

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ»
ОАО «ТАДЖИКСКАЯ АЛЮМИНИЕВАЯ КОМПАНИЯ»,

На правах рукописи

УДК:669.713:669-45:67.05

ББК: 34.33

М-21

Мирпочаев Хуршед Абдумуминович

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИИ И
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНОДНЫХ ТОКОПОДВОДОВ
ЭЛЕКТРОЛИЗЁРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

05.02.01 – Материаловедение (05.02.01.02 - отрасль машиностроения)

Научный руководитель: **Асрори Муродиён (А.Ш. Мурадов) -**
доктор технических наук, доцент, с.н.с.
лаборатории переработки местного
глинозём-углеродсодержащего сырья
ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО».

Научный консультант: **Сафиев Хайдар -** доктор химических наук,
профессор, академик НАН РТ, директор
ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО».

Душанбе – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Обзор литературы. Состояние и перспективы развития анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.	9
1.1. Применяемые материалы, технологии изготовления и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров.....	9
1.2. Анализ конструкций анодных токоподводов, используемых в алюминиевой отрасли	22
1.3. Выводы по литературному обзору и обоснование направления исследований	32
Глава 2. Выбор и расчёт оптимальных материалов, конструкции усовершенствованных анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.....	42
2.1. Анализ основных тенденций развития материалов и конструкций анодных токоподводов.....	42
2.2. Выбор формы и расчет параметров анодных токоподводов	45
2.3. Расчет механической прочности кронштейна анодного токоподвода..	47
2.4. Расчет кронштейна анодного токоподвода на тепловое расширение...	49
2.5. Исследование физико-механических показателей анодного блока с клиновым пазом анодных токоподводов	54
2.6. Разработка новых конструкций анодных токоподводов в сборе из угольного анодного блока и стального кронштейна анододержателя.....	58
Глава 3. Разработка технологических схем и процессов изготовления, эксплуатации и утилизации отходов усовершенствованных анодных токоподводов	62
3.1. Разработка технологических схем изготовления, эксплуатации усовершенствованных анодных токоподводов	62
3.2. Сравнение технологических процессов изготовления и эксплуатации типовых и усовершенствованных анодных токоподводов	66

3.3. Технологии, процессы разборки, ремонта и утилизации анодных токоподводов, отработавших в электролизном производстве.....	82
Глава 4. Опытнo-промышленные и стендовые испытания анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.....	89
4.1. Стендовые испытания конструктивных узлов усовершенствованных анодных токоподводов.....	89
4.2. Опытнo-промышленные испытания физико-механических, электрических и эксплуатационных параметров анодных токоподводов...	90
4.3. Анализ отклонений по перепадам напряжений в контактных зонах испытуемых анодных токоподводов.....	98
4.4. Техникo–экономическое обоснование изготовления и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.....	104
ВЫВОДЫ	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	110
ПРИЛОЖЕНИЯ	119

СОКРАЩЕНИЕ СЛОВ:

ВАМИ – Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт
алюминиевой, магниевой и электродной промышленности

ОАО «ТАЛКо» – Открытое акционерное общество «Гаджикская
алюминиевая компания»

ЭП – Электролизное производство ОАО «ТАЛКо»

ПОА – Производство обожженных анодов ОАО «ТАЛКо»

СПЦ – Смесильно-прессовый цех

ЦО – Цех обжига анодов

ЦППЭ – Цех по производству электродов ЦППЭ

АТ – Анодный токоподвод

ОА – Обожженный анод

БМП – Биметаллические пластины для соединения разнородных металлов

МСТ – Машина сварки трением разных материалов (алюминия со сталью)

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и необходимость проведения исследования.

В последнее время анодные токоподводы (АТ) или смонтированные обожженные аноды электролизёра являются часто критикуемым, но при этом и недостаточно обследованным компонентом технологии производства алюминия. Основная тематика зарубежных и отечественных работ касается углеродсодержащих материалов для анодной массы, обожженных анодов и технологии их производства. При этом практически отсутствуют исследования по усовершенствованию материалов, конструкций и технологии изготовления, эксплуатации АТ электролизеров для производства алюминия. Исследователи в этой области не излагают свою точку зрения по систематизации и направлениям развития АТ, оптимальному выбору материалов, конструкции АТ, технологии изготовления и монтажа анодов в сборе, демонтажа отработавших анодов, утилизации анодных отходов и т.д.

Эти исследования необходимы для снижения потерь электрического тока непосредственно в АТ, которые полностью связаны с материалами, конструкцией и технологией изготовления АТ. Поэтому выбор и расчёт оптимальных материалов, конструкции, разработка технологических схем и процессов изготовления, эксплуатации АТ электролизёров является весьма актуальной и востребованной задачей алюминиевой отрасли.

Степень изученности научной проблемы. Известны несколько видов АТ, применяемых в алюминиевом производстве. Общим для всех АТ является наличие 4-х соединенных конструктивных элементов: токоведущей штанги, выполненной, как правило, из алюминия или силумина, стального кронштейна (траверсы, консоли) и стальных ниппелей, которые через чугунную заливку обеспечивают контакт с анодным блоком. Имеющиеся недостатки АТ обусловлены необходимостью соединения четырёх материалов (алюминия, стали, чугуна и угольного анода), различных по свойствам (электрической проводимости, тепловому расширению,

механической прочности), наличием большого количества переходных зон контакта, неравномерным распределением тока и значительным перепадом напряжения между конструктивными узлами АТ. Не уделено особое внимание пересмотру дорогостоящей, трудоемкой технологии изготовления и соединения с применением чугунной заливки анодного блока и кронштейна АТ электролизёров для производства алюминия

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью исследования является усовершенствование материалов, конструкции, технологии изготовления - сборки конструктивных узлов АТ электролизеров для улучшения эксплуатационных характеристик (повышение электропроводности, снижение энергетических затрат) при производстве алюминия и утилизации АТ после их эксплуатации.

Задачами исследования данной работы являются:

- определение оптимальной формы и проведение расчетов механической прочности, теплового расширения конструктивных узлов анодного токоподвода;
- исследование физико-механических показателей анодного блока с клиновым пазом и разработка усовершенствованных материалов, конструкции и технологии изготовления, сборки анодных токоподводов с использованием специального электропроводного материала вместо чугунной заливки;
- составление технологических схем и процессов изготовления, эксплуатации и утилизации отработанных усовершенствованных анодных токоподводов;
- сравнение технологических процессов изготовления и эксплуатации типовых и усовершенствованных анодных токоподводов;
- проведение опытно-промышленных и стендовых испытаний анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия;
- определение технико-экономических показателей выпуска и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.

Объекты исследования: Анодные токоподводы электролизеров для производства алюминия.

Предмет исследования: физико-механические, электрические и эксплуатационные параметры, углеграфитовые материалы, конструкции, технологии изготовления и эксплуатации анодных токоподводов.

Научная новизна исследования:

- изучен механизм контактной электропроводимости системы «металл-углерод» с применением буферных паст на основе водоспиртографитовых смазок с целью исключения образования интерметаллидов;
- исследован процесс электрической проводимости в контактах «металл-углеграфит-» при больших плотностях тока;
- исследована динамика колебаний контактного сопротивления на границе «металл-углеграфит» действующего алюминиевого электролизёра;

Теоретическая ценность исследований:

- рассчитаны геометрические параметры, тепловое расширение кронштейна анододержателя, определены пределы допустимого зазора, класса точности изготовления и допусков при сборке соединяемых узлов АТ.
- изучен механизм контактной проводимости системы «металл-углеграфит» с применением буферных паст на водоспиртовой основе и на основе графитовых смазок.

Практическая ценность исследований – позволит сократить техпроцессы монтажа-демонтажа АТ, переработки огарков - отходов обожженных анодов, ликвидировать все операции, связанные с применением чугуновой заливки, уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду путём высвобождения индукционных, чугунолитейных, тигельных печей (ИЧТ печи), прессов для съёма чугуна, уменьшить производственные затраты. Рассчитанный ожидаемый экономический эффект от внедрения конструкции анодных токоподводов ежегодно может составить около 7 млн. долларов США.

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты проведенной систематизации существующих типовых конструкций и технологий изготовления и эксплуатации АТ;
- разработанная унифицированная конструкция АТ и результаты физико-механических исследований материалов конструктивных узлов АТ.
- результаты предварительных механических, тепловых и электрических расчетов и испытаний АТ для разработки технологии изготовления АТ.
- разработанные технологические схемы, процессы изготовления, эксплуатации АТ и сравнение с типовым общепринятым техпроцессом.
- результаты опытно-промышленных и стендовых испытаний усовершенствованных АТ.

Достоверность результатов обеспечивается применением принятых, апробированных методов исследования физико-механических, электрических и эксплуатационных параметров в алюминиевой отрасли и сравнительным анализом отклонений по перепадам напряжений в контактных зонах АТ.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.02.01 Материаловедение (05.02.01.02 – отрасль машиностроения) по пунктам:

- п.2., п.3., п.4. проведён выбор и расчёт оптимальных материалов, разработана конструкция усовершенствованных АТ электролизёров;
- п.5., п.6. разработаны технологические схемы и процессы изготовления анодных токоподводов, их эксплуатации, утилизации отработанных отходов;
- п.7. проведены опытно-промышленные и стендовые испытания, определены физико-механические, электрические и эксплуатационные параметры АТ.

Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследования, планировании, проведении научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ (НИИОКР) по проблемным вопросам темы диссертации, разработке направлений и методов их решения, анализе, обработке и обобщении полученных данных по результатам работ, формулировке основных выводов.

Апробация диссертации и информация об использовании её результатов. Результаты диссертационной работы докладывались на:

- восьмой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 27-28 октября 2009 г., в г. Санкт-Петербурге;
- V международной научно-практической конференции «Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в ВУЗах СНГ», 2011г., ТТУ в г. Душанбе;
- республиканской научно-практической конференции «Инновационные технологии, глобализация и диалог цивилизаций» 2011 г., ТУТ в г. Душанбе;
- 14-м международном семинаре МНТЦ «Развитие инноваций и трансфер-технологии в контексте глобальной безопасности» в Казахстане, г.Алма-Аты, 27-28 сентября 2011 г;
- изложены в книге для мастеров и рабочих цехов электролиза алюминиевых заводов «Производство алюминия на электролизерах с обожженными анодами», изданной в 2011 г. в г. Душанбе издательством «ЭР-граф»;
- технических советах, годовых и совместных отчетах ОАО «ТалКо».

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертации опубликованы 8 статей, в т.ч. 4 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованным ВАК при Президенте Республики Таджикистан и Министерством образования и науки РФ, получены 6 патентов на изобретение, в т.ч. 2 Евразийских патента, 2 национальных, 2 авторских свидетельства СССР.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объём диссертационной работы составляет 141 страниц компьютерного набора, из них: основной текст диссертации изложен на 119 страницах, включая 68 рисунков, 27 таблиц и 22 страниц приложений. Список использованной литературы, включает 110 наименований.

Глава 1. Обзор литературы. Состояние и перспективы развития анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.

1.1. Применяемые материалы, технологии изготовления и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров.

В последние годы в странах Европы, США, Канаде и других развитых странах, производящих алюминий, завершается переход к применению предварительно обожженных анодов в электролизёрах.

Впервые в СССР использование предварительно обожженных анодов в электролизёрах для производства алюминия в 1975 году было внедрено на Таджикском алюминиевом заводе (позже Государственное унитарное предприятие и сейчас Открытое акционерное общество «Таджикская алюминиевая компания» (ОАО «ТАЛКО»). Но собственной технологии изготовления (сборки) и эксплуатации анодных токоподводов, то есть - смонтированных обожженных анодов электролизёра в СССР не было, поэтому на электролизёрах Таджикского алюминиевого завода мы использовали предварительно обожженные аноды, импортируемые из Франции и Голландии.

Одновременно в 1975 году также впервые в СССР в Таджикистане по контракту Всесоюзного объединения «Металлургимпорт» с французской компанией «Алюминий Пешине» было начато строительство и создание самого крупного в мире комплекса по производству обожженных анодных блоков и изготовлению анодных токоподводов (АТ), то есть анодных блоков (АБ) в сборе с анододержателями (АД). С января 1978 года на Таджикском алюминиевом заводе электролиз алюминия уже проводили с использованием собственных АТ.

Позже в 1985 году в Российской Федерации было начато строительство подобного нашему комплексу - Саянского алюминиевого завода и уже после распада СССР начали строительство Богучанского,

Хакасского, Тайшетского алюминиевых заводов, а в Казахстане – Казахского электролизного завода (КЭЗ) рядом с Павлодарским глинозёмным комбинатом.

Применение предварительно обожженных анодных блоков в сборе с анододержателями или анодных токоподводов выгодно с точки зрения экономичности производства алюминия, так как сокращается расход анодов до 30 % и значительно снижаются перепады напряжения в различных элементах анодного токоподвода [1-3]. При этом, что особенно важно, улучшается экологичность процесса электролиза алюминия.

Электролизер для электролитического производства алюминия с предварительно обожженными анодными и катодными токоподводами, схематично приведен на рисунке 1.1.

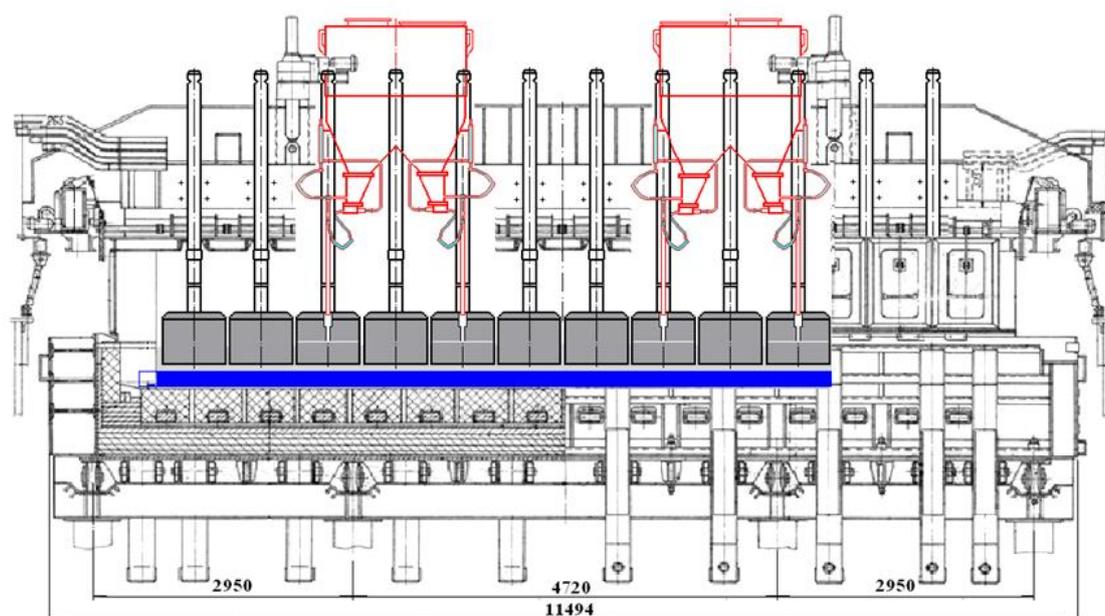


Рисунок 1.1 - Электролизер для электролитического производства алюминия с предварительно обожженными анодными и катодными токоподводами.

Основными расходными видами сырья для производства алюминия являются глинозем, криолит, фтористые соли и предварительно обожженные аноды и катоды. В свою очередь, в производстве анодов и катодов электролизёра используют углеродсодержащее сырьё, для анодов – нефтяной

кокс и каменноугольный пек [4-11], для катодов – термоантрацит, графит и каменноугольный пек, также для предварительного обжига анодов и катодов необходимо топливо, традиционно это - природный газ (рисунок 1.2).

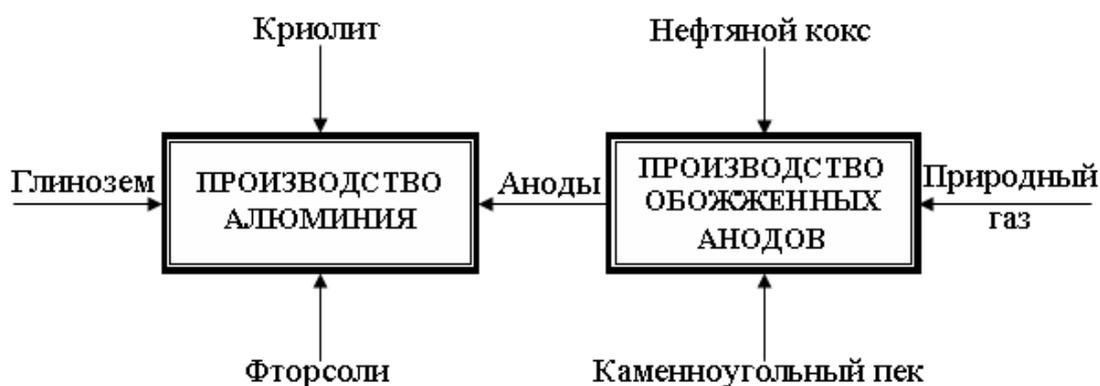


Рисунок 1.2 – Основные виды сырьевых материалов, используемых при производстве алюминия первичного и производстве обожженных анодов

В 2012 году на ОАО «ТАЛКО» впервые в СНГ внедрили технологии производства и использования для этих целей синтез-газа из углей. Также в 2017 году из основных видов сырьевых материалов на предприятии «ТАЛКО Кемикал» было начато производство криолита, фторсолей. Есть обнадеживающие результаты по глинозёму, но сложнее по нефтяному коксу.

Рассмотрим существующее положение на мировом рынке на примере производства и потребления нефтяного кокса, одного из основных и востребованных компонентов шихты анодов (рисунок 1.3).

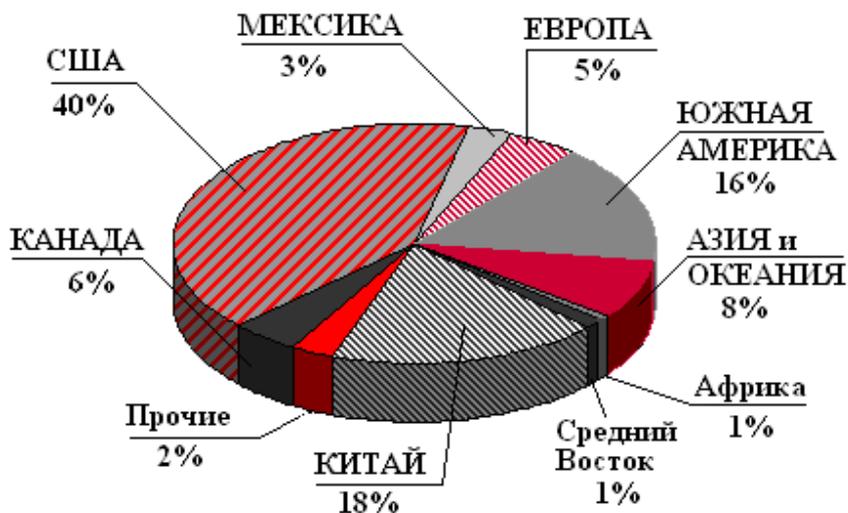


Рисунок 1.3 - Производство нефтяных коксов на мировом рынке

В мире производится более 123 млн. тонн/год «зелёного» нефтяного кокса, из которого 3/4 этого объёма расценивается как энергетическое топливо. Топливный вид нефтяного кокса имеет содержание серы более 4% и высокое содержание металлических примесей. Из всего количества нефтяного кокса около 30 млн. т кокса наиболее высокой чистоты ($S \leq 3\%$) или 1/4 часть общего объёма используется для производства электродной продукции в алюминиевой промышленности. Кроме содержания серы и металлических примесей имеют определяющее значение структурные характеристики, содержание летучих веществ и наличие мелких фракций и др. ограничения [13-21]. Расширение границ ограничений – это основной принцип погашения возрастающего дефицита кокса.

Для углеродсодержащего сырья кроме примесей определяющее значение имеют физико-химические, структурные характеристики, содержание летучих веществ, зольность, УЭС и другие ограничения [22-28].

Годовой выпуск алюминия первичного в мире сейчас достиг цифры ~ 70 млн. тонн, учитывая, что расход только нефтяного кокса для производства анодов составляет 0,5-0,6 т на каждую тонну первичного алюминия, потребность алюминиевой промышленности в нефтяном коксе составляет ~ 40 млн. тонн. Как ранее было констатировано, фактически в мире производится около 30 млн. тонн нефтяного кокса в год с низким содержанием серы ($S \leq 3\%$) и металлических примесей. Таким образом, годовой дефицит в нефтяном коксе составляет более 10 млн. тонн.

Поэтому поиск частичной или полной замены нефтяного кокса другими видами углеродсодержащего сырья, переработка и повторное использование углеродсодержащих отходов, расширение границ указанных ограничений по их применению.

Длительное время в качестве альтернативы обожженным анодам из углеродсодержащих материалов в мировой практике исследовали возможности использования инертного анода, то есть анода из материалов,

инертных к анионам кислорода, выделяющимся при электролитическом разложении глинозёма [29-31].

Этими исследованиями в мире активно занимаются многие передовые научные центры, в частности, в Российской Федерации Институт металлургии и материаловедения имени Байкова А.А. РАН, Институт физико-химических проблем керамических материалов РАН, Научно-исследовательский технологический университет «Московский институт стали и сплавов» (НИТУ «МИСиС») и многие другие в мире.

Инженерно-технический центр (ИТЦ) компании «Русал», ИТЦ на базе Красноярского алюминиевого завода совместно с Научно-исследовательским центром Сибирского федерального университета, Московским государственным университетом, фондом «Сколково», Институтом высокотемпературной электрохимии, Институтом металлургии Уральского отделения РАН ведет разработку уникальной технологии производства алюминия с использованием инертного анода [32-34].

Технология, не имеющая аналогов в мире, позволит свести к нулю эмиссию парниковых газов и других вредных веществ, которые выделяются при производстве алюминия, и превратить алюминиевые заводы в крупный источник кислорода. В случае успешного внедрения, алюминиевые заводы, использующие технологию инертного анода, могут стать одним из основных источников кислорода на Земле – наряду с лесами и океаном.

Инертный анод представляет собой уникальный металлический сплав, не содержащий углеродов – поэтому побочным продуктом, который попадает в атмосферу при его использовании, вместо углекислого газа, оказывается чистый кислород. При производстве каждой тонны алюминия в атмосферу будет выделяться почти тонна чистейшего кислорода. Один электролизер с инертными анодами вырабатывает кислород в объемах, сопоставимых с теми, которые производят 70 гектаров леса.

В начале 2013 года Объединенная компания «РУСАЛ» (ОК РУСАЛ) завершила лабораторные испытания технологии производства алюминия с использованием инертного анода. В 2015 году планировали начать промышленные испытания технологии – к этому времени на территории Красноярского алюминиевого завода компания должна была построить опытный цех с шестью электролизерами, работающими на инертных анодах.

Промышленный этап испытаний завершился в 2017 году, и в случае успеха ОК РУСАЛ была намерена начать перевод своих мощностей на технологию инертного анода.

Совокупность окислительно-восстановительных реакций (ОВР), которые протекают на электродах в растворах или расплавах электролитов при пропускании через них электрического тока, называют электролизом.

На катоде источника тока происходит процесс передачи электронов катионам из раствора или расплава, поэтому катод является «восстановителем». На аноде происходит отдача электронов анионами, поэтому анод является «окислителем».

При применении в качестве анода материала, инертного к кислороду, разложение глинозема происходит по реакции $2\text{Al}_2\text{O}_3 = 4\text{Al} + 3\text{O}_2$.

К таким материалам относятся платина, ферриты, нитриды, карбиды, высокая стоимость и неустойчивость нитридов-карбидов к воздействию плавиковой кислоты (HF), фторуглеродов (CF_4 , C_2F_6), которые исключают возможности их широкого применения в промышленности.

Все многолетние попытки ИТЦ РУСАЛА добиться хоть какого-то практического результата в части инертного анода закончились неудачно. В сущности, аноды растворялись при электролизе, а содержание железа в электролитическом алюминии быстро поднималось до 4% и более (чем дольше шел электролиз, тем больше росло железо). То же касается и других примесей. Более того, если убирают угольный анод, то напряжение разложения оксида алюминия повысится на величину деполяризации и

экономический эффект будет равен нулю или в минусе. Это здорово подрывает позиции сторонников инертного анода. Так было заявлено на международном форуме «Цветные металлы - 2016», одной из наиболее значимых профессиональных дискуссионных площадок России, в которой охотно принимают участие известные металлурги и учёные разных стран мира. В 2016 году приехали более 500 специалистов, представляющих 22 страны и свыше 150 компаний, в том числе из Канады, Великобритании, Франции, Германии, Австралии, Дании, ОАЭ, Китая и других стран. Там же очень авторитетные зарубежные исследователи сказали «стоит ли овчинка выделки?» с точки зрения экономики [Янко Э.А. телекс от 04.12.2016г.].

Специалистами Всероссийского института алюминиевой, магниевой и электродной промышленности (ВАМИ) и зарубежных компаний R & D Carbon LTD, The Minerals, Metals & Materials Society, активно занимающимися исследованиями углерода, прежде всего анодов, анодной массы и материала для катодов, опубликованы многочисленные работы [35-100], в которых основное место уделяется исследованиям качества анодов и его сырьевых компонентов, технологии процессов изготовления и обжига анодных блоков.

1. Оценка качества используемых в ОАО «ТАЛКО» электродных коксов и обожженных анодов.

Что касается качества применяемых коксов, то обращает внимание их высокая зольность: 0,1-1,30 % (среднее 0,62 %), в том числе содержание железа 0,11-0,193 % (среднее 0,056 %), кремния 0,008-0,132 % (среднее 0,042 %). Другие примеси не определялись. Разница $0,62 - (0,056 + 0,042) = 0,50$ % представлена неизвестно какими примесями, возможно сильнейшими катализаторами окисления натрием и кальцием. Кроме того, в производство вовлекалось большое количество старых огарков, многие годы пролежавших в отвалах и утративших свои технологические свойства, как по примесям, так и по нарушению кристаллической структуры.

Показатели качества обожженных анодов за последний период (май-июнь с.г.) представлены ниже в таблице 1.1:

Таблица 1.1 - Показатели качества обожженных анодов на ОАО «ТАЛКО»

№ п/п	Наименование показателя	Допустимые значения	Фактические данные
1	Объёмная плотность, г/см ³	не менее 1,5	1,48 - 1,60
2	Удельная плотность, г/см ³	2,06-2,09	2,056-2,12
3	УЭС, мкОм.м	не более 60	54 – 59
4	Механическая прочность, кгс/см ²	не менее 340	380 - 618
5	Зольность, %	не более 0,8	0,78 – 1,75
6	В том числе, ppm не более:		
7	Fe	1000	610-1770
8	Si	900	150-1170
9	V	80-260	не опред.
10	Na	200-600	не опред.
11	Ca	50-200	не опред.
12	S	1,2-2,4	не опред.
13	CRR (остаток после реакции в CO ₂),	60-100%	60,55-83,37
14	CRD (осыпаемость в среде CO ₂), %	2-20	3,84-19,61
15	CRL (окисляемость в среде CO ₂), %	1,7-20	4,42-29,15
16	ARR (остаток после реакции в воздухе)	75-85	не опред.
17	ARD (осыпаемость в среде воздуха)	4 – 8	не опред.
18	ARL (окисляемость в среде воздуха)	10 – 20	не опред.
19	Воздушная проницаемость, нПм	0,5-1,5	не опред.

Анализ этих показателей позволяет сделать следующие выводы.

- а) Отсутствие контроля по ряду показателей: по содержанию Na, Ca, по реакционной способности в атмосфере воздуха (ARR, ARD, ARL), воздушной проницаемости затрудняют полную и объективную оценку качества обожженных анодных блоков. Заводу необходимо закупить два важнейших прибора: ARR и воздушной проницаемости, а также наладить контроль за содержанием микропримесей в коксах и в обожженных блоках.
- б) Представленные данные по CRR, CRD, CRL вызывают сомнение как неоправданно низкие. Это может быть результатом того, что подаваемый в установку CRR реакционный газ CO₂ не подвергается очистке от кислорода и влаги (соответственно в медной стружке при 900°C и в силикогелевой насадке). Второй причиной может быть использование большого количества не годных для производства анодных огарков со склада отвалов.
- в) В целом качество обожженных блоков нельзя считать «провальным» и при принятии соответствующих мер оно может быть доведено до стандартных показателей.

2. Кальцинация кокса и производство «зелёных» анодных блоков.

Основываясь на результатах анализа прокалённого кокса, в частности на стабильности пикнометрической плотности, которая варьируется в пределах 2,06-2,10 г/см³, существующее прокалочное отделение обеспечивает качество термической обработки коксов. Учитывая наличие трёх вращающихся прокалочных печей, завод может работать исключительно на сыром привозном нефтяном коксе.

СПЦ - смесильно-прессовый цех состоит из трёх производственных линий плюс одна дополнительная пара вибромашин, установленная в 1995 г. В этот же период были установлены дозаторы пека и кокса типа «потеря веса» финской фирмы КУМЕРА. Следует отметить, что всё оборудование СПЦ находится в хорошем рабочем состоянии и вполне соответствует современным требованиям к производству «зелёных» анодов. Крупным недостатком в работе СПЦ следует назвать отключение систем

вакуумирования на всех вибромашинах. Сравним рецептуру синтетического (гранулометрического) состава шихты «зеленых» анодных блоков на СПЦ «ТАЛКО» и наиболее передовом заводе компании «РУСАЛ» Саянского алюминиевого завода (СПО САЗ), аналога нашего завода, которая представлена ниже в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Сравнение гранулометрического состава шихты «зеленых» анодных блоков на СПЦ ОАО «ТАЛКО» и СПО САЗ компании «РУСАЛ»

Гранулометрический состав шихты анодных блоков в СПЦ ТАЛКО		Гранулометрический состав шихты анодных блоков в СПО САЗ	
Размер гранул, мм	Содержание, в %	Размер гранул, мм	Содержание, в %
-12 + 5 мм	14±2	-15 + 5 мм	16 ± 2
-5 + 1 мм	34±2	-5 + 2,24 мм	34 ± 2
-1 + 0,15 мм	19±2	- 2 мм	8 ± 2
-0,15 + 0 мм, в том числе 0,074 мм	33±2	- 0,8 мм, в том числе 0,063 мм	42 ± 2
	23-26		16± 2

Как видно из приведенных данных, принципиально рецептуры СПЦ «ТАЛКО» и СПО САЗ «РУСАЛ» различаются несущественно. Вряд ли имеет смысл менять существующую рецептуру.

В таблице 1.3 представлены сравнение технологических параметров производства «зелёных» анодов

Таблица 1.3 – Сравнение технологических параметров производства «зелёных» анодов в СПЦ «ТАЛКО» и аналогичные показатели по СПО САЗ «РУСАЛ».

№ п/п	Технологические параметры производства «зелёных» анодов		
	Наименование параметра	СПЦ «ТАЛКО»	СПО «САЗ»
1	Дозировка связующего-пека, %,	16 ± 1,3%,	14,0± 0,3,
	Дозировка пека фактическая, %	16,7-17,2	14 – 14,3
2	Температура размягчения пека, °С	85-90	85-90
3	Летучие, %	53-57	53-57
4	Нерастворимые в толуоле, %	не опред.	31-33
5	Нерастворимые в хинолине, %	не опред.	6-9
6	Коксовый остаток, %	не опред.	56 (min)
7	Температура связующего пека перед дозировкой, °С	190 ± 5	190 ± 5
8	Температура сухой шихты перед дозировкой, °С	145 ± 5	185± 5
9	То же фактически	163-165	185-190
10	Содержание возвратов в шихте,%	До 25	До 25
11	То же фактически, %	30	22-24
12	Время вибрационного формования «зеленых» анодных блоков, сек	45/95*	35
13	Высота «зелёных» блоков, см	600 ± 15	600 ± 5
14	то же фактически	603-606	603-605
15	Кажущаяся плотность «зелёных» блоков, г/см ³	1,60	1,64-1,67

*Продолжительность виброформования на вибропрессах СПЦ ОАО «ТАЛКО» с применением вакуумирования задаётся 45 сек, а без вакуумирования 95 сек.

