никифоров Г.А., Володькин А.А. Пространственно-затрудненные фенолы. – М.: Химия, 1972. – 352 с.
2. Левчук А.А. Ингибирование полимеризационных процессов фенолами различного происхождения в жидких продуктах пиролиза. Автореф. дисс. канд. тех. наук, Томск, 2010, 22 с.
3. Хейнс А. Методы окисления органических соединений . – М.: Мир, 1988. – С. 193-194.

### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ УСТАНОВКИ АВТ. ФОРСИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ КОЛОНН**

**А.Н.Никитина<sup>1</sup>, Т.А.Подгорбунская<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. ХТТ-10-1 института металлургии и химической технологии ИрГТУ, Иркутск, e-mail: besta1993@mail.ru

<sup>2</sup> руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИрГТУ, Иркутск, e-mail: tpodgor@istu.edu

В технологических схемах нефтеперерабатывающих заводов установки первичной переработки нефти являются головными, производящими товарную продукцию и ее компоненты или сырье для вторичных процессов, и от показателей работы этих установок во многом зависят показатели работы завода в целом. Эффективность работы установок первичной переработки нефти определяется точностью проектных расчетов аппаратуры, ее конструктивным оформлением.

Современные тенденции развития нефтеперерабатывающих заводов направлены на увеличение глубины переработки нефти (ГПН), а это связано с модернизацией действующих установок, а также поиска новых путей совершенствования процесса переработки.

В предыдущей статье [1] нами были рассмотрены пути совершенствования работы атмосферно-вакуумной установки за счет повышения температуры нагрева нефти несколькими способами.

В промышленной практике эксплуатации установок первичной переработки нефти производительность, отбор и качество целевых нефтепродуктов зависят от эффективности работы каждой ректификационной колонны [2]. Например, от условий технологии и конструктивного оформле-

ния колонны К-1 зависит выбор режима работы перегонки нефти.

Режим работы колонн варьируют флегмовым числом и количеством отбираемого дистиллята. В результате проведенных экспериментов были получены следующие результаты.

При увеличении флегмового числа в колонне К-1:

- температура конца кипения бензина снизилась;
- отбор газобензиновой смеси также уменьшился, а доля отбора дистиллята в К-2 возросла;
- суммарная нагрузка колонн на конденсатор и трубчатые печи увеличилась;
- в нижней части колонны К-2 четкость погоноразделения оказалась хуже;
- выход газойлевой фракции уменьшился, что свидетельствует о провале части светлых фракций в мазут [3].

При увеличении отбора бензиновых фракций в К-1 за счет изменения температуры сырьевых потоков (температура верха колонны постоянная):

- качество этих фракций резко ухудшается по температуре конца кипения (увеличивается до 193°C вместо 180°C);
- основная часть керосиновых фракций (120-180°C) будет потеряна в К-1 [4].

Таким образом, совместная переработка бензинов К-1 и К-2 с пониженным флегмовым числом в К-1 является экономически целесообразной [3].

#### *Библиографический список*

1. Никитина А.Н., Подгорбунская Т.А. Усовершенствование работы установки АВТ. Повышение температуры нагрева нефти // Сборник научных трудов магистрантов, аспирантов молодых ученых ИМиХТ «Переработка природного сырья». – 2014. – С. 115-119.

2. Вахмянин, В.И. Опыт форсирования работы отбензинивающих колонн установок АВТ/ В.И. Вахмянин // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1984. – № 5. – С. 3-4.

3. Пигалов, Г.П. Влияние глубины отбора бензиновых фракций в отбензинивающей колонне К-1 на качественные показатели работы высокопроизводительных установок перегонки нефти /Г.П. Пикалов [и др.] // Нефтехимия и нефтепереработка. – 1978. – № 10. – С. 7-10.

4. Боков, А.П. Исследование технологических параметров работы колонны К-1 на работу колонны К-2 на основе динамической модели работы атмосферных блоков установок АТ и АВТ / А.Б. Боков // Химия и технология топлив и масел. – 2000. – № 11. – С. 10-17.

## ПОВЫШЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ГИДРОФОРМИЛИРОВАНИЯ

Пугачёв П.П.<sup>1</sup>, Дьячкова С.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант группы ХТм-13 Института металлургии и химической технологии им. С.Б.Леонова, ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: dyachkova@istu.edu

<sup>2</sup> д.х.н., профессор, зав. Кафедрой ХТ Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: dyachkova@istu.edu

Синтез бутиловых спиртов на ОАО «АНХК», осуществляющийся по реакции гидроформилирования - один из многотоннажных и важных производственных объектов.

Выявлен ряд факторов, снижающих селективность процесса и повышающих себестоимость продукции:

- Повышенный расход пропилена в процессе производства бутиловых спиртов (среднее значение за 5 лет 763,1 кг на 1 тонну БС, в то время, как современные производства - менее 700 кг);
- Высокая энергоёмкость производства бутиловых спиртов.
- Ограниченный спрос на побочные продукты производства (КОБС и эфирная головка), доля которых в производстве составляет 12,1% в связи с прекращением производства автомобильного бензина нормаль 80.

С целью снижения себестоимости бутиловых спиртов и обеспечения конкурентоспособности данного производства в условиях рынка предлагается:

- Повысить селективность процесса гидроформилирования за счет ограниченной конверсии пропилена.
- Внедрить схему выделения непрореагировавшего пропилена из газовой фазы после сепаратора низкого давления Е-6 и возврата в сырьевой поток.

Средний расход пропилена на ОАО «АНХК» за 5 лет составляет 763,1 кг на 1 тонну БС, в то время, как современные производства-аналоги расходуют менее 700 кг.

Для более эффективной работы предлагается полный рецикл непрореагировавшего пропилена из Е-6 в процессе гидроформилирования. С целью повышения выхода масляных альдегидов, а также упрощения рецикла пропилена, экономии энергоресурсов предлагается процесс гидроформилирования осуществлять при температуре ниже, чем в настоящее время

Предлагаемый способ позволит:

- Снизить расход пропилена на процесс оксосинтеза до 650-670 кг/т;

- Уменьшить образование побочных продуктов (на 80-90 %)- КОБС и эфирная головка;

- Снизить энергозатраты на 10 % в процессах гидрирования и ректификации за счет уменьшения количества побочных продуктов поступающих со стадии окисрования.

При этом затраты Компании на реализацию проекта составят 108 млн.руб.

Экономия затрат:

- за счет сокращения расхода пропилена на 100 кг. на тонну бутиловых спиртов –165 млн.руб.

- за счет экономии энергоресурсов 10% - 28 млн.руб. в год т.к. сократится потребление пара на ректификации.

- за счет уменьшения объёма кубового остатка производства бутиловых спиртов с 10000 т до 4000 т в год - 60 млн.руб.

Итого экономия составит:  $165+28 - 60= 133$  млн.руб.

Окупаемость проекта менее 1 года.

Реализация проекта позволит:

- Снизить расход пропилена на процесс оксосинтеза до 650-670 кг на т бутиловых спиртов(сократить расход пропилена более чем на 5000 т в год);

- Уменьшить образование побочных продуктов (на 50-60 %)- КОБС и эфирная головка;

- Снизить энергозатраты на 10 % в процессах гидрирования и ректификации за счет уменьшения количества побочных продуктов поступающих со стадии окисрования(экономия энергозатрат в ценах 2014 г. составит-28 млн.руб в год).

## **ЗАМЕНА ГАЗА ОТОПИТЕЛЬНОГО НА ГАЗ ОКСИРОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ТРУБЧАТОЙ ПЕЧИ.**

**Пугачёв П.П.<sup>1</sup>, Ляшонок С.Ю.<sup>2</sup>, Дьячкова С.Г.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> магистрант группы ХТм-13 Института металлургии и химической технологии им. С.Б.Леонова, ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

<sup>2</sup> аспирант кафедры химической технологии Института металлургии и химической технологии им. С.Б.Леонова, ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

<sup>3</sup> д.х.н., профессор, зав. Кафедрой ХТ Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

Колебания температуры в реакторах из-за нестабильного давления и калорийности (теплоты сгорания) отопительного газа одна из заметных проблем при производстве бутиловых спиртов на ОАО «АНХК». В Табл.1 приведены значения давления газа отопительного за 12 часов с шагом два часа.

Таблица 1. - Давление отопительного газа

Давление отопительного газа, кгс/м <sup>2</sup>	1400	1650	1900	2000	1300	1100
Время замера	7 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	11 <sup>00</sup>	13 <sup>00</sup>	15 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>

Как видно из таблицы в течение смены существуют значительные колебание давления. Если давление отопительного газа резко увеличивается, то и в трубчатой печи увеличивается расход, соответственно температура сырья подогреваемого в печи резко возрастает, что может привести к температурной «вспышке». Согласно плану ликвидации аварийных ситуаций (ПЛАС) при резком росте температуры в реакторах необходимо остановить процесс, что приведет к снижению выработки продукции. В Табл.2 приведены данные о калорийности отопительного газа с шагом сутки.

Таблица 2. - Калорийность отопительного газа

Калорийность отопительного газа, ккал/м <sup>3</sup>	4500	6100	5050	7000	4900	5100
Дата замера	25.02.15	26.02.15	27.02.15	28.02.15	01.03.15	02.03.15

Как видно из Табл.2 калорийность отопительного газа меняется, что связано с нестабильностью состава сбрасываемых газов в коллектор отопительного газа. Следует отметить, что анализ отопительного газа на калорийность проводится раз в сутки. Динамику калорийности в течение смены мы не видим, что тоже может привести к негативным последствиям. Если теплота сгорания резко повысится, то и процесс горения будет идти эффективнее, что может привести к резкому росту температуры в реакторах и как следствие остановке процесса в соответствии с планом ликвидации аварийных ситуаций.

Нестабильность давления и теплоты сгорания является следствием того, что в коллектор газа отопительного сбрасываются газы с разных технологических потоков, различающиеся по качественному и количественному составу.

Нами предложено для обогрева трубчатой печи заменить отопительный газ на газ окисления. Газ окисления имеет постоянное давление и колебания давления невелики, среднее значение 8 кгс/см<sup>2</sup>. Состав га-

за окисрования практически не меняется, колебания калорийности газа окисрования от 4900 до 5300 ккал/м<sup>3</sup>. Для реализации этого предложения необходимо протянуть трубопровод от сепаратора низкого давления Е-6 и установить буферную емкость с клапаном после нее для дросселирования давления. Затраты для осуществления данного предложения невелики. Количество газа окисрования хватит для нужд трубчатой печи: среднее значение отдува газа из сепаратора Е-6 составляет 1000 нм<sup>3</sup>/ч, а для печи нужно всего максимум 800 нм<sup>3</sup>/ч.

## **ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕБАЗ РЕСПУБЛИКИ САХА ЯКУТИЯ**

**А.Я. Рыбкин<sup>1</sup>, С.Г. Дьячкова<sup>2</sup>, В.П. Михалева<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Заместитель генерального директора по товарной работе ОАО «Саханефтегазсбыт», г. Якутск, аспирант кафедры химической технологии, ЗФО, ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

<sup>2</sup>Д.х.н., зав. Кафедрой химической технологии Института металлургии и химической технологии им. С.Б.Леонова, ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [dyachkova@istu.edu](mailto:dyachkova@istu.edu)

<sup>3</sup> Студентка гр. ПМБ-12-2, Института экономики, управления и права, ИрГТУ.

Чутким индикатором загрязнения приземного слоя атмосферы является снеговой покров. Его химический состав отражает распределение загрязняющих веществ в окружающей среде в течение всего зимнего периода. Поэтому, изучение содержания органических загрязнителей (ОЗ) в снеговом покрове на территории нефтебаз республики Саха Якутия представляет интерес для проведения оценки загрязнения воздуха в зимний период и установление районов рассеивания выбросов в атмосферу от источников.

В качестве объекта исследования нами была выбрана нефтебаза, расположенная на границе муссонной дальневосточной области умеренного пояса, район Нерюнгри. Отбор проб снегового покрова проводили в точках 1 и 2 на территории нефтебазы, которая подвергается наиболее интенсивному загрязнению. Для оценки возможного переноса органических загрязнителей на территорию прилегающих районов нами проведены исследования снежного покрова в 3-х точках за территорией нефтебазы. Отбор проб снега для анализа осуществляли в период предшествовавший снеготаянию, что позволило зафиксировать максимальное накопление загрязнений. Время от начала образования устойчивого снежного покрова до отбора проб составило более 120 суток. Для получения достоверной оценки техногенного загрязнения из проб снега исключали нижний слой – 5 см, поскольку возможна миграция химических веществ почвы в снеговой покров, осо-

бенно в весенний период, когда происходит проникновение тепла вглубь снеговой толщи и увеличение плотности снега.

Для изучения качественного и количественного состава органических загрязнителей в снежном покрове применяли метод хромато-масс-спектрометрии. В исследуемых экстрактах качественно были идентифицированы ПАУ, их алкилпроизводные, алканы: нафталин, метилнафталин, этилбензол, аценафтен, флуорен, фенантрен, метилфенантрен, антрацен, пирен, хризен, гексан, метилгексан, диметилпентан.

Часть органических загрязнителей, выбрасываемых в процессе перекачки и хранения, накапливается на подстилающей поверхности территории предприятия. Этому способствуют метеоусловия данного района. Судя по полученным данным, суммарное количество органических загрязнителей поступающее на подстилающую поверхность промплощадки в зимний период составляет более 300 мкг на м<sup>2</sup> и в зоне влияния предприятия более 150 мкг на м<sup>2</sup>.

В северном (точка 3), восточном (точка 4), западном (точка 5) направлениях, расположенных за территорией нефтебазы наблюдалось меньшее накопление органических загрязнителей от 2 до 5 раз, по сравнению с их суммарной концентрацией, обнаруженной в снежном покрове промзоны. При этом концентрации ОЗ, обнаруженные в точках сопоставимы с концентрациями этих соединений в снежном покрове промышленных центров Иркутской области [1]. Самым неблагоприятным, в отношении метеоусловий, направлением является западное (точка 5), на которое приходится 54% среднегодовой розы ветров, однако наибольшее значение уровня накопления органических загрязнителей в снежном покрове за пределами нефтебазы отмечено в точке 4, расположенной в восточном направлении и составляет более 150 мкг/м<sup>2</sup>. Более высокое содержание органических соединений в снежном покрове этой точки, вероятно, связано с привнесением загрязнителей из других источников. По литературным данным [1], источниками загрязнения подстилающей поверхности являются выбросы предприятий теплоэнергетики (котельная и пр.), автотранспорт и др.

Таким образом, качественный состав и относительное содержание органических загрязнителей в снежном покрове на территории нефтебазы и за её пределами указывает на возможность дальнего переноса ОЗ воздушными массами от источников, характеризует влияние нефтебазы на формирование загрязнителей подстилающей поверхности на территории республики Саха Якутия.



### *Библиографический список*

1. И.И. Маринайте, А.Г. Горшков Мониторинг экотоксикантов в объектах окружающей среды Прибайкалья. Часть II. Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове промышленных центров.//Оптика атмосферы и океана. – 2002. – 15, № 5-6. – С. 450-455.

### **ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВИСБРЕКИНГА С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ГПН НА РОССИЙСКИХ НПЗ**

**В.Н. Сапрыгина<sup>1</sup>, Т.П. Кравец<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Научный руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИрННТУ, г. Иркутск, e – mail: [saprvera@istu.edu](mailto:saprvera@istu.edu)

<sup>2</sup>студент гр. ХТТб – 11 – 1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, ИрННТУ, г. Иркутск, e – mail: [toma.kravets.94@mail.ru](mailto:toma.kravets.94@mail.ru)

Российская нефтеперерабатывающая промышленность одна из крупнейших в мире. По общему объему переработки нефти Россия входит в пятерку мировых лидеров, уступая лишь США и Китаю. В настоящее время российская нефтепереработка объединяет более 30 крупных заводов с объемами переработки более 1 млн тонн нефти и несколько десятков мелких.

Если по объемам перерабатываемой нефти Россия в числе лидеров, то по структуре производства нефтепродуктов и технической оснащенности заводов наша страна до сих пор отстает от стран Запада. По данным компании «Альянс-Аналитика», выход мазута в российской нефтепереработке в 2012 году составил 29% объема переработанной нефти, автобензина — 14,3%, дизельного топлива — 27,8%. Для сравнения: в США выход бензина составляет более 46%, дизельного топлива — 27%, мазута — всего 4%. В странах ЕС выход бензина около 25%, дизельного топлива — 44%, мазута — 14%. [1]

Для того, чтобы вывести нефтепереработку в РФ на новый уровень, необходимо существенно увеличить глубину переработки нефти.

