Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Сибирский государственный индустриальный университет

Посвящается 90-летию Сибирского государственного индустриального университета

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2019»

23 – 24 октября 2019 г.

Труды XXI Международной научно-практической конференции Часть 1

> Новокузнецк 2019

Редакционная коллегия

академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов, д.т.н., профессор М.В. Темлянцев, д.т.н., профессор Г.В. Галевский, д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н., доцент С.Г. Коротков

М 540 Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXI Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1 / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – 398 с. : ил.

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии производства, обработки и сварки металлов, энергоресурсосбережения, рециклинга и экологии в металлургии.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Кемеровской области ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» AO «ЕВРАЗ ЗСМК» AO «Русал Новокузнецк»

АО «Кузнецкие ферросплавы»

ОАО «Черметинформация»

Издательство Сибирского отделения РАН

Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»

Журнал «Вестник СибГИУ»

Журнал «IOP conference series: materials science and engineering»

АО «Кузбасский технопарк»

Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук Совет молодых ученых Кузбасса

ПРОИЗВОДСТВО ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИЯ, КАЧЕСТВО

Лысенко О.Е.¹, Галевский Г.В.², Руднева В.В.², Галевский С.Г.³, Комрони М.⁴

¹AO «АрселорМиттал Темиртау»,
г. Темиртау, Республика Казахстан, lysenko.o.e@mail.ru
²Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, kafcmet@sibsiu.ru
³Санкт-Петербургский горный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия, sgalevskii@gmail.com
⁴Министерство промышленности и новых технологий,
г. Душанбе, Республика Таджикистан, km-0808@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ современного состояния мирового и отечественного производства обожженных анодов для алюминиевых электролизеров. Определены доминирующие тенденции, описана базовая технология, и выявлены направления её совершенствования.

Ключевые слова: производство, обожжённые аноды, многокамерная печь, технология, процесс обжига, качество.

PRODUCTION OF BAKED ANODES FOR ALUMINIUM ELECTROLYTIC CELLS: THE PREVAILING TRENDS, TECHNOLOGY, QUALITY

Lysenko O.E.¹, Galevsky G.V.², Rudneva V.V.², Galevskiy S.G.³, Komroni M.⁴

¹JSC «ArcelorMittal Temirtau»
Temirtau, Republic of Kazakhstan, lysenko.oe@mail.ru
²Siberian state industrial university,
Novokuznetsk, Russia, kafcmet@sibsiu.ru,
³St. Petersburg Mining University,
St. Petersburg, Russia, sgalevskii@gmail.com
⁴Ministry of the industry and new technologies,
Dushanbe, Republic of Tajikistan, km-0808@mail.ru

Abstract. The analysis of the current state of world and domestic production of the burned anodes for aluminum electrolyzers is carried out. The dominating trends are defined, the basic technology is described, and the directions of its improvement are revealed.

Key words: production, baked anode, a multi-chamber furnace, the technology, the process of roasting.

Введение

Уже длительное время технологическая стратегия ведущих алюминийпроизводящих компаний основана на развитии электролизного производства с использованием обожженных анодов. Это обеспечивает разработку и последующую эксплуатацию высокоамперных электролизеров, работающих с высокими технико-экономическими показателями, улучшение санитарно-гигиенических условий труда персонала в корпусах электролиза, в целом повышение экологической безопасности алюминиевых заводов. В настоящее время по этой технологии производится более 80 % выпускаемого в мире первичного алюминия. Реализуемые технологии высокоамперного электролиза на электролизерах с обожженными анодами мощностью 300-500 кА доказали, что возможно дальнейшее повышение эффективности про-

цесса за счет усовершенствования конструкции и прогрессивных технических решений при использовании новых материалов и высококачественного сырья.

Достигнутые на передовых алюминиевых предприятиях показатели подтверждают эффективность выбранного направления: выход по току достигает 95 %, расход технологической электроэнергии составляет 12500-13000 кВт·ч/т Al, расход анодов 500-510 кг/т Al, фторида алюминия 15-17 кг/т АІ. Применение обожженных анодов значительно снижает выбросы смолистых веществ, в том числе бензапирена, и других вредных компонентов от электролизера. Снижению выбросов вредных веществ на высокоамперных электролизерах способствует возможность применения более герметичных укрытий с высоким КПД, систем автоматизированного питания глиноземом, уменьшающих время работы электролизеров с открытыми укрытиями. Основными отличительными особенностями высокоамперных технологий по сравнению с электролизерами средней мощности являются: использование для питания электролизера через системы АПГ глинозема песочного типа, фторсолей, фторированного глинозема и оборотного криолита; работа в заданном интервале низких концентраций глинозема 2-5% по технологии без анодных эффектов (0,05 шт/сут); низкий уровень металла (18-20 см); высокий уровень электролита (20-22 см); использование в процессе только кислых электролитов с заданным интервалом КО 2,2-2,4; корректировки КО по заданным алгоритмам; возможность работы на плотностях тока, близких к критическим значениям 0,9-0,95 А/см²; большие скорости (до 18-20 см/с) движения расплава в электролизной ванне; новый состав укрывных материалов, обеспечивающий стабилизацию теплового и материального баланса; технология «завод-автомат» с использованием при обслуживании многофункциональных кранов, механизмов и робототехники при постоянном сканирующем мониторинге технологического состояния электролизера; катодное устройство шпангоутного типа с дополнительными ребрами охлаждения с использованием высокографитированных катодных блоков замкового типа и боковой карбидокремниевой футеровки с искусственными профильными настылями.