По представленным сравнительным данным можно сделать следующие выводы и рекомендации.

а) Отключение систем вакуумирования серьёзно снизила эффективность работы СПЦ. Более чем в два раза повысилась продолжительность формования «зелёных» блоков (с 45 до 95 сек), т.е. производственная мощность СПЦ оказалась снижена более чем в два раза.

Причины отключения вакуумных насосов (износ вакуумных гофрированных шлангов и утрата некоторых запчастей) могут быть быстро устранены, а производственная мощность СПЦ, особенно с предстоящим исполнением поставок «зелёных» анодов на экспорт, должна будет существенно повышена.

б) Температура нагрева сухой коксовой шихты в порошковых подогревателях явно недостаточна и лишь частично компенсируется двухступенчатой системой смесителей. Оптимальная температура смешения анодной массы по опыту САЗа должна быть в пределах 160 ± 5 °С против реально достигаемой в СПЦ ТАЛКО 140 °С. Это приводит (вместе с отсутствием вакуумирования) к резкому снижению объёмной плотности «зелёных» блоков: $1,60$ г/см³ на ТАЛКО против $1,64-1,67$ г/см³ на САЗе. Именно на этой стадии закладываются негативные признаки качества окончательного продукта – обожженных анодов в) Необходимо восстановить контроль качества пека по коксовому остатку, нерастворимости его в хинолине и толуоле. Для этого не требуется какого-либо специального оборудования. На заводе имеются значительные остатки твёрдого пека в мешках «биг-бэг». Следует иметь в виду, что длительное хранение пека, например, более 1 года, приводит к его деградации и потере качества.

г) Предлагается повысить целевое значение высоты анода с 600 ± 15 мм до 620 ± 1 мм, т.е. на 20 мм. Это позволило бы увеличить срок службы анодов с продлением цикла замены на 1,0-1,5 суток. Технические возможности для этого имеются. С учётом всех факторов это позволило бы сократить расход

анодов минимум на 5-7 кг/т Al, снизить нагрузку в целом на всё анодное производство.

Обследование готовых «зелёных» блоков показало их удовлетворительное качество: структура поверхности ровная, без трещин, непомесов и агрегированных образований. Это свидетельствует также и о правильно подобранной рецептуре массы.

3. Цех обжига анодных блоков. На заводе имеется 4 кольцевых камерных печи, из них печи №1-3 работают на 2 огнях, одна (№4) – на 3 огнях. Наиболее старая из них (№2) имеет срок службы более 45 лет при общепринятой норме 15-20 лет. Нормальная выработка одной печи по обожженным анодам составляет 100-120 тыс. т/год. Пользуясь слабой загрузкой печей, завод успешно использует ремонт «на ходу» крайних продольных и поперечных простенков. В таких условиях печь может работать пока позволяет состояние подины и газоходов. Следует отметить, что состояние огневых простенков и печи в целом находилось в удовлетворительном состоянии.

4. ЦППЭ – цех по производству электродов, или анодномонтажный цех.

а) Цепную чистку огарков, внедрённую на заводе, вместо дробеструйной машины можно оценить как весьма удачную и перспективную. Желательно доработать конструкцию этого устройства таким образом, чтобы чистка производилась не только на подошве, но и на боковых и верхних гранях огарка. Это будет полноценной альтернативой дробеструйной машины.

б) Необходимо восстановить устройства нанесения графитовой смазки на ниппеля. Тем самым, можно существенно продлить срок службы ниппелей и снизить нагрузку на пресса для снятия чугуновой заливки.

1.2. Анализ конструкций анодных токоподводов, используемых в алюминиевой отрасли

Первенцем алюминиевой отрасли в Советском Союзе, где применили в электролизёрах анодные токоподводы с предварительно обожженными анодами, был Волховский алюминиевый завод, построенный в 1932 году на базе, построенной в 1926 году самой крупной ГЭС в Европе - Волховской ГЭС. Создание алюминиевых предприятий связано с развитием авиационной промышленности в мире и ростом потребности в алюминии - «крылатом металле» и сплавах из него.

Всего в Советском Союзе было построено 15 алюминиевых заводов, в том числе 3 крупнейших завода в мире – Братский алюминиевый завод (1,0 тыс. тонн алюминия первичного в год), Красноярский алюминиевый завод (1,0 тыс. тонн алюминия первичного в год) и Таджикский алюминиевый завод (0,5 тыс. тонн алюминия первичного в год).

Но только на Таджикском алюминиевом заводе для производства алюминия впервые в СССР были использованы предварительно обожженные аноды в электролизёрах.

Электролизеры с предварительно обожженными анодами делятся на электролизёры средней и большой мощности на силу тока от 160 до 400 кА и более. Количество анодных и катодных блоков на электролизере зависит от его мощности. Например, на наших электролизёрах мощностью на силу тока 160 кА 22 анодных токоподвода, а на электролизёрах мощностью на силу тока 175 кА 24 анодных токоподвода. Размещение ванн преимущественно на отметке +4,0 м. Это далеко не современный тип электролизеров, хотя именно с такого типа ванн небольших размеров начиналась история развития алюминиевой промышленности.

Электролизеры с предварительно обожженными анодами упрощают возможности увеличения мощности агрегата путём увеличения числа анодов

и геометрических параметров ванн. Электролизеры с предварительно обожженными анодами конструктивно позволяют очень эффективно осуществлять технологические операции по их обслуживанию, то есть механизировать и автоматизировать процессы, включая операции по сбору и очистке анодных газов, при этом в них очень малое содержание смолистых веществ и углеводородов. В конечном итоге электролизеры с предварительно обожженными анодами позволяют производить алюминий высокого качества.

Поэтому, как было сказано, уже с 70-х годов прошлого века строительство новых и реконструкция старых алюминиевых заводов осуществляют путём внедрения более мощных электролизеров с предварительно обожженными анодами.

Все вновь построенные алюминиевые заводы в настоящее время оснащены электролизёрами с предварительно обожженными анодами на силу тока 275-500 кА. В Китае проводятся испытания электролизеров с предварительно обожженными анодами на силу тока 600 кА и даже 740 кА.

На электролизёрах с предварительно обожженными анодами при анодной плотности тока до 0,88 А/см² получены хорошие результаты, например, выход по току ~ 95%, удельный расход электроэнергии ~13 тысяч кВт·час./т Al, расход анодов меньше 520/420 кг (брутто/нетто).

В России электролизёр с предварительно обожженными анодами на 400 кА успешно эксплуатируется в составе опытного участка Красноярского алюминиевого завода. Канадская компания «Alcan» завершает строительство опытного завода, оснащенного электролизёрами с предварительно обожженными анодами типа AP50 на силу тока 500 кА.

В настоящее время есть технические возможности для создания более мощных электролизёр с предварительно обожженными анодами. Например, снижение магнито-газо-динамической нестабильности (МГД - нестабильности), термоэлектрических, механических, эксплуатационных

параметров показывает, что электролизёры с предварительно обожженными анодами могут работать при силе тока выше 740 кА.

В так называемой ванне электролизёра её нижняя часть шахты (подина) собрана из углеграфитовых подовых блоков, имеющих в своём составе антрацитовые и графитовые материалы, а бортовая часть ванны собрана из антрацитовых бортовых блоков. С наружной стороны этих блоков подины и бортов ванны размещена футеровка из огнеупорного и теплоизоляционного материалов [101].

В верхней части шахты ванны находится электролит (раствор оксида алюминия в криолите) и в нижней части шахты собирается жидкий алюминий. Отрицательный заряд выпрямленного постоянного электрического тока от катодной ошиновки подключается к подине электролизёра через стальные блямсы (стальной прокат 230x115мм), соединенные с подовыми блоками посредством чугунной заливки. Через анодную ошиновку положительный заряд выпрямленного постоянного электрического тока ток подводится к анодным токоподводам и непосредственно к предварительно обожженным угольным анодным блокам.

Анодные блоки погружены в электролит, а расстояние между «подошвой» - нижней частью анодного блока и верхней частью жидкого алюминия носит название междуполюсного расстояния (МПР) [102] .

Когда в составе электролита становится меньше глинозёма, т.е. электролит «обедняется», то велик шанс возникновения анодных эффектов. Анодный эффект представляет собой периодически возникающее явление характерное для электролиза расплавленных солей. Это явление заключается в том, что нормально протекающий процесс электролиза внезапно прерывается, напряжение на единичном электролизере резко возрастает, а сила тока уменьшается. При этом на границе раздела между электролитом и поверхностью погруженного в него анода появляется световая полоса – кольцо мельчайших искровых разрядов (вспышка), что сопровождается

характерным шумом и потрескиванием. Выделение пузырьков газообразных продуктов прекращается, а электролит оказывается как бы оттесненным от поверхности анода.

Периодически возникающие анодные эффекты отрицательно сказываются на ходе осуществления технологического процесса: увеличивают удельный расход электроэнергии и фтористых солей, вызывают перегрев электролита, повышают концентрацию перфторуглеродов в анодных газах и снижают выход по току алюминия. Вместе с тем, в электролизном производстве допускают возникновение анодных эффектов с целью контроля работы электролизера (нормальной выработки глинозема).

При этом вследствие снижения скорости разряда кислородсодержащих атомов и уменьшения парциального давления атомов кислорода, процесс распада комплексов типа C_xO будет превалировать над процессом распада комплексов типа C_xO_2 , и в составе анодного газа доля CO будет увеличиваться, а CO_2 – снижаться (рисунок 1.4).

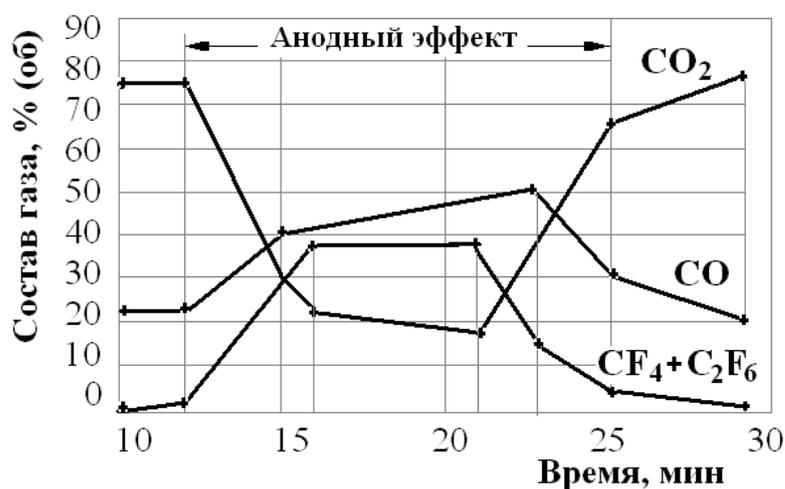


Рисунок 1.4 - Изменение состава анодных газов при анодном эффекте.

Данное предположение о механизме электродных процессов на угольном аноде позволяет объяснить зависимость состава анодных газов, расхода анодов от технологии процессов электролиза, качества используемых анодов (рисунок 1.5)

Выбросы CF_4 400 кг	Выбросы CF_4 1850 кг CO_2 эквивалента на одну тонну Al	Выбросы CF_4 2270 кг CO_2 эквивалента на одну тонну Al
Выбросы CO_2 1540 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$	Выбросы CO_2 1906 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$	Выбросы CO_2 2346 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$
200 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$	200 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$	200 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$
Суммарные выбросы парниковых газов		
2,14 т $\text{CO}_2/\text{т Al}$	3,56 т $\text{CO}_2/\text{т Al}$	4,82 т $\text{CO}_2/\text{т Al}$
Расход анодов в процессе электролиза		
420 кг C/т Al	520 кг C/т Al	640 кг C/т Al
Качество используемых анодов		
хорошее	среднее	плохое

Рисунок 1.5 - Состав газов и расход анодов в процессе электролиза

При этом, следует отметить, что себестоимость алюминия на электролизерах с предварительно обожженными анодами за счет больших инвестиционных затрат и высокой стоимости обожженных анодов первоначально получается больше на 10-15%, чем у электролизёров с самообжигающимися анодами (аноды Содерберга) [103-106].

Другим существенным недостатком электролизеров с предварительно обожженными анодами является, то, что после завершения цикла работы (до 28 суток) анодного токоподвода (АТ) остаются так называемые «анодные огарки», которые составляют до 20% от массы анодного блока и эти отработанные остатки АТ требуют специальной переработки и утилизации в анодном производстве [107-109].

Используемая в мировой практике конструкция анодного токоподвода, то есть обожженного анодного блока в сборе со стальным кронштейном, биметаллической сталеалюминовой вставкой и штангой анододержателя из силумина, приведена на рисунке 1.6.

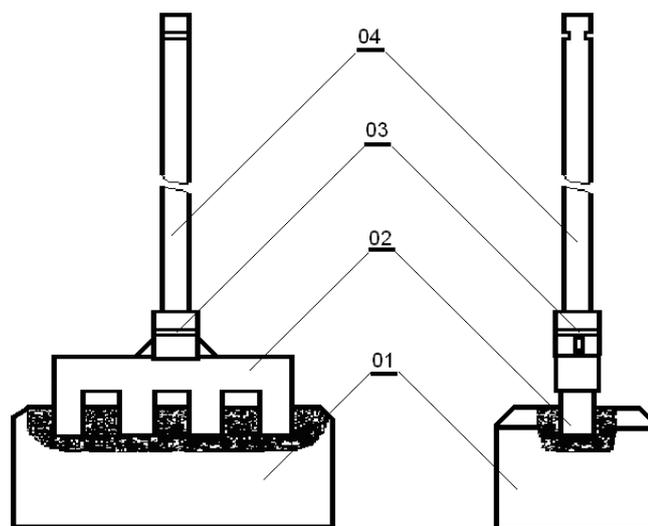


Рисунок 1.6 –Типовая конструкция анодного токоподвода электролизёра.

Где: 01 – анодный блок; 02 – кронштейн стальной, литой; 03 – вставка биметаллическая из алюминиевых и стальных пластин, соединённых сваркой взрывом или сваренных трением; 04 – штанга анододержателя из силумина.

В типовых конструкциях анодных токоподводов электролизеров для производства алюминия с использованием предварительно обожженных анодных блоков (01), соединенных посредством чугунной заливки с ниппельной частью кронштейна (02) анододержателей (АД), а штанги АД из силумина или литого алюминия (03) анодных токоподводов (АТ) крепятся к ошиновке электролизёра с помощью основных или временных зажимов.

Анододержатель анодного токоподвода, в свою очередь, состоит из токоведущей вертикальной алюминиевой (силуминовой) штанги и стальной траверсы (кронштейна) с несколькими ниппелями. Токоведущая штанга изготовлена из немагнитного материала (алюминия или его сплавов, например силумина) для снижения падения напряжения. Также штанга в верхней части контактирует с алюминиевой анодной ошиновкой электролизёра и естественно, в этой зоне прижима контакт разнородных материалов не желателен.

Стальной кронштейн с ниппельной частью АД изготавливают в литом или сварном варианте. В случае литой конструкции кронштейна (это

наиболее предпочтительный вариант изготовления) литье производили из стали 20Л, так как необходимо было при эксплуатации АТ сохранить механические свойства конструкции кронштейна при высоких температурах процесса электролиза [3].

В процессе электролиза алюминия АТ выполняют 2 основные функции: 1) подвод электрического тока к анодным блокам, с наименьшими потерями;

2) участие в химических процессах электролиза алюминия, в результате которых происходит постепенное уменьшение высоты и веса анодного блока (около 15 мм в сутки от первоначальной высоты анода в 600 мм) и при этом значительно повышается температура кронштейна, оставшейся части анодного блока. В типовой конструкции АТ необходимо соединение алюминиевой штанги и стального кронштейна, то есть соединить два разнородных материала-алюминия и стали, но при этом надо обеспечить очень надежные механические свойства соединения и низкие электрические потери в зоне этого контакта. При этом АТ имеют малое время работы в течение одного цикла (до 28 суток), да и количество циклов использования АТ ограничено (25-30 циклов). Потому очень важно решить вопросы обеспечения прочностных и эксплуатационных параметров АТ, а также оптимизации стоимости их изготовления.

Вместе с тем, не менее важными аспектами проблемы являются вопросы совершенствования конструкции и технологии изготовления конструктивных узлов АТ (анодного блока, элементов анододержателя, БМП и др.) и их сборки.

Используемая в мировой практике конструкция обожженного анодного блока в сборе со стальным кронштейном, биметаллической сталеалюминовой вставкой и штангой анододержателя из силумина (алюминия) имеет ряд конструктивных и технологических недостатков [3].

На электролизёрах с предварительно обожженными анодами сам АТ не

является неотъемлемой частью конструкции электролизера и при срабатывании угольной части анодного блока примерно на 3/4 высоты анода, необходимо этот АТ заменить на новый АТ.

Применяются также другие конструкции анода и анододержателя, в том числе спаренные аноды с анододержателем типа «паук». На некоторых конструкциях используется расположение ниппелей в два ряда. Выбор зависит от конкретной конструкции электролизёра.

Первоначально в конструкциях анододержателей использовалось механическое соединение кронштейнов со штангами болтами или клиньями [1, 3].

Стальной кронштейн и алюминиевая штанга не могут быть сварены напрямую, как это ошибочно указано в книге Москвитина В.И. и др. «Металлургия легких металлов», изданной в 2005 году [9]. Обязательно для их соединения применяется так называемая сталь-алюминиевая вставка, которая представляет собой две металлические пластины – стальную и алюминиевую, соединенные между собой сваркой взрывом. Эти биметаллические вставки из двух пластин (БМП) - (двухслойные вставки Дюпона) широко применяются в мире – Европе, Канаде, России, Китае, Казахстане и др.

Вставка устанавливается таким образом, что стальная пластина сваривается со стальным кронштейном, а алюминиевая – с алюминиевой штангой. Тем самым удается получить качественное соединение всех элементов конструкции анододержателя [3]. Но по истечению времени между пластинами неизбежно происходит химическое взаимодействие железа и алюминия с образованием хрупкой прослойки интерметаллидов состава Fe_nAl_m , которые вызывают резкий рост электрического сопротивления и снижение механической прочности контакта.

Нами совместно с ВАМИ и Белорусским НПО порошковой металлургии на Таджикском алюминиевом заводе еще в 1982-87г.г. было

предложено между указанными двумя пластинами разместить барьерный слой из титановой фольги, который препятствует химическому взаимодействию железа и алюминия, то есть образованию интерметаллидов, росту электрического сопротивления и снижению механической прочности этого наиболее уязвимого контакта [9-А].

В период 1983-90-е годы по результатам совместных разработок белорусских (НИИ порошковой металлургии с опытным производством), украинских (Институт электросварки) и российских ученых (НИИ Сталь, Волгоградский и Красноярский университет, Институт гидродинамики Новосибирск и др.) предпочтение стали отдавать соединениям, изготовленным методом сварки взрывом [10-А]. [1-3]. В Белоруссии были получены лучшие результаты – биметаллический термостабильный переходник алюминий-сталь (БМП) для длительной работы при температуре 500°C.

Анододержатели производили на предприятии «Востокмашзавод» в Казахстане для всех предприятий цветной металлургии и использовали в основном сварную стальную конструкцию кронштейна анододержателя.

Основным поставщиком БМП было Белорусское предприятие ГНПО порошковой металлургии, в состав которого входил разработчик технологии сварки взрывом термостабильных переходников – Институт импульсных процессов. Ежегодно объединением производилось свыше 20000 переходников методом сварки взрывом. Переходники, поставленные на заводы, прошли успешное испытание, в том числе и на Таджикском алюминиевом заводе.

В настоящее время Белорусское предприятие ГНПО порошковой металлургии работает с предприятиями России по совершенствованию технологии (НИИ Сталь, Красноярское ЗАО импульсные технологии, РУСАЛ инжиниринг и др.), ведет переговоры о поставке биметаллических переходников с Павлодарским алюминиевым заводом (Казахстан),

предприятиями Словакии и Южной Африки. Термостабильные биметаллические пластины размером 52x200x200мм производства Белорусского предприятия ГНПО ПМ стоят до 100 долларов за одну пластину БМП. Состав материала: биметаллический материал БМП «алюминий – сталь» получают методом сварки взрывом листовых заготовок алюминия и стали различных марок.

Но так как указанные БМП были достаточно дорогими и дефицитными из-за ограниченности производства Таджикский алюминиевый завод в 1985 г. через Всесоюзное объединение «Металлургимпорт» по контракту с германской фирмой «КУКА» получил, установил и до настоящего времени успешно для соединения алюминиевой штанги и стального кронштейна применяют технологию их сварки трением на машине МСТ [А-10].

Традиционно ниппели анододержателя соединяются с угольным анодом с помощью чугунной заливки. К составу чугуна предъявляются весьма жесткие требования: содержание углерода и кремния должно быть в пределах соответственно 3,0–3,7 и 2,0–3,6 мас.%. Для улучшения литейных свойств чугуна и снижения температуры его плавления добавляют кремний и фосфор. На практике для контроля состава чугуна используют так называемый угольный эквивалент СЕ, который рассчитывают по формуле:

$$CE = \% C + 0,3 (\%Si + \%P)$$

Оптимальным считается $CE = 4,3-4,6$. Заливочный чугун должен иметь минимальную усадку, быть хрупким и легко сниматься с ниппеля, обеспечить минимальное электрическое сопротивление в контакте «железо-углерод» [1-4]. Очень важно избежать в чугуне примесь серы, которая резко повышает кристаллизационную усадку чугуна и приводит к росту сопротивления в контакте чугун-углерод. Допустимое содержание серы 0,05 мас.%. В качестве примера приведены два состава литейного чугуна:

После срабатывания анода угольный остаток (огарок) удаляется, а

чугунная заливка раздавливается на специальной машине и также удаляется. После зачистки ниппелей анододержатель вновь используется для монтажа следующего анода. Число устанавливаемых анодов зависит от мощности электролизера, но размещение их в плане ванны в любом случае производится в два ряда. С целью защиты анодов от окисления и снижения тепловых потерь анодный массив укрывается специальным укрывным материалом, состоящим из смеси глинозёма и обратного электролита [3,4]. Поскольку аноды размещены плотно друг к другу по продольным сторонам, то в щель между ними также попадает укрывной материал.

1.3. Выводы по литературному обзору и обоснование направления исследований.

Известно, что ежегодные потери (P) в электрических контактах агрегатов непрерывного действия огромны и составляют:

$$P = 10^{-3} \cdot R_k \cdot I^2 \cdot 24 \cdot 365, \text{ кВт} \cdot \text{час, где:}$$

R_k – контактное сопротивление, Ом;

I – сила тока в электрической цепи электролизёра, А;

24 – длительность суток, час; а 365 – количество дней в году.

Из приведенного выражения видно, что, увеличив силу тока в 3 раза, как это произошло в истории развития конструкции электролизёров, потери электроэнергии на том же сопротивлении возрастут в 9 раз.

Академик Б.Е. Патон и В.И. Лакомский из Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины [2,12] по решению проблемы энергосбережения в производстве первичного алюминия дают конструкторам новых электролизеров и технологам алюминиевых заводов нижеследующие предложения:

Ретроспективный анализ конструкций алюминиевых электролизёров показал, что электроконтактные узлы в местах соединения металлических шинопроводов с катодными и анодными электродами электролизёра,

которые как и ранее изготавливаются из углеродных материалов, в течение 100 лет эксплуатации электролизёров практически не менялись. Они, как были в первых электролизёрах прижимными, так и остались таковыми .

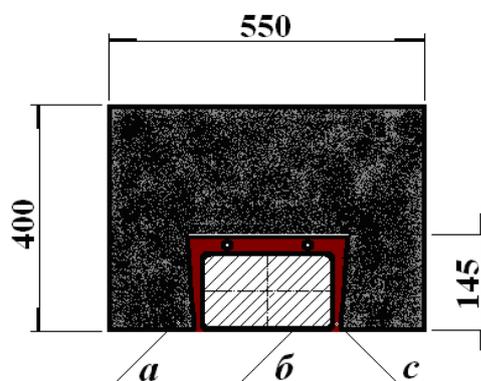


Рисунок 1.7 - Сечение стандартного катодного блока

Боковая поверхность паза в катодном блоке традиционной конструкции (см. поз. *а* на рисунке 1.7), как была в предыдущих сериях, так и осталась в последних конструкциях наклонной к вертикали для создания клиновидного эффекта в контакте "стальной токоподвод – углеродный катодный блок". При нагреве смонтированной катодной секции стальной токоподвод или блюмс (поз. *б* см. рисунок 1.7), обладая коэффициентом термического линейного расширения (КТЛР) в 4 раза большим, чем углеродный материал блока, расширяется намного эффективней блока и поэтому вместе с чугунной заливкой (поз. *с* см. рисунок 1.7) плотно прижимается к стенке паза (см. поз. *а* на рисунке 1.7). Из сказанного видно, что рассматриваемое соединение представляет собой типичный прижимной контакт с нерегулируемой силой прижатия контактирующих элементов.

Жидкий чугун не смачивает внутреннюю поверхность паза катодного блока и поэтому на границе раздела "чугун – углеродный материал" эти два контактирующих элемента ведут себя как разнородные тела. Указанная поверхность раздела в процессе работы электролизёра доступна для проникновения как газовых, так и различных жидких компонентов электролита, диффундирующих через углеродную подину, особенно по

местам стыковки катодных блоков. При нагреве электролизёра в процессе его запуска в работу два элемента контактной пары в силу разных КТЛР скользят друг по другу, особенно ярко это проявляется на длинной стороне блока. Нетрудно догадаться, что последний эффект в мощных электролизёрах, в которых длина блоков достигает 3 м, будет наиболее ощутим. Всё это свидетельствует о ненадёжности рассматриваемого контактного соединения.

Контактное электрическое сопротивление такого соединения очень велико даже до начала эксплуатации катодной секции, а в процессе эксплуатации секции стремительно растет на протяжении всего ресурса электролизёра. Весь многолетний международный опыт производства алюминия говорит о том [1-4], что именно это контактное соединение определяет сопротивление подины электролизёра в целом (в цеховой практике о сопротивлении подины судят по количественному значению падения напряжения на подине).

На этот существенный недостаток главного электрического контакта в катодном устройстве электролизёра более 70 лет тому назад обращал внимание один из первых ученых-специалистов алюминиевой промышленности Советского Союза Юрий Владимирович Баймаков [1], но, к сожалению, до сих пор проигнорировали это замечание. Эти недостатки КТ в равной степени относятся и к АТ (см. рисунок 1.8), т.к. анод и катод в процессе электролиза участвуют идентично.

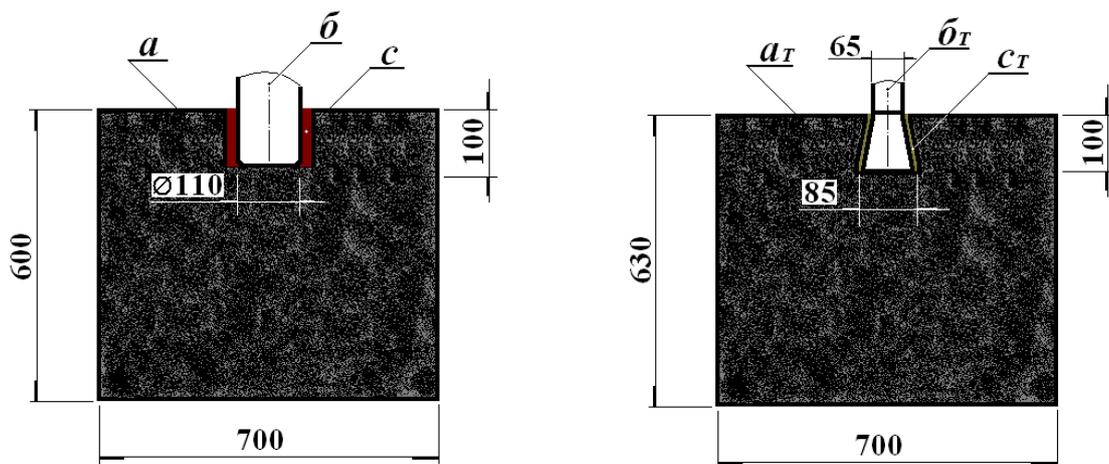


Рисунок 1.8 - Сечение стандартного анодного блока

К сожалению, этой проблемой никто предметно и системно не занимался. И до настоящего времени считают, что больших проблем с АТ не существуют, несмотря на «целинную» их нетронутость, как по природе и многочисленности зон контакта, распределению и плотности тока по АТ в целом, по ниппелям, анодному блоку в частности, так и форме, составу и способам соединений элементов АТ.

Существующая технология по чугунной заливке пространства между стальными ниппелями кронштейна анододержателя и ниппельными гнёздами анодного блока тоже не совершенна.

При охлаждении смонтированного анода после заливки чугуном образующееся металлическое чугунное кольцо даёт очень значительную усадку до 0,5-0,6 мм. При этом хрупкое чугунное кольцо обжимает ниппель и растрескивается со сдвигом контакта и практически разрушается.

В то же время только зазор в 0,5-0,6 мм, образовавшийся между стенкой кольца и телом анода, даёт рост перепада напряжения до 350 мВ в контакте «чугун-углерод».

Таким образом, только этот перепад напряжения в одном указанном контакте (из 15 зон контакта по АТ в целом) «перекрывает» допустимую сумму перепадов напряжения (по проекту до 347 мВ) на все конструктивные зоны контакта составных элементов АТ.

Правда, ситуация по перепаду напряжения несколько, но незначительно «выправляется» за счёт того, что сам анодный блок под собственным весом «подвешивается» на нитках нарезки (по спирали Архимеда) внутри ниппельного гнезда в теле анода. Но почему это даст незначительное снижение перепада напряжения, так как на анодный блок, погруженный в электролит, действует подъёмная сила по закону Архимеда, но ровно в обратную сторону! Поэтому в первом случае спираль Архимеда «уменьшает» перепад напряжения, а во втором случае подъёмная сила по закону Архимеда «увеличивает» перепад напряжения.

В целом, нет оснований полагать, что чугунная заливка пространства между стальными ниппелями кронштейна анододержателя и ниппельными гнёздами анодного блока обеспечивает абсолютный и надёжный контакт в этой зоне. [Переписка с Янко Э.А. телекс от 01.09.2010г.].

Однако, по экономической и технической составляющим процесса электролиза остались нерешенными проблемные вопросы, связанные, в первую очередь с АТ и КТ.

В современных электролизерах сохраняются те же конструкции и технологии АТ, которые использовались десятилетиями назад.

С целью устранения имеющихся проблем по конструкции и трудоёмким, дорогостоящим технологиям изготовления (монтажа, демонтажа, ремонта, использования вновь элементов отработанного анодного токоподвода) была разработана, изготовлена и частично испытана на Таджикском алюминиевом заводе новая усовершенствованная конструкция анодного токоподвода, которая схематично показана на рисунке 1.9.

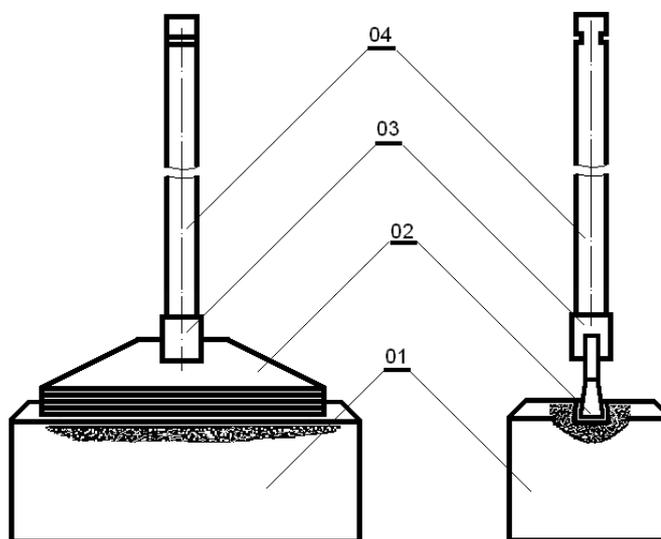


Рисунок 1.9 - Усовершенствованная конструкция анодного токоподвода.

Где: 01 – анодный блок; 02 – кронштейн стальной, литой; 03 – вставка биметаллическая из алюминия и стали; 04 – штанга анододержателя из силумина.