Повышение глубины переработки нефти является важнейшим приоритетом не только в программе развития нефтеперерабатывающей отрасли, но и всего нефтегазового комплекса. [2]

Кардинальное решение проблемы повышения глубины переработки нефти на НПЗ России связано с созданием новых мощностей каталитического крекинга, различных модификаций гидрокрекинга, висбрекинга, замедленного коксования, установок переработки углеводородных газов, сопутствующих мощностей вакуумной перегонки мазута, производства водорода, аминовой очистки и других, а также производства различных катализаторов и присадок.[2]



**Рис. 1** - Сравнение НПЗ РФ и стран мира по индексу Нельсона за 2012 г.

Наиболееосвоенным и самымдешевымсреди известных процессов переработки нефтяных остатков является процесс висбрекинга. Висбрекинг – эффективный и гибкий термический процесс переработки мазутов и гудронов. Назначение процесса – снижение вязкости этих остатков с целью получения котельных топлив, дополнительных количеств газа и дистиллятов; преимущество – выработка товарных котельных топлив пониженной вязкости без разбавления легкими топливными фракциями путем термической деструкции высокомолекулярной асфальто – смолистой части сырья при сравнительно мягких условиях – температура 440–500 °С, давление 0,6–1,5 МПа. [3]

Висбрекинг характеризуется как сравнительно простой процесс, не требующий применения специального дорогостоящего оборудования, является в настоящее время одним из перспективных всхемах глубокой переработки высоковязких нефтяных остатков. Поэтому вполне понятен тот интерес к процессу висбрекинга, который проявляется во многих странах мира. [4]

На современном этапе развития нефтеперерабатывающей промышленности в силу изменения качества сырья в сторону утяжеления и связанного с этим изменения совокупности технологий переработки сырья на конкретном заводе, процесс висбрекинга не исключение в общем балансе установок глубокой переработки высоковязких остатков. Вопрос заключается лишь в том, какую технологию висбрекинга необходимо использовать на данном заводе и насколько максимальна будет экономическая выгода от применения этого процесса.

Таким образом, включение висбрекинга в схему заводов особенно актуально в связи с вовлечением в переработку тяжелых нефтей, а также с повышением спроса на дистиллятные продукты. Еще более привлекателен этот процесс для НПЗ, имеющих неиспользуемые производственные мощности.[5]

### *Библиографический список*

1. Журнал «Эксперт» №20 (851), 2013 г.
2. Рахманкулов Д.Л. «Товароведение нефтяных продуктов Т1-2», 1987 г.
3. Ахмадова Х.Х., Турлуев Р.А-В, Хадисова Ж.Т., Сыркин А.М. Процесс висбрекинга в составе систем глубокой переработки нефти. Материалы межд. науч.-практ. конф. «Нефтегазопереработка и нефтехимия. 2007. Уфа: 2007. С.72–74
4. Варфоломеев Д.Ф., Фрязинов В.В., Валявин Г.Г. Висбрекинг нефтяных остатков. Темобзор. Серия «Переработка нефти». 1982. С. 82–85.
5. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. Уфа: Гилем, 2002. 672 с.

### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА С КИСЛОТАМИ**

**Севастьянов С.Ю.<sup>1</sup>, Баяндин В.В.<sup>2</sup>, Шаглаева Н.С.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> студент гр. ХТ-14, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: zverok2009@yandex.ru

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры химической технологии, г. Иркутск, [e-mail: bayandinvv@yandex.ru](mailto:bayandinvv@yandex.ru)

<sup>3</sup> д.х.н., профессор кафедры химической технологии, г. Иркутск, [e-mail: ShaglaevaNS@yandex.ru](mailto:ShaglaevaNS@yandex.ru)

При обработке поливинилхлорида (ПВХ) смесью серной и хлорсульфоновой кислот получены нерастворимые сульфированные катионообменные смолы [1]. Одной из побочных реакций является дегидрохлорирование ПВХ, которое приводит к образованию трехмерных, окрашенных в темный цвет нерастворимых полимеров. Выделение двуокиси углерода и двуокиси серы может быть связано с окислением дегидрохлорированного поливинилхлорида кислородом воздуха.

Обработкой ПВХ серной кислотой в присутствии небольших количеств азотной кислоты (10 %) можно получить полимер белого цвета с низкой вязкостью [2]. «Отбеливающее» действие азотной кислоты, очевидно, связано с окислением возникающих двойных связей, сопровождающимся разрывом основной цепи полимера, что влечет за собой понижение вязкости ПВХ. По-видимому, азотная кислота действует на ПВХ как окислитель. Окисление ПВХ азотной кислотой приводит к образованию растворимых в метаноле бесцветных полимеров с пониженной вязкостью, содержащих большое количество карбонильных групп (по данным ИК-спектроскопии). С повышением температуры и увеличением времени ре-

акции вязкость продуктов окисления и содержание хлора в них значительно снижаются.

### Библиографический список

1. Получение и свойства поливинилхлорида. // Под ред. Е.Н. Зильбермана. М.: Химия, 1968. — 431 с.
2. Process of sulfonating a plasticized polyvinyl chloride film to form a cation permselective membrane / Goldsmith G. Patent USA № 2948637; Publication date 9.08. 1960.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (Государственное задание № 37).*

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОПОЛИМЕРОВ ВИНИЛХЛОРИДА

**Севастьянов С.Ю.<sup>1</sup>, Баяндин В.В.<sup>2</sup>, Шаглаева Н.С.<sup>3</sup>**

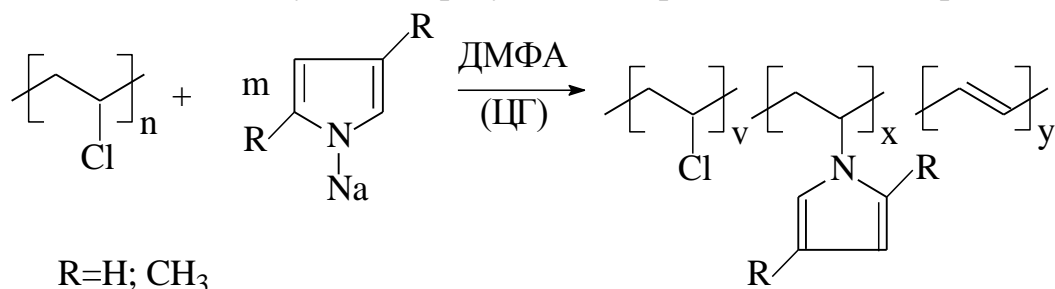
<sup>1</sup> студент гр. ХТ-14, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: zverok2009@yandex.ru

<sup>2</sup> к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [bayandinvv@yandex.ru](mailto:bayandinvv@yandex.ru)

<sup>3</sup> д.х.н., профессор кафедры химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [ShaglaevaNS@yandex.ru](mailto:ShaglaevaNS@yandex.ru)

Химической модификацией поливинилхлорида (ПВХ) получены новые полимерные материалы с комплексом ценных свойств [1, 2]. Это обстоятельство определяет актуальность работ по синтезу новых сополимеров при взаимодействии ПВХ с низкомолекулярными соединениями и исследованию их свойств. В этой связи изучена реакция поливинилхлорида (ПВХ) с Na-солями пиразола (ПР) и 3,5-диметилпиразола (ДМП). На основании данных элементного анализа, ЯМР (<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C) и ИК-спектроскопии доказано, что исследуемая реакция сопровождается дегидрохлорированием.

На основании полученных результатов предложена схема реакции:



Продукты реакции ПВХ с Na-солями ПР, ДМП обладают парамагнетизмом и дают в спектрах ЭПР интенсивные синглеты шириной от 9 до 14 Э, соответствующие концентрациям парамагнитных центров  $10^{17}$ – $10^{19}$  сп·г<sup>-1</sup>.

#### *Библиографический список*

1. Shaglaeva N.S., Sultangarrev R.G., Orkhokova E.A., Prozorova G.F., Dmitrieva G.V., Dambinova A.S., Stenina I.A., Yaroslavtsev A.B. Proton-Conducting Membranes Based on Modified Poly(vinyl chloride) // Petroleum Chemistry. 2011. V. 51. No 8. P. 620-625.

2. Shaglaeva N. S., Bayandin B.B, Multuev P.V., Voronkov M.G., Abzaeva K.A. // Russian Journal of General Chemistry. 2014. Vol. 84.No 9. P. 1799-1802.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания (№ 37).*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЕКОКСОВОЙ МЕЛОЧИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Е.Г. Спешилов<sup>1</sup>, О.И. Дошлов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> аспирант, кафедра химической технологии, Института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова, ИрННТУ, г. Иркутск, e-mail: speshilov.evgen@mail.ru

<sup>2</sup> к.х.н., профессор кафедры химической технологии ИрННТУ, г. Иркутск, e-mail: doshlov125@mail.ru

Сжигание нефтекоксовой мелочи с небольшим содержанием серы и зольных примесей в бытовых и промышленных топках является низкокачественным способом ее использования и снижает рентабельность современных высокопроизводительных установок коксования.

К числу перспективных способов промышленного использования мелких фракций кокса можно отнести следующие:

- прокалка мелочи с целью удаления из нее влаги и летучих веществ и использование ее в производстве электродов;
- получение механически прочных брикетов (с низким выходом летучих) для использования в химической промышленности (в качестве восстановителя) и в качестве топлива;
- использование в качестве восстановителя при получении карбида кремния;
- коксование в смеси с остатками, получающимися при переработке нефти, каменного угля, сланцев, торфа, бурого угля и др.;

Применение коксовой мелочи (после ее прокалки) в производстве

электродной продукции привлекает внимание работников науки и производства, так как в состав шихты для приготовления анодной массы и графитированной продукции входит до 50% кокса с размером частиц 0—0,5 мм[1].

Прокалка коксовых частиц таких размеров в существующих прокаточных агрегатах вращающихся печах или вертикальных камерных печах практически невозможна. В связи с этим научно-исследовательские и проектные институты пытаются разработать приемлемые конструкции прокаточных печей, в которых угар кокса будет наименьшим при их высокой производительности.

Большинство авторов изучает процесс прокалки в кипящем слое в токе воздуха. Прокалка частиц размером до 1 мм уже освоена в процессе коксования на порошкообразном коксовом теплоносителе. Разрабатываются новые способы, позволяющие прокаливать коксовую мелочь размерами 0—10 мм с наименьшим угаром углерода[2].

Принципиально возможно возвращение в реактор установки замедленного коксования коксовой мелочи, предварительно нагретой до температуры не ниже температуры нагрева сырья. Мелочь может подаваться в реактор одновременно с подачей сырья снизу или ссыпаться в реактор сверху.

Наиболее технически и экономически целесообразно прокаливать весь получающийся на установках кокс вместе с мелочью во вращающихся печах длиной около 60 м, с временем пребывания его в печи около 1,5 ч при регулируемой подаче воздуха и использовании тепла отходящих дымовых газов для производства водяного пара высокого давления. Такое решение особенно необходимо в связи с быстрыми темпами развития процессов замедленного коксования, в которых выход фракций кокса мельче 6 мм составляет 30—50% от общей выработки, а также при переработке тяжелых остатков ценных малосернистых нефтей.

Использование всего гранулометрического состава суммарного нефтяного кокса относится к проблеме облагораживания. Трудность прокаливания мелких фракций кокса вследствие их интенсивного сгорания требует разработки альтернативных способов вовлечения этого продукта в дальнейшее производство или придания мелочи кокса таких свойств, которые бы удовлетворяли требованиям определенного круга потребителей[3].

#### *Библиографический список*

1. Красюков А. Ф. Нефтяной кокс. - М.: Химия, 1966. - 264 с.
2. Походенко Н. Т., Брондз Б. И. Получение и обработка нефтяного кокса. - М.: Химия, 1986.-312 с.
3. Спешилов Е.Г., Дошлов О.И. Нефтекоксая мелочь – новый углеродистый восстановитель для производства карбида кремния. Вестник

ИрГТУ № 10 октябрь 2014 г. Стр. 85-91.

4. Спешиллов Е.Г., Дошлов О.И. Внутренняя структура нефтяного кокса и ее влияние на общее содержание влаги. Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных, растительных и минеральных ресурсов» г. Иркутск, 24-25 апреля 2014 г.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА НЕФТИ МАРКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Ю.Ю. Чикичёва<sup>1</sup>, Н.Д. Губанов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> студентка гр. ХТОБ-11-1, института металлургии и химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск.

<sup>2</sup> к.т.н., доцент кафедры химической технологии ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [gubanov\\_nd@istu.edu](mailto:gubanov_nd@istu.edu)

Для исследования режимов работы аппаратов технологических установок и расчёта физико-химических свойств сырья и конечной продукции в современных условиях широко используются компьютерные системы технологического моделирования, представляющие собой объектно-ориентированные программы. При моделировании режимов работы ректификационных колонн установок первичной переработки нефти необходимо знать её состав. Как известно, нефть представляет собой многокомпонентную смесь углеводородов с непрерывным характером выкипания. Поэтому принято для определения состава нефти смесь высококипящих углеводородов делить на псевдокомпоненты или узкие фракции [1]. Для разделения нефти на псевдокомпоненты прежде всего необходимо экспериментально определить её фракционный состав и плотность.

Разгонку нефти Марковского месторождения по ГОСТ 2177-99 (ASTM D 86) осуществляли на аппарате АРН-2. Данные разгонки нефти плотностью 797 кг/м<sup>3</sup> приведены в табл.1.

Таблица 1 - Данные разгонки нефти

Фракция, % об.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Температура, °С	48	88	108	126	141	160	177	196	214	237	262	282	305

Разгонку нефти при атмосферном давлении на аппарате АРН-2 осуществляют до температур не выше 360°С для исключения термического разложения компонентов тяжёлых фракций. Разбивка программой нефти

на псевдокомпоненты и рассчитанные их основные свойства приведены в табл. 2. Рассчитанные кривые разгонок приведены на рис. 1.

Таблица 2 - Разбивка нефти на псевдокомпоненты и их основные свойства

Псевдо-компонент	ИТК, °С	Мол. масса, кг/кмоль	Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	Вязкость при 40°С, мПа·с	Вязкость при 100°С, мПа·с
ПК 45	45.08	72.57	665.8	0.3306	0.1711
ПК 61	61.27	79.38	682.4	0.3870	0.2030
ПК 93	92.81	94.01	703.2	0.3525	0.2160
ПК 142	141.8	120.6	733.3	0.5365	0.3023
ПК 191	190.8	152.4	761.1	0.8736	0.4407
ПК 223	223.2	177.2	778.4	1.2369	0.5686
ПК 289	288.6	237.5	811.2	2.7281	0.9973
ПК 305	304.7	254.5	818.9	3.3654	1.1522
ПК 337	337.4	291.0	834.1	5.2437	1.5515
ПК 370	370.3	328.6	848.8	8.7438	2.1623
ПК 386	386.4	345.9	855.8	11.514	2.5736
ПК 402	402.4	366.7	862.7	15.256	3.0637
ПК 441	440.9	424.3	878.9	33.750	4.9401
ПК 477	476.9	475.7	893.3	69.576	7.4361
ПК 544	544.2	571.9	919.2	406.34	19.172
ПК 613	612.8	683.2	944.3	3579.7	65.576

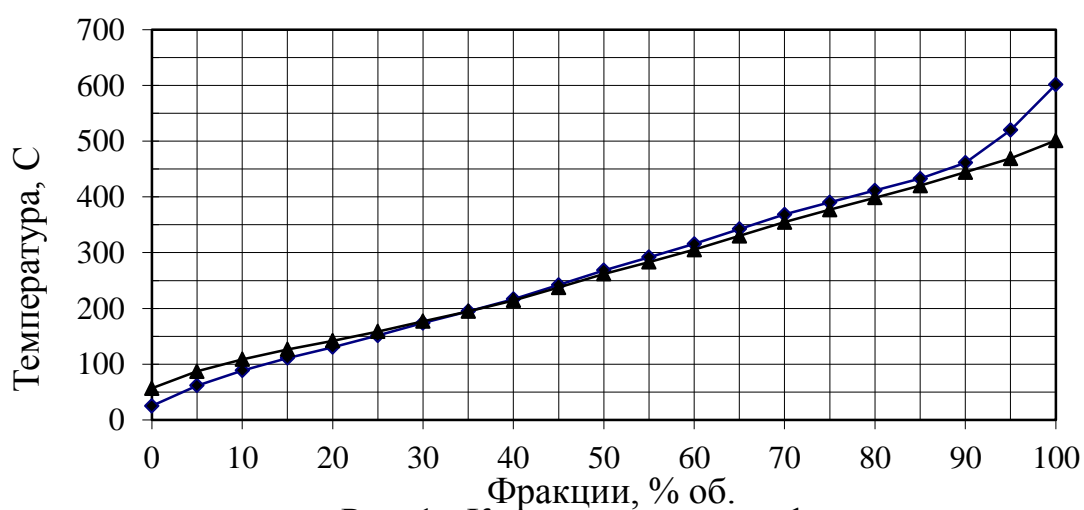


Рис. 1 - Кривые разгонок нефти  
 —◆— ИТК —▲— ГОСТ 2177-99



Таким образом, применение специализированных программ позволяет определить состав нефти и кривые разгонок, на основе которых определяется выход топливных фракций и мазута.