ОК РУСАЛ в своих среднесрочных и долгосрочных проектах также предусматривает постоянное увеличение объемов производства алюминия с использованием обожженных анодов. По этой технологии полностью работает Саяногорский (530 тыс. т Al / год), Хакасский (300 тыс. т Al / год), частично Красноярский (1024 тыс. т Al / год), Иркутский (415 тыс. т Al / год), Новокузнецкий (213 тыс. т Al / год) алюминиевые заводы. В стадии пуска находятся Богучанский алюминиевый завод (проектная мощность 600 тыс. т Al / год), в стадии строительства – Тайшетский алюминиевый завод (проектная мощность 750 тыс. т Al / год).

Оценка состояния и прогнозы в производстве обожженных анодов

По данным [1], в 2019 г. глобальная емкость мирового алюминиевого рынка может увеличится до 70 млн. т при ожидаемом его дефиците ~ 1,2 млн. т. При сложившихся в 2015-2017 гг. соотношениях в объемах производства первичного и вторичного алюминия это позволяет прогнозировать объем производства первичного алюминия на уровне 43,0 млн. т, а потребность в обожженных анодах - на уровне 19 млн. т. Крупнейшие заводы по производству обожженных анодов с объемом производства более 1 млн. т в год находятся в Китае. Ведущие алюминийпроизводящие компании - RIO TINTO ALCAN, ALCOA, РУСАЛ, ЕМАL, ALBA предпринимают серьезные усилия по расширению собственного производства обожженных анодов.

ОК РУСАЛ производят ежегодно на российских заводах 3,5 – 3,7 млн. т первичного алюминия, в том числе с использованием обожженных анодов 1,05 – 1,10 млн. т. С освоением производственных мощностей Богучанского алюминиевого завода эти показатели могут достичь 1,5 млн. т, для чего потребуется порядка 810 тыс. т в год обожженных анодов. Мощности по производству обожженных анодов ОК РУСАЛ на территории России включают действующие анодные производства Саяногорского алюминиевого завода (330 тыс. т в год). Порядка 140 тыс. т в год производят предприятия компании ЭНЕРГОПРОМ [2]. Общий дефицит обожженных анодов составляет порядка 440 тыс. т и покрывается за счет импорта из Китая. В связи с этим проблема импортозамещения является достаточно острой.

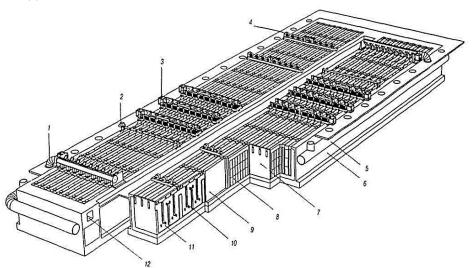
Для ее решения компания ОК РУСАЛ реализует следующие проекты по наращиванию объемов производства обожженных анодов:

- запуск на рубеже 2018 2019 гг. производства обожженных анодов на Волгоградском алюминиевом заводе [3] с объемом выпуска 104 тыс. т в год. Стоимость проекта составляет 8 млрд. руб. при сроке окупаемости 8 лет.
- поэтапное строительство анодного производства Тайшетского алюминиевого завода с объемом выпуска 870 тыс. т в год [4]. В настоящее время реализуется первый этап с объемом выпуска 217,5 тыс. т в год. Ввод в промышленную эксплуатацию производственных мощностей первого этапа планируется в третьем квартале 2019 г.

Многокамерные печи для обжига анодов

Обжиг анодов проводится в многокамерных печах. При этом как в отечественной, так и зарубежной практике используются преимущественно открытые (бессводовые) обжиговые печи, хотя на ряде предприятий можно встретить закрытые (сводовые) печи. Оба типа печей подвергаются непрерывной модернизации. При строительстве каждого нового производства анодов проводится технико-экономическая оценка выбора первого или второго типа печей. Тем не менее последние 20 лет печам открытого типа отдается большее предпочтение. Модель открытой обжиговой печи в трехмерном изображении представлена на рисунке 1.