Предлагаемая новая конструкция анодного токоподвода может эксплуатироваться совместно с действующими, типовыми конструкциями анодных токоподводов и постепенно заменять их в перспективе.

Принципиальные отличия предлагаемой конструкции смонтированного обожженного анода от общепринятой в мировой практике конструкции обожженного анодного блока в сборе с анододержателем [А-1] состоят в том, что:

1. Стальной кронштейн предлагаемого анододержателя в ниппельной части имеет трапециевидную форму – усеченного обратного клина.
2. Круглые или прямоугольные ниппели, как отдельные элементы типового кронштейна анододержателя, в предлагаемых кронштейнах отсутствуют.
3. В анодном блоке вместо ниппельных гнёзд сформирован сплошной, на всю длину обожженного анода трапециевидный паз под новый кронштейн.
4. Соединение анодного блока с кронштейном анододержателя производится без чугуновой заливки в ниппельные гнёзда обожженного анода.

Ниже на рисунке 1.10 представлены конструкции типового (а) и предлагаемого (б) анодных токоподводов электролизёров:

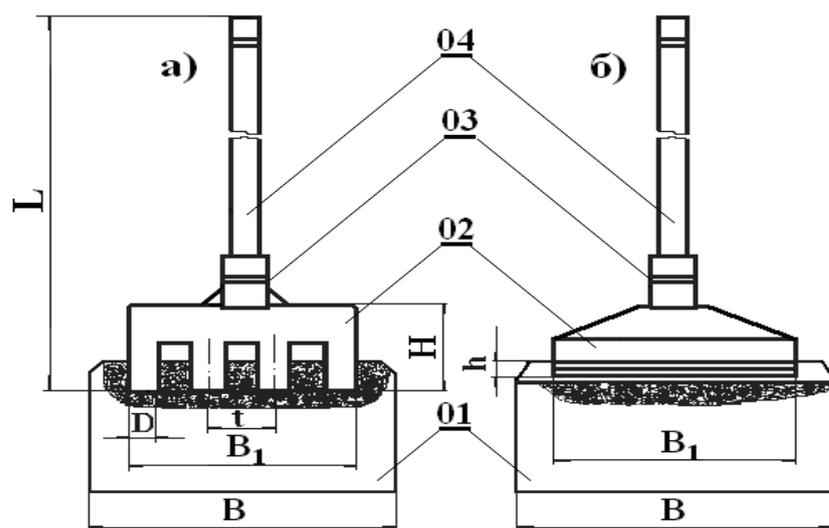


Рисунок 1.10 - Конструкции типового (а) и предлагаемого (б) анодных токоподводов.

Где: 01 – анодный блок; 02 – кронштейн стальной, литой; 03 – вставка биметаллическая из алюминия и стали; 04 – штанга анододержателя из силумина.

Основные габариты типового и предлагаемого анодных токоподводов практически идентичны с целью, чтобы обе конструкции «вписывались», т.е. были совместимы с сопрягаемыми узлами самого электролизёра.

В анодных токоподводах электролизёров для производства алюминия, используемых в мировой практике, соединение обожженного анодного блока со стальным кронштейном обеспечивается за счет стальных ниппелей кронштейна, помещенных в ниппельные гнезда анода и залитого чугуна в свободный зазор между ниппелем и анодом.

Данная конструкция недостаточно надёжная, отличается трудоёмкой и дорогостоящей технологией изготовления, потому требует пересмотра.

Усовершенствование конструкции и технологии изготовления, сборки, эксплуатации АТ электролизёров для производства алюминия позволит:

1. Увеличить площади контактируемых поверхностей узлов АТ.

Например, площадь контакта предлагаемого клинового кронштейна анододержателя с клиновым пазом анодного блока почти в два раза превышает площадь контакта типового, применяемого в мировой практике ниппельного кронштейна анододержателя с анодным блоком.

Это значительное увеличение площади контакта между кронштейном анододержателя и анодным блоком улучшает характеристики работы анодного токоподвода вследствие снижения величины напряжения и плотности тока в узлах контакта.

При этом будет происходить более равномерное распределение тока по поверхности анодного блока и подине катодной части электролизёра, что также положительно должно отразиться на работе электролизёра в целом.

[А-3, А-4].

2. Эволюционировать конструкции и технологии изготовления, сборки и утилизации основных элементов анодных токоподводов электролизеров, которые принципиально не изменялись десятилетиями.

На рисунке 1.11. приведена возможная эволюция развития конструкции анодных токоподводов электролизеров.

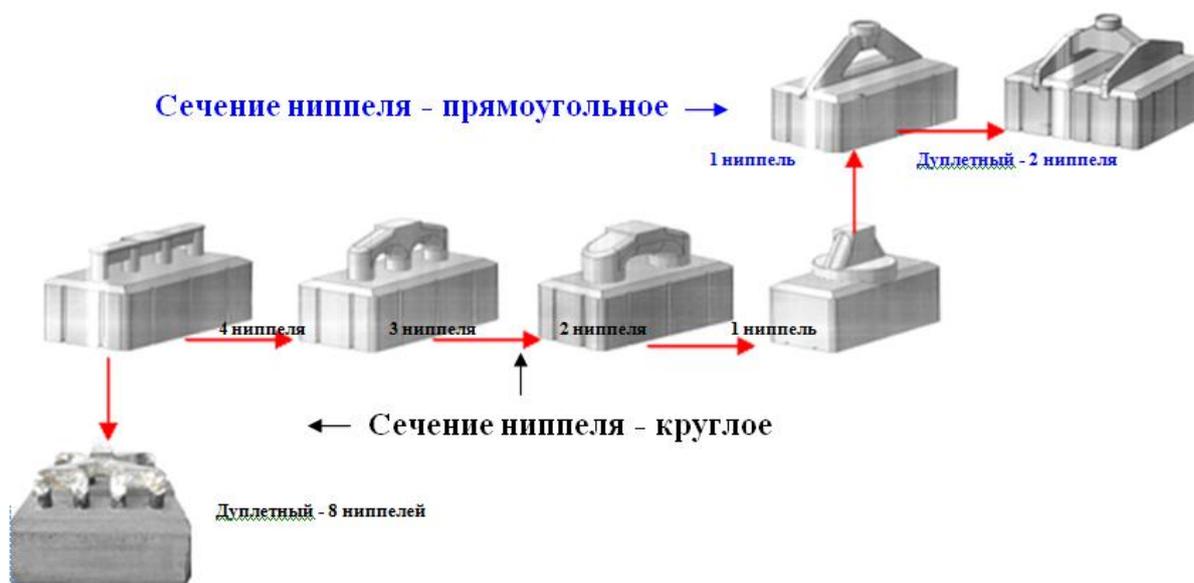


Рисунок 1.11-Эволюция развития конструкции анодных токоподводов.

3. Сократить значительно количество контактных зон соединения элементов типового анодного токоподвода (от 7 до 11 зон). На рисунке 1.12. показаны контактные зоны соединений типового (а) и предлагаемого (б) анодных токоподводов.

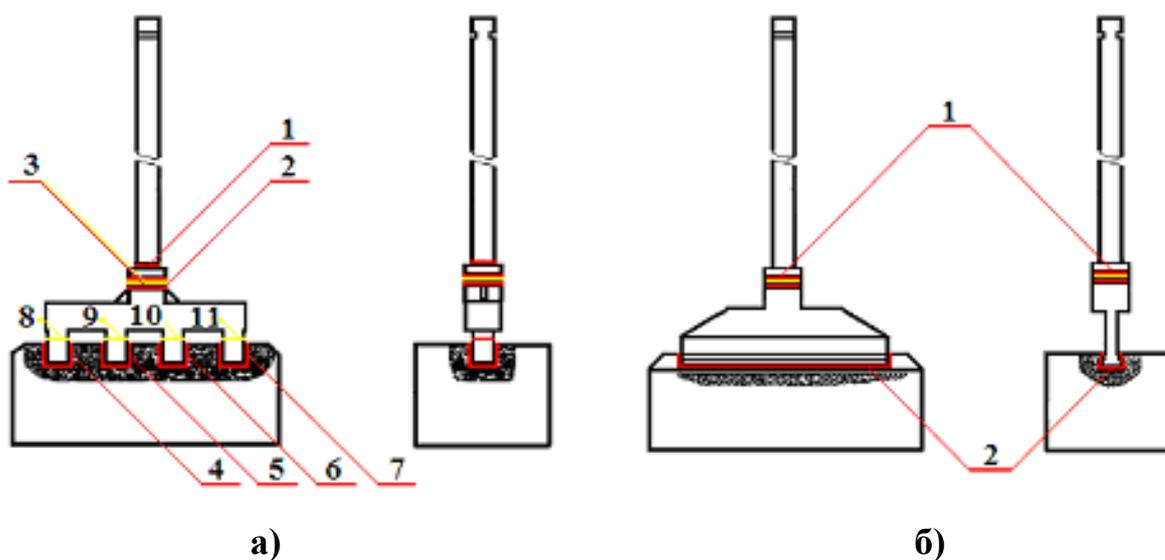


Рисунок 1.12 - Контактные зоны соединений анодных токоподводов

- а) контактные зоны соединений типового анодного токоподвода;
- б) контактные зоны соединений предлагаемого анодного токоподвода

Заливка чугуна при сборке типовых анодных токоподводов даёт хрупкое, ломкое, неконтролируемое по электропроводности соединение с использованием экологически «грязных» процессов.

Поэтому необходимы разработка и испытания конструкции и технологии сборки анодных токоподводов с использованием специального электропроводного материала вместо чугунной заливки.

4. Использование специального электропроводного материала при сборке анодных токоподводов даёт пластичное, с заданными параметрами по электропроводности соединение. При этом, технология сборки, переработки анодных токоподводов и их эксплуатационные характеристики должны соответствовать требованиям технологических инструкций и нормам экологии.

5. Большой проблемой является переработка использованных АБ - анодных огарков, которые составляют до 20% от массы анодного блока и требуют специальной обработки и утилизации в анодном производстве.

6. После удаления и переработки использованных АБ - анодных огарков на специальных прессах снимается и также удаляется чугунная заливка. Эти указанные операции очень дорогие, неэффективные и трудоёмкие.

7. Технологический процесс изготовления, монтажа типовых анодных токоподводов, демонтажа и реставрации элементов отработанных анодных токоподводов требуют пересмотра.

Сравнение типового и предлагаемого вариантов технологических процессов приложено. Все необходимое основное оборудование по предлагаемому варианту технологии спроектировано, изготовлено в стендовом варианте и испытано в условиях нашей компании.

Другие направления исследований по конструкции и технологии сборки анодных и катодных токоподводов электролизеров алюминиевой промышленности:

8. Технологии соединения стального кронштейна со штангой анододержателя при помощи сварки трением необходимо изменить. При этом необходим пересмотр конструкции и технологии процесса машины сварки трением. (Разработана конструкторская документация в эскизном варианте на новые конструкцию машины сварки трением и технологию соединения).

9. Технологии соединения стального кронштейна со штангой анододержателя при помощи сварки взрывом не совершенны. Надо пересмотреть конструкции и технологии изготовления биметаллических (сталь - алюминий) и полиметаллических пластин с использованием медных, титановых барьерных слоев, предотворяющих образование интерметаллидов.

(Разработана конструкторская документация на новые конструкцию и технологию соединения при помощи сварки взрывом).

Однако по пунктам 8, 9 будут затруднения по их реализации из-за отсутствия необходимых приборов исследования.

Поэтому усовершенствование материалов, конструкции и технологии изготовления, сборки, эксплуатации АТ электролизёров для производства алюминия является весьма актуальной и востребованной задачей

Глава 2. Выбор и расчёт оптимальных материалов, конструкции усовершенствованных анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия

2.1. Анализ основных тенденций развития конструкции, материалов анодных токоподводов.

Проведённый анализ типовых конструкций анодных токоподводов показал, что в мировой практике наметились 2 основные тенденции конструкции АТ:

1. Переход на анодные токоподводы с меньшим количеством ниппелей на кронштейне анододержателя. Начался переход с 4-х ниппельных на 3-х ниппельные кронштейны. Например, в Таджикистане на ОАО «ТалКо», на алюминиевых предприятиях России, Китая, Америки, Европы, Арабских стран и др. применяли анодные токоподводы с 4-х ниппельными кронштейнами. Теперь, на ряде передовых алюминиевых заводов Китая, на Саянском алюминиевом заводе Российской Федерации и других полностью перешли на 3-х ниппельные анодные токоподводы.

2. Увеличение диаметра ниппелей на кронштейне анододержателя. Например, в Таджикистане на ОАО «ТалКо» - диаметр 110 мм, в Китае – 135 мм для 4-х ниппельных кронштейнов, в Российской Федерации на Саянском алюминиевом заводе и в Китае – 180 мм для 3-х ниппельных кронштейнов.

Расчеты показали, что при конструировании 2-х ниппельного кронштейна анодного токоподвода диаметр ниппелей составит 320 мм;

А при переходе на однонипельный анодный токоподвод диаметр ниппеля по расчету составит 760 мм, т.е. при круглом ниппеле он получается больше ширины самого анода (700 мм) и конструктивно невозможно его разместить. Поэтому неизбежен переход на эллипсную или прямоугольную форму ниппеля кронштейна анодного токоподвода. Тенденция развития конструкции анодных токоподводов с их геометрическими параметрами приведены на рисунке 2.1.

№	Наименование анодного токоподвода	Внешний вид токоподвода	Эскиз Токоподвода	Расчет размеров ниппеля (диаметра или сечения)	Размер ниппеля
					Число ниппелей
1	4-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля анодным блоком - чугуновой заливкой			S_4 - площадь контакта, $S_4 = \pi \cdot D_4 \cdot h \cdot n = 3,14 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 4 = 1380 \text{ см}^2$, где: D_4 - диаметр ниппеля $D_4 = 110 \text{ мм}$, n - число ниппелей = 4 h-высота контакта 100мм ΔS - площадь контакта одного ниппеля равна $1380 : 4 = 345 \text{ см}^2$.	<u>Ø110</u> 4
2	3-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля анодным блоком - чугуновой заливкой			$S_3 = S_4 + \Delta S = 1380 + 345 = 1725 \text{ см}^2$ $S_3 = \pi \cdot D_3 \cdot h \cdot n = 1725 \text{ см}^2$ Отсюда, $D_3 = S_3 / (\pi \cdot h \cdot n) = 1725 / (3,14 \cdot 10,0 \cdot 3) = 18,3 \text{ см}$. $D_3 = 180 \text{ мм}$	<u>Ø180</u> 3
3	2-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля анодным блоком - чугуновой заливкой			$S_2 = S_3 + \Delta S = 1725 + 345 = 2070 \text{ см}^2$ $S_2 = \pi \cdot D_2 \cdot h \cdot n = 2070 \text{ см}^2$ Отсюда, $D_2 = S_2 / (\pi \cdot h \cdot n) = 2070 / (3,14 \cdot 10,0 \cdot 2) = 32,0 \text{ см}$. $D_2 = 320 \text{ мм}$	<u>Ø320</u> 2
4	1- ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля анодным блоком - чугуновой заливкой			$S_1 = S_2 + \Delta S = 2070 + 345 = 2415 \text{ см}^2$ $S_1 = \pi \cdot D_1 \cdot h \cdot n = 2415 \text{ см}^2$ Отсюда $D_1 = S_1 / (\pi \cdot h \cdot n) = 2415 / (3,14 \cdot 10,0 \cdot 1) = 76,9 \text{ см}$. $D_1 = 760 \text{ мм}$	<u>Ø760</u> 1
5	1- ниппельный, трапециевидный, соединение ниппеля анодным блоком по типу «ласточкин хвост» со смазкой электропроводной			В - длина контактной площади, принята равной длине 4-х ниппельного анодного кронштейна. $V = 1190 \text{ мм}$ h-высота контакта 100мм n-число зон контакта 2 $S = V \cdot h \cdot n$, откуда, $h = 2415 : 119 \cdot 2 = 10,14 = h = 101,4 \text{ мм}$	<u>V x h</u> 1190x100

Рисунок 2.1 - Геометрические параметры анодных токоподводов

Кроме того, новые конструкции анодных токоподводов позволяют получить более равномерную схему, эпюру распределения тока между ниппелями кронштейна (рисунок 2.2).

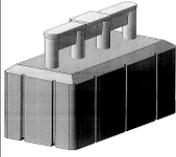
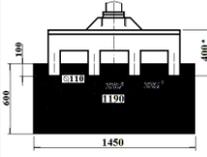
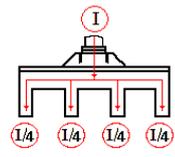
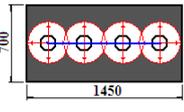
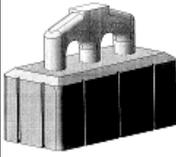
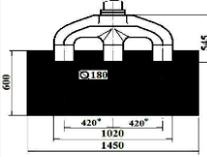
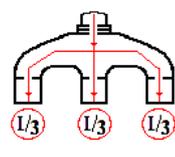
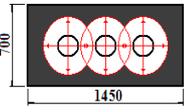
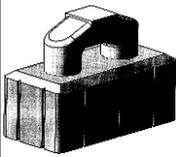
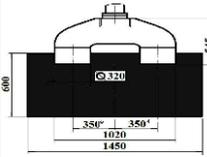
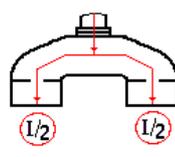
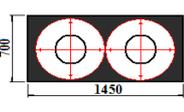
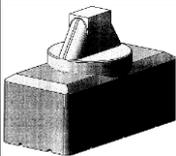
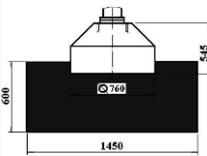
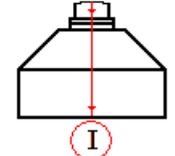
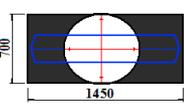
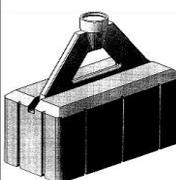
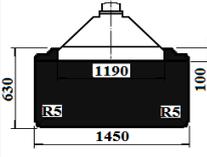
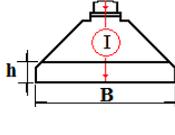
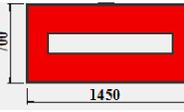
№	Наименование анодного токоподвода	Внешний вид токоподвода	Эскиз токоподвода	Расчет площади контакта	Распределение тока	
					Схема	Эпюра
1	4-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля с анодным блоком – чугуновой заливкой			$S_4 = \pi \cdot D_4 \cdot h \cdot n$ $3,14 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 4$ $S_4 = 1380 \text{ см}^2$		
2	3-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля с анодным блоком – чугуновой заливкой			$S_3 = \pi \cdot D_3 \cdot h \cdot n$ $3,14 \cdot 18 \cdot 10 \cdot 3$ $S_3 = 1700 \text{ см}^2$		
3	2-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля с анодным блоком – чугуновой заливкой			$S_2 = \pi \cdot D_2 \cdot h \cdot n$ $3,14 \cdot 32 \cdot 10 \cdot 2$ $S_2 = 2010 \text{ см}^2$		
4	1- ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля с анодным блоком – чугуновой заливкой			$S_1 = \pi \cdot D_1 \cdot h \cdot n$ $3,14 \cdot 76 \cdot 10 \cdot 1$ $S_1 = 2380 \text{ см}^2$		
5	1- ниппельный, трапециевидный, соединение ниппеля с анодным блоком по типу «ласточкин хвост» с электропроводной смазкой			$S = B \cdot h \cdot n =$ $1190 \cdot 100 \cdot 2S$ $S = 2380 \text{ см}^2$		

Рисунок 2. 2. - Распределения тока между ниппелями кронштейна в анодных токоподводах.

2.2. Выбор формы и расчёт параметров анодных токоподводов

На основе анализа существующих в мировой практике конструкций и с точки зрения более простого изготовления ниппеля прямоугольной формы (нежели эллипсной) на кронштейне, была разработана конструкция однониппельного трапециевидного анодного токоподвода.

Работа по конструированию кронштейна анодного токоподвода была начата с выбора его формы, геометрических размеров.

При расчете и выборе конструкции кронштейна анодного токоподвода, длина и ширина кронштейна были приняты аналогичными размерам серийного кронштейна и далее по формуле была определена толщина кронштейна в зоне контакта, которая получилась равной 85 мм (рисунок 2.3).

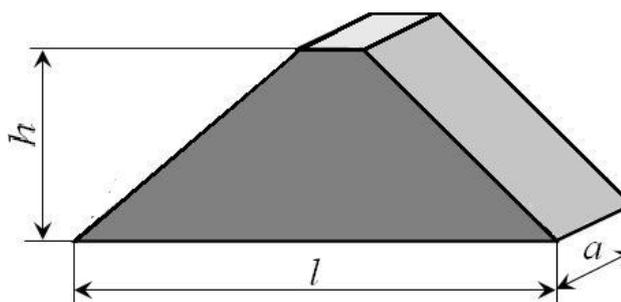


Рисунок 2.3. - Геометрические размеры трапециевидного кронштейна анодного токоподвода

Кронштейн сконструирован в виде равнобедренного треугольника, где:
 l – ширина кронштейна принята равной ширине серийного кронштейна, то есть $l \approx 1190$ мм;
 h – высота кронштейна принята равной высоте серийного кронштейна, то есть $h \approx 600$ мм;
 a – толщина кронштейна, где расположена трапециевидная часть анодного токоподвода, определена по формуле:

$$G_k = \gamma \cdot V_k = \gamma \cdot \frac{h \cdot l}{2} \cdot a$$

где:

G_k - вес экспериментального кронштейна принят равным весу серийного аналога без учета стальной бобышки и равен ≈ 230 кг;

γ – удельный вес стали $\approx 7,5$ г/см³,

V_k – объем кронштейна равен $V_k = \frac{h \cdot l}{2} \cdot a$ для равнобедренной, треугольной формы кронштейна.

Откуда
$$a = \frac{2 \cdot G_k}{\gamma \cdot h \cdot l} = \frac{2 \cdot 230000}{7,5 \cdot 60 \cdot 119} = 85 \text{ мм}$$

При определении угла наклона контактных плоскостей анодного токоподвода было установлено, что с увеличением угла наклона контактных плоскостей увеличивается момент изгиба, увеличивающий опасность излома консольной, хрупкой кромки паза анодного блока (рисунок 2.4).

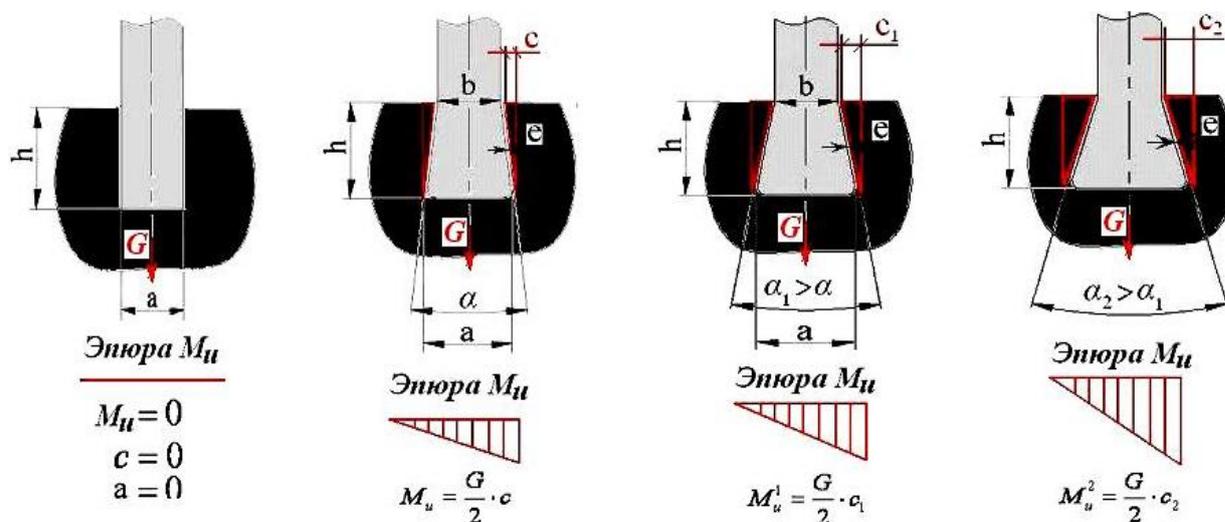


Рисунок 2.4. - Выбор угла наклона контактных плоскостей анодного токоподвода

Поэтому, эмпирически был выбран угол наклона плоскости контакта сопрягаемых деталей равный 12 градусам.

2.3. Расчет механической прочности кронштейна анодного токоподвода

По выбранным размерам был произведен расчет на механическую прочность соединяемых элементов анодного токоподвода.

Расчет производили, исходя из прочности материала наименее прочного из материалов сопрягаемых элементов анодного токоподвода, то есть материала анодного блока. Схема расчета приведена на рисунке 2.5.

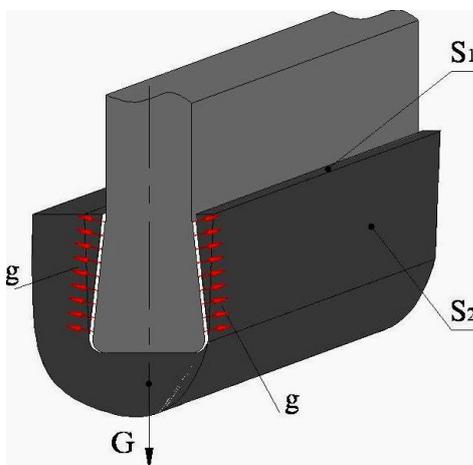


Рисунок 2.5 - Схема расчета нормальных и касательных напряжений в зоне контакта анода и кронштейна

Нормальное напряжение от веса анодного блока определено по формуле:

- $\sigma = G : S_1 \leq [\sigma]$, где:
- σ – нормальное напряжение от веса анодного блока,
- G – вес обожженного анодного блока, равно 900 кг,

S_1 – площадь действия σ в узле соединения анодного блока с клиновой вставкой, равна $[(8,5 - 6,5) \cdot 119]$, или $S_1 = (a - b) \cdot l$, где:

l – ширина кронштейна, равна ширине серийного кронштейна, $l \approx 1190$ мм;

a – толщина кронштейна внизу трапециевидной части анодного токоподвода, которую определили по формуле, $a \approx 85$ мм;

b – толщина кронштейна сверху трапециевидной части анодного токоподвода, которую определили эмпирически через допустимый наклон плоскости контакта, $b \approx 65$ мм;

- $[\sigma]$ – максимально допустимое, нормальное напряжение для материала анода или допустимый предел прочности на сжатие анода типа АБ-1 принят равным 270 кг/см^2 .

Отсюда фактическое нормальное напряжение на узел контакта соединения анодного блока с клиновым кронштейном составит –

- $\sigma = G : S_1 = 900 : [2 \cdot 119] = 900 : 238 = 3,8 \text{ кг/см}^2$, то есть фактическая нагрузка значительно меньше допустимого предела прочности на сжатие.

Касательное напряжение от веса анодного блока определено по формуле:

- $T = G : S_2 \leq [\tau]$, где:
- T – касательное напряжение от веса анодного блока,
- G – вес анодного блока, равно 900 кг ,
- S_2 – площадь действия T в узле соединения анодного блока с клиновой вставкой, равна $(10+10) \cdot 119$, где $S_2 = 2 \cdot h \cdot l$

h – высота трапециевидной части кронштейна, $h \approx 100$ мм;

- $[\tau]$ – допустимое касательное напряжение для материала анода равно примерно $0,4 [\sigma]$ или около 70 кг/см^2 .

Отсюда фактическое касательное напряжение на узел контакта соединения анодного блока с клиновым кронштейном составит –

$$\tau = G : S_2 = 900 : [(10+10) \cdot 119] = 900 : 2380 = 0,4 \text{ кг/см}^2,$$

т.е. также допустимо. В итоге кронштейн был сконструирован в виде треугольника, изготовлен, а контакт «кронштейн – анод» испытан на механическую прочность на специальном стенде (см. рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 - Стенды для механических испытаний

Проведённые механические испытания показали, что:

1. Геометрические размеры анодного токоподвода выбраны правильно и обеспечивают необходимую прочность соединения.
2. Выбор параметров соединения выполнен правильно. Прочностные расчеты подтвердили их достаточность.
3. Узел контакта анодного токоподвода выдерживает механическую нагрузку, превышающую более чем в 3 раза вес анодного блока.

2.4. Расчет кронштейна анодного токоподвода на тепловое расширение

Далее, были осуществлены проверки сопрягаемых деталей соединения анодного токоподвода на температурное или тепловое расширение.

По составленной схеме (см. рисунок 2.7) было определено, что наиболее опасными являются горизонтальные перемещения по оси X, т.к. перемещения анода и кронштейна в результате теплового расширения направлены навстречу друг к другу и эти перемещения суммируются.

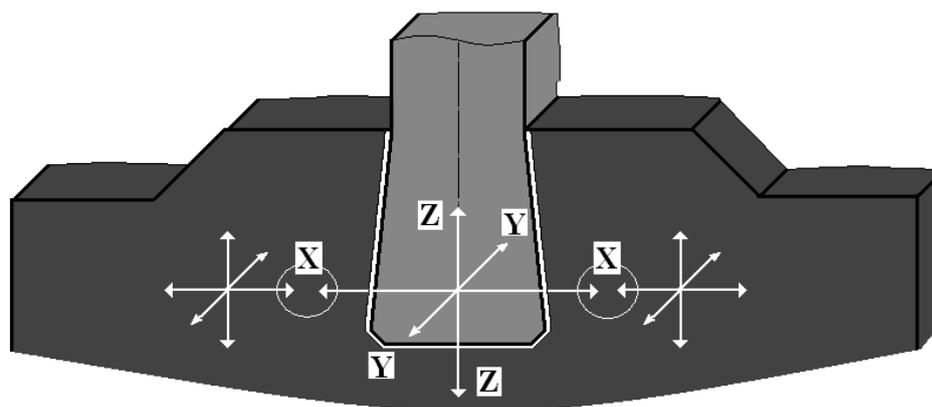


Рисунок 2.7 - Схема теплового расширения стального кронштейна и углеродистого анодного блока

Кроме того, по проведенным расчетам установлено, что суммарная величина теплового расширения кронштейна и анода будет равной 0,77 мм и с учетом смазки величину зазора можно принять равной до 1 мм.

Величину минимально допустимого зазора для компенсации теплового расширения сопрягаемых материалов теоретически можно рассчитать через величины теплового расширения стального кронштейна и угольного анодного блока, с учетом геометрических размеров и температурного диапазона работы сопрягаемых деталей в процессе электролиза, то есть:

$$e_k = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot B_k : n \quad (1)$$

$$e_a = \alpha_y \cdot \Delta t \cdot B_a : n \quad (2) \text{ где:}$$

e_k и e_a – величины теплового расширения кронштейна и анода;

α_c и α_y – коэффициенты теплового расширения для углеродистой стали и угля (графита) в рабочем диапазоне температур;

Δt - разность температур нормальной и рабочей среды;

B_k и B_a – ширина сопрягаемых деталей - стального кронштейна и анода;

n – число сторон сопрягаемых деталей.

Приняв максимальную температуру кронштейна и анода равным температуре электролиза алюминия ($\approx 950^\circ\text{C}$) и подставляя значения α_c и α_y при этой температуре [5] в уравнения 1,2 получим:

$$e_k = 14.3 \cdot 10^{-6} \cdot 930 \cdot 84 : 2 = 0.56 \text{ мм}$$

$$e_a = 0.63 \cdot 10^{-6} \cdot 930 \cdot 700 : 2 = 0.21 \text{ мм}$$

То есть суммарная величина теплового расширения кронштейна и анода будет равна 0.77 мм, а с учетом смазки, принята равной – 1,0 мм.

С целью подбора оптимальной величины зазора (e) между анодом и кронштейном, стальная вставка длиной 1450 мм, имитирующая кронштейн, была предварительно распилена на 6 равных частей каждая по 240 мм с разными размерами сторон (см. рисунок 2.8, таблица 2.1.).

Указанная распиленная стальная вставка была вмонтирована в трапецевидный паз анодного блока, также распиленного на 6 частей в верхней его части. Эти элементы в сборе были установлены в экспериментальной печи:

- Нагрев печи производился при температуре до 970°C;
- Зазоры между соединяемыми деталями были от 0,25 до 1,5 мм.