### *Библиографический список*

1. Губанов Н.Д. Исследование режимов работы ректификационных колонн установок первичной переработки нефти. Моделирование отбензинивающей колонны. Вестник ИрГТУ. 2012. №1. С. 109-115.

## **ПРОРАБОТКА ВОПРОСА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИСАДКИ АГИДОЛ-1 НА ОАО «АНХК»**

**С.Ю. Щербаченко<sup>1</sup>, Н.В. Индюкова<sup>2</sup>, В.Н. Сапрыгина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Начальник технологического отдела ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, студент группы ХТТз-09-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрНИТУ, e – mail: [S\\_Scherbachenko@anhp.ru](mailto:S_Scherbachenko@anhp.ru)

<sup>2</sup> Инженер-проектировщик 2 кат. ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, e-mail: [IndukovaNV@rosneft.ru](mailto:IndukovaNV@rosneft.ru)

<sup>3</sup> Научный руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИрНИТУ, г. Иркутск, e – mail: [saprvera@istu.edu](mailto:saprvera@istu.edu)

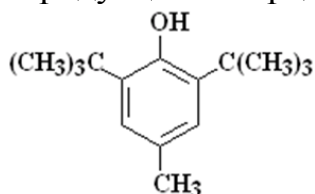
Проектом предусматривается организация производства присадки Агидол-1 в рамках программы развития Химического завода ОАО «Ангарской нефтехимической компании» мощностью 5000 тонн в год.

Агидол-1 является уникальным веществом, не уступает по своим свойствам другим антиокислительным присадкам и имеет ряд преимуществ по применению – препятствует потере механической прочности и изменению цвета полимеров (каучук, пластмассы), осмолению топлива, образованию кислот и шлама в турбинных и трансформаторных маслах и др. [1].

В настоящее время существует единственный в России производитель антиоксиданта марки «Агидол-1» – это ЗАО «Стерлитамакский нефтехимический завод», который специализируется на производстве фенольных антиоксидантов, с проектной мощностью производительности узла – 2530 тонн в год. На данном предприятии для производства Агидола-1 закупают фенол и изобутилен у сторонних производителей, что является существенным преимуществом для ОАО «АНХК» для возможной конкуренции на отечественном рынке и в перспективе на международном [2].

Основная цель выполнения проекта – это отказ от закупки Агидола-1 у сторонних поставщиков и переход на выпуск антиокислительной добавки в ОАО «АНХК» путем реализации нового строительства собственной установки.

Основным преимуществом разработки проекта является его ориентированность не только на получение конечного продукта, но и на реализацию продукции на предприятиях ОАО «НК «Роснефть».

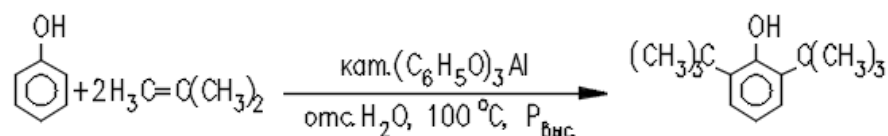


Агидол-1 (2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол)

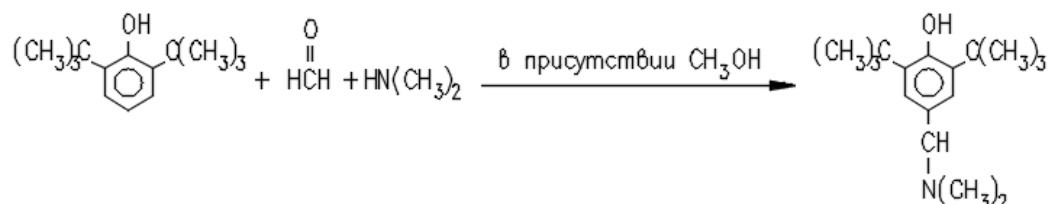
*Синонимы: ионол, дибунол, бутилгидрокситолуол, ВНТ*

Способ получения Агидола-1 технического выбран исходя из наличия на ОАО «АНХК» основного требуемого сырья.

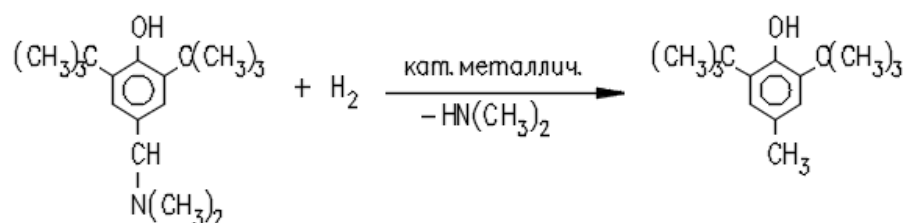
В предлагаемом способе Агидол-1 получают из фенола. Фенол алкилируют изобутиленом (катализатор фенолят Al) в отсутствие влаги при температуре не выше 100 °С и повышенном давлении [3]:



Затем при 80-100 °С в метаноле проводят аминометилирование:



На следующей стадии посредством гидрогенолиза происходит регенерация диметиламина и практически с количественным выходом выделяется 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол:



В комплекс получения Агидола-1 также включен узел получения фенола кумольным методом (через стадию алкилирования бензола пропиленом) и узел получения формальдегида методом окисления метанола кислородом воздуха.

В работе представлено перспективное включение нового производства в общую схему Химического завода ОАО «АНХК» и проведен анализ по изменению сырьевых потоков. Размещение нового комплекса по производству Агидола-1 предлагается на площадке химического завода на месте демонтируемых производств с привязкой к сетям общезаводского хозяйства.

Многие компании предлагают аналоги Агидола-1 от ведущих зарубежных производителей, например, Vulkanox ВНТ (страна производитель – Германия). Из этого можно сделать вывод, что спрос на Агидол-1 есть, и это подтверждает потребность российского рынка в необходимости производства отечественного продукта.

Капитальные вложения, необходимые для реализации предложенного проекта, составят 1500 млн. руб., операционные затраты – 165 млн. руб.

Срок окупаемости составит около 6 лет.

Реализация строительства комплекса по производству Агидола-1 имеет существенную практическую значимость.

#### *Библиографический список*

- 1) Химический энциклопедический словарь. – Под ред. Кнунянц И.Л. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – С. 164.
- 2) [http://newchemistry.ru/item.php?n\\_id=141](http://newchemistry.ru/item.php?n_id=141).
- 3) Ершов В. В., Никифоров Г. А., Володькин А. А. Пространственно-затрудненные фенолы. — М.: Химия, 1972. — 352 с.

### **ПЕРСПЕКТИВА СТРОИТЕЛЬСТВА КОМПЛЕКСА ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЛДИЭТАНОЛАМИНА (МДЭА) НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКЕ ОАО «АНХК»**

**С.Ю. Щербаченко<sup>1</sup>, А.М. Корякина<sup>2</sup>, В.Н. Сапрыгина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Начальник технологического отдела ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, студент группы ХТТз-09-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрННТУ, e – mail: [S\\_Scherbachenko@anhp.ru](mailto:S_Scherbachenko@anhp.ru)

<sup>2</sup> Инженер-проектировщик 3 кат. ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, e-mail: [KoryakinaAM@rosneft.ru](mailto:KoryakinaAM@rosneft.ru)

<sup>3</sup> Научный руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИрННТУ, г. Иркутск, e – mail: [saprvera@istu.edu](mailto:saprvera@istu.edu)

Высокую потребность метилдиэтанолamina (МДЭА) в России задают современные тенденции. Потребление МДЭА с каждым годом на производствах возрастает, в связи со строительством новых предприятий и за-

водов, а также реконструкции существующих предприятий и составляет примерно 60 тыс. тонн в год [2].

На данный момент в РФ имеется единственный производитель МДЭА - ЗАО «Химсорбент» (г. Дзержинск). Иностранные фирмы активно продвигают на Российский рынок свои технологии и абсорбенты, созданные на основе МДЭА, но цены на них весьма высоки, по сравнению с отечественным аналогом. На предприятиях РФ используются продукты, таких фирм как BASF, DAW CHEMICAL, UNION CARBIDE, TAMINCO.

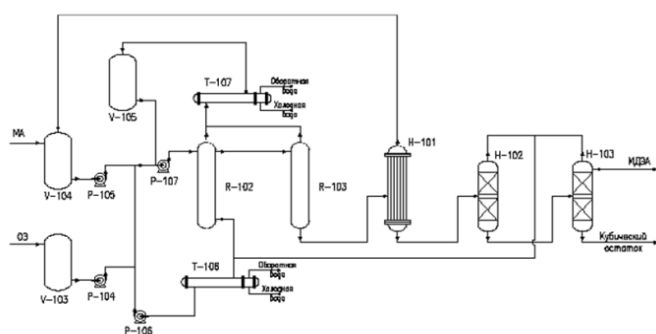
Таким образом, в РФ ощущается дефицит мощности по производству МДЭА. Исходя из всего выше изложенного, предложен способ получения МДЭА на промышленной площадке ОАО «АНХК» производительностью 10 тыс. тонн в год.

В настоящее время ОАО «АНХК» является единственным в России производителем метиламина, следовательно, сырьевая база для производства МДЭА имеется в достаточном количестве. Строительство комплекса производства МДЭА предлагается осуществить на промплощадке химического завода ОАО «АНХК».

При разработке технологической схемы и материального баланса производства метилдиэтанолamina был проведен патентный поиск и составлен оптимальный комплекс для получения МДЭА [4,5].

Комплекс по производству МДЭА состоит из двух производств: получение окиси этилена и получение метилдиэтанолamina.

В качестве сырья для получения МДЭА будет использоваться метиламин и окись этилена. Метиламин будет поставляться с химического завода ОАО «АНХК»; окись этилена планируется получать из этилена, который будет поставляться с ОАО «Ангарского завода полимеров» установка ЭП-300.



Производство окиси этилена осуществляется эпоксидирование этилена - каталитическое парциальное окисление этилена кислородом в реакторе на серебрясодержащем катализаторе [1].

Рисунок 1 – Технологическая схема получения окиси этилена

Синтез МДЭА осуществляется в

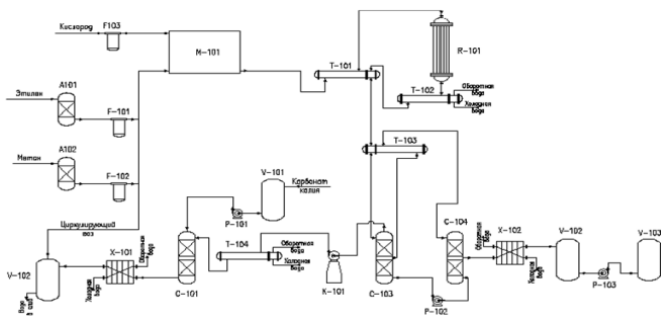


Рисунок 2 – Технологическая схема получения МДЭА

реакторном блоке. Исходное сырье, окись этилена и метиламин, подается в мольном соотношении 1:2. Условия синтеза в реакторе: температура 70-90 °С; давление 0,5-0,7 МПа. При данных условиях в реакторе образуется реакционная смесь [3].

Разделение реакционной смеси, полученной из реакторного блока, включает в себя следующие стадии: отгонка метиламина, отгонка метилмоноэтаноламина, выделение метилдиэтаноламина. Все стадии осуществляются в ректификационных колоннах. На выходе узла разделения получается товарный продукт МДЭА не менее 99,0 % масс. [5].

При разработке данного проекта учитывались исходные данные по качеству за 2013-2014 гг., капитальные затраты определены по оборудованию аналогам в ценах 2014 г. Расчетный срок окупаемости проекта составляет около 5 лет.

Таким образом, реализация комплекса производства МДЭА позволит использовать имеющиеся производственные мощности структурных подразделений ОАО «АНХК», а продукция позволит удовлетворить как собственные потребности в МДЭА, так снизит импортозависимость других нефтеперерабатывающих заводов России.

#### *Библиографический список*

1. Зимаков П.В., Дыммент О.Н., Богословский Н.А., Вайсберг Ф.И. и др.; Под ред. П.В. Зимакова и О.Н. Дыммента. Окись этилена. М.: Химия, 1967.-320с.
2. Разработка химреагентов для ОАО «Газпром» на базе товарной продукции комплекса производств ЗАО «Химсорбент»: Отчет о НИОКР (промежуточн. по договору №1356-00-8) / ОАО «Газпром». № рег. 01.200.1 14812.-М., 2000.-34 с.
3. Разработка технологии синтеза абсорбентов физико-химического действия: Отчет о НИР / ГНТП «Химтэк». СПб: 1992. - 24 с.
4. Патент РФ 1783771, кл. C07C 215/12 от 19.05.1990 г
5. Патент RU 2268254 C1 от 20.01.2006 г.

## УСТАНОВКА ГИДРООЧИСТКИ БЕНЗИНА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

С.Ю. Щербаченко<sup>1</sup>, А.Г. Полияк<sup>2</sup>, В.Н. Сапрыгина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Начальник технологического отдела ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, студент группы ХТТз-09-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрННТУ, e-mail: [S.Scherbachenko@anhp.ru](mailto:S.Scherbachenko@anhp.ru)

<sup>2</sup> Инженер-проектировщик 1 кат. ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, e-mail: [poliniakd@mail.ru](mailto:poliniakd@mail.ru)

<sup>3</sup> Научный руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИрННТУ, г. Иркутск, e-mail: [saprvera@istu.edu](mailto:saprvera@istu.edu)

Бензины каталитического крекинга характеризуются высоким содержанием ароматических углеводородов (20 - 30% и более) и олефинов (16 - 40%). В настоящий момент на установках каталитического крекинга в основном перерабатывают негидроочищенное сырье, что влечет за собой высокое содержание соединений серы в получаемых бензиновых фракциях (0,25-0,35 %масс. и более), то есть затрудняет их использование для приготовления товарных бензинов.

С 2011 г. в России утвержден Технический регламент Таможенного Союза "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту" ТР ТС 013/2011. – Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза № 826 (далее — Технический регламент). Согласно Техническому регламенту, для автомобильных бензинов нормируются требования по следующим показателям: содержание свинца, серы, бензола, детонационная стойкость и т.д. В соответствии с требованиями Технического регламента массовая доля серы бензина экологического класса К5 составляет не более 10 мг/кг [1].

Таким образом, процесс гидроочистки бензина каталитического крекинга приобретает все большее значение в схеме получения автобензинов, и роль этого процесса будет неуклонно возрастать с углублением переработки нефти.

Процесс гидроочистки бензинов каталитического крекинга технологически более сложен по сравнению с гидроочисткой прямогонных бензиновых фракций, так как в нем не должны протекать реакции гидрирования олефиновых углеводородов, влекущие за собой потерю октанового числа, при одновременном максимальном удалении сернистых соединений.

Существует несколько способов гидроочистки бензина каталитического крекинга:

- повышение качества бензиновой фракции процесса каталитического крекинга путем проведения ее гидрообессеривания в присутствии окисно-сульфидного катализатора в атмосфере водорода при повышенных температуре и давлении;
- очистка в присутствии водорода и алюмокобальтмолибденового катализатора;
- «селективная гидроочистка».

Недостатком данных способов гидроочистки является низкое октановое число гидроочищенной бензиновой фракции.

Предложен способ раздельного облагораживания легкой и тяжелой фракций бензина каталитического крекинга. Данный способ позволяет получить бензин с октановым числом порядка 80 по моторному методу и порядка 90 по исследовательскому методу, с содержанием серы 20-40 ppm. Данный метод используется в ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» [2].

В настоящий момент в РФ осуществлен запуск двух промышленных установок гидроочистки бензина каталитического крекинга:

- на Омском нефтеперерабатывающем заводе, компания «Газпром нефть». Установка гидроочистки спроектирована по технологии PrimeG+, разработанной петербургским предприятием ЗАО «Нефтехимпроект». Недостатком данной технологии является неглубокое обессеривание бензина;
- филиал «Башнефть-УНПЗ». Технология гидроочистки бензина разработана фирмой Catalytic Distillation Technologies (CDTECH). Это первая в России лицензионная установка, в которой используется технология каталитической дистилляции. В процессе каталитической дистилляции в колонне происходит разделение бензина каталитического крекинга на тяжёлый и лёгкий, удаление лёгких меркаптанов, изомеризация легких  $\alpha$ -олефинов в  $\beta$ -олефины и максимальное извлечение олефинов в верхний продукт колонны.