Основным элементом печи являются обжиговые камеры, непосредственно прилегающие друг к другу через разделительные простенки. Каждая камера состоит из 6-8 кассет, расположенных параллельно вдоль оси печи, и, следовательно, представляет собой блок элементарных ячеек - кассет, полностью идентичных как по размерам, так и по конструкции. Кассета имеет форму прямоугольной коробки, ограниченной с боковых сторон стенками огневых или греющих простенков, по торцам – стенками межкамерных перегородок, снизу – поверхностью подины.



1 – эксгаустер, 2 – рампа контроля разрежения, 3 – топливный мостик, 4 – воздушный охладитель, 5 – центральный дымовой боров, 6 – бетонный каркас, 7 – разделительный простенок, 8 – аноды, 9 – кассета, 10 – перегородки, 11 – обогревающий простенок, 12 – перекидной канал

Рисунок 1 - Открытая печь для обжига анодов

Кассета является элементарной ячейкой любой печи обжига и служит емкостью для загрузки «зеленых» анодов. Каждая кассета имеет автономную систему обогрева, осуществляемую посредством установки горелок в каждый греющий простенок и автоматически регулируемую по показаниям термопар. Печь состоит из двух рядов камер, которые расположены параллельно друг другу с разрывом между рядами около 3,5 м. Это пространство используется для размещения автоматизированных транспортных конвейеров для подачи в камеры «зеленых» анодов и отгрузки обожженных анодов. Такое размещение транспортеров облегчает механизацию и обслуживание печи.

Печь размещается в бетонном каркасе (обечайке), представляющем собой прямоугольную форму, механически удерживающую внутреннюю футеровку печи. Каркас может быть установлен на нулевой отметке или слегка заглублен в землю. Полное заглубление печи обжига удорожает строительство, а при капитальном ремонте, планируемом каждые 12 – 15 лет, затрудняет демонтажные и монтажные работы.

Для обогрева печей обжига используют как газообразное, так и жидкое топливо. Подача топлива проводится от центральной магистрали к внутренней сети, размещенной по периметру печи. Топливная линия внутрицеховой сети оснащается индивидуальными патрубками напротив каждой камеры. Патрубки имеют переходные соединительные муфты для подключения к топливной сети передвижной горелочной рампы (или мостика), на которой размещены топливные горелки.

Технология производства обожженных анодов

Практически на всех производствах обожженных анодов реализуется традиционная технологическая схема, представленная на рисунке 2.

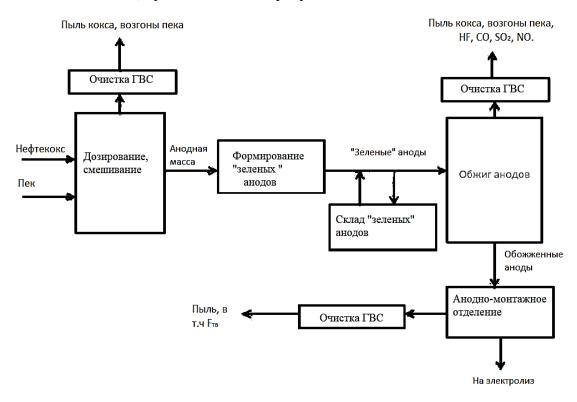


Рисунок 2 - Технологическая схема производства обожженных анодов (ГВС – газовоздушные среды)

Процесс производства анодов в части дробления, измельчения и смешивания сырьевых материалов идентичен производству анодной массы, но предполагает использование огарков обожженных анодов (рисунок 3), которые вместе с прокаленным коксом проходят стадии дробления и рассева. Дробление производится до фракций 0-12,5 мм, помол 0-0,5 мм.

Температура пека в пекоприемнике и пекоплавителе — (180-220) 0 С. При смешении пекококсовой композиции образуется гомогенизированная «зеленая» анодная масса с температурой 220 0 С. Затем из анодной массы формируются "зеленые" аноды, которые после охлаждения подаются из смесильно-прессового отделения двумя линиями конвейеров на склад, где складируются кранами-штабелерами в штабеля по 10 анодов в ряду и высотой не более 5 рядов.