Эксперимент позволил проверить допустимый диапазон зазоров между соединяемыми деталями анодного токоподвода или возможные пределы допусков по их изготовлению.

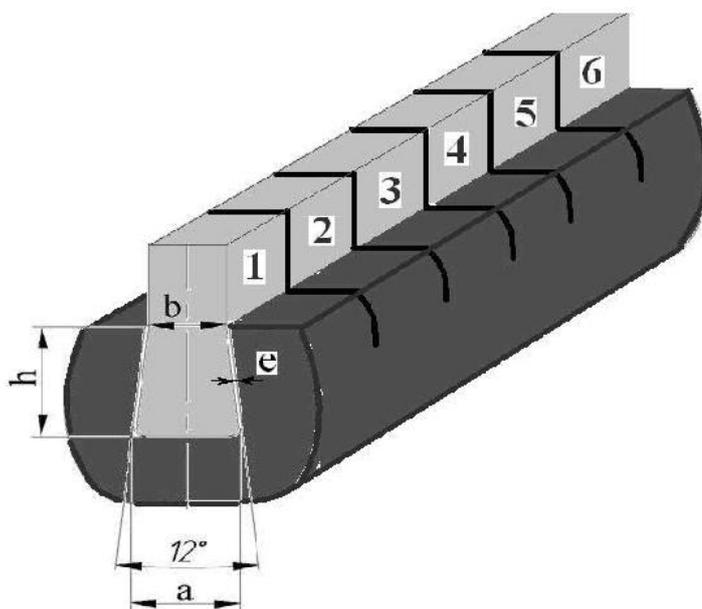


Рисунок 2.8 - Подбор оптимальной величины зазора (e) между анодом и кронштейном.

Таблица 2.1 – Размеры распиленной на шесть частей стальной вставки

Размеры, мм	Номера стальных вставок					
	1	2	3	4	5	6
a	82	82,5	83	83,5	84	84,5
б	59	59,5	60	60,5	61	61,5
е	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,50

Образовавшиеся зазоры между анодом и кронштейном были заполнены разными составами токопроводящей смазки.

Выбор оптимальных видов смазки был осуществлен исходя из их удельных электрических сопротивлений – УЭС (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Выбор оптимальных видов смазки (название и состав смазки), исходя из их удельных электрических сопротивлений – УЭС.

№	Наименование смазки (состав смазки)	Температура сушки, °С	Время сушки	УЭС, в мком/мм при толщине нанесения смазки			Выводы
				без смазки	1 мм	2 мм	
1	Вода (10%)+спирт этиловый (10%) +графит кристаллический (80%)	200	1	55	60	60	Нерентабельна из-за стоимости и смазки
2	Жир графитовый (ГОСТ 3333-80) (50%) +графит кристаллический (50%)	300	1	56	58	59	
3	«Элекон» (суперконтакт) (100%)	200	1	54	56	55	Лучший вариант, но высокая стоимость
4	«Элекон» (суперконтакт) (100%)	300	1	53	54	53	
5	«Элекон» (суперконтакт) (100%)	200	1	55	-	56	
6	«Пиротек» (100%)	200	1	55	-	55	Нерентаб.
7	Вода (10%)+спирт этиловый (10%) +анодная пыль (0÷1 мм) (80%)	200	1	55	55	55	Оптимальный вариант из-за стоимости и смазки
8	Вода (10%)+спирт этиловый (10%) +анодная пыль (0÷1 мм) (80%)	300	1	57	58	58	
9	Вода (10%)+спирт этиловый (10%) +анодная пыль (0÷1 мм) (80%)	200	1	55	-	55,6	
10	Индустриальное масло (И-40) (40%) +пек (пыль) (10%) +анодная пыль (50%)	200	1	55	-	55	Оптимальный вариант

После чего зазоры между анодом и кронштейном были заполнены выбранными смазками.

Далее через эти соединяемые элементы - контакты был пропущен ток силой 400 ампер и замерены перепады напряжения (табл. 2.3).

Таблица 2.3 - Перепады напряжений между элементами – контактами, соединёнными выбранными смазками.

№ вставки	Зазор, (мм)	Сила тока, (А)	Напряжение, (мВ)	Тип смазки
1	0,25	400	20	Анодная пыль+ водоспиртовая смесь
2	0,5	400	30	Анодная пыль+ водоспиртовая смесь
3	0,75	400	30	Анодная пыль+пековая пыль + индустриальное масло И-40
4	1,0	400	30	Анодная пыль+пековая пыль + индустриальное масло И-40
5	1,25	400	75	Холоднонабивная подовая масса (ХНПМ)
6	1,5	400	75	Холоднонабивная подовая масса (ХНПМ)

Окончательный выбор оптимальных видов смазки был осуществлен по результатам экспериментов, исходя из их меньших перепадов напряжения.

В результате испытания были выбраны следующие наиболее оптимальные смазки:

- а) анодная пыль+водоспиртовая смесь.
- б) анодная пыль+пековая пыль+индустриальное масло И-40.

На основании этих проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Зазор между анодом и кронштейном должен быть в диапазоне 0,5 – 1,0 мм для компенсации теплового расширения.
2. Составы смазок между анодом и кронштейном определены оптимально обеспечивающие необходимые параметры, особенно УЭС.

Правильность теоретических расчетов по тепловому расширению сопрягаемых деталей проверили натурными испытаниями в экспериментальной печи при температуре до 970°C (рисунок 2.9).

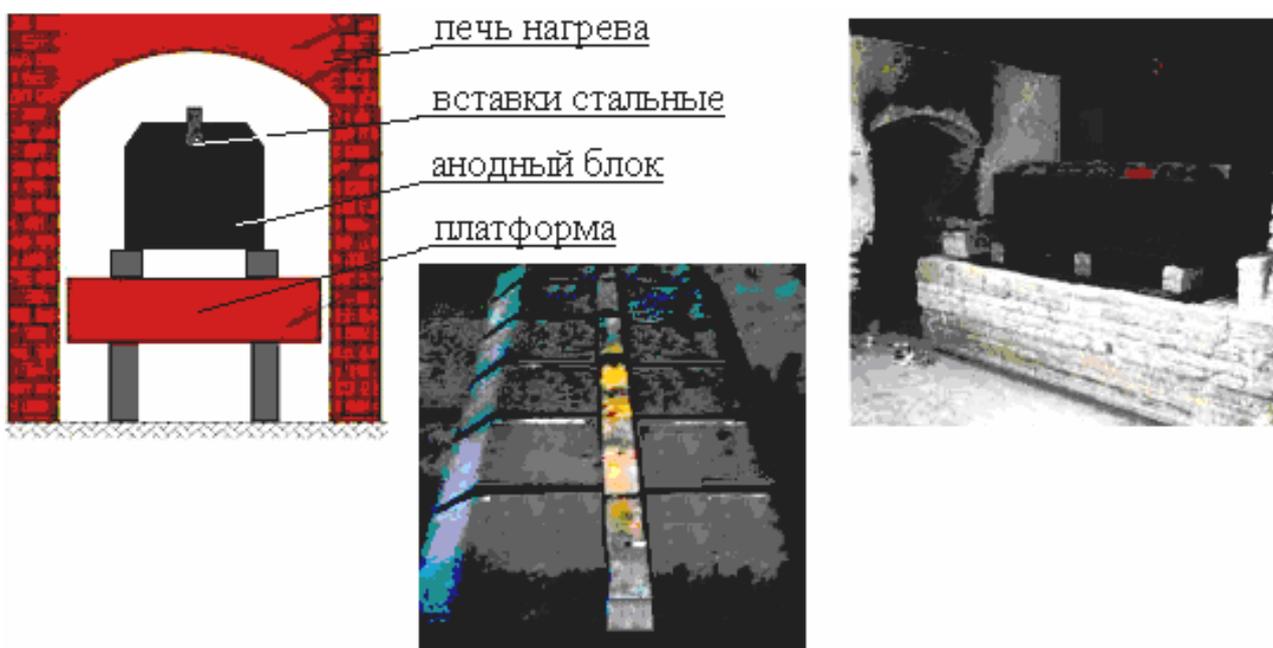


Рисунок 2.9 - Стенды для испытаний анодного токоподвода на тепловое расширение

2.5. Исследование физико-механических показателей анодного блока с клиновым пазом анодных токоподводов.

С целью обеспечения механической прочности в условиях работы при высоких температурах, для определения места формирования, фрезерования клинового паза – «гнезда» контакта в анодном блоке (рисунок 2.10) должны быть учтены два обязательных, первоначальных условий:

Условие № 1 – это должно быть место с оптимальной, допустимо большей плотностью.

Условие № 2 – это должно быть место с оптимальной структурой гранулометрического состава (формой и размером зерен фракций нефтяного кокса) для возможности последующей механической обработки анодного блока после его обжига.

Путем определения плотности анодного блока в лаборатории ПОА ОАО «ТАЛКО» было установлено, что верхняя часть анодного блока имеет наибольшую плотность и мелкую зернистость (таблица 2.4).

Основные физико-механические показатели анодного блока приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Основные физико-механические показатели анодного блока

Анодный блок	Показатели			Выводы
	Плотность (объемный вес), г/см ³	Плотность (удельный вес), г/см ³	Механическая прочность, кгс/см ²	
<u>Верхняя часть:</u>				Верхняя часть анодного блока более плотная
а)	1,57	2,073	455	
б)	1,57	2,078	415	
в)	1,58	2,069	449	
г)	1,59	2,068	431	
Среднее значение	1,5775	2,072	437	
<u>Нижняя часть:</u>				
а)	1,58	2,066	400	
б)	1,56	2,071	419	
в)	1,52	2,060	443	
г)	1,57	2,067	455	
Среднее значение	1,5575	2,066	429	

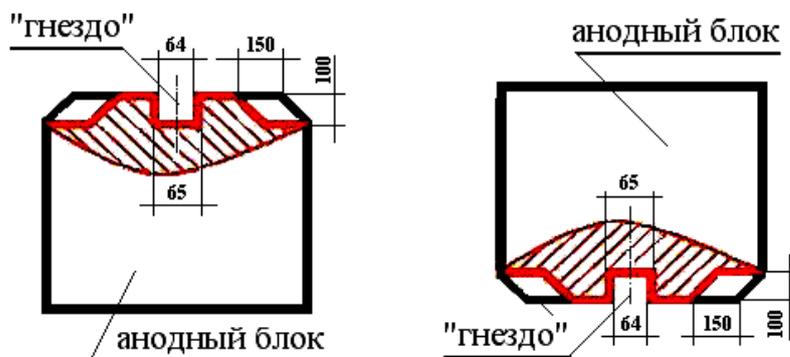


Рисунок 2.10 - Выбор места формирования трапециевидного паза анодного блока

В верхней части анодного блока должен быть отформован клиновидный паз с помощью специально изготовленного пуансона на вибропресс (рис. 2.11).

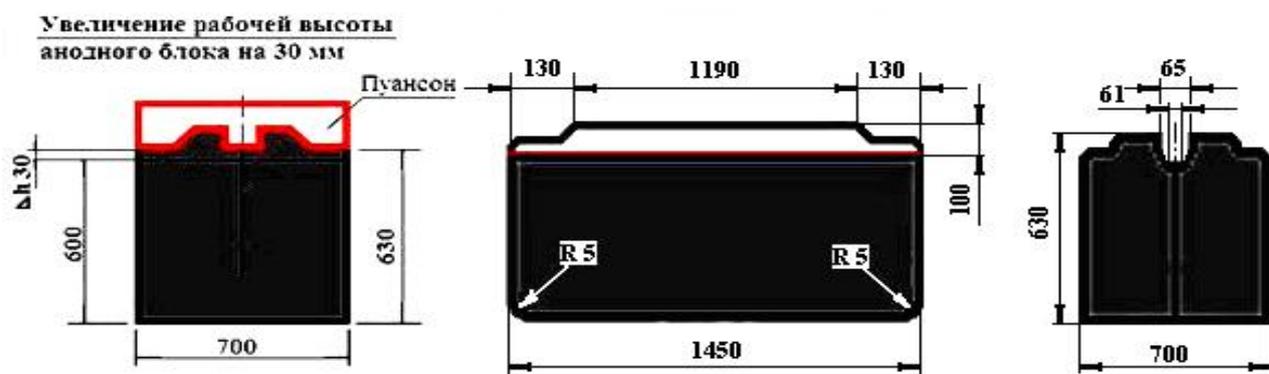


Рисунок 2.11 - Вид и габариты анодного блока после формования

После виброформования анодный блок направляют на обжиг в обжиговый передел производства анодных токоподводов.

Проведены исследования по ходу использования синтез-газа при обжиге анодов в ПА ОАО «ТАЛКО», так как теплотворная способность синтез-газа примерно в 6 раз ниже чем у природного газа.

Отсюда возникли экономические проблемы (увеличение цикла обжига анодов, падение производительности и др.), технические сложности, начиная с диаметра магистральных труб, форм и размеров горелок печи обжига, технологии и режима процессов обжига.

Также решались экологические вопросы (улавливание и утилизация значительно возросших продуктов сгорания, побочной продукции при производстве синтез-газа (фенольные и др. смолистые соединения) и многие технические вопросы.

Затем после обжига анодного блока при помощи специально изготовленной фрезы (рис.2.12) окончательно фрезеруют трапецевидный паз в обожженном анодном блоке (рис.2.19 – 2.21).

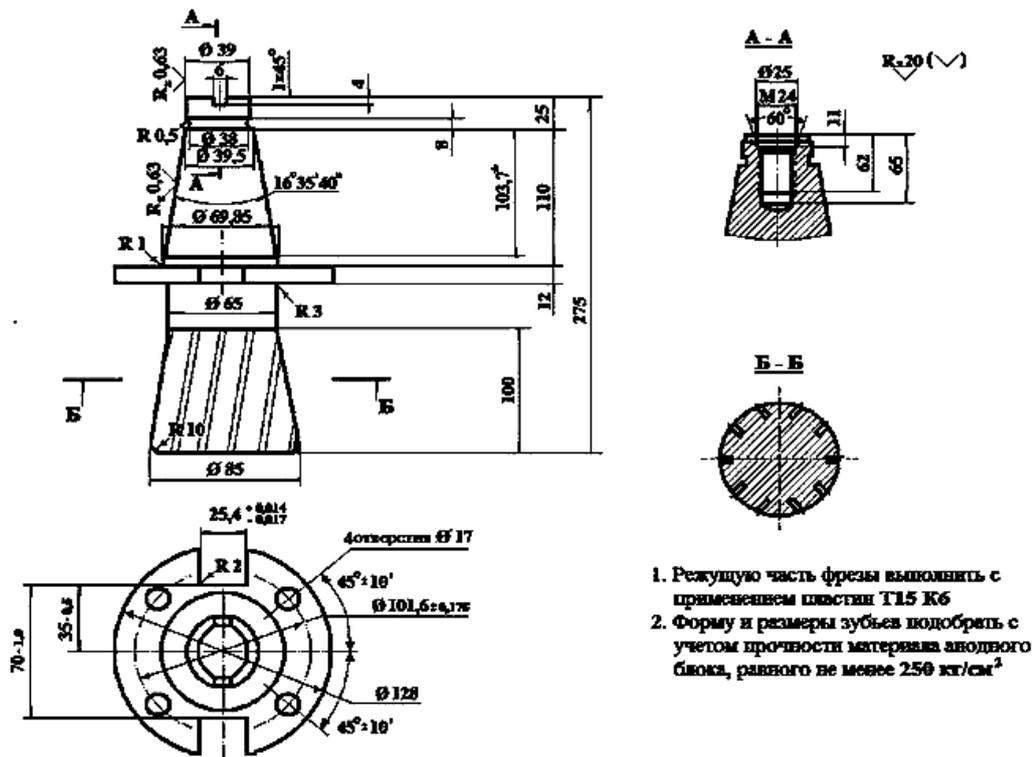


Рисунок 2.12 - Фреза для изготовления трапециевидного паза в обожженном анодном блоке

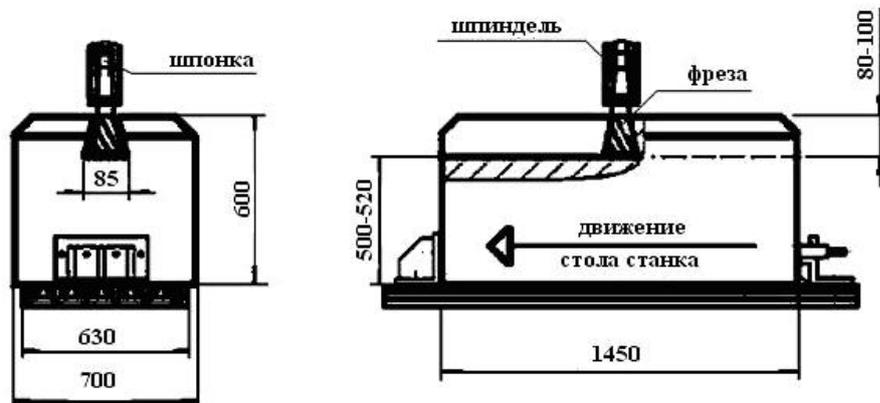


Рисунок 2.13 - Фрезерование трапециевидного паза в анодном блоке на продольно-фрезерном станке модели 6606 № 2-81.

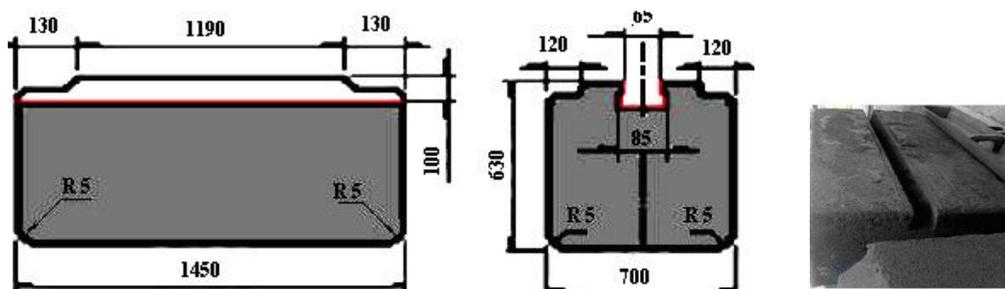


Рисунок 2.14 - Вид, габариты и вид анодного блока после фрезерования

2.6. Разработка новых конструкций анодных токоподводов в сборе из угольного анодного блока и стального кронштейна анододержателя.

По результатам проведенных исследований была разработана конструкция анодного токоподвода в сборе из угольного анодного блока с клиновым пазом и стального кронштейна однонипельного трапецевидного анододержателя (рисунок 2.15) и проведено его сравнение с существующими конструкциями в мировой практике - 4-х ниппельными анодными токоподводами (рисунок 2.16) и 3-х ниппельными анодными токоподводами (рисунок 2.17).

Сопоставление конструкций анодных токоподводов проводили на предмет соответствия габаритных размеров, их габаритов в привязке к электролизеру (рисунок 2.18) в том числе сравнение методом наложения (рисунок 2.19).

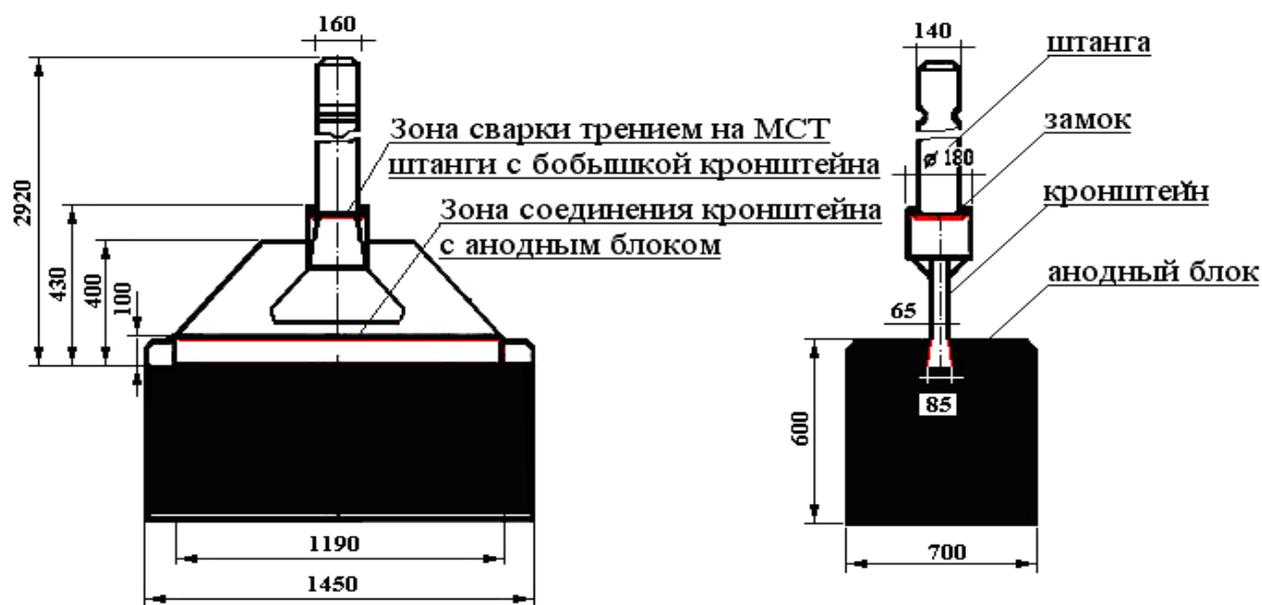


Рисунок 2.15 - Конструкция анодного токоподвода в сборе из угольного анодного блока с клиновым пазом и стального кронштейна однонипельного трапецевидного анододержателя (Экспериментальный анодный токоподвод).

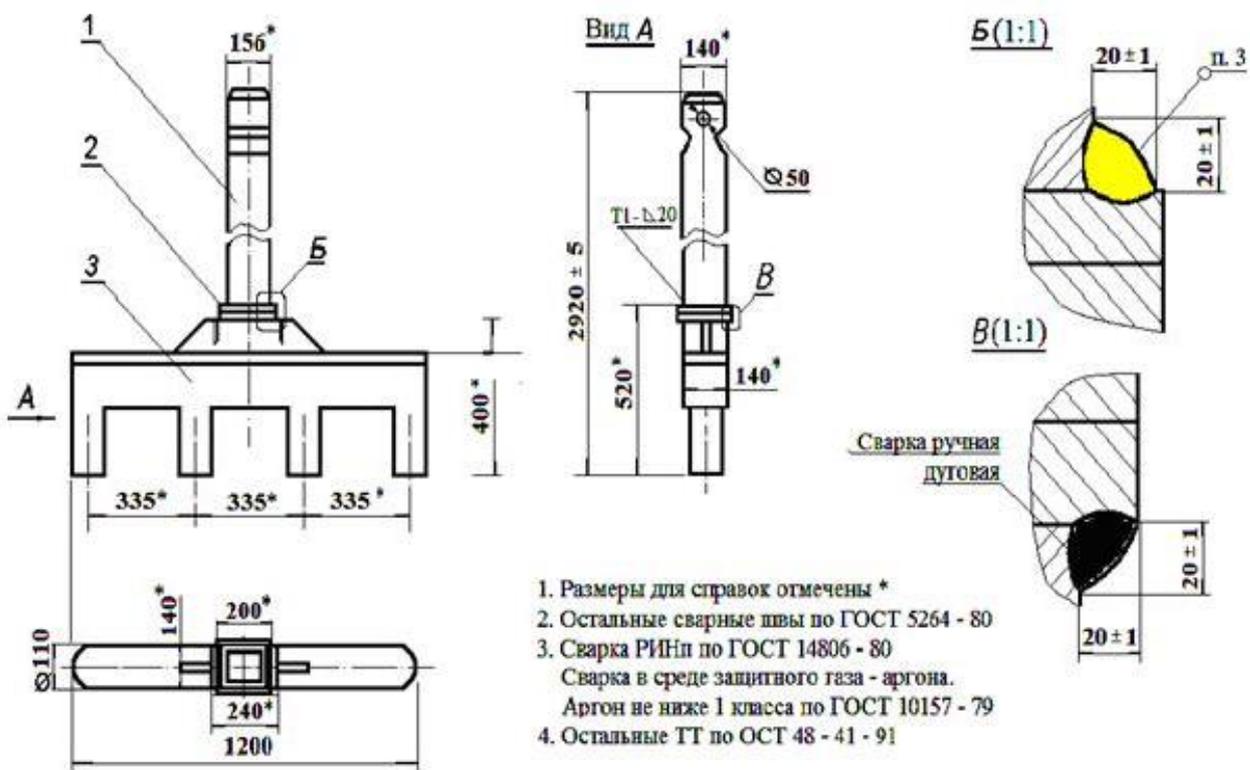


Рисунок 2.16 - Конструкция анододержателей, применяемых на ОАО «ТАЛКО»

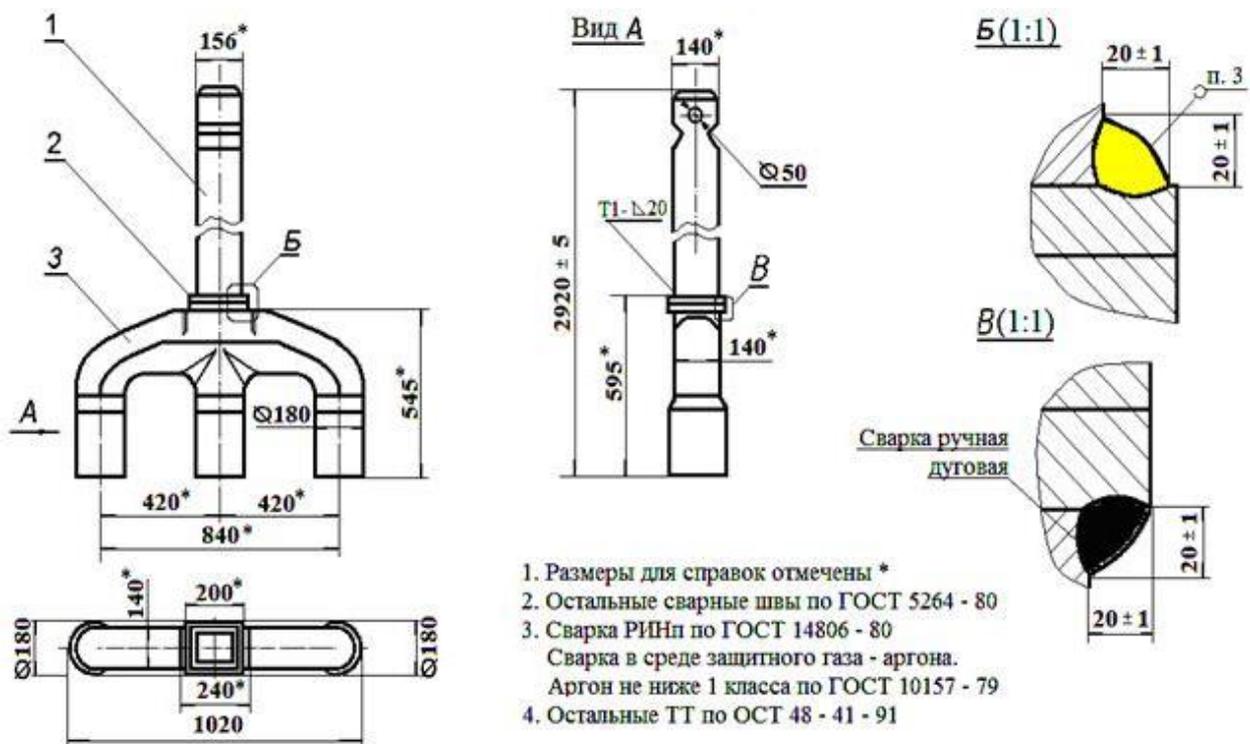


Рисунок 2.17 - Конструкция анододержателей, применяемых на Саянском алюминиевом заводе по рекомендации ОАО ВАМИ-РУСАЛ

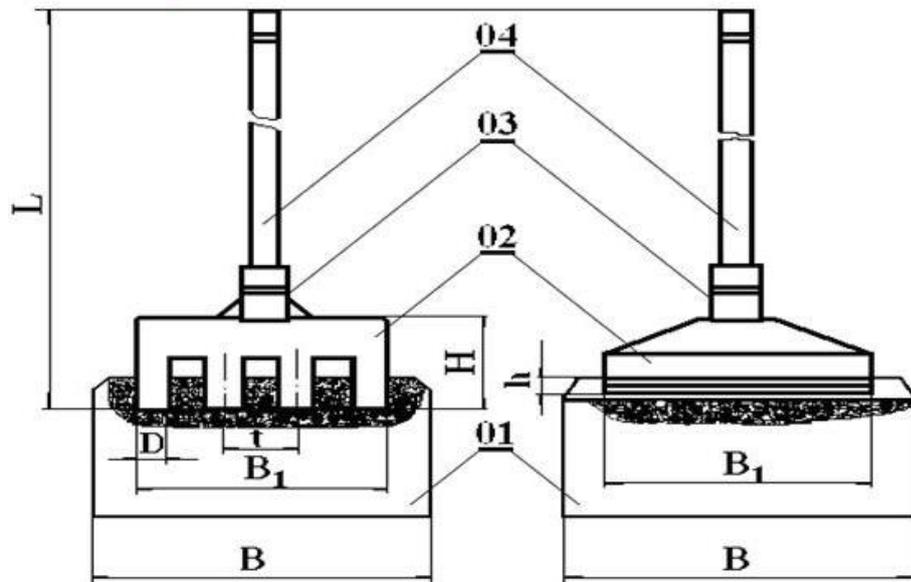


Рисунок 2.18 - Сравнение конструкций серийного на ОАО «ТалКо» и экспериментального анодного токоподвода.

где: 01- анодный блок; 02- кронштейн; 03 – биметаллическое соединение; 04 – штанга анододержателя.

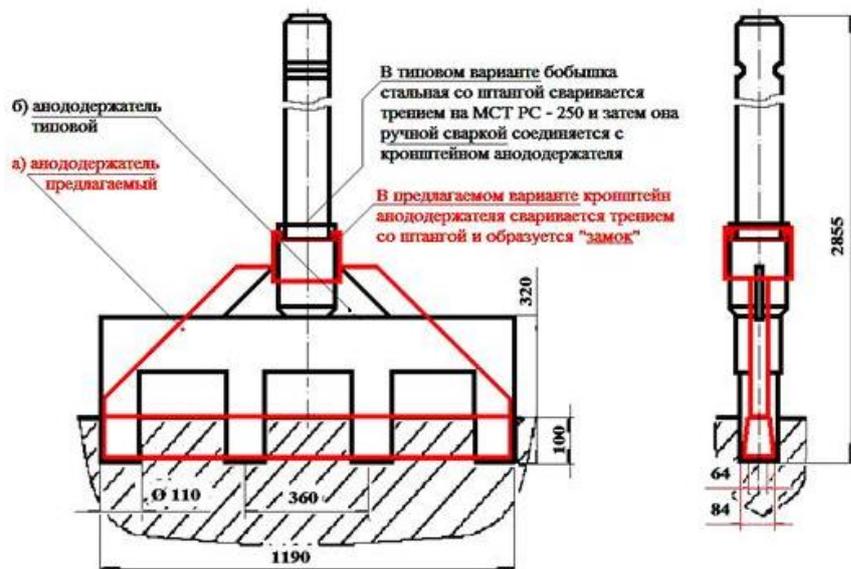


Рисунок 2.19 - Сравнение наложением конструкций серийного и экспериментального анодного токоподвода

На базе проведенных работ была разработана промежуточная конструкторская документация, по которой изготовлены экспериментальные

анододержатели (рисунок 2.20). При этом изменения коснулись пока только кронштейна и узла соединения кронштейна с блоком.