Технология, разработанная фирмой CDTECH является более прогрессивной и позволяет осуществлять процесс со снижением содержания общей серы в бензине каталитического крекинга с минимальной потерей олефинов за счет гидрирования и получение товарного гидроочищенного бензина. Продукция ГОБКК — компонент для производства высокооктановых бензинов, отвечающих требованиям 5 экологического класса по Техническому регламенту (Евро-5).

Данная технология также планируется к реализации в ОАО «Ангарская нефтехимическая компания». Применение процесса каталитической дистилляции является наиболее перспективным и рациональным подходом, так позволяет в одном аппарате колонного типа проводить сразу два процесса – каталитическое гидрообессеривание и ректификацию.



Технология фирмы CDTECH процесса гидроочистки бензина каталитического крекинга позволяет снизить содержание общей серы в бензине каталитического крекинга с минимальной потерей олефинов за счет гидрирования и получение товарного гидроочищенного бензина, т.е. соответствовать самым высоким эксплуатационным и экологическим требованиям.

#### *Библиографический список*

1 Технический регламент Таможенного Союза "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту" ТР ТС 013/2011. – Утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 826

2 Способ гидроочистки бензина каталитического крекинга. Патент RU 2242501. Владельцы патента: ООО «АЛВИГО-М».

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ДЦПД (ДИЦИКЛОПЕНТАДИЕН) НА АНГАРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛОЩАДКЕ**

**С.Ю. Щербаченко<sup>1</sup>, Е.В. Савельева<sup>2</sup>, В.Н. Сапрыгина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Начальник технологического отдела ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, студент группы ХТТз-09-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрНИТУ, e-mail: [S\\_Scherbachenko@anhp.ru](mailto:S_Scherbachenko@anhp.ru)

<sup>2</sup> Инженер-проектировщик 3 кат. ОАО «Ангарскнефтехимпроект», г. Ангарск, e-mail: [SavelevaEV-anh@rosneft.ru](mailto:SavelevaEV-anh@rosneft.ru)

<sup>3</sup> Научный руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИрНИТУ, г. Иркутск, e-mail: [saprvera@istu.edu](mailto:saprvera@istu.edu)

Увеличение производства этилена и пропилена, наблюдаемое в последние годы в мире, привело к значительному возрастанию количества циклопентадиена (ЦПД) и дициклопентадиена (ДЦПД), образующихся в качестве побочных продуктов на установках пиролиза нефтяного сырья [1].

В Советском Союзе ДЦПД производился в промышленном масштабе лишь коксохимического происхождения. В 1980 году мировой спрос на ДЦПД превышал 100 тыс.т/год. Поэтому внедрение процесса промышленного получения нефтехимического дициклопентадиена являлось важной народнохозяйственной задачей [2].

Повышенный интерес к ДЦПД высокой чистоты в России наблюдается с 2007 года, когда был освоен процесс синтеза полимера ДЦПД для



производства ряда деталей КАМАЗов (г. Набережные Челны, ОАО «Реат») [1].

На сегодняшний день известен только один производитель ДЦПД в России – это ОАО «Нижнекамскнефтехим».

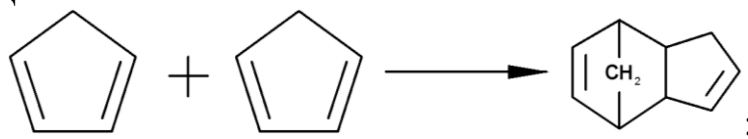
Основными направлениями использования ДЦПД являются: получение ферроцена (антидетонационная присадка); адамантана (сырье для получения медицинских препаратов); спиртов, альдегидов, кислот, эфиров на основе ДЦПД (используются в парфюмерной промышленности, в производствах синтетических смол, эластомеров, а так же для синтеза различных органических соединений); получение топлива для реактивных двигателей («децилин»), получение полидициклопентадиена [3,4].

В промышленности ДЦПД используется с 1993 года, и он отлично зарекомендовал себя в различных отраслях. Простота переработки и низкие инвестиционные затраты по сравнению с другими материалами обеспечивают неоспоримые преимущества ДЦПД, особенно при его применении для изготовления крупногабаритных частей мелкими и средними партиями.

Одна из технологий выделения ДЦПД, разработанных в России, внедренная в ОАО «Нижнекамскнефтехим», позволяет получить продукт из нефтехимического сырья с концентрацией 92-95 %. Однако такая чистота димера недостаточна для синтеза полимерного продукта. В связи с этим производство в России полиДЦПД уже нашедшего широкое применение в автомобилестроении, на сегодняшний день базируется исключительно на импортируемом сырье.

Проведенный анализ литературы, включая патентный поиск, с целью выяснения существующих способов получения ДЦПД был использован для разработки технологической схемы получения ДЦПД из фракции C<sub>5</sub> производства пиролиза (ЭП-300). Схема включает в себя следующие стадии:

1. Стадия димеризации ЦПД во фракции C<sub>5</sub> и концентрирования ДЦПД



2. Стадия мономеризации димера циклопентадиена и выделения концентрированного ЦПД;

3. Стадия димеризации концентрированного ЦПД и атмосферно-вакуумной очистки.

Учитывая место формирования сырьевой базы для установки производства ДЦПД (установка ЭП-300 ОАО «Ангарский завод полимеров») наиболее рациональным и целесообразным решением является строительство установки получения ДЦПД на территории данного завода.

Для оценки материального баланса установки производства ДЦПД, рассчитанного на мощность производства установки ЭП-300 были приняты фактические данные по выработке продукции за 2013-2014 гг. Выход ДЦПД составит 1500 т/год.

Основным показателем эффективности является срок окупаемости капитальных затрат, для установки производства ДЦПД производительностью

1500 т/год срок окупаемости составит  $\approx 11$  лет. В расчете срока окупаемости были учтены данные в ценах 2014 г.

Строительство установки производства ДЦПД на Ангарской промышленной площадке обеспечит как стабильный доход с учетом востребованного спроса на данный продукт, так и рациональное использование побочного продукта пиролиза (фракция  $C_5$ ). ДЦПД обеспечивает высокую конкурентоспособность как на внутреннем, так и на внешнем рынках нефтехимии.

#### *Библиографический список*

1. Седова С.Н. Разработка извлечения ДЦПД полимеризационной чистоты из смеси нефтехимического и коксохимического сырья/ С.Н. Седова,

А.В. Деев, И.А. Магсумов, А.В. Ерхов, А.Г. Лиакумович, Е.Н. Черезова// Материалы ежегодной научно-практической конференции «Инновации РАН». Казань. 2010г.

2. Серебряков Б.Р., Масагутов Р.М., Правдин В.Г. и др., Под.ред. С.П. Черных// Новые процессы органического синтеза//– М.:Химия, 1989.–400с.:ил.

3. Нефтепереработка и нефтехимия №1, 2012г., стр. 42-44

4. The Chemical Journal, март 2011г.

## **БИОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

**О.В. Белозерова<sup>1</sup>, Л.Е. Белозеров<sup>2</sup>, Л.В. Бутенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Руководитель, к.х.н., доцент кафедры химической технологии ИРННТУ, г. Иркутск, e-mail: [ovbelozerova@list.ru](mailto:ovbelozerova@list.ru)

<sup>2</sup> главный специалист технолог, к.х.н. лаборатория прикладной химии, ИрИХ СО РАН, г. Иркутск, e-mail: [lebelozerov@irioch.irk.ru](mailto:lebelozerov@irioch.irk.ru)

<sup>3</sup> старший специалист испытательной (химико-аналитической) лаборатории -1 Секторов по контролю качества ООО «РН-Пурнефтегаз», e-mail [LVButenko@purneftegaz.ru](mailto:LVButenko@purneftegaz.ru)

Товарные дизельные топлива получают из сернистого сырья, путем смешения прямогонного и гидроочищенного компонентов. В России с

каждым годом увеличивается потребность в дизельных топливах с улучшенными экологическими свойствами. Так, например во многих странах уже используют такие дизтоплива и эта цифра достигает 20-30% (Германия, США, Австрия) и даже 70% Скандинавия [1].

Возможные пути решения этой проблемы:

- для получения таких топлив необходимо проведения процессов глубокой гидроочистки и деароматизации сырья при более жестких условиях, нежели при получении стандартных малосернистых топлив и внедрение высокоэффективных катализаторов;
- альтернативные топлива – получаемые из природного газа, угля; сжатый и сжиженный газы и топливо из возобновляемых источников энергии получаемых из растительного сырья.

В качестве растительного сырья можно использовать: рапсовое масло, подсолнечное, соевое, хлопковое и т.д.

Введение в топливо не переработанных масел нежелательно, так как они характеризуются повышенной вязкостью и плотностью, сравнительно низкой теплопроводностью, а из-за наличия свободных кислот склонны к окислению при хранении. Поэтому масла необходимо алкилировать, получая моноэфиры соответствующих кислот, которые характеризуются пониженной вязкостью и плотностью, и более лучшими низкотемпературными свойствами. Цетановое число в среднем повышается на 20 единиц.

Наиболее полно изучен рапсметиловый эфир, который в значительных количествах используется в Швеции и других странах. Его можно добавлять в нефтяное дизельное топливо в концентрации до 30% без дополнительной регулировки двигателя. В тоже время метанол является сильнейшим ядом и производство таких эфиров будет сопровождаться определенными трудностями.

Для алкилирования масел можно использовать не только метиловый спирт, но и другие доступные спирты. Например, этиловый спирт, как технического так и растительного характера.

Целью данной работы является подробное изучение влияния соответствующих эфиров растительного сырья на быстроходное дизельное топливо.

#### *Библиографический список*

1. Капустин В.М. Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками. – М.: КолоС, 2008. 232с.

# ПОЛУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ

Угапьев А.А.<sup>1</sup>, Дошлов О.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Аспирант кафедры химической технологии ИрННТУ, г. Иркутск, [httpoliteh@gmail.com](mailto:httpoliteh@gmail.com)

<sup>2</sup> к.х.н., академик МАНЭБ, профессор кафедры химической технологии ИрННТУ, г. Иркутск, [doshlov125@mail.ru](mailto:doshlov125@mail.ru)

В настоящее время формируется существенный спрос на качественные и доступные композиционные связующие материалы для нужд цветной металлургии, энергетики, дорожного строительства и нефтеперерабатывающей промышленности. В связи с малой изученностью структуры и свойств сложных смесей веществ органического происхождения, к которым относится нефть, её производные и продукты переработки каменного угля, становятся актуальными исследования по теоретическому обоснованию и созданию экономически выгодного, конкурентоспособного, энерго- и ресурсосберегающего технологического процесса производства новых связующих композиционных материалов на нефтяной и гибридной основе.

Существует несколько основных способов получения вакуумная переработка, термополиконденсация, окисление.

## **Получение нефтяного пека вакуумной перегонкой.**

Вакуумная перегонка крекинг-остатка при температуре 385-390°C, остаточном давлении 0,011-0,013МПа позволяет получать нефтяные пеки с температурой размягчения 82-90°C, выходом летучих 60-64%. Эти пеки имеют низкую плотность и содержат незначительное количество  $\alpha$ -фракции (не более 8-10%). Низкая плотность и недостаточное количество  $\alpha$ -фракции не позволяет таким пекам на равных конкурировать с каменноугольными пеками, даже с учетом экологичности данного вида продукции [1].

## **Получение нефтяных пеков методом термополиконденсации.**

Термополиконденсация позволяет получать пеки с температурой размягчения 65-100°C, плотностью 1250-1300 кг/м<sup>3</sup> при следующих условиях процесса: температура 420-430°C, продолжительность 3-5 часов. Увеличение температуры процесса до 460-510°C при снижении продолжительности процесса до 1-5 мин., и последующая выдержка в реакторе при 380-440°C в течении 1-3 часов позволяют также получить нефтяной пек для алюминиевой промышленности.

Нефтяные пеки, полученные термополиконденсацией смолы пиролиза в двух последовательно работающих реакторах и имеющие температуру размягчения 65 и 100°C соответственно, могут быть в последующем смешаны в различных пропорциях.

Получаемые таким способом нефтяные пеки показали неудовлетворительные результаты при изготовлении анодной массы по причине наличия ряда недостатков[2]:

Наиболее перспективным для производства композиционного связующего материала представляется метод компаундирования, который представляет собой смешение различных гетерофазных компонентов.

Применение различных дополнительных компонентов позволяет добиться улучшенных физико-химических характеристик и эксплуатационных показателей.[3]

Таблица 1. Сравнение основных показателей нефтяного и каменноугольного пеков

Наименование показателя продукции	Величина показателя	
	Нефтяной пек ПНД (АНХК)	Каменноугольный пек (марка А)
Массовая доля воды в твердом пеке, % не более	отсутствует	4
Температура размягчения, С	95-106	70-80
$\alpha$ -фракция, %	18-25	19-21
Выход летучих веществ, %	60-66	53-63
Зольность, % не более	0,08	1,2-4
Содержание бенз(а) пиренов, %	отсутствует	1,2-4
Плотность	1.25-1,32	1,285-1,33

Технология производства нефтяных пеков компаундированием имеет очевидные преимущества перед остальными технологиями производства нефтяных связующих материалов за счет своей простоты и эффективности.

#### *Библиографический список*

1. Вершинина, Е.П. Гильдебрандт, Э.М. Селина, Е.А. Тенденции развития производства связующего для анодов алюминиевых электролизеров // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2012 5 ( 7 )
2. Хайрудинов И. Р. и др. Применение нефтяной спекающей добавки в производстве кокса: Кокс и химия. 1988. № 9. - с. 11-12.
3. Дошлов О.И., Угапьев А.А., Кондратьев В.В., Ким И.В. Компаундирование как перспективная технология производства альтернативных связующих материалов для производства анодной массы. и др. // Кокс и химия. - 2015. - № 1. - С. 34-41.

**СЕКЦИЯ №4**  
**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО**  
**ПРОИЗВОДСТВА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ**

**ОБЗОР МИРОВОГО ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И**  
**ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОЙ ФУТЕРОВКИ**  
**ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

**В.В. Сомов<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>, А.А. Пьявкина<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦм-13-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: somob-boba@yandex.ru

<sup>2</sup> д.т.н., заведующая кафедрой МЦМ ИрГТУ, e-mail: [ninavn@istu.edu](mailto:ninavn@istu.edu)

<sup>3</sup> ст. гр. МЦ-10-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu)

Алюминиевая промышленность является стратегически важной отраслью экономики России. Конструкционные материалы на основе алюминия широко применяются в оборонной промышленности, автомобилестроении, авиации, строительстве и электротехнике, в производстве бытовых, пищевых и медицинских товаров.

Модернизация российских алюминиевых заводов предусматривает не только реконструкцию старых цехов и корпусов, оборудованных электролизерами Содерберга с верхним (ВТ) или боковым (БТ) токоподводом, но и ввод в эксплуатацию новых серий электролиза с обожженными анодами (ОА). Вместе с тем, совершенствование технологии электролиза неизбежно приводит к изменению количества и состава образующихся фторсодержащих отходов, что требует разработки новых методов при решении вопросов экологии алюминиевого производства.

Утилизация отработанной футеровки электролизеров (ОФЭ) представляет собой большую экологическую проблему в связи с тем, что данный отход производства пропитывается фторсодержащими солями и другими компонентами, которые входят в состав электролита. Фактическое содержание компонентов в отработанной футеровке зависит от конкретных заводских условий - срока службы и параметров работы электролизера, качества футеровочных материалов и т.д. Большинство солей, содержащихся в отработанной футеровке, являются водорастворимыми, и при складировании отходов капитального ремонта ванны на открытых площадках или в отвалах могут выщелачиваться атмосферными осадками и загрязнять водоемы. С другой стороны, наличие ценных компонентов в отходах футеровки ставит задачу их извлечения и утилизации. Изношенная футеровка состоит из двух частей - угольной и огнеупорной. Угольная фу-

теровка в среднем содержит, %, соответственно: 30 - углерода, 26 - глинозема, 13 - криолита, 8 - фтористого натрия, 3 - фтористого кальция, 6 - соды, 3 - кремнезема и 11 - прочих примесей. Огнеупорная же часть футеровки содержит 55-70 % оксида кремния, остальное приходится на глинозем и фторсодержащие соли [1,2].

В связи с тем, что с данным видом отходов теряются ценные для процесса электролиза компоненты (фтористые соли, глинозем) и наносится вред окружающей среде в результате складирования их на полигонах, разработаны различные технологии и предложены по переработке ОФЭ.

В настоящее время существует несколько основных способов переработки отработанной футеровки.