Рисунок 3 – Огарок анода алюминиевого электролизера

Со склада "зеленые" аноды подаются на конвейер с толкающей штангой и далее транспортируются в корпуса обжига по подвесному транспортному конвейеру (ПТК) с поддонами. В каждом из корпусов обжига на трассе ПТК имеется участок для снятия анодов с поддонов. Тележка ПТК останавливается на заданном участке, поддон блокируется и анод сдвигается на рольганг толкателем анодов. Далее аноды передвигаются по роликовому конвейеру, на котором собираются в пакеты по три штуки, и автоматически останавливаются у загружаемой камеры обжига. С помощью универсального крана ECL специальным захватом с гидроприводом аноды поднимаются и в один прием загружаются в кассету. Крановщик из кабины мостового крана включает подающий конвейер и следующий пакет из 3 анодов подводится к камере. Камера 72 – камерной обжиговой печи вмещает 7 кассет, в каждую из которых в течении 30 минут загружаются 6 пакетов. Перед загрузкой первого пакета на подину засыпается слой пересыпки из прокаленного нефтяного кокса крупностью – 5 + 1 мм. Высота слоя пересыпки составляет в среднем 50 мм и зависит от состояния подины. Слой пересыпки может быть увеличен. После загрузки каждого пакета оператор подсыпает поверх анодов слой пересыпки толщиной 5 – 10 см. После установки последнего ряда свободное пространство между стенками кассеты и «зелеными» блоками засыпается коксовой пересыпкой. Для создания хорошего уплотнения против подсосов воздуха и тепловой изоляции верх кассет заполняется слоем пересыпки по верхнему ряду блоков толщиной 500-700 мм. Пересыпка выполняет функции защиты обжигаемых изделий от окисления, создавая внутри кассет восстановительную атмосферу.

Процесс обжига «зеленых» анодных блоков условно можно разделить на следующие стадии:

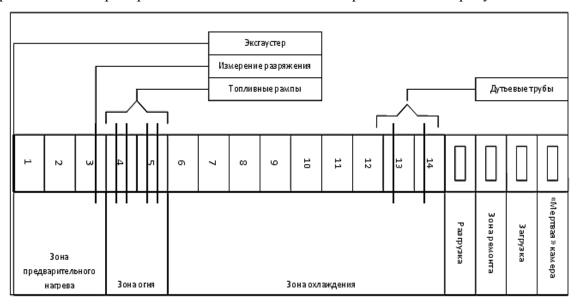
- 1-я до 120° С предварительный нагрев «зеленых» блоков, который сопровождается релаксацией имеющихся механических напряжений в структуре, размягчением пека и дистилляцией влаги.
- 2-я 120-350°С термические преобразования в пеке и пекококсовой смеси, связанные с реакциями деструктивного разложения органических соединений.
 - 3-я 350-600°С коксование связующего и начало спекания пекококсовой композиции.
- 4-я -600-1200 °C физико-химические преобразования, направленные на упорядочение структуры обожженного анода, предания ему высокой механической прочности, электропроводности и химической стойкости.

Реализация рационального температурного графика обжига, т.е. оптимального темпа подъема температуры на каждой из четырех стадий обжига является важным условием получения высокого качества обожженных анодов при минимальных энергетических затратах.

В многокамерных печах обжигаемые аноды находятся в состоянии покоя, т.е. неподвижны, а зоны предварительного нагрева, обжига и охлаждения периодически перемещаются от камеры к камере печи. Благодаря этому аноды каждой камеры в пределах одного цикла проходят все стадии обжига и охлаждения в соответствии с технически обоснованным графиком. Весь теплотехнологический цикл, включая зоны предварительного нагрева, форсированного нагрева и охлаждения, а также камеры подготовительного цикла (загрузка, раз-

грузка) носит название «огня». При 72-х камерах печь работает на 4-х «огнях». «Огонь» перемещается по печи «со скоростью» 24-28 часов на камеру.

Распределение камер в пределах одного цикла обжига представлено на рисунке 4.



№ 1-3 - камеры предварительного нагрева; № 4 - камера форсированного нагрева; № 5 - камера полного огня и завершения обжига; № 6-14 - камеры охлаждения; № 15 — разгрузка

Рисунок 4 - Распределение камер в пределах одного цикла обжига

Первая обогреваемая камера (№ 4) на ходу огня составляет зону форсированного нагрева. Температура в ней поднимается с 800 до 1225 $^{\circ}$ C. Камеру № 5 принято называть зона «полного огня», температура газа в огневых каналах этих камер составляет 1200-1250 $^{\circ}$ C и поддерживается постоянной. Принято говорить, что отапливаемые камеры (№ 4,5) находятся «на огне».

Продукты сгорания топлива под воздействием разрежения, создаваемого эксгаустером, проходят через простенки камер № 1, 2, 3 и передают большую часть аккумулированного ими тепла загруженным там «зеленым» анодам. В эксгаустер попадает газ, уже охлажденный до $160-200~^{0}$ С. Таким образом, камеры № 1-3 выполняют роль рекуператоров, а зона этих камер носит название зоны предварительного нагрева.