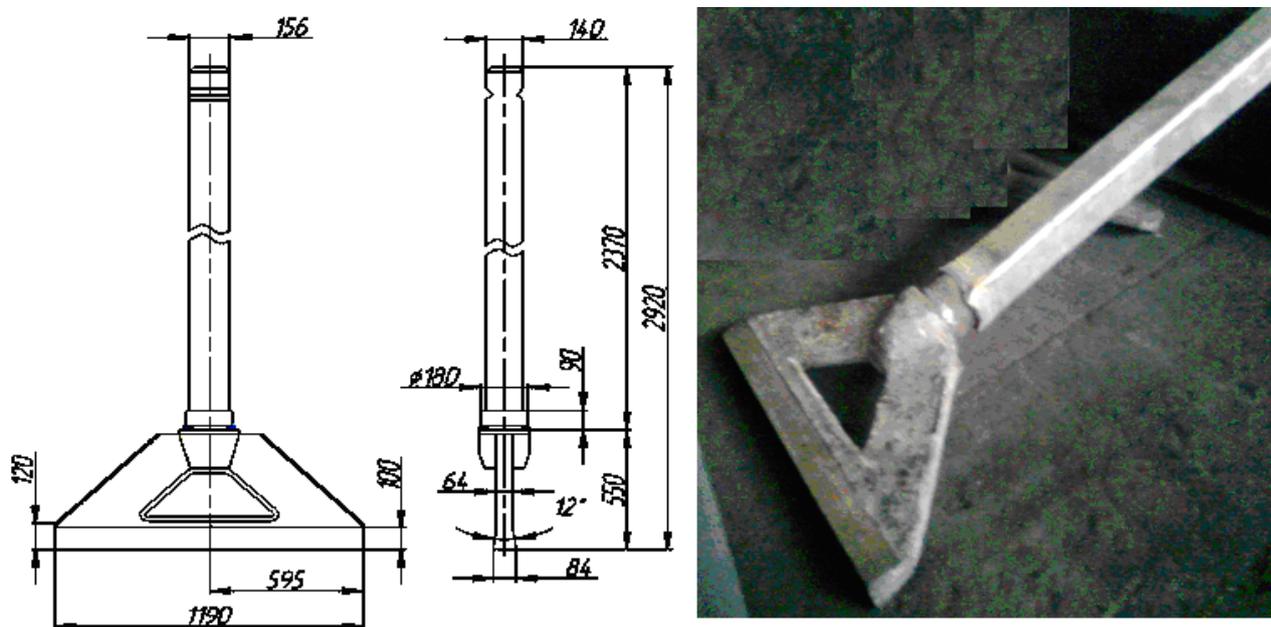


Рисунок 2.20 - Экспериментальный анододержатель.

Затем была произведена окончательная сборка экспериментального анодного токоподвода (см. рисунок 2.21).

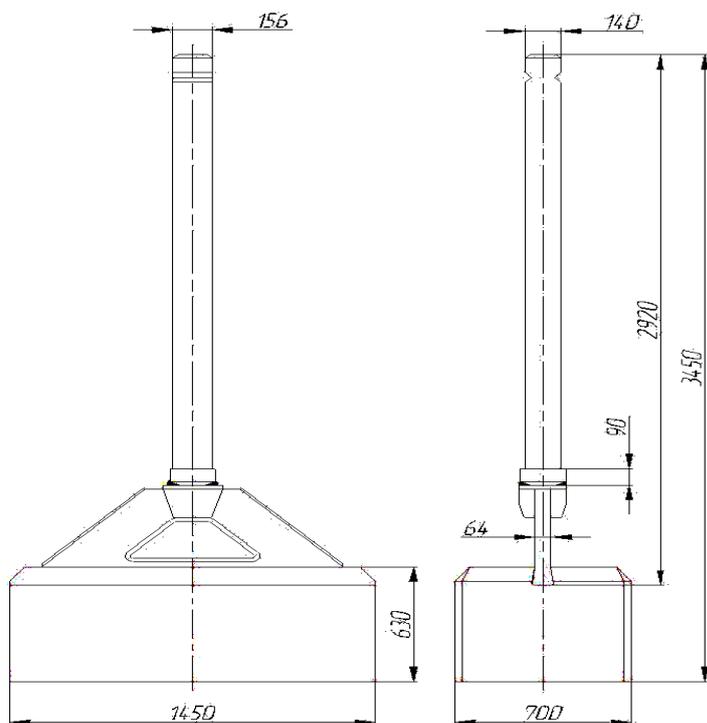


Рисунок 2.21 - Экспериментальный анодный токоподвод в сборе

Глава 3. Разработка технологических схем и процессов изготовления, эксплуатации и утилизации отходов усовершенствованных анодных токоподводов.

3.1. Разработка технологических схем изготовления, эксплуатации усовершенствованных анодных токоподводов.

Разработанные технологические схемы процессов изготовления, эксплуатации АТ, утилизации отработанных элементов типовых и предлагаемых АТ, включая способы монтажа, разборки и ремонта элементов АТ, отработавших в процессе электролиза алюминия приведены на рисунках 3.1., 3.2.

В смесильно-прессовом производстве «зеленых» анодов (рисунок 3.1) проведены небольшие изменения в конструкции виброформы прессов, а в производстве обжига анодов изменений практически нет.

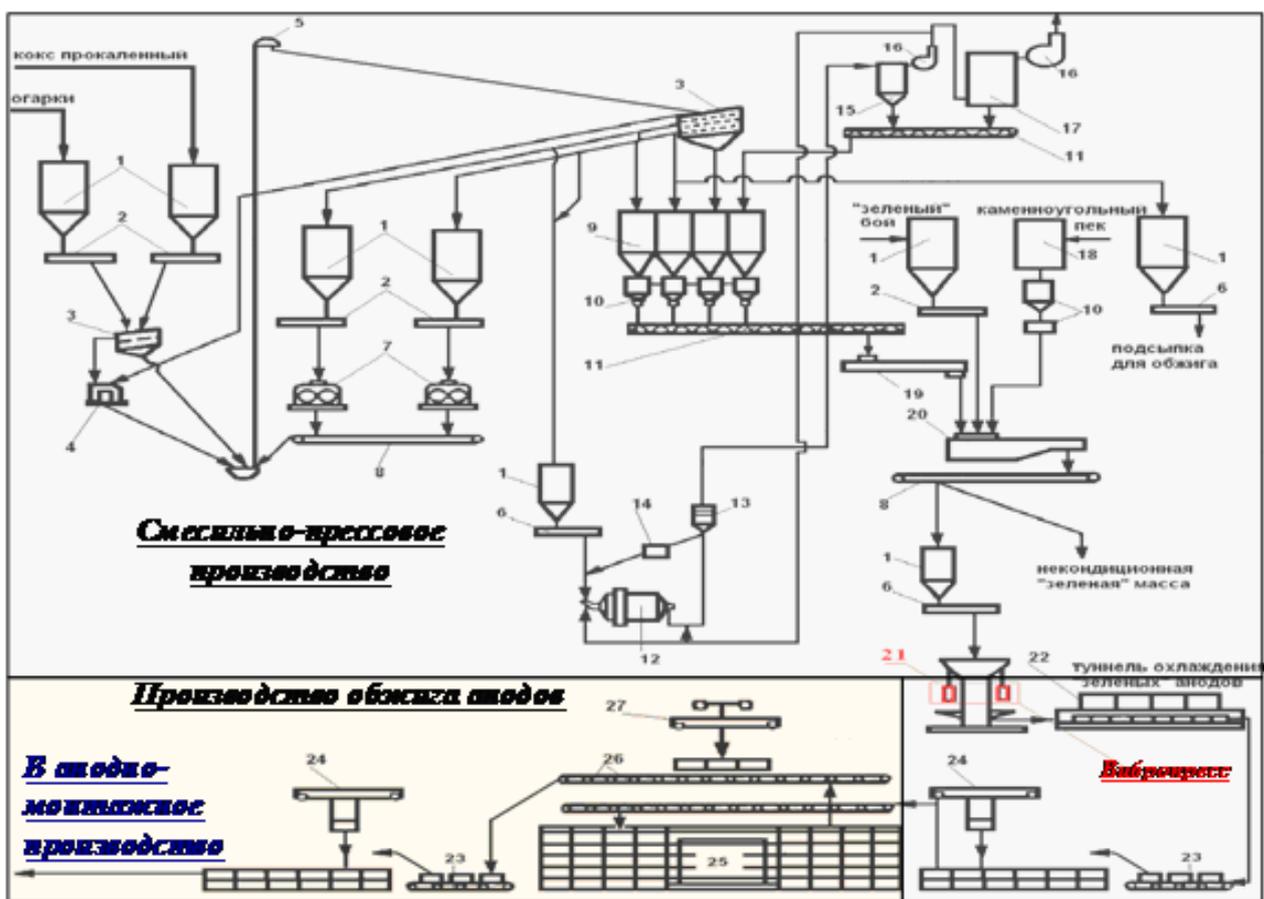


Рисунок 3.1 - Технологическая схема выпуска ОА в СПЦ и ЦО

На рисунке 3.2 приведена технологическая схема анодно-монтажного производства (ЦППЭ), где на соответствующих линиях производятся операции по разборке, утилизации - ремонту элементов АТ, монтажу отремонтированного или нового анододержателя с анодным блоком АТ.

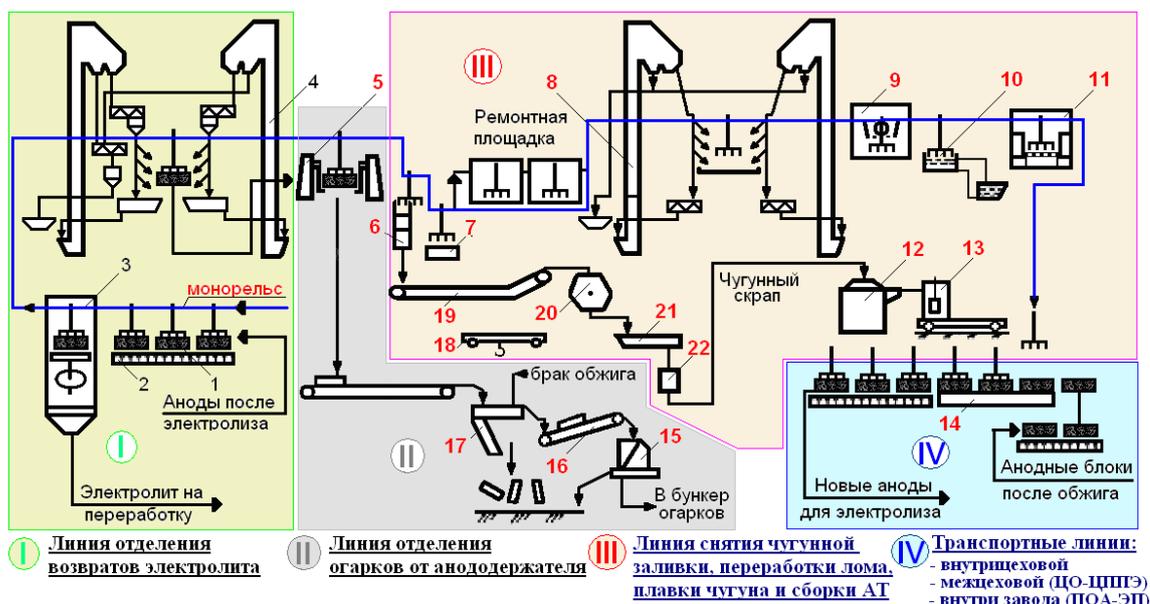


Рисунок 3.2- Технологическая схема анодно-монтажного производства (ЦППЭ)

Изменение конструкции анодного токоподвода позволит сократить и усовершенствовать применяемые в мировой практике [2-5] транспортно-технологические схемы производства обожженных анодных блоков (рис.3.1), монтажа новых анодных токоподводов и демонтажа, ремонта анодных токоподводов, отработанных в процессе электролиза алюминия (рис.3.2).

Основными и существенными пунктами усовершенствования в транспортно-технологической схеме производства обожженных анодов является замена пуансона виброформовочной машины (поз. 21) для формирования ниппельных гнезд на

Технологии, процессы производства анодных токоподводов в мировой практике не менялись, т.к. не меняли конструкцию анодного блока и, главное, способ соединения анодного блока с анододержателем посредством чугуной заливки.

Внедрение новой конструкции контактного узла анодного блока с кронштейном анододержателя и предложенный способ производства анодных блоков и сборки, разборки, ремонта анодных токоподводов позволит:

1. Ликвидировать трудоёмкое и дорогостоящее производство подготовки чугуна (поз. 12), его заливки в ниппельные гнёзда (поз. 13, 14), прессы съёма чугунной заливки с ниппелей кронштейнов анододержателей после отработки анодных токоподводов в процессе электролиза алюминия (поз. 6), оборудование и линии подачи снятой чугунной заливки (поз. 19 - 22).
2. Предотвратить возможное загрязнение чугуном возвратных углеродных отходов от анодных блоков, в дальнейшем и алюминия в электролизёрах.
3. Упростить технологический процесс монтажа и демонтажа анодов, а также схему транспортировки анодов до и после корпусов электролиза.
4. Защитить контактные узлы анодных токоподводов от механических повреждений при технологических транспортных перевозках.
5. Повысить эффективность технологических транспортных перевозок:
 - новых обожженных анодов отдельно, без анододержателей в сборе,
 - анододержателей новых и отремонтированных в сборе, но без анодов,
 - анодных токоподводов после их отработки в производственном цикле,
 - оборотных отходов (электролита, огарков), других технологических грузов.
6. Упростить операции по ремонту, реставрации анододержателей.
7. Сократить расходы на сырьё и материалы - стального литья примерно в три раза за счет снижения веса кронштейнов анододержателей с 240 до 80 кг, металлопроката для ниппелей, чугуна для заливки, огнеупорных материалов к индукционным печам ИЧТ для плавки чугуна, углеродных материалов анодных блоков.
8. Почти полностью отказаться от нестабильно работающего импортного оборудования производства монтажа и демонтажа анодного токоподвода.
9. Значительно сократить расходы на приобретение и эксплуатацию оборудования за счет его исключения из технологического процесса.
10. Освободить существующие здания и сооружения производства монтажа и демонтажа анодного токоподвода, а также отказаться от их

строительства при будущем проектировании, строительстве подобных производств.

11. Сократить эксплуатационный и ремонтный персонал.

Переход на усовершенствованную технологию может быть постепенным, плавным и возможен силами и средствами рядового алюминиевого предприятия, путём дооснащения:

- станком для доводки фрезерованием клинового паза обожженного анодного блока на трапецевидный паз типа «ласточкин хвост». Станок прост по конструкции и его можно изготовить на базе серийно выпускаемого продольно-фрезерного станка (рис.3.3);

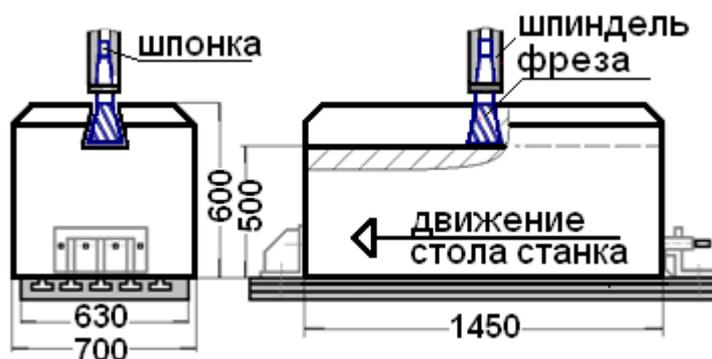


Рисунок 3.3 - Фрезерование клинового паза в предварительно обожженном анодном блоке на продольно-фрезерном станке модели 6606 N2-81.

- установкой зачистки клинового кронштейна и нанесения анодной пасты или жидкого графита на клиновой кронштейн;
- установкой для сборки анодного блока с анододержателем непосредственно на узлах перегрузки в корпусах электролиза;
- замены сложных по форме и изготовлению ниппельных пробок виброформы прессов на простую - клиновую вставку.

По предлагаемой технологии указанные на схеме отделения анодно-монтажного производства (ЦППЭ) почти полностью ликвидируются (см. рисунок 3.4).

Обозначения по схеме анодно-монтажного производства:

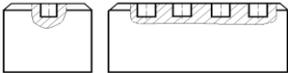
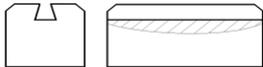
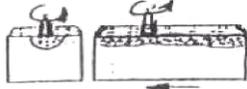
<p>I. Линия отделения возвратов: <i>ликвидировать</i> 1 - отработанный анод; 2 - конвейер роликовый; 3 - установка очистки от электролита; 4 - машина окончательной очистки огарков.</p>
<p>II. Линия отделения огарков от анододержателей: <i>ликвидировать</i> 5 - пресс для разрушения огарков; 15 - дробилка щековая; 16 - конвейер вибрационный желобчатый; 17 - конвейер поворотный; 18 – кран.</p>
<p>III. Линия снятия чугунной заливки, переработки лома, плавки чугуна и сборки анодных токоподводов: <i>ликвидировать</i> 6 - пресс для снятия чугунной заливки; 7 - устройство для проверки ниппелей анододержателей; 8 - машина для очистки ниппелей; 9 - машина очистки штанг анододержателей; 10 - стенд для нанесения графитовой суспензии; 11 - установка сушки ниппелей; 12 - печь индукционная тигельная; 13 - передвижная заливочная машина с ковшом; 14 – машина разливочная; 19 - конвейер ленточный; 20 - галтовочный барабан; 21 - виброконвейер; 22 – кубель.</p>
<p>IV. Транспортные линии: - внутри цеха (наземный, подвесной монорельс и др.) – <i>ликвидировать</i>, - между цехами обжига анодов и анодно-монтажным – <i>ликвидировать</i>, - внутри завода между производством ОА и корпусами ЭП <i>ликвидировать</i></p>

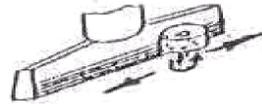
Рисунок 3.4 - Перечень ликвидированных технологических линий.

3.2. Сравнение технологических процессов изготовления и эксплуатации типовых и усовершенствованных анодных токоподводов

Технологический процесс изготовления, монтажа анодных токоподводов, принятый в мировой практике и предлагаемый усовершенствованный техпроцесс, а также сравнение этих технологических процессов изготовления, монтажа анодных токоподводов – сборки анодного блока с кронштейном, вставкой и штангой анододержателя, демонтажа отработанных анодных токоподводов и реставрации их элементов приведено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Сравнение технологического процесса изготовления, монтажа анодных токоподводов – сборки анодного блока с кронштейном, вставкой и штангой анододержателя, а также демонтажа отработанных анодных токоподводов и реставрации их элементов

I. ПРИНЯТАЯ В МИРОВОЙ ПРАКТИКЕ ТЕХНОЛОГИЯ			II. ПРЕДЛАГАЕМАЯ НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ			
№	Наименование Операции	Используемое оборудование	Операционный эскиз	Реконструкция оборудования или изготовление вновь	Операционный эскиз	Примечание
1	Вибропрессование	Вибропресс.		Доработка пуансона вибропрессформы		См. Рисунки 3.4 и, 3.5
2	Транспортировка зеленых анодов	Приводные конвейеры. Элеватор. Гравитационные конвейеры.		Изменений нет		
3	Обжиг анодов	Лонжеронные конвейеры. Специальные краны. Обжиговая печь.		Изменений нет		
4	Очистка анодов	Лонжеронные конвейеры. Гравитационные конвейеры. Установка зачистки -поверхности анода -ниппельного гнезда		Изменений нет, но вместо установки чистки ниппельного гнезда устанавливается Станок для протяжки паза клинового.		Станок устанавливается в цехе обжига после установки зачистки сторон анода Рисунки 3.6 – 3.11

5	Транспортировка обожженных анодов	Гравитационный конвейер, элеватор Столы поворотные.		Частично ликвидируются		
6	Транспортировка огарков с анододержателями после электролиза	Анодовозы с поддонами для огарков с анододержателями.		Автосамосвалы типовые для перевозки отработанных огарков на узел дробления		Замена специальных анодовозов на типовые автосамосвалы
7	Дробеметная очистка кронштейнов анододержателей	Дробеметная машина для очистки кронштейнов анододержателей		Ликвидировать дробеметную машину Изготовить и установить станок зачистки клинового кронштейна проволочными щетками		Установить станок для зачистки клинового кронштейна на участке монтажа анодов ЭП.
8	Дробление и транспортировка огарков в ЦППЭ	Прессы крупных, нормальных огарков. Ленточные транспортеры. Щековая дробилка. Конусная дробилка. Пресс бракованных анодов.		Ликвидировать прессы крупных, нормальных огарков. Ликвидировать ленточные транспортеры.		Расширить участок переработки бракованных анодов
9	Зачистка штанг Анододержателей	Машина чистки штанг анододержателей		Перенос на участке монтажа анодов ЭП.		

10	Снятие чугунной заливки с ниппелей анододержателей.	Пресс съёма чугуна		Ликвидировать. Посты монтажа анодов - на участок монтажа анодов электролизного производства.		Монтаж анодов производить на участке монтажа анодов ЭП См. Рисунки 3.12 – 3.14
11	Транспортировка возвратного чугуна.	Линия транспортировки возвратного чугуна.		Ликвидировать.		
12	Графитация ниппелей	Станция графитации ниппелей		Ликвидировать.		
13	Монтаж анодов (заливка чугуна)	Станция монтажа анодов с печами ИЧТ, заливочные монорельсовые тележки с ковшами жидкого чугуна.		Ликвидировать.		
14	Транспортировка внутри ЦППЭ	Монорельсовый конвейер с системой адресования и с самоходными тележками.		Ликвидировать.		

15	Транспортировка смонтированных анодов из ЦППЭ в электролизное производство.	Анодовозы Тягачи ЕСЛ . Конвейер с лифтовым подъёмником и др.		Ликвидировать, кроме автомобилей для перевозки анодных блоков.		
16	Переработка электролита	Щековая дробилка. Ленточные конвейеры. Автосамосвалы		Ликвидировать.		Щековую дробилку установить на участке монтажа анодов ЭП.
17	Переработка огарков анодов	Дробильно-размольное оборудование. Ленточные конвейеры.		Изменений нет		Требуется расширить участок переработки бракованных анодов из-за работ по п. 8.
18	Транспортировка бракованных анодов	Линия транспорта SUPRIM		Гравитационный конвейер от участка обжига анодов до отделения переработки огарков объединить в 1 линию.		Лифтовый подъёмник. Приводной роликовый конвейер демонтируют

По пункту 1 указанного техпроцесса, с целью изготовления анодных блоков в условиях ГУП «ТАЛКО» по разработанной рабочей конструкторской документации (РКД) ГУ НИИМ ГУП «ТАЛКО» (рис. 3.4) была изготовлена пресс-форма (рис. 3.5) при помощи которой планируется отформовать для последующего обжига 30 штук экспериментальных анодных блоков.

В настоящее время изготовленная по РКД пресс-форма передана в СПЦ ПА для установки на вибропрессе одной из технологических линий СПЦ ПА.

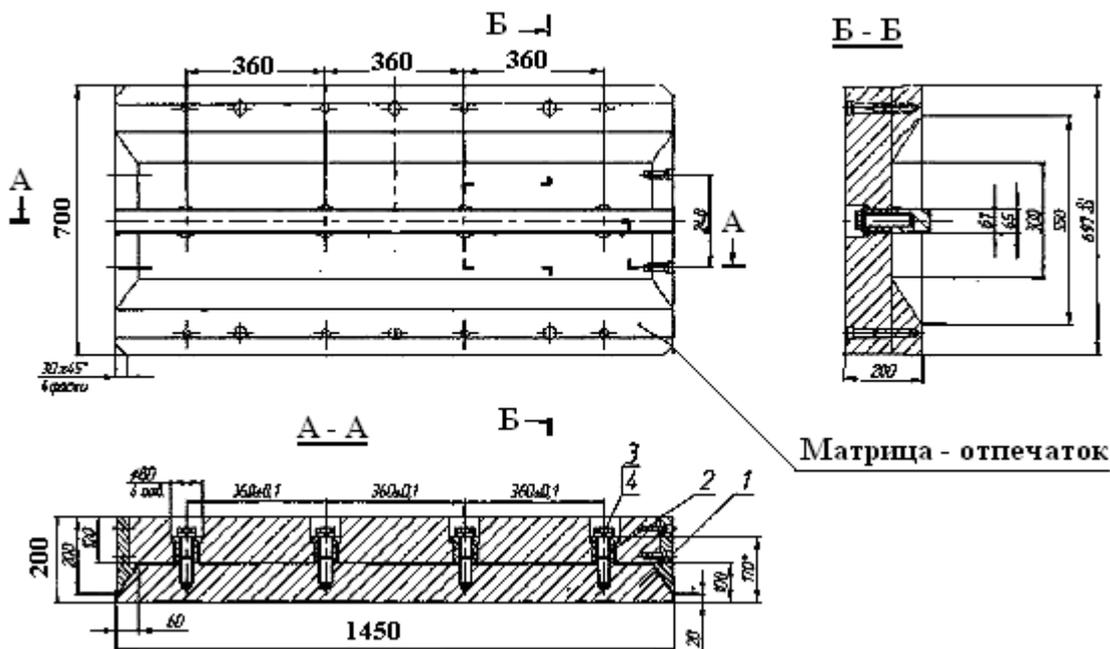


Рисунок 3.4 - РКД пресс-формы для изготовления опытных анодных блоков.

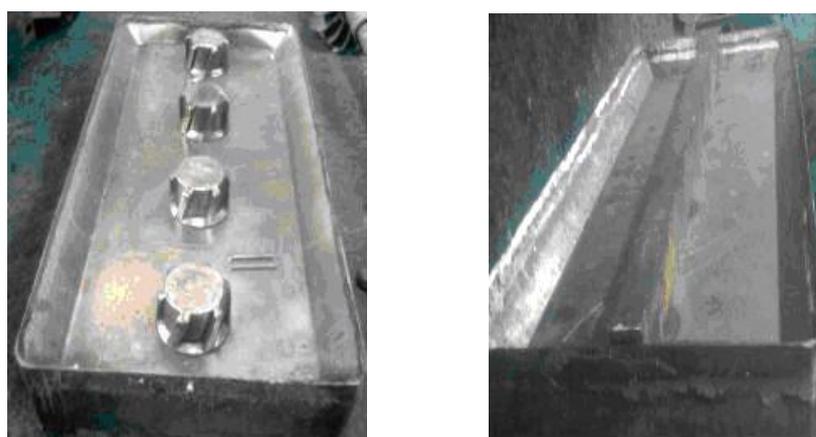


Рисунок 3.5 - Пресс-форма для изготовления опытных анодных блоков.

Конструкторы Института разработали проект усовершенствованных стенов (линии) для протягивания трапециевидного паза в аноде и сборки экспериментальных анододержателей с анодными блоками (рис. 3.6 – 3.14).

Процесс подготовки станда для формирования трапециевидного паза в анодном блоке и сборки анодного блока со стальным кронштейном.

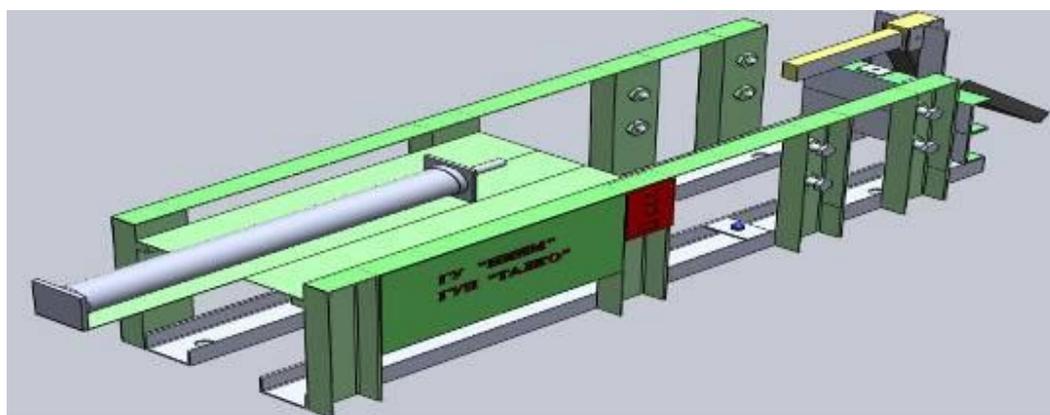


Рисунок 3.6 - Подготовка станда для приёма и фиксации положения АБ

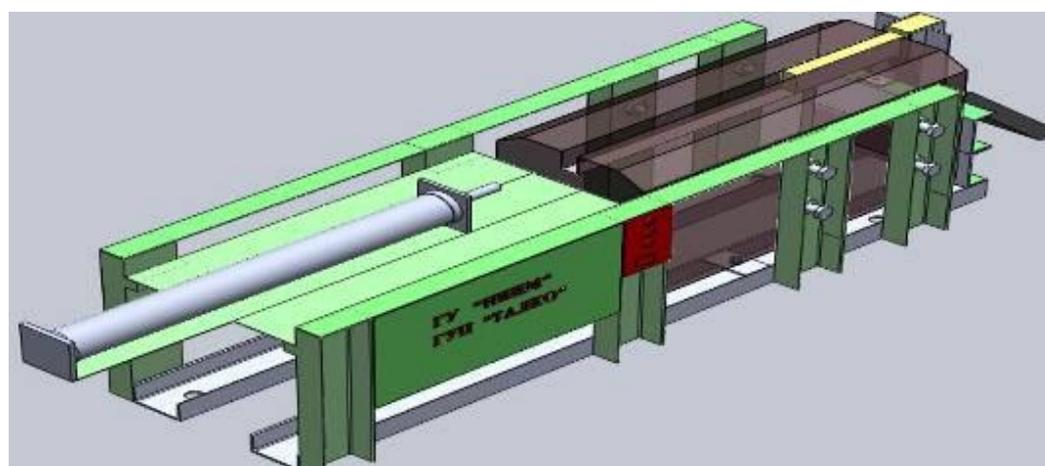


Рисунок 3.7 - Установка анодного блока (приём и фиксация положения АБ)

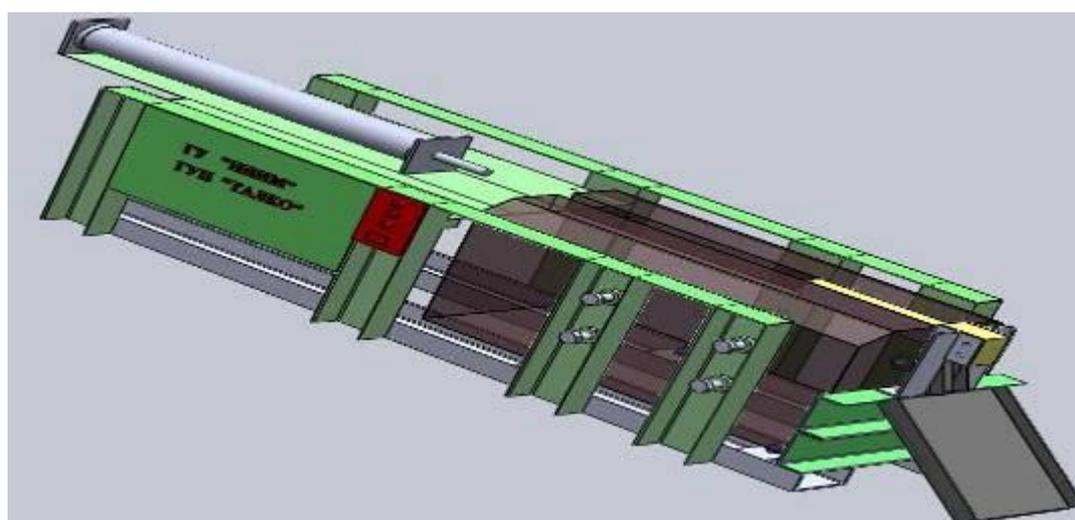


Рисунок 3.8 - Подготовка анодного блока к процессу формирования паза трапециевидного методом протягивания

Процесс формирования трапецевидного паза методом протягивания.