1. Обработка ОФЭ с целью обезвреживания опасных веществ и ее дальнейшего захоронения в отвалах.

2. Утилизация её в смежных отраслях промышленности, включающая нейтрализацию цианидов и водорастворимых фторидов.

3. Переработка для повторного использования материалов ОФЭ в алюминиевой промышленности (последнее направление можно разделить на гидро- и пирометаллургические методы).

Технологию этих типов переработки можно кратко описать следующим образом:

1. Обработка для захоронения в отвалах. При переработке на заводе «Гам Спрингз» ОФЭ разбавляется кварцем (кремнеземом) и известью. К сожалению, это делает растворимым натрий, и материал приходится высушивать и хоронить в специальных отвалах.

2. Исследовалась возможность применения ОФЭ во многих отраслях промышленности, в том числе в производстве цемента, стали и фосфора. Так, во Франции и Бразилии данный отход используется в цементной промышленности, в Италии – в производстве стали.

### ***Пирометаллургическая обработка ОФЭ***

Стеклопроизводство компании «Alcoa» [3]. Стекло производится с помощью вращающейся печи.

«Ausmelt» и «Vortec».

Способ компании «Ausmelt» – это разновидность пирогидролита. В данном процессе образуются шлаки и перерабатываются фториды с образованием фторида алюминия. Избыточный фторид улавливается скруббером сухой газоочистки.

Способ компании «Vortec» – это также разновидность пирогидролита, при котором образуются шлаки и побочные продукты, которые затем попадают в отвалы. Избыточный гидрофторид улавливается скруббером сухой газоочистки.

### ***Гидрометаллургическая обработка ОФЭ***

Хотя обе компании («Alcoa» и «Alcan») предлагают кислотное выщелачивание для переработки ОФЭ [4], эти технологии так и не были реализованы в промышленном масштабе.

1. Процесс «Comalko» [5] – это разновидность процесса «Мини Л» компании «Alcan». Сначала в реакторе «Torbed» разрушаются цианиды, затем в процессе известкового выщелачивания образуется каустическая сода, которую перерабатывают по способу Байера для восстановления в цементных печах.

2. Метод, основанный на низкокаустическом выщелачивании с добавлением извести. В начале 1990-х годов компания «Alcan» провела довольно затратное изучение процесса низкокаустического выщелачивания (НКВ), в ходе которого разрушаются карбиды, цианиды и нитраты, а каустическая сода перерабатывается по способу Байера. В основе этой технологии лежит процесс «Мини Л» [6] и мембранный процесс [7], запатентованный компанией «Alcoa».

Таким образом, в настоящее время существует несколько способов переработки ОФЭ, применяемых в мире, однако для более эффективного решения проблемы ее утилизации либо частичного повторного использования ее ценных компонентов требуется комплексный подход, включающий в себя проработку следующих вопросов:

- ✓ увеличение срока службы электролизеров путем совершенствования конструкции (включая использование барьеров, препятствующих проникновению расплава в футеровку);
- ✓ оптимизация операции пуска электролизера;
- ✓ минимизация нестабильности работы электролизных ванн;
- ✓ способы снятия футеровки после отключения ванн на капитальный ремонт;
- ✓ надлежащее хранение отработанной футеровки;
- ✓ анализ ОФЭ.

### *Библиографический список*

1. Экологические аспекты производства алюминия электролизом (аналитический обзор) / А.Г. Акшиц, П.В. Поляков, А.В. Кучеренко, В.А. Крюковский. Новосибирск: Изд. ГПНТБ СО АН СССР, 1991. 92 с.

2. Истомин С.П. Проблемы использования фторсодержащих отходов криолитовых и алюминиевых заводов // Цветные металлы, 2002. №1.

3. Hittnet H.J. [and et al.]. US Patent 5,711,018, January 20, 1998.

4. Gynra B. Acid Attack as a Means of Treating S.P.L. // Light Metals, 1980. PP. 683-703.

5. Wellwood G.A. [and et al.]. The Comptor Process for Spent Potlining Detoxification // Light Metals, 1992. PP. 277-282.



6. B. Gnyra, «Processing Spent Cell Materials» (UK Patent Application GB 2, 056, 422).

7. Lever G. US patent 481612.

8. Holywell G.C., Grolman R. and Kimmerle F. [and et al.] US Patent 5,470,559, November 28, 1989.

## **РАЗРАБОТКА ЭКСТРАКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОКИСЛЕННЫХ МЕДНЫХ РУД И ОТВАЛОВ**

**А.А.Васильев<sup>1</sup>, А.Г.Никитенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> к.т.н., доцент кафедры металлургии цветных металлов ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: vasilhev2008@yandex.ru

<sup>3</sup> студент группы МЦб-11-1, института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: nikitenco.03@yandex.ru

В настоящее время одной из основных задач металлургических предприятий является рациональное использование сырья, а также экологическая чистота применяемых технологий. Значительное истощение легкодоступных источников сырья привело к необходимости использования бедных по ценному компоненту ресурсов. Данная работа посвящена разработке технологии извлечения меди из окисленных руд и отвалов, с применением процесса "жидкостной экстракции".

В современной мировой металлургической практике кучное выщелачивание (КВ) медных руд является низкзатратным способом извлечения меди, но в России данная технология пока не нашла промышленного применения. В связи с тем, что за последние десятилетия произошло значительное истощение запасов богатых руд и накопление большого количества отвалов окисленных руд, особенно в промышленно развитых районах, возникает потребность внедрения данной технологии на отечественных предприятиях.

Основной технологической стадией в процессе получения чистого конечного продукта (катодной меди), является технология "жидкостной экстракции - электролиза" (SX-EW), которая позволяет сконцентрировать основную часть металла в электролит, при помощи органических реагентов. Так как, наряду с самим процессом выщелачивания, данная технология является ключевой, появилась необходимость в проведении детальных технологических исследований на базе физико-химической лаборатории, направленных на установление оптимальных режимов ведения процессов кучного выщелачивания (КВ) и экстракции примени-

тельно к Российским климатическим условиям. В процессе таких исследований, проведенных на продуктивных растворах КВ меди из окисленной руды одного из месторождений Урала, разработана оптимальная технологическая схема переработки данного сырья, которая направлена на получение чистого товарного продукта с высоким показателем степени извлечения ( $\epsilon_{Cu} = 82\%$ ). Также был проведен поиск наиболее подходящих реагентов, для их рационального использования в процессе жидкостной экстракции. В ходе проведения опытов использовались реагенты рекомендуемые компанией СУТЕС. Были рассмотрены основные вспомогательные операции, направленные на улучшение технологических показателей: дополнительная стадия промывки экстракта перед реэкстракцией (при наличии значительного количества примесей), а также процесс регенерации органической фазы.

Подробно изучены основные факторы и параметры, оказывающие влияние на процесс извлечения целевого металла, такие как:

- содержание меди в водной фазе (ПР). От данного показателя зависит выбор оптимальной концентрации экстрагента в процессе экстракции, в целях его рационального использования.

- концентрация примесей. Особое внимание следует уделять содержанию ионов  $Fe^{3+}$ , которые могут частично экстрагироваться вместе с медью, загрязняя в конечном итоге товарные продукты, а также приводя к снижению выхода по току при электролизе.

- содержание твердых взвесей в растворе. Оказывает влияние на скорость разделения эмульсии, образующейся на стадиях экстракции и реэкстракции.

- кислотность/рН водной фазы. Определено, что концентрация кислоты в продуктивных растворах оказывает значительное влияние на насыщаемость (селективность) экстрагента. При повышении рН растворов процесс экстракции протекал более благоприятнее.

- влияние формулировки и концентрации экстрагента в органической фазе.

Оценка влияния данных факторов на процесс экстракции определялась по результатам проведения детальных технологических исследований.

В нашей стране экстракционная технология меди пока не нашла широкого промышленного применения, но уже сейчас на различных стадиях проектирования находятся несколько металлургических предприятий. В ближайшие годы, планируется вовлечение в промышленную эксплуатацию наиболее крупного в России Удоканского месторождения, расположенного в Забайкальском крае, в котором заключено более 23% балансовых запасов. Разработку планируют вести с применением технологии SX-EW.

Введение данной технологии в промышленность позволит дать ряд преимуществ, которые заключаются прежде всего: в легкости организации высокопроизводительного процесса, в уменьшении капитальных, эксплуатационных затрат и улучшении условий труда. А самое главное, данная технология позволит достичь повышения показателей производства меди в нашей стране на 15 - 20%, за счет переработки больших запасов окисленных медных руд и отвалов.

#### *Библиографический список*

1. Аксенов А.В., Васильев А.А., Никитенко А.Г. Извлечение ионов меди из растворов кучного выщелачивания методом экстракции // Перспективы развития технологии углеводородных, растительных и минеральных ресурсов: мат-лы Всерос. науч.- практ. конф. с междунар. участием (г. Иркутск, 24-25 апреля 2014 г.). – Иркутск, 2014. – с. 48-51.
2. Extractive Metallurgy of Cooper, Fifth Edition / Mark E. Schlesinger, Matthew J. King, Kathryn C. Sole, William G. Davenport. – L.: Elsevier Ltd., Oxford, UK, 2011. – 467 с.
3. Теория гидрометаллургических процессов / Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. – М.: "Металлургия", 1993. – 400 с.

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРА**

**Власов С.Г.<sup>1</sup>, Немчинова Н.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>магистрант гр. МЦМ-14-1 института металлургии и химической технологии им. С.Б. Леонова ИрГТУ, г. Иркутск, e-mail: [ninavn@istu.edu](mailto:ninavn@istu.edu)

<sup>2</sup>д.т.н., заведующая кафедрой МЦМ ИрГТУ, e-mail: [ninavn@istu.edu](mailto:ninavn@istu.edu)

Экологические проблемы развития алмазодобывающей промышленности в экстремальных условиях Севера актуальны сегодня для добывающих предприятий Якутии, так как добыча и переработка полезных ископаемых сопровождаются значительными экологическими рисками.

Экологическое воздействие на окружающую среду алмазодобывающей промышленности в различных регионах различаются в зависимости от времени разработки месторождений и применяемых технологий.

Основные разработки алмазосодержащих руд выдуться в: Африке, Северо-западе Канады, Якутии и Северо-западе Австралии.

Лидирующее положение среди зарубежных алмазодобывающих компаний сохраняет «Де Бирс», которая обеспечивает устойчивую добычу алмазов на 20-30 лет на территории ЮАР, Ботсваны и Намибии. В то же

время появляются независимые производители необработанных алмазов в Австралии, России, Канаде, Конго, ЮАР и др.

Группа «Алроса» ведет деятельность по добыче алмазов на территории РФ в Республике Саха (Я) (далее РС (Я)) и в Архангельской области. В РС (Я) работают четыре горнодобывающих подразделения Компании: Мирнинский, Удачный, Айхальский и Нюрбинский (НГОК) горно-обогатительные комбинаты.

В РС (Я) все месторождения расположены в районах с крайне суровым климатом. Горно-геологические условия их отработки – самые сложные в мире, добыча алмазов осуществляется открытым и подземным способами, используется вахтовый метод работ.

Важно, что отрасль вынуждена поддерживать громоздкую и дорогую инфраструктуру, в то время как за рубежом даже крупные месторождения алмазов обрабатываются гораздо более дешевым открытым способом, вахтовым методом.

Сегодня в РС (Я) ведутся поиски месторождений, пригодных для менее затратной открытой эксплуатации. Поиски смещаются в районы, где кимберлитовые трубки перекрыты мощными толщами осадков.

По мнению одного из видных политиков и руководителей АК «Алроса» Кириллина А.Д., в условиях Севера, где республика Саха занимает треть площади его зоны, экологические проблемы природопользования являются наиболее острыми.

В течение Советского периода отходы производства выбрасывались в отвалы и речную систему, загрязняя окружающую среду.

С таким же подходом развивалась, и алмазодобывающая промышленность до начала 90-годов в западных районах Республики, где проживает более четверти ее коренного населения. В таблице 1 представлена динамика сброса сточных вод в поверхностные воды РС (Я).

Таблица 1- Динамика сброса сточных вод и загрязняющих веществ в поверхностные воды РС (Якутия)

Статистика	Ед.изм.	1996	1997	1998	1999	2000	Всего
Объем сточных вод	млн.куб.м	137,4	144,9	135,3	135,5	140,0	693,1
Сброшено загряз. веществ БПК полн.	тыс. т	4,9	5,5	5,1	6,0	6,0	27,6
нефтепродукты	-	0,1	0,1	0,03	0,03	0,03	0,2

взвешенные вещества	-	5,0	4,2	4,5	4,7	6,7	25,1
сухой остаток	-	23,0	24,4	21,4	23,1	23,2	115,2
сульфаты	-	4,6	4,5	4,4	3,7	4,78	22,2
хлориды	-	4,0	4,5	3,8	4,7	3,4	20,5
фосфор общий	г	254,6	143,3	114,7	133,5	129,6	775,7
азот общий	-	917,4	985,7	811,4	680,8	912,8	4308,1
азот аммонийный	-	704,1	765,4	623,2	529,6	753,5	3375,8
фенолы	-	0,1	0,1	0,2	0,1	0,15	0,8
нитраты	-	202,7	207,6	179,2	138,1	148,4	876,0
СПАВ	-	47,6	51,0	92,9	55,1	54,2	301,0
жиры, масла	-	118,6	638,5	626,0	892,1	497,1	2772,0
железо	-	122,5	117,1	113,1	173,7	128,3	655,0
медь	-	0,5	0,6	0,1	0,2	0,2	1,7
цинк	-	1,8	0,5	0,3	0,5	0,9	4,0
хром	-	0,4	0,8	0,3	0,1	0,6	2,2
сероводород	-	39,2	39,3	34,4	30,3	34,5	177,7
алюминий	-	0,3	0,1	0,4	0,4	0,5	1,8
марганец	-	1,4	0,5	0,5	0,9	0,53	4,0
магний	-	1340,0	995,6	908,4	1396,0	1174,0	5814,0

Начались экологические проблемы р. Вилюй и ее притоках Ирелях, Малая Ботуобия, Марха, Далдын. Отмечалось сокращение зоопланктонного сообщества от 2 до 13 раз, некоторые их виды практически исчезли. Чрезмерно обеднела ихтиофауна, и от некоторых видов рыб остались единичные особи. Выявлены накопления тяжелых микроэлементов (никель, хром, свинец, марганец, кобальт, железо) в био-

логических объектах водного бассейна, превышение которых против естественного фона от 2 до 7 раз.

Затопление лесов, кустарников, болот, сельхозугодий и прочих земель при строительстве водохранилища гидроэлектростанции, привело к загрязнению вод фенолами и росту общей минерализации воды Вилюя. Вследствие этого содержание летучих фенолов у пос. Светлый по данным исследований экспедиции превышало ПДК в 15 раз, а в Верхневилуйске в 8 раз. Заметно вырос среднегодовой объем осадков против 60-х годов. В отдельных населенных пунктах бассейна р.Вилюй рост составил от 12,7 мм (Мирный) до 49,2 мм (Нюрба).

Снизилось число и состав авифауны – из прежних 60 видов, осталось почти половина, ихтиофауна с 26 морфологических форм дошла до 19 разновидностей рыб.

Обследования, проведенные медицинским отрядом комплексной экспедиции, выявили, выше средней по Республике, заболеваемость населения группы вилюйских районов.

В середине 90-х годов при финансовой поддержке Удачинского ГОКа Якутской Государственной поисково-съёмочной экспедицией проведены специализированные и ландшафтно-геохимические исследования, было отобрано и проанализировано около 30 тыс. различных проб в зоне деятельности Удачинского ГОКа. В результате был сделан вывод о том, что техногенное влияние и загрязнение окружающей среды в регионе носит уже локальный характер и ограничено территорией промышленных объектов и инженерных коммунальных сетей. Выявлены процессы механического нарушения почвенно-растительного слоя транспортными средствами и горными отводами, загрязнения механическими частицами от взрывов, проведения горных работ, от эксплуатации котельных, жилищно-бытовых объектов.

В ихтиофауне вилюйского бассейна были обнаружены такие элементы, как никель, титан, хром и цинк, которые не могут быть выброшены при работе алмазной отрасли, поскольку практически не присутствуют в технологических процессах добычи. Следовательно, они привнесены извне, от других производственных объектов или из трапповых отложений недр, по которым протекают реки бассейна. В частности, таким загрязнителем может явиться Норильский горно-металлургический комбинат или отработанные ступени космических ракет, падающие на Якутию. Эти феномены загрязнения еще не изучены, поэтому, можно только предположить их как объекты загрязнения.