После завершения обжига в камере № 5 горелочный мостик с этой камеры перемещается на 2 камеры вперед, т. е. на камеру № 3. Эксгаустер также передвигается вперед и переставляется с межкамерного простенка № 1 в простенок за «мертвой» камерой. В то же время камера № 5 поступает на охлаждение. Охлаждение обожженных анодов проводится путем продувки холодным воздухом. С этой целью в межкамерные простенки за камерами № 13 и 14 устанавливаются дутьевые трубы (манифольды). Последние оснащены вентилятором, который нагнетает воздух в огневые простенки камер. Проходя простенки камер с № 14 по № 5, воздух охлаждает футеровку простенков и обожженные аноды [5].

Часть горячего воздуха выбрасывается через открытые лючки простенков, которые остаются открытыми после перестановки горелочных рамп, в атмосферу цеха. Другая часть горячего воздуха проходит в топливные каналы простенков зоны «огня» и используется для сжигания горючего. Поэтому зона охлаждения частично выполняет функции подогревателя воздуха. Подача горячего воздуха в зону огня весьма благоприятно действует на эффективность горения топлива и повышает тепловой КПД печи.

Температурный режим обжига анодов определяется его графиком (рисунок 5) и величиной разряжения в камерах системы огня. На камерах естественного нагрева значение температур отходящих газов в простенках печи не регламентируются, но к моменту подключения камеры на форсированный нагрев температура в простенках должна быть не менее $800\,^{0}$ C.

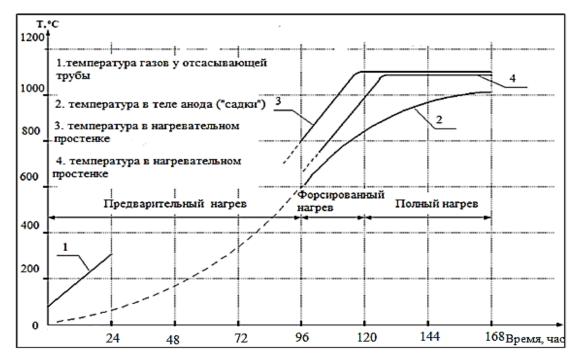


Рисунок 5 - График обжига анодов

Удаление отходящих газов производится через обводной газоход, расположенный вокруг печи и являющийся общим для всех камер. С помощью дымососов отходящие газы направляются в отделение газоочистки для их нейтрализации с последующим выбросом очищенных газов в атмосферу через трубу.

После обжига и охлаждения аноды выгружают из камеры с помощью универсального мостового крана на конвейер с толкающей штангой. Выгрузка одной кассеты продолжается в среднем 60 минут. После выгрузки аноды транспортируются к станции очистки, где отчищаются от прикоксовавшейся присыпки скребковыми ножами и обдуваются воздухом.

После станции очистки аноды подаются к передаточному устройству, которое опускает аноды с площадки печи на роликовый конвейер, разделенный на три участка. Средний участок роликового конвейера служит для остановки анодов с целью их визуального осмотра и проведения, в случае необходимости, доочистки вручную. Бракованные обожженные аноды через поворотный стол направляются на конвейер, откуда на участок дробления. Годные обожженные аноды транспортируются конвейерами с толкающей штангой к участку их загрузки на подвесной конвейер с поддонами — система ПТК (подвесных транспортных конвейеров) и транспортируются на склад. Обожжённые аноды приведены на рисунке 6.



Рисунок 6 – Обожженные аноды в составе анодного устройства алюминиевого электролизера

Предприятия ОК РУСАЛ производят анодные блоки разных типоразмеров и назначения. Для электролизеров малой мощности производятся блоки типа А размером 550х400, высотой 510 мм. На современных электролизерах широко применяются анодные блоки типов Б и В (рисунок 7). Технические требования, предъявляемые к обожженным анодным блокам, разработаны швейцарской фирмой R&D Carbon Ltd. Наиболее значимые из них приведены в таблице [8].