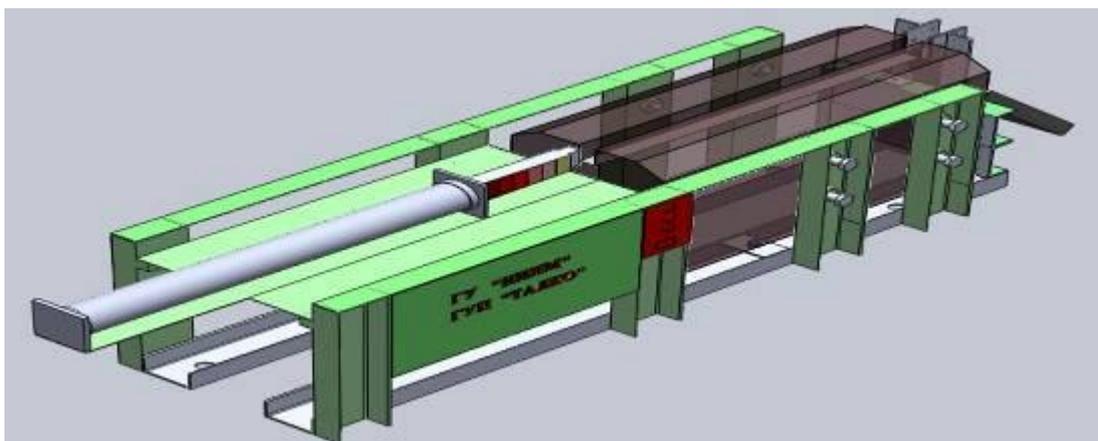


Рисунок 3.9 - Начало процесса протягивания трапецевидного паза

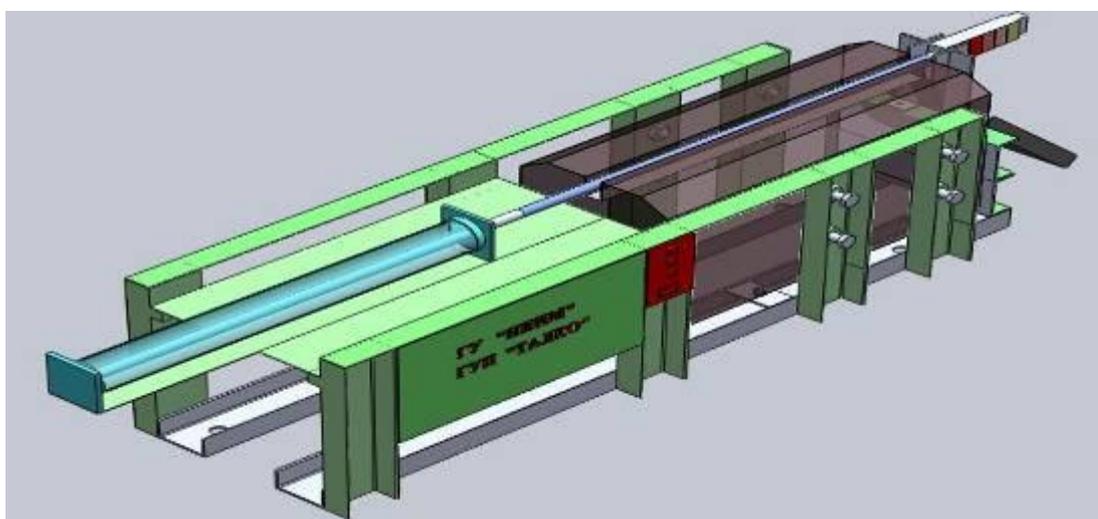


Рисунок 3.10 - Завершение процесса протягивания трапецевидного паза

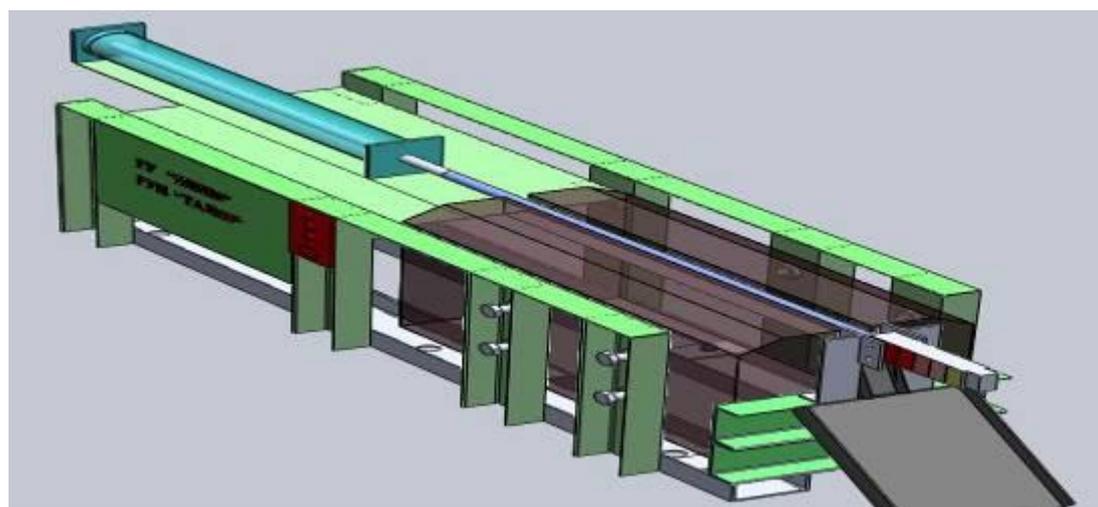


Рисунок 3.11 - Завершение процесса протягивания трапецевидного паза с удалением крошки объёмом около 3 дм³

Процесс сборки анодного блока со стальным кронштейном

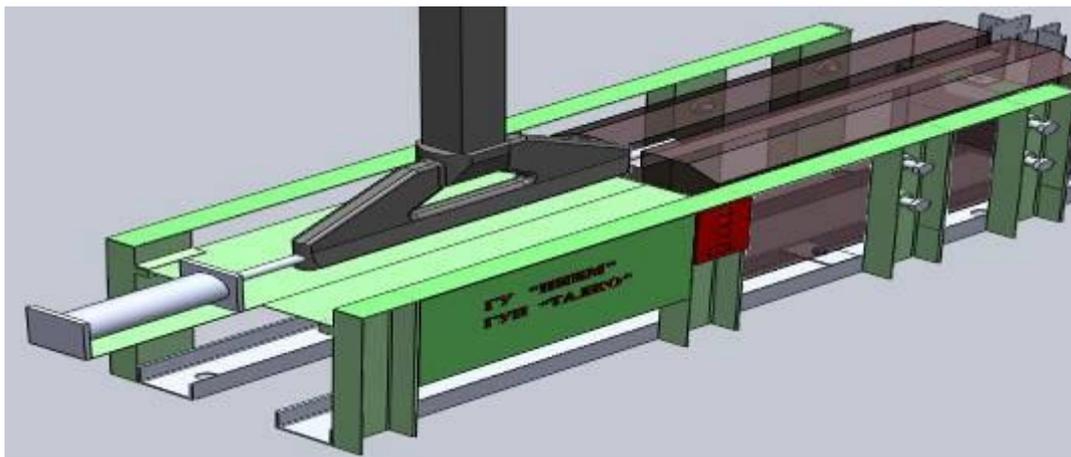


Рисунок 3.12 - Начало процесса сборки анодного блока с кронштейном

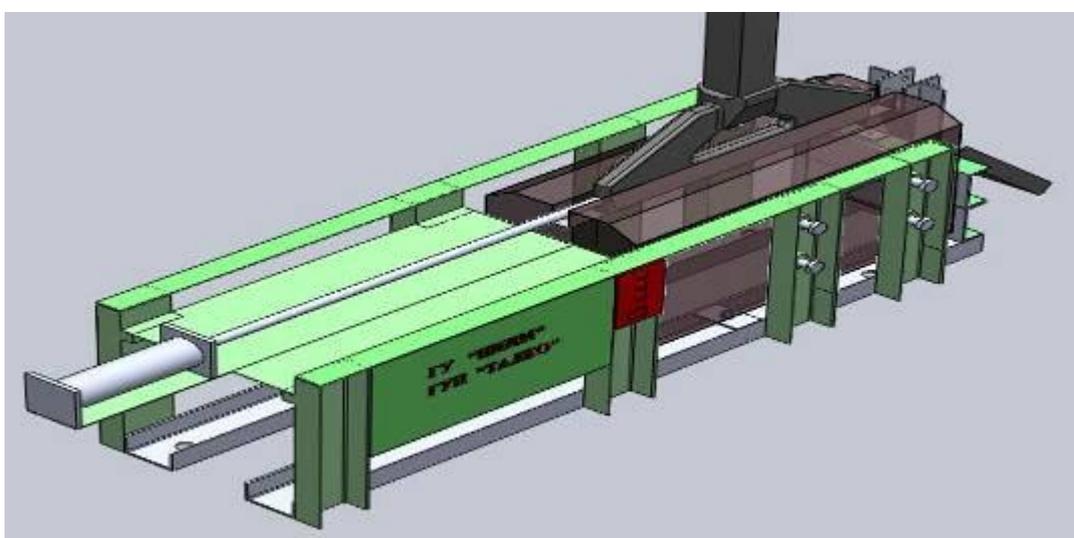


Рисунок 3.13 - Завершение процесса сборки анодного блока с кронштейном

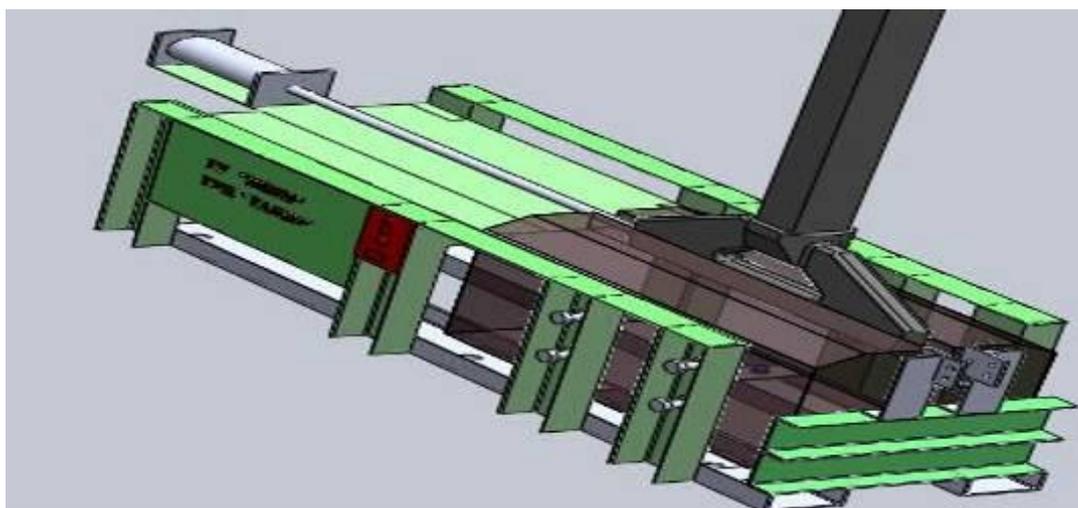


Рисунок 3.14 - Завершение процесса сборки анодного блока с кронштейном с удалением излишков электропроводной смазки

По пункту 4 указанного техпроцесса

Расчет режима фрезерования трапецевидного паза в анодном блоке

1.1 Выбор материала режущей части

Выбираем фрезу, оснащенную пластинками твердого сплава для работы при равномерных и ударных нагрузках – ВК8 (большие скорости резания при чистовой обработке).

1.2 Схема фрезерования.

Выбираем симметричную схему фрезерования, при которой ось торцевой фрезы проходит через среднюю линию обрабатываемой поверхности.

Симметричное торцевание называется полным, когда диаметр D равен ширине обрабатываемой поверхности B (рис. 3.15)

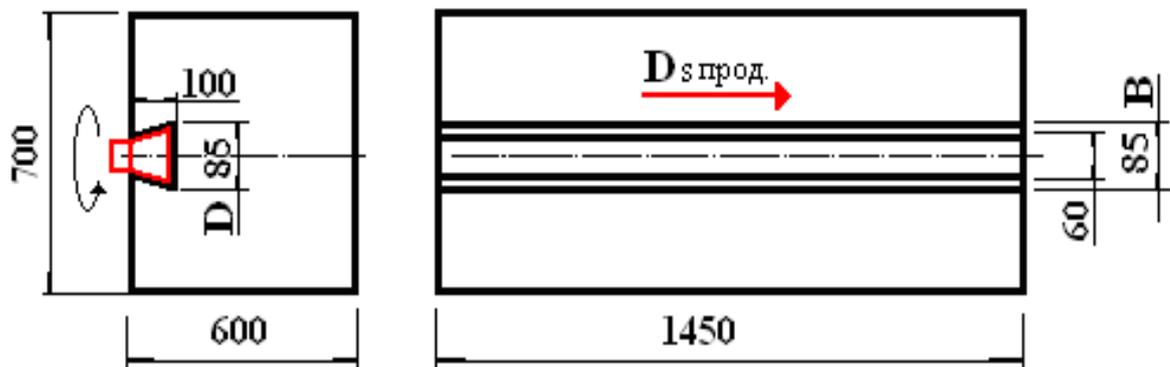


Рисунок 3.15 - Симметричная схема фрезерования

где: D – диаметр фрезы;

B – ширина фрезеруемого паза;

D_s пр. – движение продольной подачи.

1.3 Назначение глубины резания.

Глубину резания t выбирают от припуска на обработку, мощности и жесткости станка. Задано по проекту $t = 12,5$ мм.

Подача на один оборот фрезы $S_{об}$ – мм /об - это перемещение любой точки фрезы за время, соответствующее одному обороту фрезы.

Подача на зуб фрезы S_z – мм/зуб - перемещение рассматриваемой точки заготовки за время, соответствующее повороту фрезы на один угловой шаг зуба.

Зависимость $S_{об} = S_z \cdot z$ и $V_s = S_{об} \cdot n$, где:

z - число зубьев фрезы, равно – 8;

n - число оборотов фрезы в минуту, равно – 400 об/мин;

Т.е. максимально возможная скорость резания может составить –

$$V_s \text{ макс} = S_{об} \cdot n = S_z \cdot z \cdot n = 0,1 \cdot 8 \cdot 400 = 320 \text{ мм/мин.}$$

1.4 Назначение скорости резания.

Действительная скорость резания (V_s) определяется по формуле:

$$V_s = (\pi \cdot D \cdot n) : 1000 = (3,14 \cdot 85 \cdot 400) : 1000 = 106,76 \text{ мм/мин.}$$

где: D – диаметр фрезы в мм, равен 85 мм;

n – число оборотов фрезы в минуту, равно – 400 об/мин;

2. Расчет времени выполнения операции фрезерования

2.1 Расчет основного времени

Расчет основного времени (T_o) определяется по формуле:

$T_o = L_i : n \cdot S_{об}$; имея в виду, что $V_s = S_{об} \cdot n$, то окончательно

$$T_o = L_i : V_s; \text{ Здесь } L_i = L + 4 \cdot L_1 + 4 \cdot L_2 = 1450 + 4 \cdot 42,5 + 4 \cdot 10 = 1660 \text{ мм}$$

где: L – общая длина фрезерования равна длине обрабатываемой заготовки, т.е. $L = 1450$ мм;

L_1 – величина врезания для условия симметричного фрезерования определяется из зависимости $0,5D = 0,5 \times 85 = 42,5$ мм;

L_2 – величина перебега фрезы принимается 10 мм.

$$\text{Тогда } T_o = L_i : V_s = 1660 : 106,76 = 15,55 \text{ мин.}$$

2.2 Расчет штучного времени

Штучное время (Тшт) производится по формуле:

$T_{шт} = T_0 + T_{вс} + T_{овс} + T_{отд.}$, где:

$T_{вс}$ – вспомогательное время (норматив 0,3 мин)

$T_{овс}$ – основное вспомогательное время (норматив 0,7 мин)

$T_{отд.}$ – время на отдых и естественные надобности (0,73 мин)., тогда,

$T_{шт} = T_0 + T_{вс} + T_{овс} + T_{отд.} = 15,55 + 0,3 + 0,7 + 0,73 = 17,28$ мин

2.3. Расчет такта выпуска

Такт выпуска (τ) определяется по формуле:

$$\tau = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi, \text{ где:}$$

Π – производительность всех технологических линий в год, равна 365000 т/год;

$\Phi_{\text{э}}$ – действительный годовой фонд времени при односменном режиме работы – 2100 часов;

$\Phi_{\text{э} 2}$ – действительный годовой фонд времени при двухсменном режиме работы – 4200 часов;

$\Phi_{\text{э} 3}$ – действительный годовой фонд времени при трехсменном режиме работы – 6300 часов.

Тогда такт выпуска продукции при односменном режиме работы (τ_1) будет равен $\tau_1 = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi = 60 \cdot 2100 : 365000 = 0,345$ мин.

Такт выпуска продукции при двухсменном режиме работы (τ_2) будет равен $\tau_2 = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi = 60 \cdot 4200 : 365000 = 0,69$ мин.

Такт выпуска продукции при трехсменном режиме работы (τ_3) будет равен $\tau_3 = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi = 60 \cdot 6300 : 365000 = 1,036$ мин.

Минимальное количество станков для выполнения годовой программы, даже при трехсменном режиме работы составит – $(T_{шт.} : \tau_3) = 17,28 \text{ мин} : 1,036 \sim$ около 17 шт. станков, а исходя из 4-х технологических линий обжига, количество станков будет равно 18, т.е. по 5 станков на 2-х линиях и по 4 станка на 2-х оставшихся линиях.

Указанные технические решения и компоновка дополнительного оборудования потребуют больших капиталовложений и, самое главное, невозможны с точки зрения конструктивного размещения на существующих производственных площадях.

Поэтому принято решение по переходу на другую схему формирования анодного паза, а именно формирование анодного паза способом протягивания (см. рис. 3.16)

Расчет режима протягивания трапецевидного паза в анодном блоке

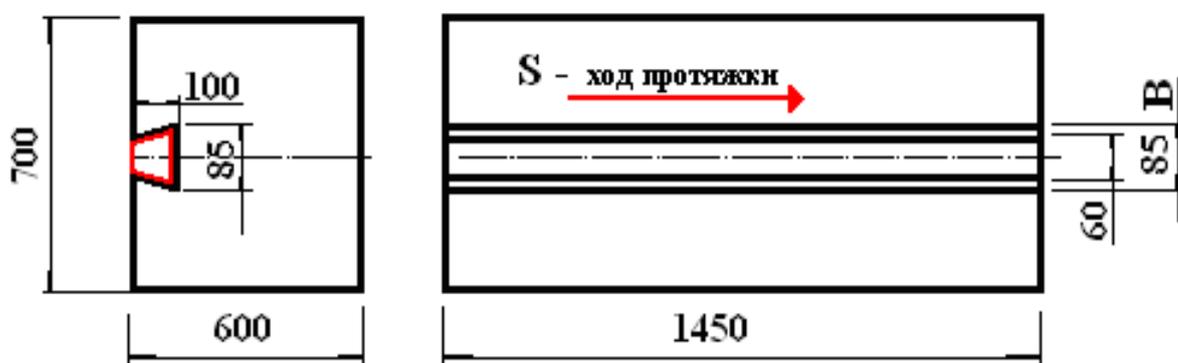


Рисунок 3.16 - Схема протягивания.

Профиль поперечного сечения заготовки – (64 x 60 x 100) мм

Длина заготовки, $L_{\text{заг}} = 1450$ мм;

Материал: обожженный анод – углеродный массив.

Припуск на обработку $A_0 = 12,5$ мм.

Допуск $\pm 0,5$ мм.

Определение последовательности протягивания поверхностей заготовки – все плоскости обработать одновременно.

Определение угла наклона зубьев ω , осевого t_0 и нормального t_n шагов, высоту h и форму стружечных канавок.

1.1 Определение осевого шага по формуле:

$$t_0 = 1,6 \cdot \sqrt{L_{\text{заг}}} = 1,6 \cdot \sqrt{1450} = 1,6 \cdot 38 = 60,8 \text{ мм.}$$

1.2 Выбор подачи на зуб, $S_{св} = 12,5 : 5 = 2,5$ мм.

1.3 Определение суммарной длины одновременно работающих зубьев по формуле.

$$\sum B = L_{заг} \cdot B : t_o \cdot \cos \omega \cdot Z_r = 1450 \cdot 85 : 65 \cdot 1 \cdot 10 = 189,6 \text{ мм.}, \text{ где:}$$

$L_{заг}$ – длина заготовки, равно 1450 мм;

ω – угол наклона зубьев, равен – 0,

Z_r – число зубьев в группе, равно 10 шт.

1.4 Определение наибольшей силы резания

При $S_{св} = 2,5$ мм и $HВ = 80$ находим силу, приходящую на 1 мм длины лезвия протяжки $P_s = 234$ Н/мм.

Тогда по формуле определяем наибольшую силу резания

$$P_{п} = P_s \sum E = 234 \times 189,6 = 44366,4 \text{ Н}$$

1.5 Расчет тяговой силы станка

$$P_s = 44366,4 : 0,9 = 50 \text{ КН}, \text{ где к.п.д. станка} = 0,9.$$

1.6 Определение скорости протягивания

Скорость протягивания назначаем 1,0 м/мин, исходя из рабочего хода штока гидроцилиндра от 0,3 м/мин до 1,2 м/мин (данные паспорта).

1.7 Расчет штучного времени

Штучное время ($T_{шт}$) производится по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_{вс} + T_{овс} + T_{отд.}, \text{ где:}$$

T_o – основное время определяем исходя из отношения общей длины обрабатываемой заготовки, т.е. $L_o = [L + (L_{протяжки} + L_{протяжки})] = [1450 + (500 + 500)] = 2450$ мм к скорости протягивания 1000 мм/мин.

$$T_o \text{ есть, } T_o = 2450 : 1000 = 2,45 \text{ мин.};$$

$T_{вс}$ – вспомогательное время (норматив 0,3 мин);

$T_{овс}$ – основное вспомогательное время (норматив 0,7 мин);

$T_{отд}$ – время на отдых и естественные надобности (0,73 мин). Тогда,

$T_{шт} = T_0 + T_{вс} + T_{овс} + T_{отд} = 2,45 + 0,3 + 0,7 + 0,73 = 4,2$ мин.

1.8 Расчет такта выпуска

Такт выпуска (τ) определяется по формуле:

$$\tau = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi, \text{ где:}$$

Π – производительность всех технологических линий в год, равна 365000 тонн/год;

$\Phi_{\text{э}}$ – действительный годовой фонд времени при односменном режиме работы – 2100 часов;

$\Phi_{\text{э}2}$ – действительный годовой фонд времени при двухсменном режиме работы – 4200 часов;

$\Phi_{\text{э}3}$ – действительный годовой фонд времени при трехсменном режиме работы – 6300 часов.

Тогда такт выпуска продукции при односменном режиме работы (τ_1) будет равен $\tau_1 = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi = 60 \cdot 2100 : 365000 = 0,345$ мин.;

Такт выпуска продукции при двухсменном режиме работы (τ_2) будет равен $\tau_2 = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi = 60 \cdot 4200 : 365000 = 0,69$ мин.;

Такт выпуска продукции при трехсменном режиме работы (τ_3) будет равен $\tau_3 = 60 \cdot \Phi_{\text{э}} : \Pi = 60 \cdot 6300 : 365000 = 1,036$ мин.

Минимальное количество станков для выполнения годовой программы, даже при трехсменном режиме работы составит – ($T_{шт.} : \tau_3$) = 4,18 мин. : 1,036 мин. = 4,03 ~ около 4 шт. станков, а исходя из 4-х технологических линий обжига, количество станков примем с запасом - 4 станка, т.е. по одному станку на одну линию.

Проверка: $[L + (L_{\text{протяжки}} + L_{\text{протяжки}})] : V_{\text{протяжки}} \cdot \Phi_{\text{э}} \cdot 60 =$

$$[1450 + (500 + 500)] : 1000 \cdot 6300 \cdot 60 = 463000 \text{ штук анодов.}$$

Указанное техническое решение и компоновка дополнительного оборудования не потребуют больших капиталовложений.

Самое главное, станок будет прост по конструкции, изготовление его возможно силами и средствами ремонтной базы ОАО «ТАЛКО», а также не будет проблем по их конструктивному размещению на существующих производственных площадях.

Принятое решение правильно как с технической, так и с экономической точек зрения, к тому же производительность установок обеспечивает выпуск продукции с запасом от необходимой потребности предприятия в анодных токоподводах.

Выводы по данному этапу работ:

Выполнен сравнительный анализ механической обработки паза анода фрезерованием и методом протягивания. Расчеты показали, что метод протягивания анодного паза более предпочтителен.

В связи с этим:

1. Спроектированы три вида протяжек по видам: генераторной схеме, классической и укороченной. Наиболее приемлема протяжка по укороченной схеме, согласно которой и спроектирована протяжка в сборе с ножами.

2. Разработаны стенды (линии) для протягивания паза анодного блока и сборки стальных кронштейнов с анодным блоком, с учетом массового производства анодных токоподводов.

3. Конструкция стенда, рабочих и исполнительных органов максимально упрощена, но предусмотрены возможности полной механизации и автоматизации технологических режимов и процессов управления. Одновременно, выполнены унификация и совмещение стендов для протягивания анодного паза и сборки анода с кронштейном.

3.3. Технологии, процессы разборки, ремонта и утилизации анодных токоподводов, отработавших в электролизном производстве.

Для дробления и снятия огарков используют машины для снятия огарков (см. пункт 8 указанного техпроцесса).

Известными производителями этого типа машин являются фирмы Германии Klockner Humboldt Deutsch (KHD) GmbH, Scharf Westphalia GmbH, группа Procedair и Франции - Five Cail Barboske (FCB).

Германская фирма KHD GmbH [58-68] по разработанной рабочей конструкторской документации произвела новые модификации гидравлических прессов для снятия огарков, отходов отработанных анодных блоков АТ. Схема работы указанных гидравлических прессов для снятия огарков основана на выдергивании огарков-остатков анода с ниппелей кронштейна АТ с помощью специальных толкателей, которые перемещаются гидравлическим приводом пресса.

Чтобы выполнить указанную операцию АТ самоходными тележками монорельсового транспорта подаётся к гидравлическим прессам для снятия огарков, где штанга АД фиксируется с обеих сторон центрирующими захватами, а траверсы кронштейна АД до начала выдергивания огарков анода с ниппелей по центру кронштейна тоже жестко фиксируется зажимными гребенками, обжимающими ниппели кронштейна. При этом, сам огарок - остаток от анодного блока АТ располагается параллельно оси шарнирных рычагов пресса.

Схематично принцип работы прессов фирмы KHD GmbH приведен на рисунках 3.17, 3.18.

С учётом конструкции АТ, например, числа ниппелей (3 или 4 ниппеля), формы сечения ниппелей (цилиндрические или прямоугольные), геометрических размеров ниппелей, самого кронштейна анододержателя, вида транспортной системы и других факторов для каждого заказчика разрабатывается индивидуальная конструкция прессов для снятия огарка.

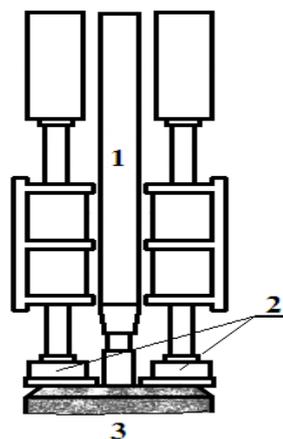


Рисунок 3.17 - Схема снятия огарка с ниппелей

С этой целью фирмой KHD GmbH предложены нижеследующие конструкции прессов с эксцентриковыми шарнирами захватных устройств и с прямым цилиндрическим валом шарнирного механизма.

Для того чтобы, поднять огарок остаток анодного блока в сборе с анододержателем и тем самым разгрузить самоходные тележки сам подвесной монорельсовый конвейер от действия пресса применяются пресса с эксцентриковыми шарнирами захватов, что показано на рисунке 3.17. Когда толкатель пресса (поз.2) опускается вниз, то огарок от анода (поз.3) сдёргивается с ниппеля кронштейна анододержателя АТ.

Другой более простой вид пресса для снятия огарка с прямым цилиндрическим валом шарнирного механизма показан на рисунке 3.18.

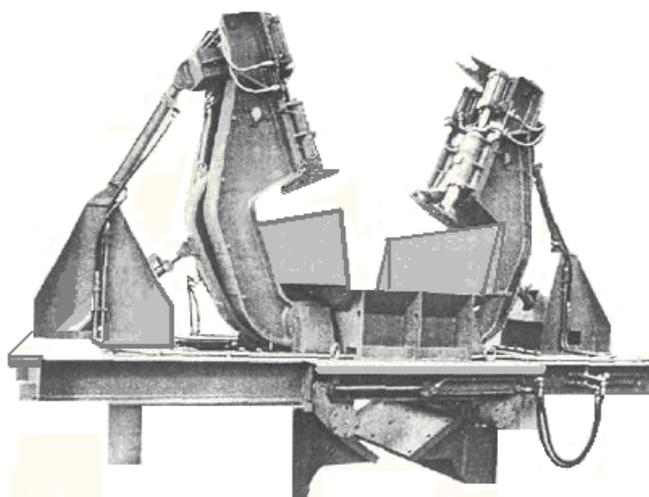


Рисунок 3.18 - Пресс для снятия огарка с прямым цилиндрическим валом

Цикл работы обоих видов прессов, включая управление ими, максимально механизированы и автоматизированы. Оба вида прессов могут быть использованы для снятия огарков с ниппелей цилиндрической и пластинчатой форм. По способу установки пресса для снятия огарков с ниппелей подразделяются на стационарные и мобильные - переносные.

Производительность прессов (анода/час, число прессов) рассчитывают для обеспечения потребности заказчика. Необходимые усилия (до 200 кН на каждом из 4 пуансонов) на прессе для снятия огарков с ниппелей развиваются в зависимости от числа и диаметра ниппелей. Равно как и мощность пресса, которая регулируется давлением (до 16 МПа) в гидравлической системе привода прессов.

Пресс с прямым шарнирным валом для снятия огарков с ниппелей состоит из следующих основных конструктивных узлов (см. рисунок. 3.19).

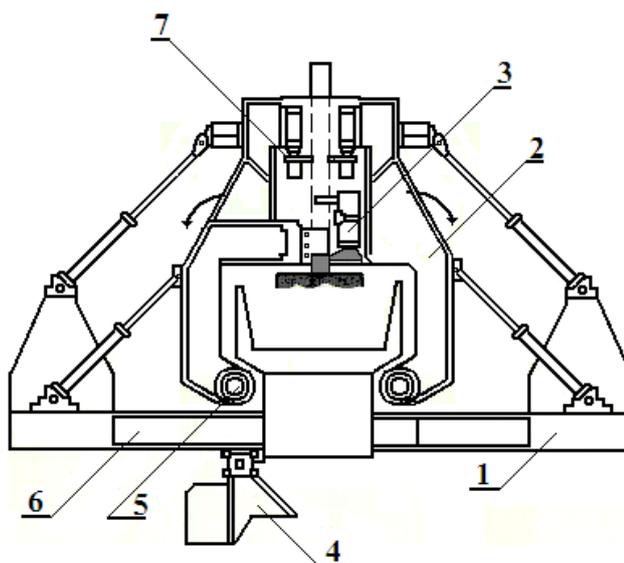


Рисунок 3.19 - Схема пресса с прямым шарнирным валом для снятия огарков с ниппелей

Рама пресса (поз.1), т.е. базовая поверхность с упорами для крепления гидроцилиндров механизма захвата штанги, работающих от гидравлического привода. На этой сварной раме пресса размещены коромысла (шарнирные поворотные захваты), пластины устройства разгрузки (поз.4) и центральная система смазки.

Коромысла (шарнирные захваты) (поз.2), изготовленные в литом и стальном варианте, закреплены на цилиндрических шарнирах (поз. 5) и усилиями гидравлического привода производят открытие и закрытие центрирующих скоб (поз. 7), расположенных в верхней части коромысла, которые позволяют вертикально установить штангу анододержателя АТ.

Гидроцилиндры крепятся к раме и к захватам на шарнирах и работают по принципу шатунного механизма. С внутренней стороны захвата крепятся четыре механизма съема огарка (поз. 3).

Схема снятия анодного огарка с ниппелей кронштейна анододержателя, применяемая в настоящее время

Огарок или остаток анодного блока после процесса электролиза, а также схема снятия анодного огарка показаны на рис. 3.20, 3.21.



Рисунок 3.20 - Остаток анодного огарка.