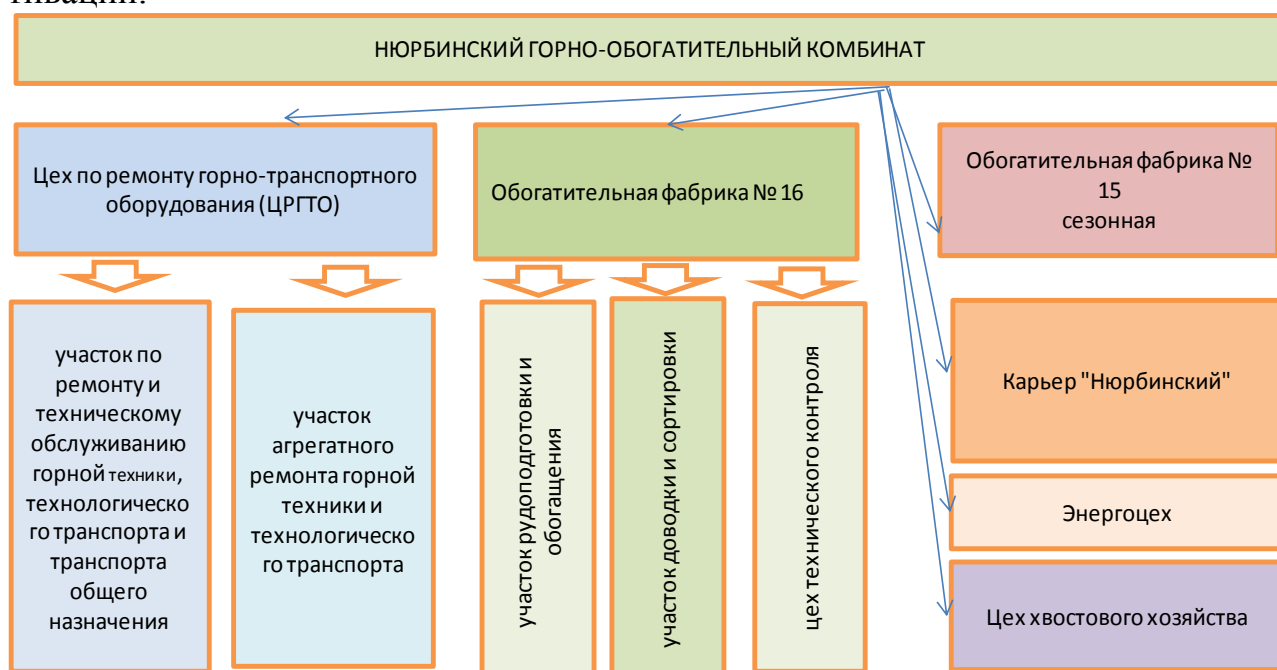
Сегодня алмазодобывающая промышленность принимает действенные меры по полной ликвидации сброса промстоков, минерализованных вод в открытые водоемы.

На рисунке 1 представлена структурная схема НГОКа.

Сегодня НГОК Компании обеспечивает разработку кимберлитовых трубок «Ботуобинская» и «Нюрбинская». Это надежная сырьевая база для открытой добычи в течение 16 лет. По качеству алмазов они одинаковы. Расстояние между ними 2,5 км [1, 2].

НГОК ведет открытую разработку месторождений, что негативно изменяет показатели оценки воздействия на земельные ресурсы в местах дислокации промплощадок.

В настоящее время экогеохимическое состояние мерзлотных почв техногенных ландшафтов НГОКа имеют некоторые геохимические аномалии. Геохимическую обстановку усиливают накопления подвижных форм Pb, Ni, Mn, Co, Cr, Cd, Zn, Cu и As. Накопление Mn, Co, Cr и Ni предопределено геохимической спецификой природных почв территории Накынского кимберлитового поля. Почвы относятся к умеренно и высоко опасной категории загрязнения и требуют своевременной рекультивации.



**Рис. 1** - Структурная схема Нюрбинского горно-обогатительного комбината

Основными задачами мероприятий по минимизации экологических рисков являются неистощительное использование возобновляемых и рациональное использование невозобновляемых природных ресурсов, а также опережающее снижение энергоемкости и материалоемкости продукции и услуг по сравнению с ростом их производства.

Приоритетом является сохранение и восстановление биологического и ландшафтного разнообразия, достаточного для поддержания способности природных систем к саморегуляции и компенсации последствий антропогенной деятельности.

Большое значение имеет выявление и минимизация экологических рисков для природной среды и здоровья населения в целях предотвращения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а именно: своевременное прогнозирование и выявление возможных экологических угроз, включая оценку природных и техногенных факторов возникновения возможных чрезвычайных ситуаций с негативными экологическими последствиями.

#### *Библиографический список*

1. Таланкин А.Г. Специфика геомеханических процессов при обработке карьера Нюрбинский АК «АЛРОСА» [электронный ресурс] // Маркшейдерский вестник. - 2008. - № 5. - С. 25-28.
2. Газета «Вестник АЛРОСА» №9(86), 09. 2003г. «Ботуобинская» и «Нюрбинская – жемчужины Накына», с.5.

### **СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ФЕРМЕНТОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**Москалев М.Ю.**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт материаловедения и металлургии, кафедра Металлургии тяжелых цветных металлов, г. Екатеринбург, ул. Мира,17, mmy511@mail.ru

В мировой и отечественной практике наибольшее распространение в переработке указанных отходов получило озоление фотоматериалов и последующая плавка золы на целевой коллектор[1]. Подобный подход унифицирован, технологически прост, не требует сложной аппаратуры. Однако значительный пылеунос, сопровождающий сжигание пленок, связанные с этим потери серебра, выбросы в атмосферу токсичных газов являются основанием для поиска альтернативных вариантов.

Известны способы деструкции светочувствительного эмульсионного слоя на пленках, основанного на использовании ферментов[2]. Важнейшей особенностью таких ферментов является способность к биохимическому взаимодействию с желатином, составляющим основу эмульсионного слоя. Наиболее эффективным ферментом по мнению исследователей является панкреатин.

С целью усовершенствования указанного способа в рамках данной работы проведены исследования, направленные на изучение зависимости активности фермента от температуры, рН, интенсивности пере-



мешивания и наличия дисперсных частиц разной крупности. Объектом исследования была использованная разнотипная рентгеновская пленка в листах, а также измельченная до крупности фрагментов 5-20 мм на специальной установке ЗАО «РВС» (г. Екатеринбург). Изготовлена установка и разработана методика для корректной оценки степени деструкции и отделения серебросодержащего осадка с листового материала. Установлено, что скорость изучаемых процессов применительно к измельченной пленке в решающей степени зависит от введения в систему ПАВ. Для повышения кондиционности серебросодержащего продукта апробированы реагентные приемы уплотнения осадков.

В оптимальных условиях достигнуто близкое к 100% снятие серебросодержащего слоя с пленок. Скорость деструкции при использовании сульфорганических ПАВ возрастает более чем в 2 раза, а повышенная плотность и структура сгущенного серебросодержащего осадка устраняет проблемы фильтрования.

#### *Библиографический список*

1. Л.С. Стрижко. Металлургия золота и серебра / Л.С. Стрижко. М.:МИСИС, 2001. 336 с.
2. Пат. 3510413 Соединенные Штаты Америки. Способ извлечения серебра из пленок / Эрик С. Линдау; опубл. 10.08.1967.

## **ПРОИЗВОДСТВО ГРАНУЛИРОВАННЫХ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ИЗ ОТХОДОВ СЕЛЬХОЗПРОДУКТОВ**

**О.Б.Рахманов<sup>1</sup>, М.М.Солихов<sup>2</sup>, Р.А.Краев<sup>3</sup>, Х.М.Назаров<sup>4</sup>,  
М.И.Каримов<sup>5</sup>, А.В. Аксенов<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>аспирант ИрГТУ, кафедры металлургии цветных металлов. г.Иркутск, ул.Лермонтова 83, e-mail: [odil.odilov.2000@mail.ru](mailto:odil.odilov.2000@mail.ru),

<sup>2</sup>аспирант ИрГТУ, кафедры металлургии цветных металлов. г.Иркутск, ул.Лермонтова 83, e-mail: [bedil1201@mail.ru](mailto:bedil1201@mail.ru)

<sup>3</sup>магистрант гр. МЦМ-13-1 ИрГТУ, кафедра металлургии цветных металлов. г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: [roman-kraev@mail.ru](mailto:roman-kraev@mail.ru)

<sup>4</sup>главный научный сотрудник Филиал Агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан. г.Чкаловск, ул.Калинина, 15-а, e-mail: [holmurod18@mail.ru](mailto:holmurod18@mail.ru)

<sup>5</sup>доцент кафедра металлургия, Горно-металлургический институт Таджикистана, Республика Таджикистан, г.Чкаловск, ул.Московская 6, e-mail: [chorchaman@rambler.ru](mailto:chorchaman@rambler.ru)

<sup>6</sup>доцент кафедры МЦМ ИрГТУ, кафедра металлургии цветных ме-

таллов. г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: [aksenov@tomsgroup.ru](mailto:aksenov@tomsgroup.ru)

Способность активных углей адсорбировать благородные металлы из цианистых растворов известна уже давно [1].

В настоящее время широкое распространение получила угольно-сорбционная технология при переработке растворов кучного выщелачивания оборотных и маточных растворов после осаждения золота цинком, сливов обогатительных фабрик, а также при сорбции Au и Ag из пульпы при сорбционном выщелачивании руд.

Активные угли – пористые углеродные адсорбенты. Основным принцип активирования состоит в том, что углеродсодержащие материалы подвергаются селективной термической обработке в соответствующих условиях, в результате которой образуются многочисленные поры, щели и трещины и увеличивается площадь поверхности пор на единицу массы. Их получают из различного органического сырья: бурых и каменных углей, антрацита, костей животных и т.д. В качестве сорбента в основном используют уголь из коксового ореха. Перспективным сырьем для получения активных углей могут служить скорлупа абрикосовых косточек, грецких орехов, кукурузных початков, подсолнечной корзинки, хлопковой шелухи, рисовой шелухи и др.

Наличие крупных плантаций абрикосов (около 11 % мировых) в Таджикистане создает реальные предпосылки организации производства активного угля Согдийской области. Положительными факторами использования отходов растительного сырья является не только их дешевизна, но и необходимость избавления от них.

Результатом, проведенных нами исследований, явилось разработка технологии получения углистых материалов из отходов растительного сырья, предусматривающая термическую его переработку без доступа воздуха (рис.1). Содержание углерода в получаемых продуктах составляет 40-80 %, что позволяет использовать их в качестве продуктов различного назначения. Установлена перспективность использования этих сорбентов для извлечения благородных металлов (золото и серебра) с высокой сорбционной способностью из цианистых растворов.



**Рис.1.** Сырье для получения углей

*Техническое предложение по созданию активных углей из скорлупы абрикосовой косточки.* Для создания промышленного производства гранулированных упрочненных углей из скорлупы урюка предлагаем технологическую схему, включающую следующие основные стадии:

- ✓ приготовление скорлупы (рис.2);
- ✓ сушку;
- ✓ термообработку;
- ✓ расфасовку и упаковку готового продукта.



**Рис. 2.** Процесс измельчения (подготовка сырья) и пакетирования абрикосовых косточек

Новизна предлагаемого процесса заключается в использовании в сорбционной технологии извлечения благородных металлов из цианистых растворов упрочненного угля, синтезированного из скорлупы абрикосовых косточек. Высокая механическая прочность и низкая стоимость активированного угля, а также высокие сорбционные свойства скорлупы определяют его превосходность. Разработана технология получения упрочненных гранулированных активных углей со следующими характеристиками:

- ✓ адсорбционная активность по йоду не менее 20 %;
- ✓ адсорбционная активность по метиловому спирту 88 %;
- ✓ суммарный объем пор по воде не менее 0,96 см<sup>3</sup>/г;
- ✓ удельная поверхность не менее 460 м<sup>2</sup>/г
- ✓ прочность не менее 82 %

Важными факторами, позволяющими сделать правильный выбор активированных углей для определенных целей, являются гранулометрические состав, площадь внутренней поверхности (объем пор), распределение пор по размерам, природа и содержание примесей.

Изучена зависимость плотности ( $\rho$ ) и пористости ( $\Pi$ ) активированных углей из скорлупы абрикосовых косточек: от общей скорости, времени и температуры выдержки. Полученные образцы гранулированных активированных углей имеют высокие адсорбционные и прочностные характе-

ристики: объемная емкость - 4,3 мг/г, полная реагентная емкость угля - 9,8 мг/г, извлечение Au из раствора - 96%, прочность гранул - 82%.

Для отработки процесса извлечения Au из цианистых растворов на предлагаемом сорбенте по всей технологической схеме необходимо получить опытную партию гранулированного активного угля с оптимальными характеристиками и определить режимные параметры процесса в промышленных условиях. Размер зерен угля от 1,2 до 3,4 мм.

Для выделения сорбента из пульпы применяют грохоты различной конструкции, располагаемые снаружи или внутри сорбционных аппаратов. Если грохоты расположены вне аппаратов, то пульпу подают на них с помощью аэролифтов или центробежных насосов. Так как прочность даже лучших сортов угля сравнительно невысока, при выборе конструкции перемешивающих и дренажных устройств исходят прежде всего из условия минимального разрушения зерен сорбента.

В процессе работы будут решаться проблемы регенерации углей после многократного использования их в цикле «сорбция-десорбция».

Опробованы несколько вариантов опытных установок для термической переработки отходов растительного сырья. Оптимальный вариант аппаратно-технологической схемы: дезинтегратор, гранулятор, печи вращающиеся (длиной 6,0 м и диаметром 1,0-1,2 м), топка технологическая, система складирования и подачи сырья, холодильник готового продукта, топка дожига, система КИПиА, склад сырья готового продукта. Расход на 1 т готового продукта составляет 8 т сырья.

#### *Библиографический список*

1.Металлургия благородных металлов. Учебник для вузов/ Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В., Борбат В.Ф. и др./ Под редакцией Чугаева Л.В. - 2-е изд., перераб. И доп.- М.:Металлургия, 1987. – 432 с.

2.Мирсаидов И.У., Хакимов Н., Назаров Х.М. Использование местных материалов в качестве сорбента для извлечения урана из сточных шахтных и технических вод горнодобывающих предприятий // Горный журнал. – 2011. - №12. – С. 60-62.

### **СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СКОРЛУПЫ ОРЕХА**

**Н.Н.Рахматов<sup>1</sup>, Х.М.Назаров<sup>2</sup>, А.В.Аксёнов<sup>3</sup>, О.Б.Рахманов<sup>4</sup>,  
М.М.Солихов<sup>5</sup>, Н.А.Харитонов<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>научный сотрудник Филиал Агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, г.Чкаловск, ул.Калинина, 15-а, e-mail: [rahmatov.n88@mail.ru](mailto:rahmatov.n88@mail.ru)

<sup>2</sup>главный научный сотрудник Филиал Агентства по ядерной и радиационной безопасности Академии наук Республики Таджикистан, г.Чкаловск, ул.Калинина, 15-а, e-mail: [holmurod18@mail.ru](mailto:holmurod18@mail.ru)

<sup>3</sup>доцент кафедры МЦМ ИрГТУ, кафедра металлургии цветных металлов. г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: [aksenov@tomsgroup.ru](mailto:aksenov@tomsgroup.ru)

<sup>4</sup>аспирант ИрГТУ, кафедры металлургии цветных металлов. г.Иркутск, ул.Лермонтова 83, e-mail: [odil.odilov.2000@mail.ru](mailto:odil.odilov.2000@mail.ru),

<sup>5</sup>аспирант ИрГТУ, кафедры металлургии цветных металлов. г.Иркутск, ул.Лермонтова 83, e-mail: [bedil1201@mail.ru](mailto:bedil1201@mail.ru)

<sup>6</sup>студент гр. МЦб-12-1 ИрГТУ, кафедра металлургии цветных металлов. г. Иркутск, ул. Лермонтова 83, e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu)

В настоящее время проблема утилизации отходов горнорудных предприятий является весьма актуальной. Содержание урана в техногенных стоках значительно превосходит санитарные нормы. Многие исследователи разных стран занимаются поиском эффективных сорбционных методов урана из техногенных образований. Извлечение ценного компонента из техногенных образований представляется экономически и экологически оправданным для многих предприятий, как в Таджикистане, так и за рубежом.

Процессы адсорбции и ионного обмена на твердых сорбентах используют для очистки сточных вод от различных токсикантов, а также для решения множества других прикладных задач. Систематически разрабатываются как новые адсорбенты (например, высокоэффективные активированные угли), так и новые ионообменные материалы (например, селективные катиониты) [1].