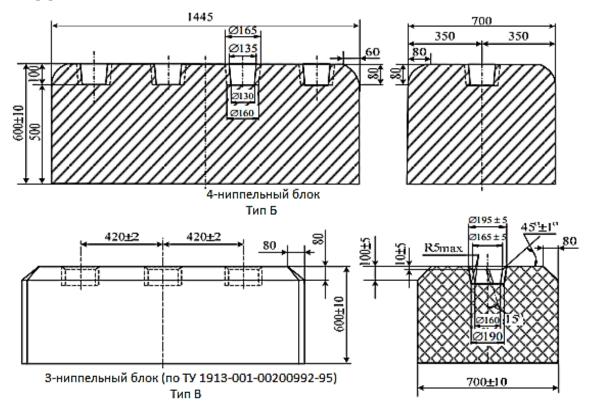


Рисунок 7 – Анодные блоки типа Б и В

Таблица – Показатели качества анодных блоков

Показатели качества	Типичное значение
Плотность:	
- объемная, кг/дм ³ ,	1,53-1,58
-истинная, $\kappa \Gamma/д M^3$,	2,05-2,08
УЭС, мкОм·м.	52-60
Прочность:	
- на изгиб, МПа,	8,0-12,0
- на сжатие, МПа.	32,0-48,0
Теплопроводность, Вт/м·К.	3,0-4,5
Реакционная способность в токе СО2:	
- осыпание, %,	
- окисление,%.	4,0-8,0
Зольность, %.	10,0-20,0
	0,2-0,5
Содержание примесей, ppm:	
- S	1,2-2,4
-Si	100-300
-Fe	100-500
-V	80-260
-Na	200-600

Заключение

Проведена оценка состояния мирового и отечественного производства обожженных анодов для алюминиевых электролизеров. На основе анализа научно — технической литературы подтверждена основная тенденция современного электролизного производства - разработка и эксплуатация высокоамперных электролизеров с обожженными анодами, обладающих повышенной экологической безопасностью. Мировая потребность в обожженных анодах оценивается на уровне 19 млн. т, ОК РУСАЛ — 0,8 млн. т. При этом общий дефицит обожженных анодов в ОК РУСАЛ составляет 0,44 млн. т и покрывается за счет импорта из Китая. В 2019 г. ОК РУСАЛ планирует ввод новых мощностей — 0,1 млн. т на Волгоградском и 0,22 млн. т на Тайшетском алюминиевых заводах. Поэтапное освоение анодного производства в условиях Тайшетского алюминиевого завода обеспечит для ОК РУСАЛ выпуск 1,3 млн. т. обожженных анодов.

Подтверждено, что ведущие алюминийпроизводящие компании - RIO TINTO ALCAN, ALCOA, РУСАЛ, EMAL, ALBA предпринимают серьезные усилия по расширению собственного производства обожженных анодов с использованием в основном многокамерных печей открытого типа, обеспечивающих 4-х стадийный обжиг с получением высококачественных анодов при минимальных энергетических затратах. Расширение объемов производства обожженных анодов сопровождается совершенствованием конструкций печей, технологии обжига, заменой топлива (мазута на природный газ), с формированием защитных покрытий на анодах, изменением их геометрии (наличие газоотводных каналов) и др. Применение новых технологических схем обезвреживания отходящих газов значительно повышает экологическую безопасность анодных производств.

Библиографический список

- 1. Чернавина Д. А., Чернавин Е. А., Фаллер А. В., Зданович М. Ю. Мировой рынок алюминия: тенденции развития, перспективы и ключевые проблемы // Молодой ученый. 2018. №17. С. 206-210.- URL https://moluch.ru/archive/203/49838/ (дата обращения: 23.12.2018).
- 2. Обожженные аноды ЭНЕРГОПРОМ [Электронный ресурс]. http://epmhosting.nichost.ru/ru/our_business/products/prebaked_anodes (дата обращения: 18.12.2018).
- 3. Плешаков В. Алюминиевый завод Волгограда готов запускать производство анодов [Электронный ресурс]. https://vpravda.ru/ekonomika/alyuminievyy-zavod-volgograda-gotov-zapuskat-proizvodstvo-anodov-58439/.(дата обращения: 14.12.2018).
- 4. Тайшетский алюминиевый завод. Строительство [Электронный ресурс]. http://visinform.ru/?action=view&id=4345&module=articles&rubric=20 (дата обращения: 23.12.2018).
- 5. В.П. Никифоров, А.И. Пальчиков, Ю.А. Матвеев. Саянский алюминиевый завод. Корректировка проекта. Том III, книга 3, Производство обожженных анодов, Ленинград, 1982. 782 с.
- 6. Янко, Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров / Э.А. Янко. М.: Руды и металлы, 2001.-672 с.
- 7. Обзор рынка алюминия. Алюминиевая ассоциация [Электронный ресурс]. http://www.aluminas.ru /upload/iblock/4ab/2016 aluminium-market-reviev.pdf-2016/ (дата обращения: 23.12.2018).
- 8. Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. Металлургия алюминия. Справочник по технологии и оборудованию, Новокузнецк, 2009. 251с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	4
МЕТАЛЛУРГИЯ КУЗБАССА: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Галевский Г.В., Козырев Н.А., Коротков С.Г., Фастыковский А.Р.	4
СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А	9
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ Фастыковский А.Р.	14
ФЕРРОСПЛАВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В МИРЕ И РОССИИ <i>Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ёлкин К.С., Голодова М.А.</i>	20
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ Козырев Н.А. ¹ , Шевченко Р.А., Протопопов Е.В., Кратько С.Н., Хомичева В.Е	33
85 ЛЕТ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. К ЮБИЛЕЮ КАФЕДРЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ И ЭКОЛОГИИ СИБГИУ Коротков С.Г., Темлянцев М.В., Стерлигов В.В.	44
МОЛИБДЕНОВЫЕ КОНЦЕНТРАТЫ : СЫРЬЕВАЯ БАЗА И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ Полях О.А., Комрони М.	55
РЕСУРСО – И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК С ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ Лубяной Д.А., Мамедов Р.О., Князев С.В.	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛАКОВ РАФИНИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ходосов И.Е., Ёлкин К.С.	66
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА МОЛИБДЕНА, ЕГО СПЛАВОВ И СОЕДИНЕНИЙ <i>Горлова А.А., Галевский Г.В., Руднева В.В.</i>	72
КОМПАНИЯ CINF – ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЛИДЕР В ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ИНЖИНИРИНГЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ Чжан Кэ	78
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМИ СВОЙСТВАМИ Павловец В.М.	81
ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ПОДОВОЙ ФУТЕРОВКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ <i>Горлова А.А., Згербач О.В., Галевский Г.В.</i>	90
ПРИМЕНЕНИЕ ДИБОРИДА ТИТАНА ДЛЯ ЗАЩИТЫ КАТОДОВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М., Гордиевский О.И.	94
ПРОИЗВОДСТВО ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ: ДОМИНИРУЮЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ, ТЕХНОЛОГИЯ, КАЧЕСТВО Лысенко О.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.	

СВОИСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ	
Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М. ⁴ ,	
Макарычева Е.Г., Смит С.В.	110
СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ	118
Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Комрони М.,	
Макарычева Е.Г., Смит С.В.	118
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СКРАПА ШЛАКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ	
Амелин А.В., Протопопов Е.В., Кузнецов С.Н., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А.	124
ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАРГАНЦЕВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ Прошунин И.Е., Нохрина О.И., Рожихина И.Д.	128
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ ИЗ КОНВЕРТЕРНОГО ВАНАДИЕВОГО ШЛАКА ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ	
Голодова М.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Рыбенко И.А.	133
СЕКЦИЯ 2: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ: ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ И КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК В ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМАХ Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Куценко А.И., Меі Shunqi, Ри Э.Х., Сметанюк С.В., Пономарева К.В., Гаврилов Г.Н.	120
	139
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ В МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМЕ Деев В.Б., Приходько О.Г., Прусов Е.С., Протопопов Е.В., Темлянцев М.В., Куценко А.И., Mei Shunqi, Ри Э.Х., Базлова Т.А., Сметанюк С.В., Сокорев А.А	146
МЕЛКОСЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЛИТЫХ ПОРИСТЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Князев С.В., Усольцев А.А., Куценко А.И., Куценко А.А., Соколов Б.М.	
	132
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ МАРКИ Э90ХАФ Симачев А.С., Осколкова Т.Н.	150
МНОГОСТАДИЙНАЯ ПРОТЯЖКА КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПЛОСКИХ БОЙКАХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ	137
Перетятько В.Н., Вахман С.А., Филиппова М.В., Юрьев А.Б.	164
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ, В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ Уманский А.А., Головатенко А.В., Симачев А.С., Дорофеев В.В.	170
	170
ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ – РАЗДЕЛЕНИЯ НА ДЕЙСТВУЮЩЕМ ПРОИЗВОДСТВЕ Фастыковский А.Р., Беляев С.В.	175
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВИНТОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ВОЛОЧЕНИЕМ	
Фастыковский А.Р., Чинокалов Е.В.	180
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЗАХВАТА И КОЛЕБАНИЙ ПОЛОСЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ	
Кожевников А.В., Смирнов А.С., Платонов Ю.В.	184