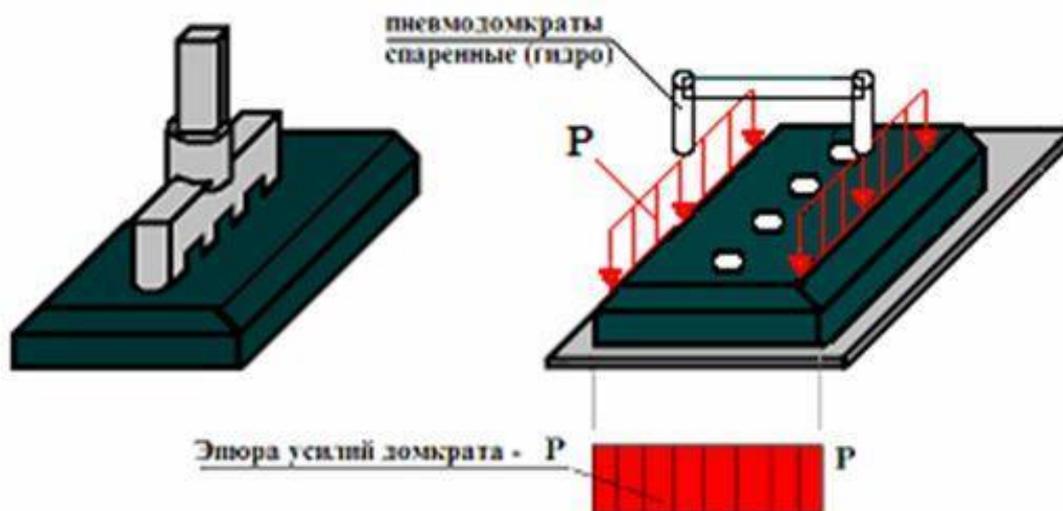


Рисунок -3.21. Схема снятия анодного огарка, применяемая в практике.

Разрушение огарка происходит за счет сдвигивания с ниппелей огарков – сжатием анодного блока по всему массиву. Способ малоэффективен, т.к. материал анодного блока хорошо выдерживает напряжение от сжатия.

Поэтому предлагается новая схема снятия анодного огарка с кронштейна анододержателя.

Огарок после процесса электролиза и новая схема снятия анодного огарка показаны ниже на рисунках 3.22, 3.23.

Предлагаемая новая схема снятия анодного огарка с ниппелей кронштейна анододержателя.



Рисунок 3.22 - Остаток анодного блока после процесса электролиза.

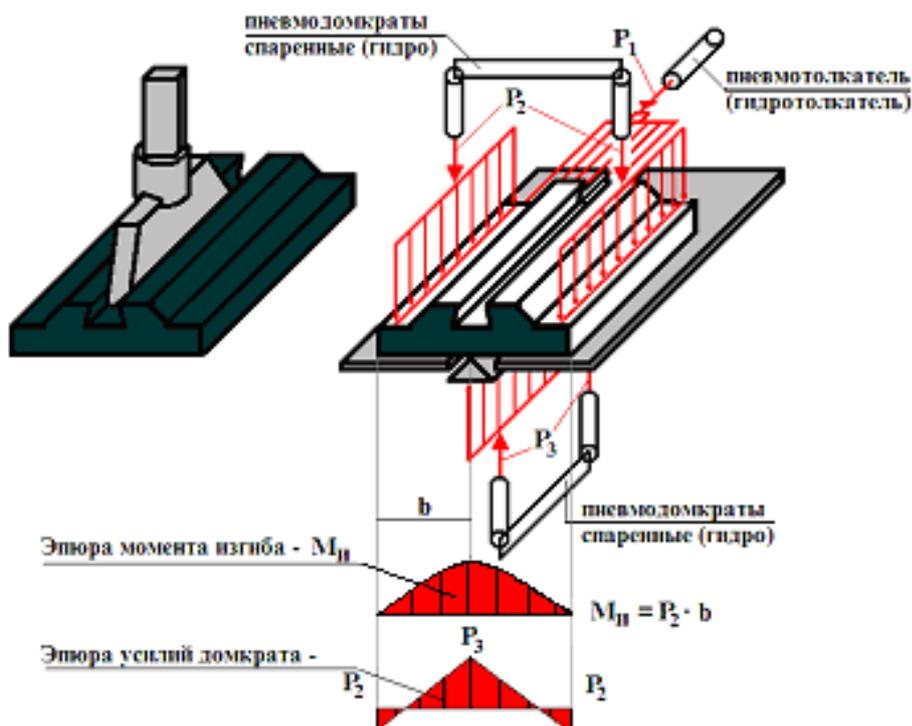


Рисунок 3.23 - Предлагаемая новая схема снятия анодного огарка.

Разрушение огарка происходит за счет излома (изгиба) массива анода в местах концентрации напряжений. Предлагаемый способ разрушения огарка эффективен, т.к. материал анодного блока плохо выдерживает напряжения изгиба.

Указанного эффекта можно достичь, внося небольшие изменения в конструкцию и принцип работы пресса для снятия огарка с прямым цилиндрическим валом шарнирного механизма, а именно:

- сделать стол-плиту, на которую устанавливается огарок, из двух половинок с промежуточным пазом под наконечник клиновой;
- снабдить пневматическим или гидравлическим толкателем для продольной подачи огарка на стол-плиту, при этом, с помощью наконечника клинового одновременно в нижней части огарка будет образована «первая борозда» - концентратор напряжения;
- установить дополнительно пневматический или гидравлический домкрат для подъёма огарка.

Указанные конструктивные изменения по прессу для снятия огарка и вид снятого огарка по предлагаемой схеме показаны на рис. 3.24, 3.25.

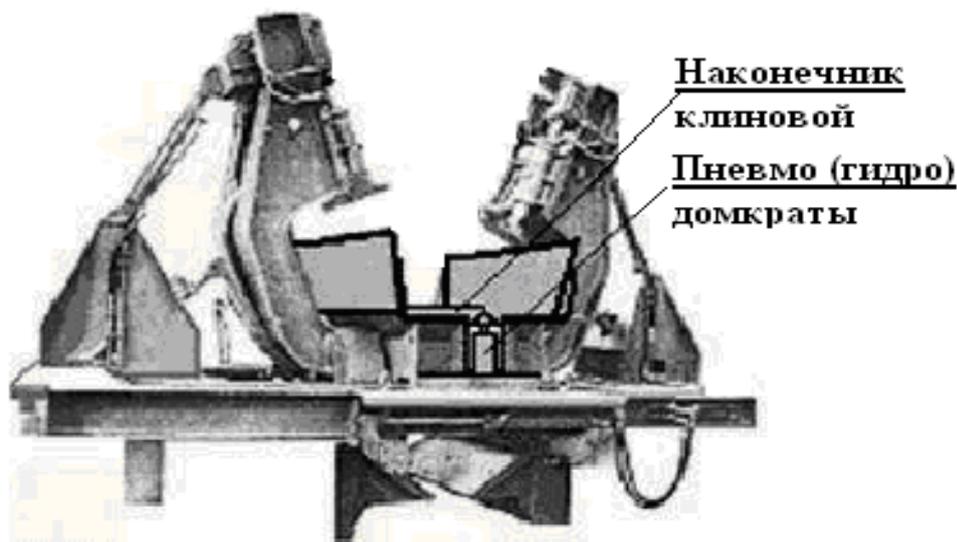


Рисунок 3.24 - Конструктивные изменения по прессу для снятия огарка



Рисунок 3.25 - Вид огарка по предложенной схеме снятия.

Кроме этого, предлагаемый способ устраняет главный недостаток применяемого в настоящее время способа снятия огарка с кронштейна анододержателя путем сдергивания огарка с ниппелей – это неизбежное, негативное воздействие на контактные зоны соединений анододержателя, особенно, в уязвимых местах сварки трением или биметаллических вставок.

При этом отпадает необходимость в операциях по снятию чугунной заливки с ниппелей, которая также сопряжена с вышеуказанным недостатком.

В технологических схемах утилизации – переработки возвратов производства предлагается:

1. Упростить принятые в мировой практике технологии и оборудование по утилизации – переработке возвратов электролизного и анодного производств, а именно – электролита, остатков анода – огарка, чугунной заливки, оплавленных ниппелей.

2. Внедрить новые технологии, схемы, оборудование для удаления и регенерации электролита, снятия – дробления анодных блоков – огарков,

3. Отказаться от значительного количества технологического оборудования по типовой технологии, внося небольшие конструктивные изменения в оставляемое оборудование.

Глава 4. Опытнo-промышленные и стендовые и испытания анодных токоподводов для производства алюминия.

4.1. Стендовые испытания конструктивных узлов усовершенствованных анодных токоподводов.

После сборки анододержателя с анодным блоком были проведены стендовые испытания контактных зон по схеме на рисунках 4.1, 4.2.

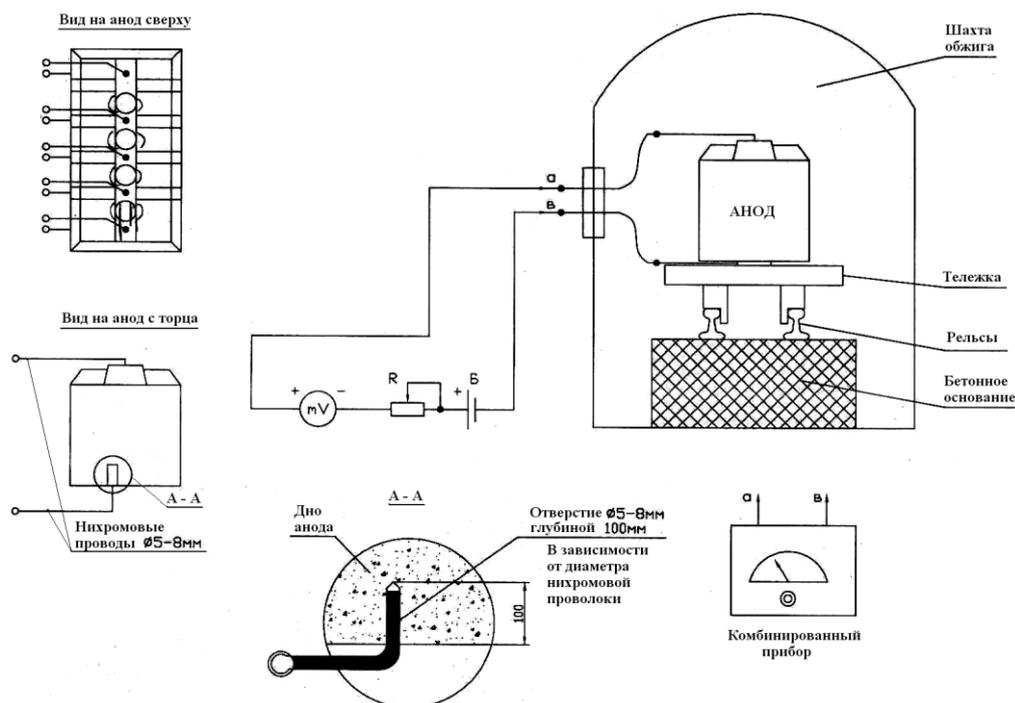


Рисунок 4.1 - Схема стендового замера падения напряжения (ΔU) контакта кронштейна анододержателя с анодом



Рисунок 4.2 - Электрические испытания. Замер перепада электрического напряжения между анодом и кронштейном при зазоре 0,5 мм и силе тока 2 кА

После стендовых испытаний экспериментальный анодный токоподвод был установлен на действующий электролизер С-175 кА ЭП для испытаний.

4.2. Опытно-промышленные испытания физико-механических, электрических и эксплуатационных параметров анодных токоподводов.

На основе практически принятой схемы замеров (рис. 4.3) параметров работы электролизеров составлены программы, методики стендовых и опытнo-промышленных испытаний АТ.

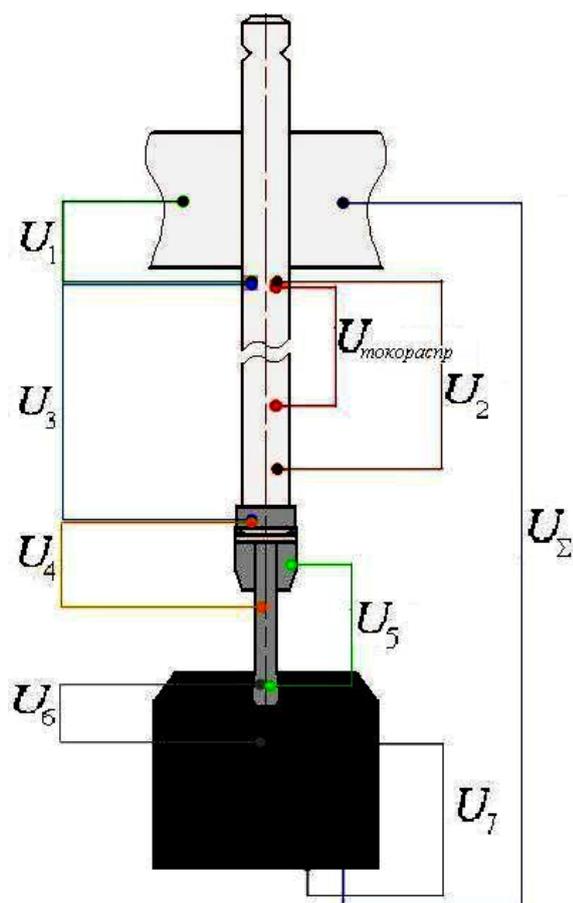


Рисунок 4.3 - Схема замеров перепадов напряжений

На двух электролизерах С-175 кА были проведены опытнo-промышленные испытания АТ, произведены необходимые измерения.

Графически показаны результаты опытнo-промышленных испытаний физико-механических, электрических и эксплуатационных параметров анодных токоподводов (1 этап), проведена проверка работоспособности

экспериментального АТ и выполнено сравнение его эксплуатационных характеристик с серийным АТ– свидетелем в период их работы в ЭП (2 этап).

На рисунке 4.4 показаны распределение тока по анодам и выход на номинальную нагрузку экспериментального и серийного АТ с момента их установки.

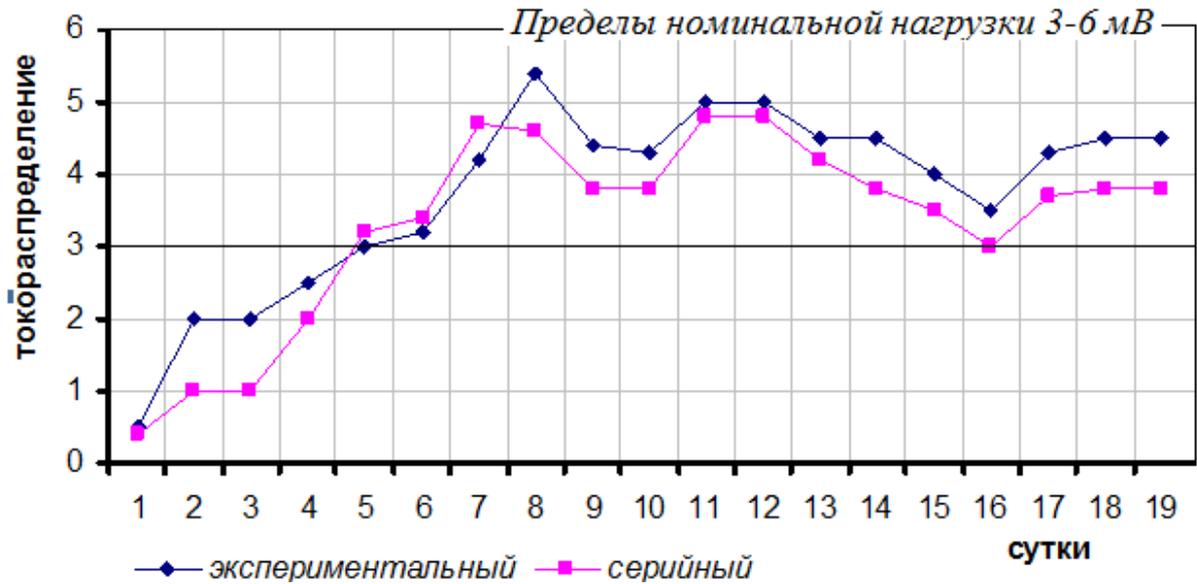


Рисунок 4.4 - Распределение тока по анодным токоподводам

Как видно из рисунка, анодные токоподводы через четверо суток после их установки начинают принимать номинальную нагрузку. Характер выхода на режим работы обоих АТ не имеет существенных различий.

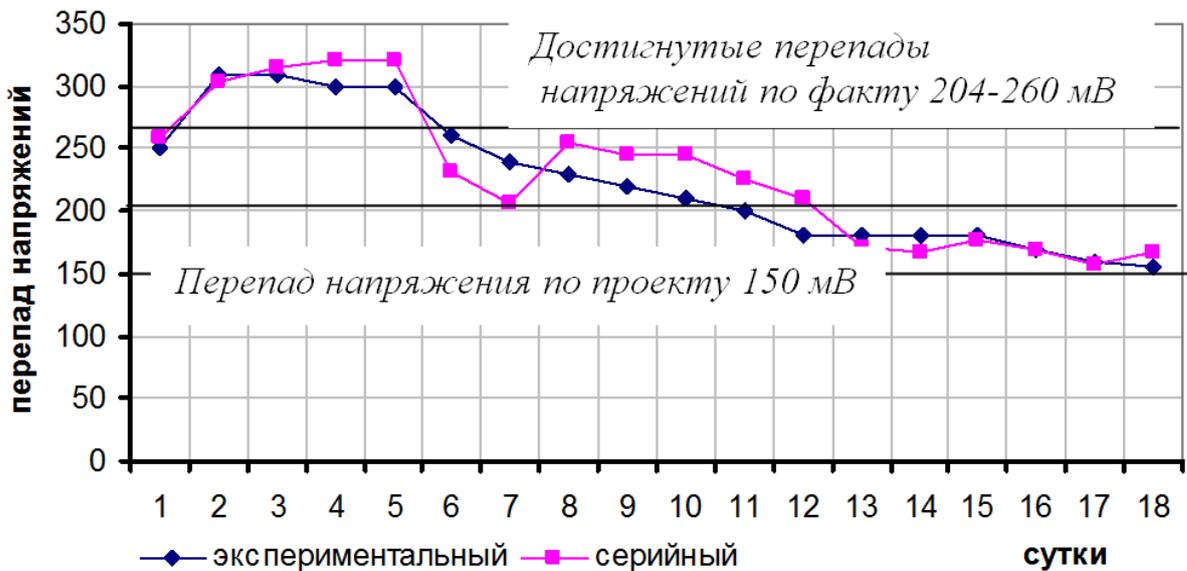


Рисунок 4.5 - Перепад напряжения в контакте кронштейн-анод, (U_6)

В начальный период (рис. 4.5) перепады напряжений в контакте «кронштейн - анод» на обоих АТ достаточно велики (до 320 мВ) и только по истечению 4-5 суток работы показатели АТ нормализуются и достигают величины 150-250 мВ, что выше допустимых норм, но на уровне фактически достигнутых норм перепадов напряжений для электролизеров данного типа.

На рис. 4.6 приведен перепад напряжений в контакте кронштейн-штанга сравниваемых АТ.

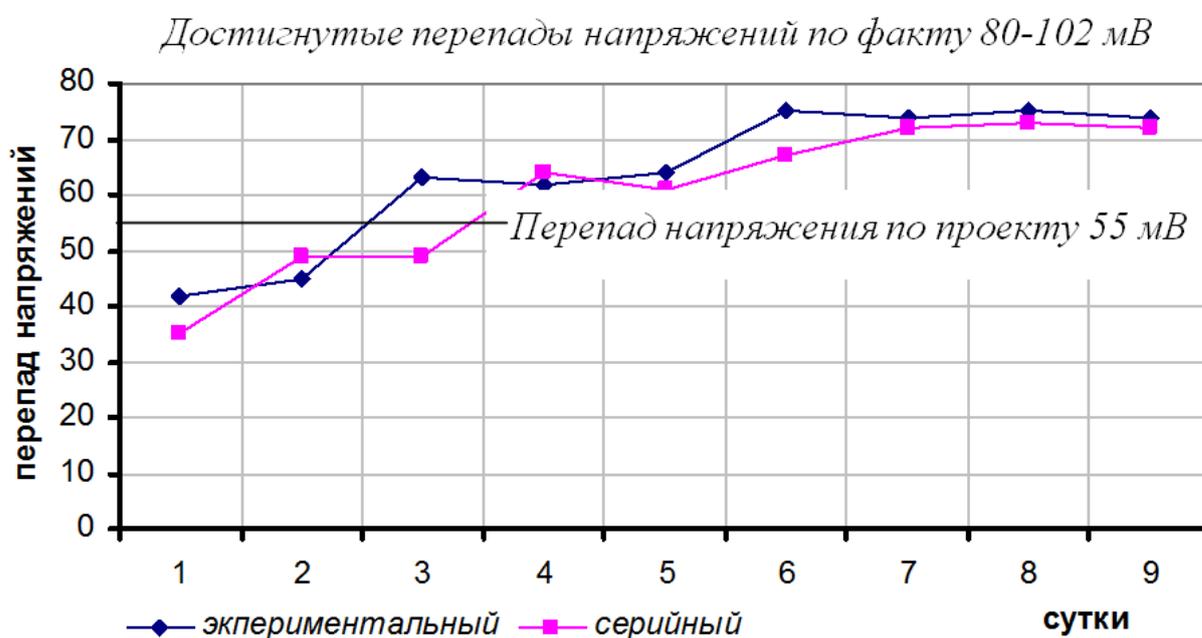


Рисунок 4.6 - Перепад напряжения в контакте кронштейн-штанга

Величины перепадов напряжений в указанных контактных зонах являются близкими по значению и характеры изменения их параметров в течение цикла работы АТ не имеют существенных различий.

Выполненные замеры перепадов напряжений в контактных зонах конструктивных узлов экспериментального и серийного (типового) АТ приведены на рис. 4.7, 4.8, 4.11-4.15.

Кроме указанных замеров по перепадам напряжений, были произведены замеры температуры анодных блоков (рис. 4.9, 4.16), а также самих кронштейнов (рис. 4.10, 4.17).

Эти данные могут быть необходимы для дальнейших расчетов соединения «анодный блок - кронштейн» при их тепловом расширении.

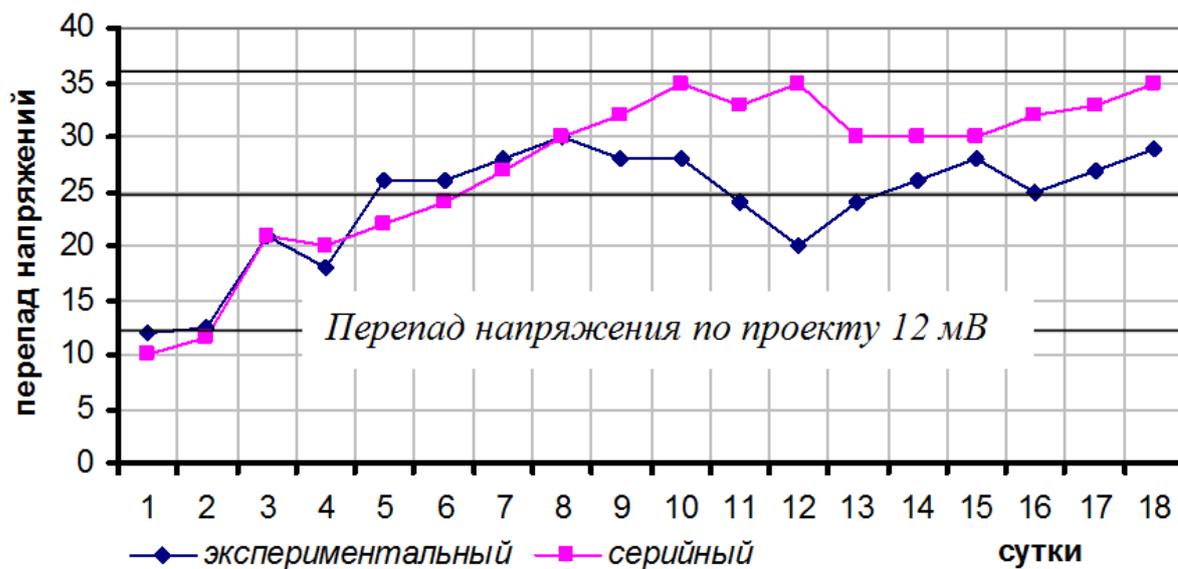


Рисунок 4.7 - Сравнение перепадов напряжений (ΔU) в контакте шина-штанга

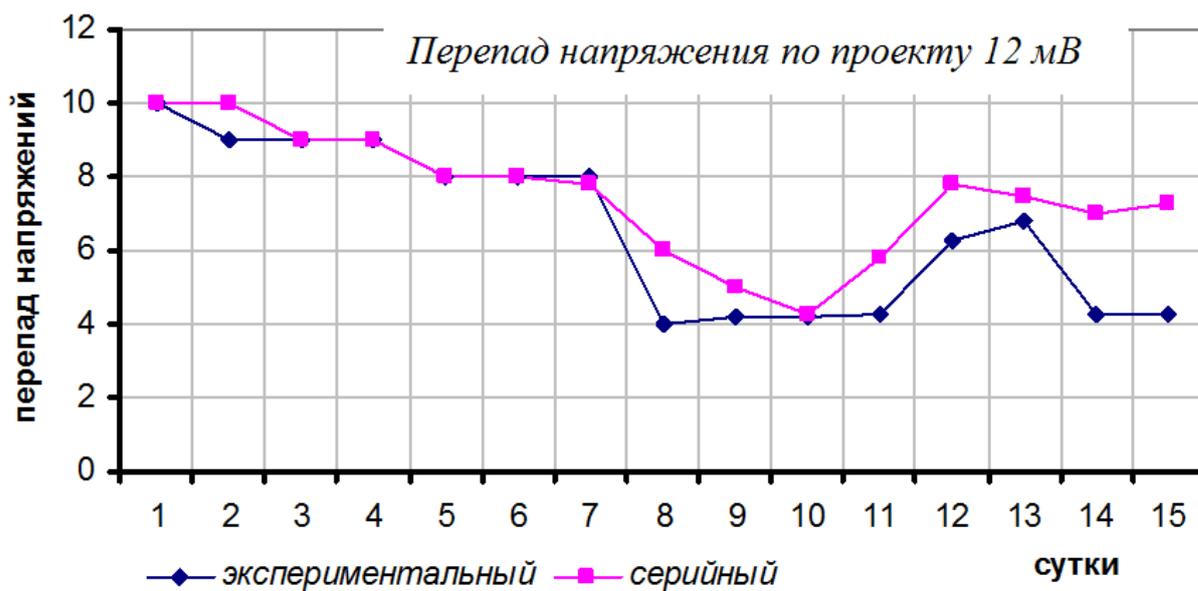


Рисунок 4.8 - Сравнение перепадов напряжений (ΔU) в контакте бобышка-штанга

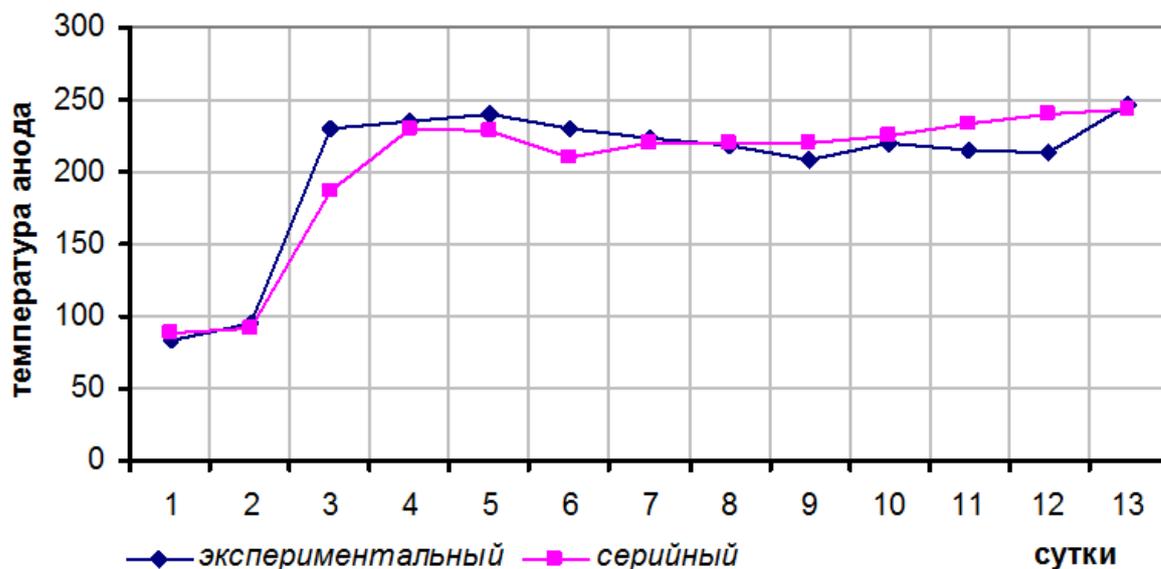


Рисунок 4.9 - Сравнение изменений температуры анодного блока

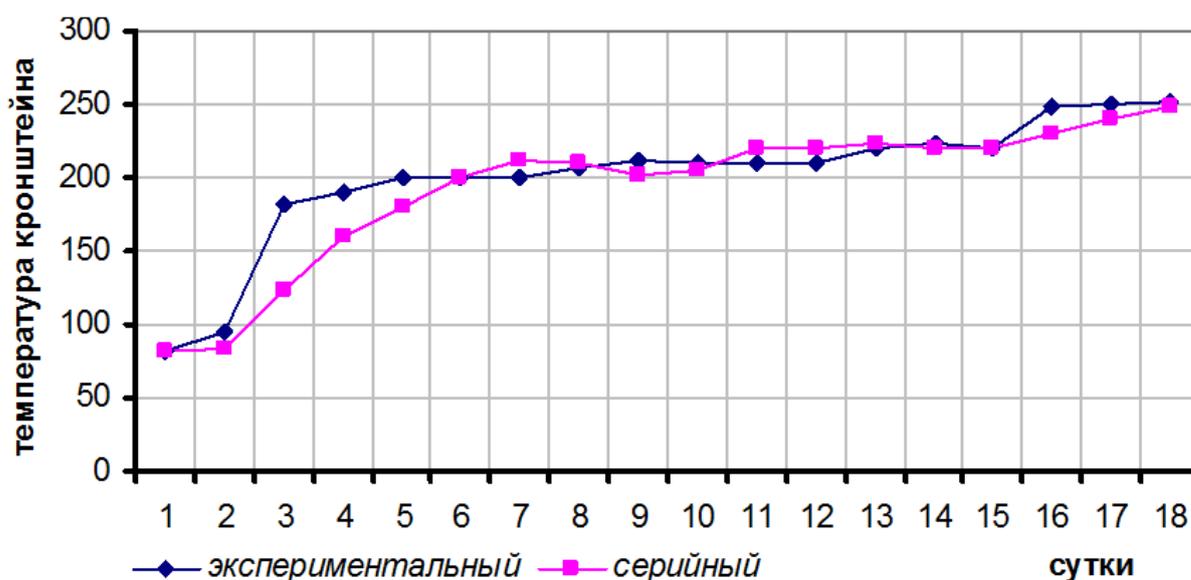


Рисунок 4.10 - Сравнение изменений температуры кронштейна

Указанными замерахми был завершён I этап опытно-промышленных испытаний физико-механических, электрических и эксплуатационных параметров анодных токоподводов – проверка работоспособности экспериментального АТ, сравнение его эксплуатационных параметров работы с серийным АТ,

Затем приступили к второму этапу экспериментальных работ – проверка работоспособности экспериментального АТ (экспериментальный 1), сравнение его эксплуатационных параметров работы с серийным АТ, с одновременной проверкой выбора оптимальной электропроводящей смазки (экспериментальный 2)

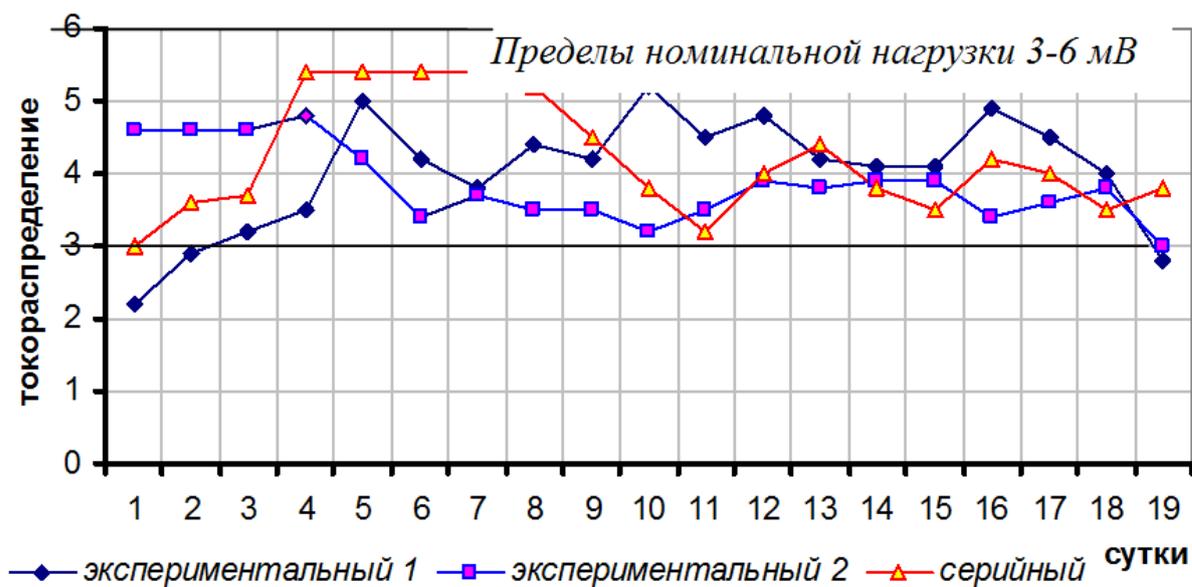


Рисунок 4.11 - Сравнение распределения тока по анодам.