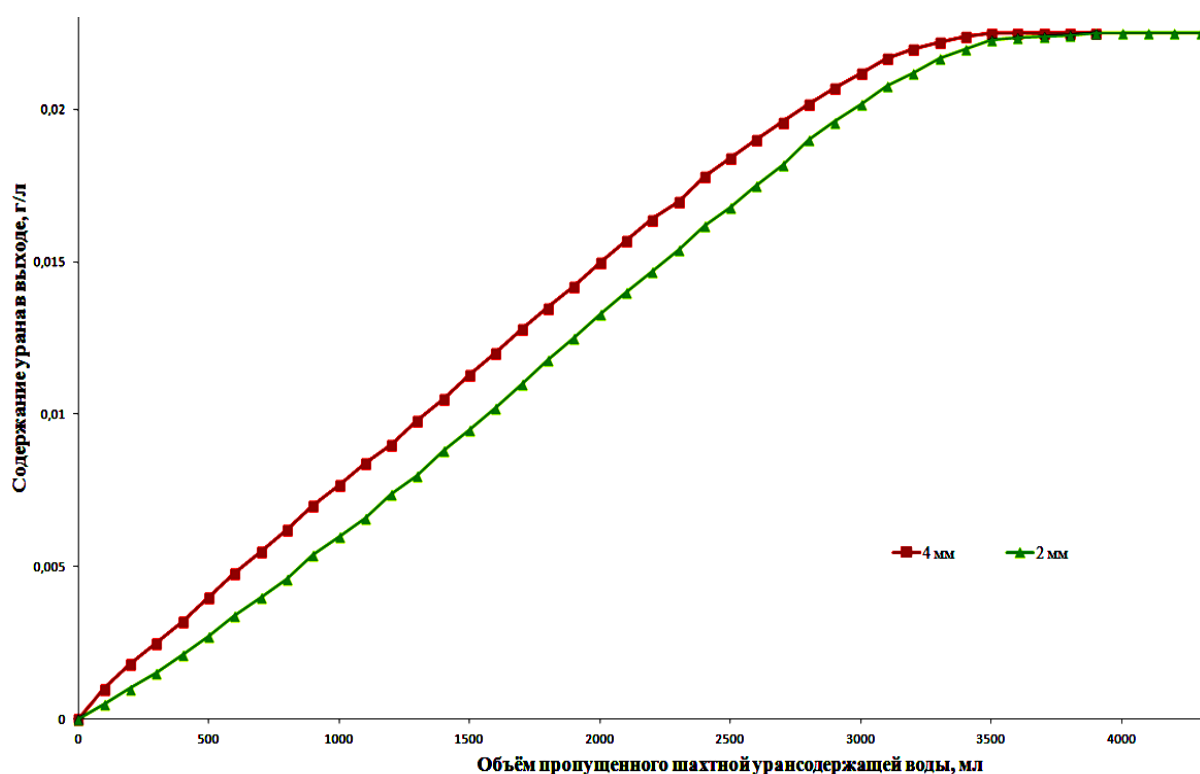
Известно, что весьма активные адсорбенты можно получать из растительного сырья (древесина, косточки плодовых деревьев и т.п.), подвергая его карбонизации и активации. Альтернативой могут быть сорбенты, полученные обжигом растительного сырья на воздухе. Поверхность таких сорбентов можно в дальнейшем модифицировать с целью придания им способности сорбировать ионы металлов по ионообменному механизму. Сырьем для получения дешевых и доступных сорбентов может быть скорлупа грецкого ореха [2].

Для изучения сорбционных свойств скорлупы ореха была взята шахтная вода с содержанием урана 0,0225 г/л и рН =7,8. Лабораторные исследования проводились в динамическом режиме при комнатной температуре. Содержание урана на входе и на выходе контролировалось химическим анализом.

Анализ результатов исследования показал, что в воде пропущенной через сорбент (массой 20 гр.) до 2500 мл, на выходе было низкое содержание урана. Это связано с активным насыщением сорбента ураном. Увеличение концентрации урана в выходе колонки показывает насыщенность



сорбента металлом. Максимальное насыщение сорбента с ураном достигается при объеме 4000 мл ураносодержащей воды пропущенной через 20 гр. скорлупы ореха (Рис.1).



**Рис.1.** Зависимость содержания урана в выходе от объема пропущенной воды через скорлупу грецкого ореха

При этом процесс насыщения крупно измельченная скорлупа завершается быстрее, чем мелкоизмельченная. По-видимому, это связано с поверхностью сорбента, так как мелкоизмельченная скорлупа имеет большую поверхность и процесс сорбции продлится дольше. Исходя из теории Лэнгмюра, адсорбция происходит не на всей поверхности сорбента, а лишь на отдельных ее активных участках – ребрах, выступах. Каждый активный участок, адсорбируя молекулу адсорбтива, становится уже не способным к дальнейшей адсорбции.

Таким образом, на поверхности адсорбента образуется лишь мономолекулярный слой адсорбтива. Адсорбированные молекулы удерживаются на активных участках только в течение определенного времени. В результате флуктуации (непрерывного колебания) энергии молекулы могут оторваться от этих участков, и их место занимают новые молекулы.

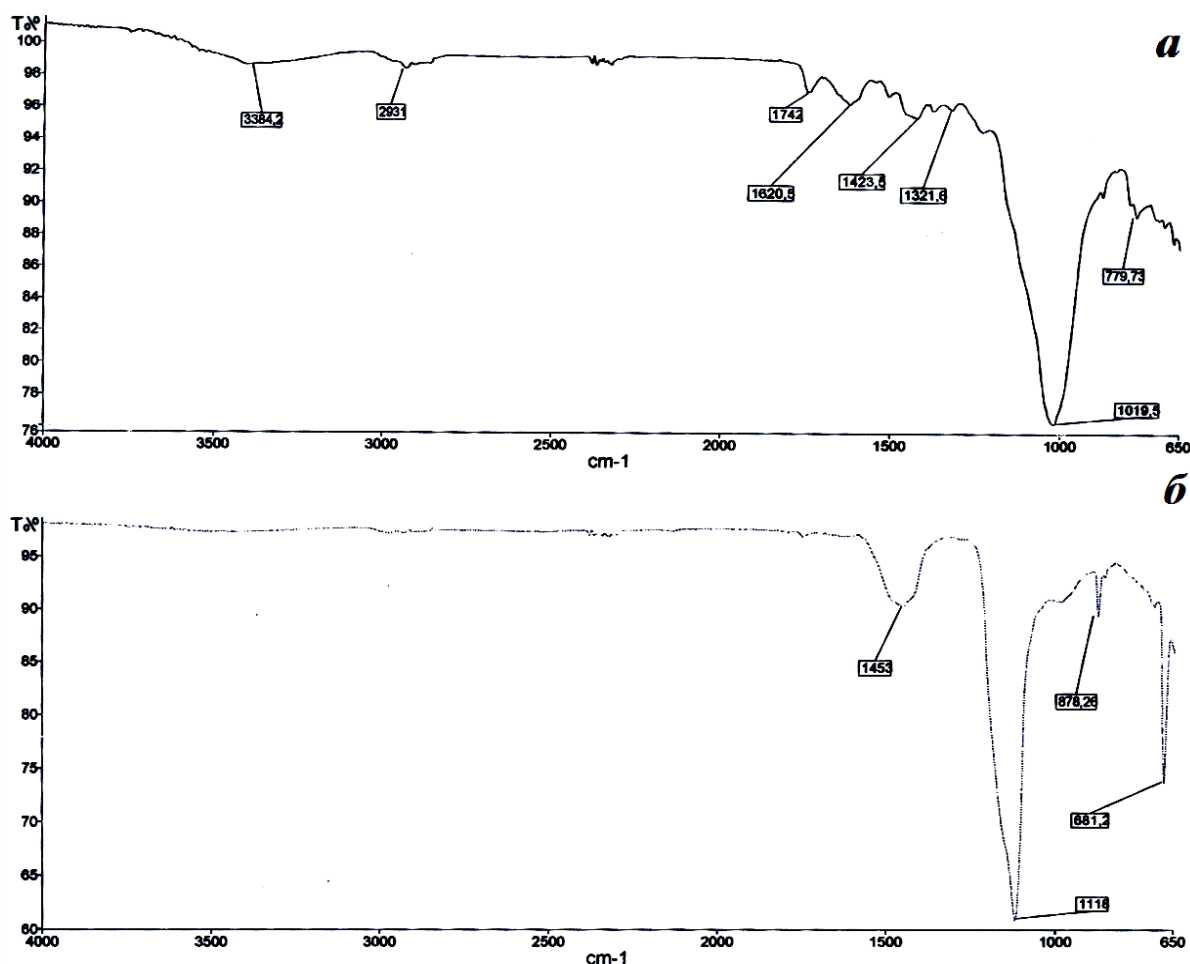
Далее насыщенный сорбент подвергали обжигу при  $600^{\circ}\text{C}$  в течение 1 часа и затем определяли химический состав продукта обжига с использованием спектрометра «SPECTROSCANMAKS-GF2E» (рентгеновская трубка: БХ-7, Ag. Параметры трубки: напряжение 40 кВ, ток 100 мкА. Детектор – напряжение 1586 В). В процессе обжига вес навески уменьшился от 20 гр. (вес исходного продукта) до 0,33 гр. (вес урановой золы) для

скорлупы ореха размером 2 мм, и от 20 гр. (вес исходного продукта) до 0,11 гр. (вес урановой золы) для скорлупы ореха размером 4 мм. Содержание урана в золе 14,5% (в продуктах обжига скорлупы размером 2 мм) и 9,59% (в продуктах обжига скорлупы размером 4 мм) (Табл.1).

Таблица 1. - Результаты рентгеноспектрального анализа скорлупы ореха

Проб	Определяемый элемент, %						
	Sr	Pb	Fe	Mn	Rb	Th	U
до насыщения ураном	0,530	0,636	7,596	0,273	0,011	необ.	необ.
после насыщения ураном	0,834	0,868	5,833	0,127	0,183	0,03	14,52

Исследование ИК-спектров поглощения продукт обжига скорлупы грецких орехов (рис.2) показывает, что поверхность образца является гидрофобной (ИК-спектрофотометрия было проведено в приборе Spectrum 65 FT-IR Spectrometer PerkinElmer).

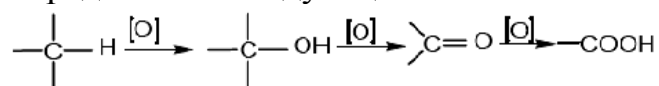


**Рис. 2.** ИК-спектр скорлупа грецкого ореха насыщенный ураном:  
а – до обжига; б – после обжига ( $T_{обж}=600^{\circ}C$ )

В ИК- спектрах присутствуют характеристические полосы пропускания при  $2931\text{см}^{-1}$ , обусловленные валентными колебаниями СН – связи в алифатических цепях, которые образуются при обжиге скорлупы, а также

полосы пропускания деформационных колебаний C=C ароматического кольца (1423.5, 1321.6 и 779.7 см<sup>-1</sup>). Отмечается присутствие карбонильной группы ароматических, алифатических кислот, сложных эфиров и лактонов (-C=O 1019.5 см<sup>-1</sup>). Полоса пропускания в области 3384,2 см<sup>-1</sup> соответствует валентным колебаниям -ОН группы.

Окисление термообработанной скорлупы ореха проводили пероксидом водорода (выдержка в окислительной среде 1 час). Механизм окисления поверхности термообработанной на воздухе скорлупы реагентами-окислителями можно представить следующей схемой:



Если для термообработанной скорлупы, не прошедшей дополнительное окисление реагентами, равновесие адсорбции устанавливалось за 22 часа, то скорлупы окисленные пероксидом водорода за 15 часов.

Таблица 2. - Сорбция урана термообработанной скорлупы ореха, окисленной H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (U=0,023 г/л, pH=7,5)

№ п/п	Объем пропущенного раствора, мл	pH	U, г/л	% сорбции	Содержание урана в твердом сост., %	
					исходном	насыщенным
1	1100	7,09	0,0185	19,56	н/о	15,02
2	550	7,10	0,0225	2,17		
3	1000	7,60	0,0250	0,00		

Таким образом, показана возможность использование скорлупы ореха в качестве сорбента для извлечения урана из урансодержащих шахтной вод.

#### Библиографический список

1. Рудковский А.В., Парфенов О.Г., Щипко М.Л., Кузнецов Б.Н. - Химия растительного сырья, 2000, №1. - с.61-68.
2. Мирсаидов И.У., Хакимов Н., Назаров Х.М. Исследование сорбционных свойств скорлупы урюка // ДАН Республики Таджикистан, 2007, т.50, №1. - с. 46-50.



# ВОЗВРАТ В ПРОЦЕСС ПЫЛИ КРЕМНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЕВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ШИХТЫ

М.С. Леонова<sup>1</sup>, Н.В. Немчинова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> магистрант гр. МЦМ -14 ИрГТУ, e-mail: leonova\_ms@mail.ru

<sup>2</sup> д.т.н., зав. кафедрой металлургии цветных металлов ИрГТУ,  
e-mail: [ninavn@yandex.ru](mailto:ninavn@yandex.ru)

Технический кремний – один из немногих видов промышленной продукции, который до рецессии мирового производства имел тенденции к росту производства и потребления. Кризисные явления в мировой экономике последних лет и связанное с этим снижение потребления алюминия, и соответственно, кремния металлургического качества увеличили потребление кремния химической промышленностью с 40 до 60 % мирового производства, в том числе и для получения особо чистого кремния, пригодного для получения солнечных элементов [1].

Производство технического кремния сопровождается большим количеством пылевых выбросов. Пыль - это унос из горна электропечи трех видов продуктов. Во-первых, дисперсных продуктов химического реагирования в шихте (типа Si и SiO<sub>2</sub>), полученных по реакции диспропорционирования: SiO<sub>2</sub>- продукт окисления паров Si и SiO; CaO – продукт окисления паров кальция; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- продукт диспропорционирования и окисления Al<sub>2</sub>O, AlO.

Во-вторых, мелких частиц компонентов шихты из колошникового слоя, образованных после контрольного грохочения и отделения мелочи; в результате переизмельчения при дозировке, транспортировке и загрузке шихты в печь.

В-третьих, продуктов измельчения компонентов шихты в горне: кварцита и особенно углеродистых материалов в ходе восстановления и разукрупнения реагирующих частиц при осадке и опиковке шихты.

Все эти дисперсные и мелкие частицы выдуваются реакционными газами в момент их попадания в горн или их образования и в виде запыленных газов выносятся на колошник, где разбавляются подсасываемым воздухом, при этом бесполезно сгорают CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> и др. углеводороды и, наконец, эта смесь вытягивается из газосборного зонда по системе газоходов на газоочистку [2].

Выход пыли колеблется в широких пределах (от 300 до 1 000 кг на 1 тонну товарного металла) и представляет сложную проблему для цехов кремния. До настоящего времени плохо решены вопросы эффективного выделения пыли из газов, сортировки пыли по каким-то полезным признакам, ее хранения, ликвидации и реализации как товарного продукта, не го-

воря о разработке мер по снижению ее выхода при плавке. Печная пыль сильно осложняет цехам кремния проблему сохранения окружающей среды, которая обостряется и может явиться решающей в процессе снижения мощностей цехов по этому признаку [3].

Усредненный состав пыли кремниевого производства ЗАО «Кремний» приведен в Таблице 1.

Таблица 1- Химический состав пыли

Хим. Ком.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	C <sub>св.</sub>	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SiC
Сод., %	85,41	0,46	0,30	1,50	1,24	6,09	0,08	0,16	0,12	0,31	0,02	5,03

Детальное изучение термодинамических характеристик системы Si-O-C, механизма взаимодействий, реализующихся в кремнеплавильной электропечи, особенностей кинетики отдельных реакций в рассматриваемой системе может дать понимание процессов, а также позволит разработать эффективные способы извлечения и использования попутного продукта, который в настоящее время является отходом.

В результате изучения свойств пыли производства кремния выявлено, что на 85% она представлена сфероидизированными частицами SiO<sub>2</sub>, а образующиеся объемы делают пыль перспективным источником для производства продукции [4].

#### *Библиографический список*

1. Елкин К.С. Производство металлического кремния в России – состояние и перспективы// «Цветные металлы и минералы 2014»: материалы шестого междунар.конгресса (16-19 сентября 2014 г.). – Красноярск, 2014. – 1с.
2. Попов С. И. Металлургия кремния в трехфазных руднотермических печах. – Иркутск: ИПО БГУЭП, 2004. – 237 с.
3. Катков О. М. Выплавка технического кремния: учеб. пособие: Изд-е –2, Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. – 243 с.
4. Кондратьев В.В. Способы улавливания и характеристика пылевой фазы производства кремния: монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010. – 77 с.