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРУДОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ЭФФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО КОМПЛЕКСА Кадыков В.Н., Мусатова А.И.	188
ПОСТРОЕНИЕ НОРМАТИВНОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ-ВОЛОЧИЛЬЩИКОВ В РЕЖИМЕ МНОГОСТАНОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ Кадыков В.Н., Мусатова А.И.	196
РАЗРАБОТКА ПРОГРЕССИВНЫХ КАЛИБРОВОК АСИММЕТРИЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНОМ РЕЛЬСОБАЛОЧНОМ СТАНЕ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Дорофеев В.В., Добрянский А.В., Фастыковский А.Р.	202
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ НА ИЗНОС И УДАР В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю	208
ДЛИНА ЗОНЫ ПЛАВНОГО ПЕРЕХОДА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ С- И Н-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЕЙ, ФОРМУЕМЫХ ПО ПОЛУЗАКРЫТЫМ СХЕМАМ Филимонов А.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И.	213
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБОЛОЧКОВОЙ ФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	
Ковалева Т.В., Еремин Е.Н. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕЛЮЩИХ ШАРАХ Исагулов А.З., Аубакиров Д.Р.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ Исагулов А.З., Исагулова Д.А.	
ДЕФОРМАЦИЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И СВОЙСТВА ПОРШНЕВЫХ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ Афанасьев В.К., Прудников А.Н., Прудников В.А.	234
СЕКЦИЯ 3: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ СВАРКИ, ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОКРЫТИЙ	
АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЛЬФРАМА ИЗ ОКСИДА ПРИ НАПЛАВКЕ ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ	
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Бащенко Л.П., Михно А.Р. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ WO_3 АЛЮМИНИЕМ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ	
Крюков Р.Е., Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шурупов В.М	
Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Михно А.Р., Бащенко Л.П. ИСЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЫЛИ ГАЗООЧИСТКИ ФЕРРОХРОМА	
Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Прудников А.Н., Михно А.Р. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОВШЕВОГО ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В КАЧЕСТВЕ ФЛЮС – ДОБАВКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ	261
Михно А.Р., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А. , Уманский А.А	267

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В МАШИНОСТРОЕНИИ Осколкова Т.Н., Глезер А.М	272
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ИСТОРИЯ, РЕАЛЬНОСТЬ И ПРОГНОЗЫ Полях О.А., Полях К.Е., Вильдеманн В.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ЭЛЕКТРОДОВ ПЛАЗМОТРОНА ЭДП-104А В АЗОТНОЙ ПЛАЗМЕ Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Галевский С.Г., Мишне И.	281
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМООБРАБОТКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г., Черновский Г.Н., Крушенко Г.Г., Стафецкис Л., Черепанов А.Н	285
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ <i>Шевченко Р.А, Козырев Н.А., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Михно А.Р.</i>	294
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ПЛАЗМОСИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА	200
Галевский Г.В., Руднева В.В., Оршанская Е.Г., Ефимова К.А. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК	298
ИЗНОСОСТОИКОСТЬ НОВЫХ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ FE-C-SI-MN-CR-NI-MO Козырев Н.А., Усольцев А.А., Гусев А.И., Осетковский И.В., Михно А.Р.	306
СВАРОЧНЫЙ ФЛЮС НА ОСНОВЕ БАРИЙ – СТРОНЦИЕВОГО МОДИФИКАТОРА И ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Попова М.В.	322
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ХРОМИСТОЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А., Пономарев И.А.	
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ SN-SB, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ Калашников И.Е., Болотова Л.К., Быков П.А., Катин И.В., Кобелева Л.И.	334
ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ	220
<i>Шевченко Р.А., Кузнецов В.А., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Михно А.Р.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	338
Кузнецов В.А., Шевченко Р.А., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Михно А.Р	342
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЛАЗМОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА ЦИРКОНИЯ	247
Алексеева Т.И., Галевский Г.В., Руднева В.В., Галевский С.Г. ОСОБЕННОСТИ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ВОЛЬФРАМА(VI) В	347
ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ АЗОТА Баротов Ф.Б., Ноздрин И.В.	351
СЕКЦИЯ 4: ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОС В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И АГРЕГАТАХ. РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ	355
БИОМОНИТОРИНГ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	333
ШЛАМОХРАНИЛИЩА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» Водолеев А.С., Синявский Д.В., Кривцова Ю.В.	355
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО, ХИМИЧЕСКОГО И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО	333
СОСТАВОВ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ И ОБЕЗВОЖЕННОГО ШЛАМА ГАЗООЧИСТКИ Аникин А.Е., Галевский Г.В., Руднева В.В., Ноздрин Е.В.	358

Энерг етическое использование древесных отходов Соловьев А.К, Шевченко А.А	364
ВЫБОР МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКИ Стерлигов В.В.	369
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТОПЛИВА <i>Стерлигов В. В.</i>	373
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ШЛАКИ – КАТАЛИЗАТОРЫ ОЧИСТКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ Титова О.О., Павлович Л.Б., Медведская Е.В.	377
ОЦЕНКА РИСКОВ НА КОКСОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ВНЕДРЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ Титова О.О., Павлович Л.Б. ⁻ , Медведская Е.В.	379
ТЕХНОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ Апасов А.М.	384