**СЕКЦИЯ №5**  
**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ**  
**МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

УДК 669.213:669.2/.8.046.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ ЗОЛОТА ИЗ**  
**УПОРНОГО ЗОЛОТОСУЛЬФИДНОГО ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА,**  
**ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ОБОГАЩЕНИИ РУДЫ ОДНОГО ИЗ**  
**МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА**

**Болдырев А.В.<sup>1</sup>, Емельянов Ю.Е.<sup>2</sup>, Копылова Н.В.<sup>3</sup>, Николаев**  
**Ю.Л.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> младший научный сотрудник лаборатории металлургии ОАО «Иргиредмет», г. Иркутск, магистрант кафедры металлургии цветных металлов ФГБОУ ВПО ИргТУ, e-mail: [durazell@rambler.ru](mailto:durazell@rambler.ru)

<sup>2</sup> к.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории металлургии ОАО «Иргиредмет»

<sup>3</sup> научный сотрудник лаборатории металлургии ОАО «Иргиредмет»

<sup>4</sup> ведущий научный сотрудник лаборатории металлургии ОАО «Иргиредмет»

Переработке упорного золотосульфидного сырья, как правило, сопутствуют подготовительные операции. Это связано с тем, что прямое цианирование таких продуктов либо вообще невозможно, либо приводит к низкому извлечению драгоценных металлов. Для повышения извлечения золота, необходимо разрушить сульфиды, которые скрывают драгоценный металл от растворителя.

В исследуемом концентрате содержание золота составило 43,6 г/т, мышьяка – 5,7 %, меди – 0,07 %.

Первая серия экспериментов по прямому цианированию проводилась на исходной крупности флотоконцентрата и на измельченном материале. Исследуемое сырье измельчалось в бисерной (PE-075, Германия) и шаровой лабораторных мельницах. Исходный и измельченный продукт цианировали 24 ч в агитационном режиме, извлечение золота составило – 75,7 %, 77,5 % и 79 % при выходе класса минус 45 мкм – 61,2 %, 86,8 % и 98,8 % соответственно.

Показано, что степень измельчения не дает значительного прироста извлечения. Установлено, что сверхтонкое измельчение увеличивает извлечение золота на несколько процентов, но существенно возрастает расход цианида.

Для доизвлечения золота хвосты цианирования подвергали обжигу. Полученные огарки цианировали в условиях, описанных выше. Общее из-

влечение золота по технологии «цианирование – обжиг – цианирование» составило 90 %.

Следующие исследования проведены по технологии «обжиг – цианирование». Извлечение золота в раствор при цианировании составило 92,5 %.

Исследования по автоклавному окислению проводились в аппарате объемом 2 дм<sup>3</sup> при температуре процесса 219÷220°С и общим давлением кислорода 3 МПа. В ходе эксперимента с помощью системы непрерывного измерения расхода кислорода фиксировали общее давление в автоклаве и расход кислорода (суммарный и текущий), и по характеру зависимости расхода кислорода от времени определяли степень завершенности процесса окисления сульфидов. После завершения процесса окисления пульпу фильтровали на вакуум-фильтре, промывали водой и после защелачивания цианировали.

Извлечение золота по автоклавно-цианистой технологии составило 94,2 %, при степени окисления сульфидов – 98,7 %.

Максимальные показатели получены по технологиям «обжиг-цианирование» и «автоклавное окисление-цианирование» с разницей в извлечении 1,7 %. Для определения наиболее целесообразной схемы переработки упорного флотоконцентрата, необходимо провести технико-экономические расчеты.

## Оглавление

### СЕКЦИЯ №1

## ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

<b>Классификация хромовых руд</b> <i>А.Э. Бараускас, С.С. Бельский</i> .....	3
<b>Производство титана</b> <i>О.Е. Бельская, С.С. Бельский</i> .....	5
<b>Исследование печных шлаков кремниевого производства</b> <i>Бузикова Т.А., Немчинова Н.В.</i> .....	7
<b>Молодежная площадка профессиональных металлургов, как инструмент создания кадрового резерва отрасли</b> <i>А. А.Власов, В. Ю.Бажин, С.Н.Федоров, Я. П.Комиссаренко</i> .....	10
<b>Исследование коррозионной активности снежного покрова в г.Иркутске</b> <i>Э.С. Доржиева, О.А. Ладенкова, А.Н. Баранов</i> .....	12
<b>Производство глинозема в России</b> <i>М.А. Ермолаев, С.С. Бельский</i> .....	14
<b>Плазменный синтез диборида титана</b> <i>К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, Т.И. Алексеева</i> .....	15
<b>Термодинамическое моделирование параметров плазменного синтеза диборида титана</b> <i>К.А. Ефимова, Г.В. Галевский, Т.И. Алексеева</i> .....	18
<b>Производство высококачественного порошка оксида цинка гидromеталлургическим способом</b> <i>Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю.</i> .....	20
<b>Пирометаллургический способ производства оксида цинка высокой дисперсности</b> <i>Журавлёва А.С., Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю.</i> .....	22
<b>Получение высококачественного оксида цинка электрохимическим окислением металлического цинка</b> <i>Журавлёва А.С., Кузьмина М.Ю., Кузьмин М.П.</i> .....	24
<b>Требования к качеству анодной массы</b> <i>М.В.Крайденко, О.В.Белоусова</i> .....	26
<b>Образования оксидной плёнки на поверхности алюминия и его сплавов на воздухе</b> <i>Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю., Журавлёва А.С.</i> .....	28
<b>Влияние условий литья на величину усадочных раковин алюминиевых чушек</b> <i>Кузьмин М.П., Кузьмина М.Ю., Журавлёва А.С.</i> .....	30
<b>Виды алюминиевых сплавов и их свойства</b> <i>И.С. Куликов, А.А. Тютрин</i> .....	32

<b>Влияние крупности материала на процесс автоклавного окисления сульфидов</b>	
<i>Р.Н. Набиулин, А.В. Епифоров, Т.С. Минеева</i> .....	34
<b>Исследование закономерностей технологии переработки латунного сырья в троф-конвертере с целью её оптимизации</b>	
<i>Новиков Д.О., Меньшиков А.А., Жуков В.П., Агеев Н.Г.</i> .....	37
<b>Оптимизация процесса выщелачивания золота из руд</b>	
<i>А.О.Перепелкина, А.В. Евдокимов, Т.С.Минеева</i> .....	39
<b>Свойства и применение металлического цинка и его оксида</b>	
<i>О.Д. Петрова, А.С. Журавлева, М.Ю. Кузьмина</i> .....	42
<b>Применение прогрессивных технологий измельчения с целью повышения извлечения золота из флотоконцентратов</b>	
<i>Пшеничников А.Н. Минеева Т.С.</i> .....	45
<b>Опыт модернизации ошиновки электролизёров С-8БМ на ОАО «Русал Красноярск»</b>	
<i>Е.Ю.Радионон, Н.В. Немчинова</i> .....	47
<b>Теоретические основы разработки ошиновок и критерии оценки результатов расчета</b>	
<i>Е.Ю.Радионон, Н.В. Немчинова</i> .....	49
<b>Особенности процесса сокарбонизации компонентов композиционных материалов на основе углерода</b>	
<i>В.А. Скачков, В.И. Иванов, О.Р. Бережная</i> .....	51
<b>Опыт применения программы управления энергетическим режимом алюминиевых электролизеров</b>	
<i>И.А. Сысоев, М.А. Рудяга, А.А. Березин</i> .....	52
<b>Перспективные технологии переработки полупродуктов шламового производства</b>	
<i>Ю.И. Топоркова, В.Г. Лобанов, Р.С. Воинков</i> .....	54
<b>Металлографическое исследование образцов алюминиевых рондолей</b>	
<i>А.А. Тютрин, В.А. Михалев</i> .....	56
<b>Переработка цинксодержащей пыли электросталеплавильного производства с получением цинкового концентрата</b>	
<i>А.А. Тютрин, Н.В. Немчинова, Е.В. Наумов</i> .....	60
<b>Производство алюмокремниевых сплавов из киенитовых руд</b>	
<i>Федоров С.Н., Бажин В.Ю.</i> .....	64
<b>Исследование шлаков кремниевого производства на основе системы Si-Ca-O</b>	
<i>И.С. Шарафеева, А.А. Тютрин</i> .....	67
<b>СЕКЦИЯ №2</b>	
<b>ИНТЕНСИФИКАЦИЯ, КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</b>	
<b>Системы управления и оптимизации работы котлов СУОРК</b>	
<i>А.В.Баев, А.А.Мельник</i> .....	71

<b>Разработка компьютерного тренажера для обучения операторов установки непрерывной десорбции золота из активных углей</b>	
<i>Блинов Н.И., Мельник С.А.</i> .....	73
<b>Исследование влияния температуры в поворотной камере котла на давление в точке 122</b>	
<i>А.А. Котов, А.А. Ермаков, В.Г. Ханусов</i> .....	75
<b>Оценка надёжности информационно-измерительного канала АСУ ТП</b>	
<i>О.В. Лазарева, Е.А. Медунова, М.И. Капитонова</i> .....	77
<b>Тренажер для дистанционного управления котлом ТПП-110 энергоблока мощностью 300 МВт</b>	
<i>Медунова Е.А., Капитонова М.И.</i> .....	80
<b>Виртуальные измерения в АСУТП обогатительного производства производства</b>	
<i>А.А. Мельник, Г.А. Олзоев</i> .....	82
<b>Освоение и совершенствование методики измерения удельной поверхности дисперсных пористых материалов</b>	
<i>Носенко А.А., Половнева С.И., Мамин Т.Р.</i> .....	84
<b>Теоретико-модельный метод вывода формул</b>	
<i>Л.М. Ознобихин, А.А. Александрова</i> .....	86
<b>Проверка тепловизионных измерительных приборов для теплоэнергетики</b>	
<i>Осипенко Я.В., Агеева А.С., Половнева С.И.</i> .....	88
<b>Подготовка к метрологической аттестации анализатора удельной поверхности</b>	
<i>Половнева С.И., Погодаева А.Н., Носенко А.А., Саливон С.В.</i> .....	91
<b>Миксер М-15, как объект автоматизации</b>	
<i>Я.А. Свириденко, В.М. Салов</i> .....	93
<b>Перспективы внедрения системы дозирования легирующих компонентов в миксер</b>	
<i>Я.А. Свириденко, В.М. Салов</i> .....	94
<b>Процесс подготовки алюминиевых сплавов к розливу</b>	
<i>Я.А. Свириденко, В.М. Салов</i> .....	96
<b>Интегрированная система управления учебным стендом "Регулирование давления"</b>	
<i>Устиненко Г.Г., Ершов П.Р.</i> .....	97
<b>Оптимизация процесса измерения и расчета массы пробы</b>	
<i>В.Е. Эрдман</i> .....	98
<b>Анализатор растворенного кислорода в воде МАРК-404</b>	
<i>Турсунов О.З., Федоров В.А. Половнева С.И.</i> .....	101
<b>Инициатива глобального обслуживания средств автоматизации компании Emerson и вопросы подготовки кадров</b>	
<i>Половнев Н.П., Баев А.В., Половнева С. И.</i> .....	103

<b>Влияние температурного графика теплоснабжения на эксергетический баланс здания</b>	
<i>Мельник И. А.</i> .....	105
<b>СЕКЦИЯ №3</b>	
<b>АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ХИМИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ</b>	
<b>Применение отнчнственного микросферического катализатора "Октифайн-480" на установке каталитического крекинга ОАО "АНХК"</b>	
<i>Р.М. Аскеров.</i> .....	107
<b>Дорожные битумы улучшенного качества с применением серы в качестве модификатора</b>	
<i>Дошлов О.И., Калапов И.А.</i> .....	109
<b>Изменение свойств топливных брикетов из нефтекоксовой мелочи с добавками гидролизного лигнина</b>	
<i>Иринчеев М.А., Дошлов О.И.</i> .....	111
<b>Изменение ингибирующей активности одноатомного фенола при его окислении персульфатом калия</b>	
<i>Е.А.Мальцев, .Ф.Гоготов</i> .....	112
<b>Усовершенствование работы установки АВТ. Форсирование режима работы колонн</b>	
<i>А.Н.Никитина, Т.А.Подгорбунская</i> .....	113
<b>Повышение селективности процесса гидроформилирования</b>	
<i>Пугачёв П.П., Дьячкова С.Г.</i> .....	115
<b>Замена газа отопительного на газ оксирования в качестве топлива для трубчатой печи</b>	
<i>Пугачёв П.П., Лямонок С.Ю., Дьячкова С.Г.</i> .....	116
<b>Органические загрязнители в снеговом покрове на территории нефтебаз Республики Саха Якутия</b>	
<i>А.Я. Рыбкин, С.Г. Дьячкова, В.П. Михалева</i> .....	118
<b>Возможности применения висбрекинга с целью увеличения ГПН на Российских НПЗ</b>	
<i>В.Н. Сапрыгина, Т.П. Кравец</i> .....	120
<b>Взаимодействие поливинилхлорида с кислотами</b>	
<i>Севастьянов С.Ю., Баяндин В.В., Шаглаева Н.С.</i> .....	122
<b>Синтез и исследование свойств сополимеров винилхлорида</b>	
<i>Севастьянов С.Ю., Баяндин В.В., Шаглаева Н.С.</i> .....	123
<b>Использование нефтекоксовой мелочи в промышленности</b>	
<i>Е.Г. Спешилов, О.И. Дошлов</i> .....	124
<b>Моделирование состава нефти Марковского месторождения</b>	
<i>Ю.Ю. Чикичёва, Н.Д. Губанов</i> .....	126



<b>Проработка вопроса организации производства присадки агидол-1 на ОАО "АНХК"</b>	
<i>С.Ю. Щербаченко, Н.В. Индюкова, В.Н. Сапрыгина</i> .....	128
<b>Перспектива строительства комплекса производства метилдиэтанолamina (МДЭА) на промышленной площадке ОАО "АНХК"</b>	
<i>С.Ю. Щербаченко, А.М. Корякина, В.Н. Сапрыгина</i> .....	130
<b>Установка гидроочистки бензина каталитического крекинга</b>	
<i>С.Ю. Щербаченко, А.Г. Полияк, В.Н. Сапрыгина</i> .....	133
<b>Перспективы производства ДЦПД (дициклопентадиен) на Ангарской промышленной площадке</b>	
<i>С.Ю. Щербаченко, Е.В. Савельева, В.Н. Сапрыгина</i> .....	135
<b>Биоматериалы для дизельного топлива</b>	
<i>О.В. Белозерова, Л.Е. Белозеров, Л.В. Бутенко</i> .....	137
<b>Получение современных композиционных материалов на основе тяжелых нефтяных остатков</b>	
<i>Угапьев А.А., Дошлов О.И.</i> .....	139
<b>СЕКЦИЯ №4</b>	
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ</b>	
<b>Обзор мирового опыта использования и переработки отработанной футеровки электролизера</b>	
<i>В.В. Сомов, Н.В. Немчинова, А.А. Пьявкина</i> .....	141
<b>Разработка экстракционной технологии извлечения меди из продуктивных растворов кучного выщелачивания окисленных медных руд и отвалов</b>	
<i>А.А. Васильев, А.Г. Никитенко</i> .....	144
<b>Экологические проблемы развития алмазодобывающей промышленности в экстремальных условиях Севера</b>	
<i>Власов С.Г., Немчинова Н.В.</i> .....	146
<b>Специфика применения ферментов при утилизации серебросодержащих отходов</b>	
<i>Москалев М.Ю.</i> .....	151
<b>Производство гранулированных активных углей из отходов сельхозпродуктов</b>	
<i>О.Б. Рахманов, М.М. Солихов, Р.А. Краев, Х.М. Назаров, М.И. Каримов, А.В. Аксенов</i> .....	152
<b>Сорбционные свойства скорлупы ореха</b>	
<i>Н.Н. Рахматов, Х.М. Назаров, А.В. Аксёнов, О.Б. Рахманов, М.М. Солихов, Н.А. Харитонова</i> .....	155
<b>Возврат в процесс пыли кремневого производства в качестве сырьевой составляющей шихты</b>	
<i>М.С. Леонова, Н.В. Немчинова</i> .....	160

**СЕКЦИЯ №5**

**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ  
МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

**Исследования по извлечению золота из упорного золотосульфидного флотоконцентрата, полученного при обогащении руды одного из месторождений Казахстана**

*Болдырев А.В., Емельянов Ю.Е., Копылова Н.В., Николаев Ю.Л..... 162*

**Научное издание**

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

Материалы  
Всероссийской научно-практической конференции с международным  
участием

(Иркутск, 23–24 апреля, 2015 г.)

Публикуются с файлов, предоставленных авторами

Оформление обложки Т.А. Подгорбунская, Т.А. Звонарева