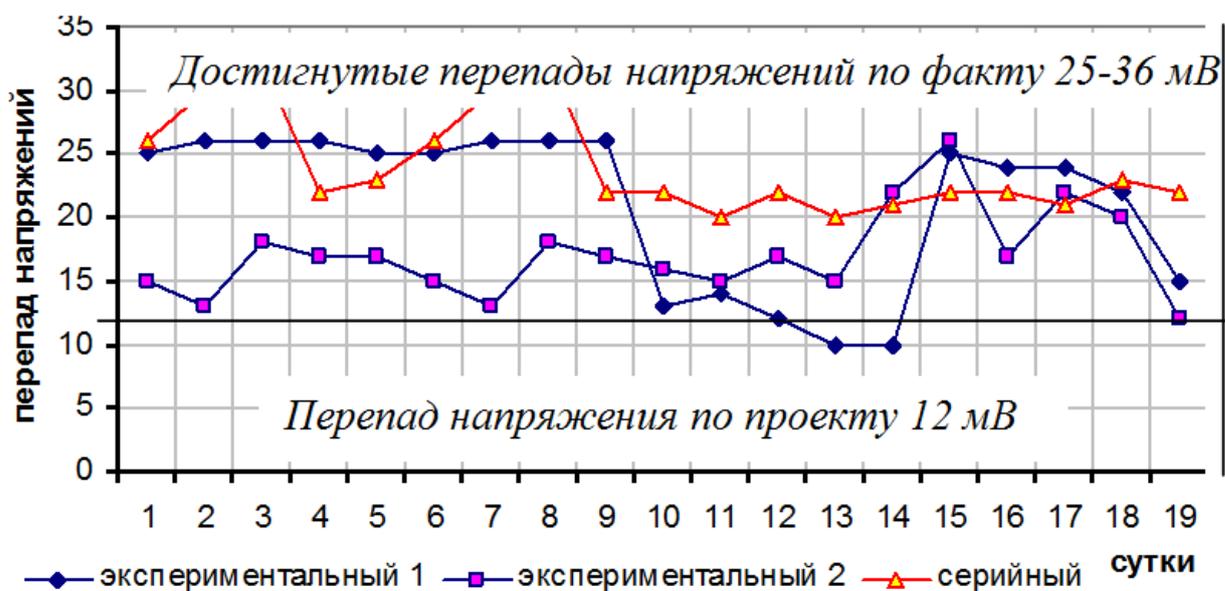


Рисунок 4.12 - Сравнение перепадов напряжений (ΔU) в контакте шина-штанга.

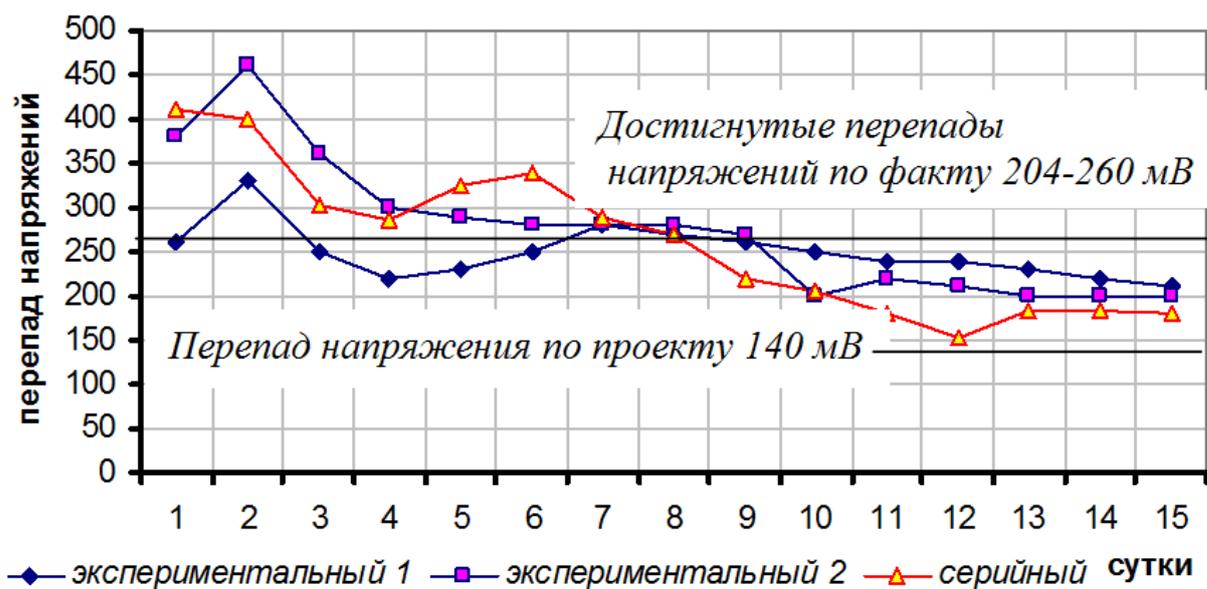


Рисунок 4.13 - Сравнение перепадов напряжений (ΔU) в контакте кронштейн-анод.

Из рисунка 4.13 видно, что перепады напряжений (ΔU) в контакте кронштейн-анод намного превышают допустимые перепады .

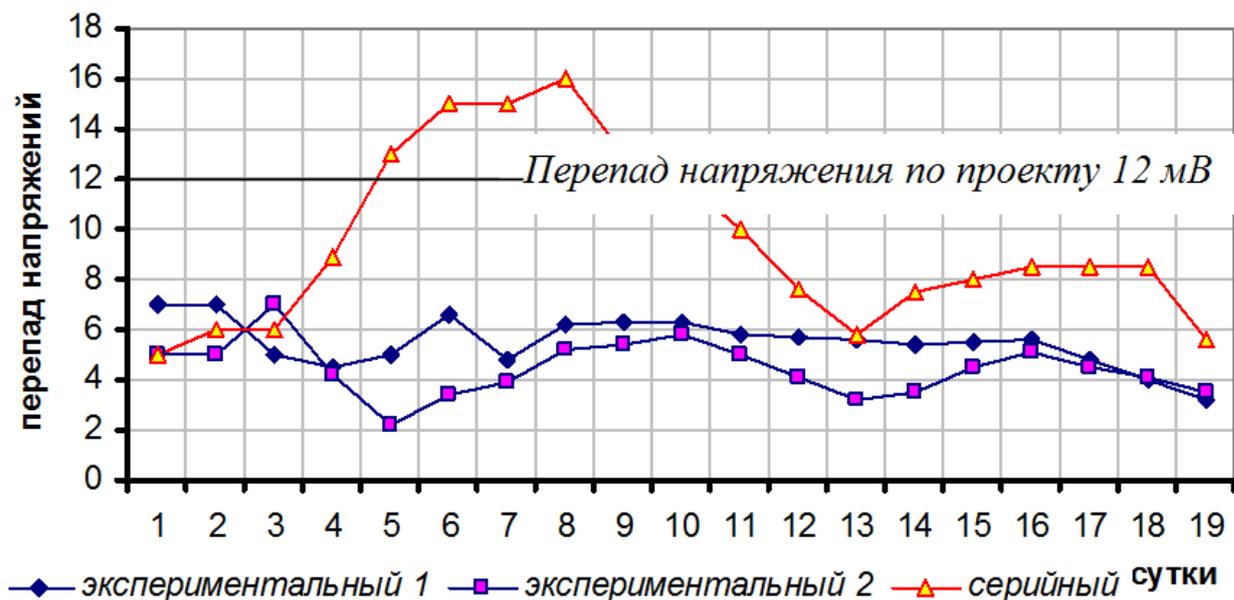


Рисунок 4.14 - Сравнение перепадов напряжений (ΔU) в контакте бобышка-штанга.

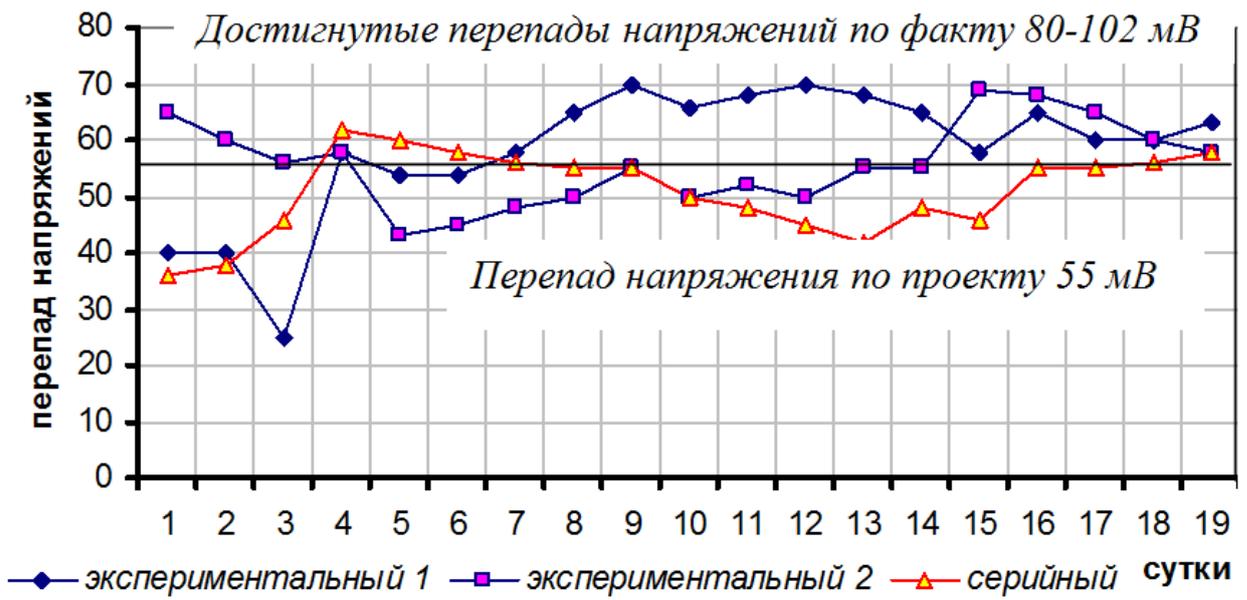


Рисунок 4.15 - Сравнение перепадов напряжений в контакте кронштейн-штанга.

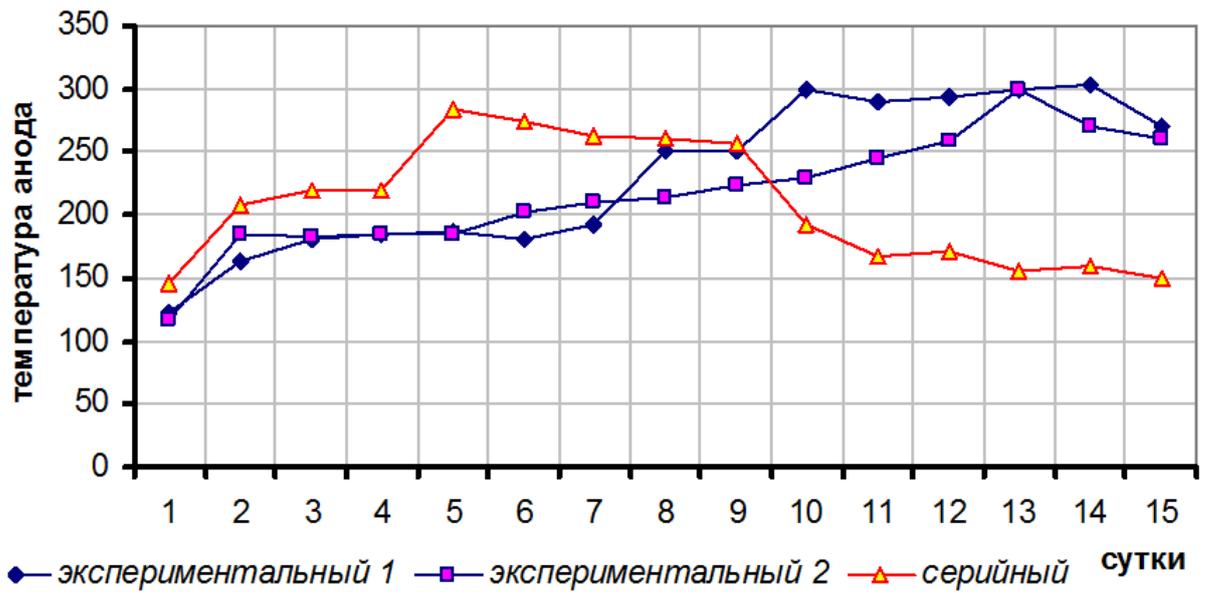


Рисунок 4.16 - Сравнение изменений температуры анодного блока

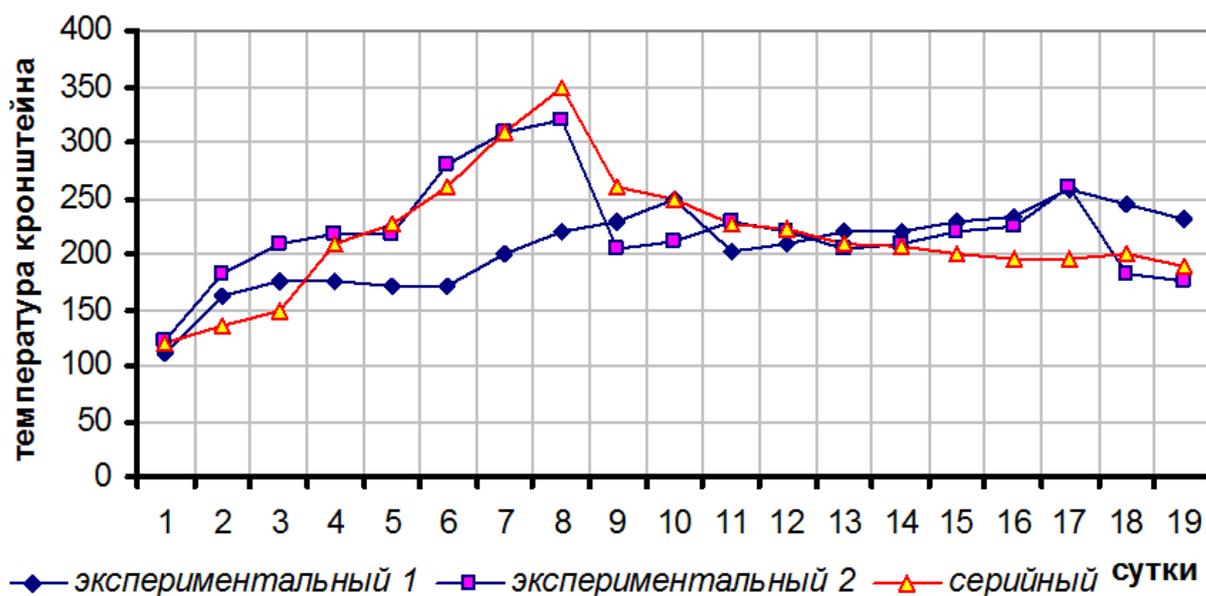


Рисунок 4.17 - Сравнение изменений температуры кронштейна

Таким образом, суммарный перепад напряжений (U_{Σ}) составляет:

- по нормативам - 347 мВ;
- по факту для экспериментального токоподвода - 450 мВ;
- по факту для серийных токоподводов 440,8 - 521,1 мВ

Проведенные опытно-промышленные испытания показали, что анодные токоподводы новой конструкции по технологическим параметрам сопоставимы с серийными анодными токоподводами.

Анодные токоподводы новой конструкции отработали на серийных электролизерах ГУП «ТАЛКО» 22-27 суток, т.е. они были досрочно сняты с действующих электролизеров для исследования на предмет возможного оплава их кронштейнов. При этом высота огарков были соответственно 250-200 мм.

4.3. Анализ отклонений по перепадам напряжений в контактных зонах испытуемых анодных токоподводов.

По данным замеров выполнен анализ перепадов напряжений в контактных зонах элементов экспериментального (усовершенствованного) и серийного (типового) АТ (рис. 4.7, 4.8, 4.11-4.15). В табл. 4.1. приведены

причины и анализ отклонений перепадов напряжений в узлах экспериментального АТ.

Таблица 4.1. - Анализ отклонений по перепадам напряжений в контактных зонах АТ.

№ п/п	Наименование контактных зон анодного узла	Перепад напряжений	Норма	Факт	Отклонения ΔU , Причины отклонений		
					мВ	%	
1	шина - штанга	U_1	12	25	13	14	1. Некачественная чистота поверхности контактных зон 2. Плохой зажим
2	штанга _в - штанга _н	U_2	25	75	50	54	1. Некачественная сварка трением на МСТ 2. Неполный провар бобышки с кронштейном и кронштейна с ниппелем
3	штанга - бобышка	U_3					
4	штанга - кронштейн	U_4					
5	кронштейн - ниппель	U_5	140	180	40	32	1. Неполный провар зон контакта «кронштейн - ниппель» 2. Некачественный контакт «чугун-анод», «смазка-анод»
6	ниппель - анод	U_6					
7	анод _в - анод _н	U_7	170	170*	-	-	* нормативные показатели
Итого		U_{Σ}	347	450	103	100	

Проведенные суммарные замеры перепадов напряжения (U_{Σ}) в контактных зонах АТ составили по экспериментальному токоподводу - 450 мВ, а фактически достигнутые перепады напряжения (U_{Σ}) по серийному токоподводу на ГУП «ТалКо» составили около 480 мВ.

По результатам исследований можно заключить, что предлагаемая конструкция АТ по электрическим параметрам сопоставима с серийными, типовыми АТ. При этом в предлагаемой конструкции АТ был обеспечен контакт «ниппель - анодный блок» без применения чугуновой заливки, что принципиально отличает предлагаемый новый АТ от серийного АТ.

Далее в табл. 4.2. приведены допустимые нормы перепада напряжения для электролизеров С – 160 кА и С – 175 кА , а в табл. 4.3. проектные нормы и фактически достигнутые перепады напряжений на ГУП «ТАЛКО» при эксплуатации электролизеров С – 160 кА и С – 175 кА.

Таблица 4.2 - Допустимые нормы перепада напряжения, мВ.

№ п/п	Перепады напряжения в контакте (зоне) анодного узла	Для электролизеров	
		С-160 кА	С-175 кА
1	U_1 – перепад напряжения в контакте шина - штанга	12	12
2	U_2 - перепад напряжения в зоне штанга _в - штанга _н	10	10
3	U_3 - перепад напряжения в контакте штанга - бобышка	15	15
4	U_4 - перепад напряжения в контакте бобышка- кронштейн	Отсутствует	Отсутствует
5	U_5 - перепад напряжения в зоне кронштейн _в - кронштейн _н	30	30
6	U_6 - перепад напряжения в контакте ниппель - анод _в	105	110
7	U_7 - перепад напряжения в зоне анод _в - анод _н	150	170
Итого		322	347

Таблица 4.3 - Проектные нормы и фактически достигнутые перепады напряжений, мВ.

№ п/п	Перепады напряжения в контакте (зоне) анодного узла	Для электролизеров					
		С-160	С-175	С-160 кА		С-175 кА	
		По проекту		Мин.	Макс	Мин.	Макс.
1.	Контакт гибкий пакет-стояк	7,0	-	6,08	9,21	-	-
2.	Стояк	30,0	50,0	32,23	33,85	37,62	43,31
3.	Контакт стояк-анодная шина	20,0	-	30,57	36,04	-	-
4.	Гибкий пакет-анодная шина	-	7,0	-	-	11,91	14,92
5.	Стояк-гибкий пакет	-	12,0	-	-	15,30	18,50
6.	Гибкий пакет	-	15,0	-	-	14,98	16,93
7.	Анодная шина	80,0	90,0	86,78	95,71	80,14	88,71
8.	Контакт шина-штанга, U1	12,0	12,0	21,88	36,24	24,54	36,02
9.	Штанга, U2	10,0	10,0	13,61	14,87	13,50	18,50
10.	Штанга-кронштейн, U3	15,0	15,0	29,80	40,60	28,30	35,80
11.	Кронштейн-ниппель, U5	30,0	30,0	36,72	42,15	38,91	48,08
12.	Контакт ниппель-анод, U6	105,0	110,0	182,1	224,4	179,28	212,14
13.	Анодный блок, U7	150,0	170,0	152,6	168,4	156,28	170,57
Итого:		459,0	521,0	592,4	701,5	600,76	703,48
В том числе величины перепадов напряжений без учета п.п. 1–7, U Σ			347			440,8	521,1

Далее приведены сводные таблицы 4.4 (1 этап) и 4.5 (2 этап) замеров распределения тока по анодам, перепадов напряжения в контактных зонах, температуры кронштейна и анода экспериментального и серийного анодных токоподводов.

Таблица 4.4 - Сводная таблица замеров распределения тока по анодам, перепадов напряжения в контактных зонах, температуры кронштейна и анода экспериментального и серийного анодных токоподводов
(**I-первый этап** – проверка работоспособности экспериментального анодного токоподвода, а также сравнение его эксплуатационных параметров работы с серийным анодным токоподводом - свидетелем)

Дата	№ п/п	Распределение тока по анодным токоподводам		ΔU в контакте шина-штанга		ΔU в контакте кронштейн-анод		ΔU в контакте бобышка-штанга		ΔU в контакте кронштейн-штанга		Температура анода		Температура кронштейна	
		Э	С	Э	С	Э	С	Э	С	Э	С	Э	С	Э	С
26.10	01														
12-00		0,5	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14-00		2,0	1,0	12	10	250	259	-	-	-	-	83	89	81	82
15-00		2,0	1,0	12,5	11,5	310	304	-	-	-	-	95	91	95	83
27.10	02	2,5	2,0	21	21	310	315	-	-	-	-	230	186	182	124
13-00		3,0	3,2	18	20	300	320	10	10	-	-	235	230	190	160
28.10	03	3,2	3,4	26	22	300	320	9	10	-	-	240	228	200	180
29.10		4,2	4,7	26	24	260	232	9	9	-	-	230	210	200	200
01.11	05	5,4	4,6	28	27	240	206	9	9	-	-	223	220	200	212
02.11		4,4	3,8	30	30	230	255	8	8	-	-	218	220	206	210
03.11	07	4,3	3,8	28	32	220	245	8	8	-	-	208	220	212	202
04.11		5,0	4,8	28	35	210	245	8,0	7,8	42	35	220	225	210	205
05.11	09	5,0	4,8	24	33	200	225	4	6	45	49	215	234	210	220
09.11		4,5	4,2	20	35	180	210	4,2	5,0	63	49	214	240	210	220
10.11	12	4,5	3,8	24	30	180	172	4,2	4,3	62	64	247	243	220	224
11.11		4,0	3,5	26	30	180	168	4,3	5,8	64	61	-	-	223	220
12.11	14	3,5	3,0	28	30	180	177	6,3	7,8	75	67	-	-	220	220
15.11		4,3	3,7	25	32	170	169	6,8	7,5	74	72	-	-	248	230
17.11	16	4,5	3,8	27	33	160	157	4,3	7,0	75	73	-	-	250	240
18.11		4,5	3,8	29	35	155	168	4,3	7,3	74	72	-	-	251	249
Среднее		3,8	3,3	22,6	27,2	224	231	6,6	7,5	64	61	204	203	200	194

Обозначения:

Э – экспериментальный анодный токоподвод;

С – серийный анодный токоподвод.

Таблица 4.5 - Сводные замеры распределения тока по анодам, перепадов напряжения в контактных зонах, температуры кронштейна и анода экспериментального и серийного анодных токоподводов

(II-второй этап – проверка работоспособности экспериментального анодного токоподвода, его сравнение с серийным анодным токоподводом, одновременно проверка выбранной оптимальной электропроводящей смазки)

Дата	№ п/п	Распределение тока по анодам			ΔU в контакте шина-штанга			ΔU в контакте кронштейн-анод			ΔU в контакте бобышка-штанга			ΔU в контакте кронштейн-штанга			Температура анода			Температура кронштейна		
		Э	С	С	Э	С	С	Э	С	С	Э	С	С	Э	С	С	Э	С	С	Э	С	С
30.11	01	2,2	4,6	3,0	25	15	26	260	380	412	7,0	5,0	5,0	40	65	36	123	117	145	112	122	119
01.12	02	2,9	4,6	3,6	26	13	30	330	460	400	7,0	5,0	6,0	40	60	38	164	184	208	162	183	135
02.12	03	3,2	4,6	3,7	26	18	32	250	360	302	5,0	7,0	6,0	25	56	46	181	183	220	175	210	149
03.12	04	3,5	4,8	5,4	26	17	22	220	300	287	4,5	4,2	8,9	58	58	62	185	184	219	176	217	210
06.12	05	5,0	4,2	5,4	25	17	23	230	290	325	5,0	2,2	13	54	43	60	186	184	283	171	218	227
07.12	06	4,2	3,4	5,4	25	15	26	250	280	340	6,6	3,4	15	54	45	58	180	203	275	172	280	260
08.12	07	3,8	3,7	5,4	26	13	30	280	280	290	4,8	3,9	15	58	48	56	192	210	262	200	310	310
09.12	08	4,4	3,5	5,2	26	18	32	270	280	270	6,2	5,2	16	65	50	55	250	214	260	220	320	350
10.12	09	4,2	3,5	4,5	26	17	22	260	270	220	6,3	5,4	13	70	55	55	250	223	256	229	205	260
13.12	10	5,2	3,2	3,8	13	16	22	250	200	205	6,3	5,8	12	66	50	50	300	230	192	249	212	250
14.12	12	4,5	3,5	3,2	14	15	20	240	220	180	5,8	5,0	10	68	52	48	290	245	168	202	229	226
15.12	13	4,8	3,9	4,0	12	17	22	240	210	152	5,7	4,1	7,6	70	50	45	294	259	171	209	219	222
16.12	14	4,2	3,8	4,4	10	15	20	230	200	182	5,6	3,2	5,8	68	55	42	300	300	155	220	205	210
17.12	15	4,1	3,9	3,8	10	22	21	220	200	182	5,4	3,5	7,5	65	55	48	304	270	159	220	210	206
20.12	16	4,1	3,9	3,5	25	26	22	210	200	180	5,5	4,5	8,0	58	69	46	270	260	149	230	220	200
21.12	17	4,9	3,4	4,2	24	17	22	-	-	-	5,6	5,1	8,5	65	68	55	-	-	-	234	225	195
22.12	18	4,5	3,6	4,0	24	22	21	-	-	-	4,8	4,5	8,5	60	65	55	-	-	-	257	261	195
23.12	19	4,0	3,8	3,5	22	20	23	-	-	-	4,0	4,1	8,5	60	60	56	-	-	-	245	183	200
24.12	20	2,8	3,0	3,8	15	12	22	-	-	-	3,2	3,5	5,6	63	58	58	-	-	-	232	175	190
Среднее		4,0	3,8	4,2	21	17	24	250	258	245	5,5	4,5	9,5	58	56	51	216	204	195	206	221	216

4.4. Техничко–экономическое обоснование ремонта, изготовления и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.

Приведём краткую информацию по анододержателям на ОАО «ТАЛКО»

1. Общее количество анододержателей на ОАО «ТАЛКО» по состоянию на 01.01.2013 г. – **25160** шт., в том числе:
 - анододержателей, установленных на электролизных ваннах – **18960** шт., а на тот период было 790 электролизёров или 65% от полной мощности завода из расчета 100 ванн/корпус x 12 корпусов ЭП, т.е. из 1200 ванн;
 - анододержателей в обороте (монтаж – демонтаж, ремонт – реставрация, транспортировка, технологический простой в ЦППЭ, участке перегрузки анодов в ЭП (УПА ЭП) и т.п.) - **6200** шт.
2. Количество ремонта анододержателей в месяц составляет – **6200** шт. При предельно допустимой норме ремонта замены только 2-х ниппелей на каждом анододержателе, или в месяц 12400 шт. ниппелей (6200x2), фактически, сейчас меняют, производят ремонт 3-4 ниппелей на одном анододержателе, т.е. идёт 2-х кратное увеличение расходных материалов на ремонтные нужды.
3. Экономия средств на ремонт анододержателей составит почти **9 млн. долл. США** в год ($6200 \cdot 117,4 \cdot 12 = 8,735$).

Выводы из таблицы 4.6. расчета расходов на ремонт АТ в ОАО «ТАЛКО»:

1. Ремонт только ниппельной части кронштейна анододержателя обходится в **167,4 долл. США** ($182,3 - 6,16 - 8,71$).

Качество «восстановленных», отремонтированных контактных узлов кронштейна анододержателя «ниппель-кронштейн» и «ниппель-анод» низко.

2. Стоимость стального литья нового кронштейна по данным ОАО «ТАЛКО» составляет ~ **50 долл. США** и при этом обеспечивается надежный контакт в ниппельной части кронштейна анододержателя.

3. Экономия средств на ремонт одного анододержателя составит - **117,4 долл. США** (167,4-50).

Кроме того, будут сохранены:

- первоначальная конструкция кронштейна анододержателя;
- электрическая и механическая надежность конструкции кронштейна анододержателя;
- проектные, допустимые нормы перепадов напряжений в контактных узлах анодного токоподвода.

Расчет усредненных расходов на ремонт одного анододержателя АТ в ОАО «ТАЛКО» приведён в таблице 4.6.

Таблица 4.6. - Расчет усредненных расходов на ремонт одного анододержателя АТ в ОАО «ТАЛКО»

№ п/п	Наименование статьи расхода (материальные, трудовые затраты и др,	Расход материалов на ремонт одного анододержателя (1 а/д)	Расход в месяц, т.е. на ремонт 6200 шт. а/д	Стоимость ремонта а/д в месяц		Затраты на ремонт 1 а/д USD
				сомони	USD	
1	Электрод Ø 4мм	Норма расхода -0,85 кг, факт 0,32 кг, т.е. идет непровар сварного шва	525 кг или 1984кг (Р) Данные по факту расхода, а не по нормам	9,2 · (Р) = 4875,4	1015,6	0,16
2	Порошковая проволока	Норма расхода -0,75 кг, факт 0,65 кг, т.е. идет непровар сварного шва	88335,6 кг или 4030кг (Р) Данные по факту расхода, а не по нормам	1401002,6	291875,6	47,1
3	Вес одного ниппеля	16,8 кг, но при ремонте меняют 3 ниппеля ~ по 12 кг или 36 кг на 1 а/д	36 · 6200 = 223200 кг при замене трёх ниппелей на одном анододержателе	9809,3	2043,6	0,33
4	Сталь круг Ø110	16,8 кг	127300 кг (127,3т)	570443,0	118842,3	19,2
5	Поковка круглая Ø110	Нет учета, но должен быть (96000 : 6200) ~ 15,5 кг	Должен быть (223,2-127,3) 96000кг (~ 96т) РМЦ	~500000,0	~ 104200,0	16,8
6	Стальной круг Ø180	38,2 кг (3,14·9,0·9,0·20,0·7,5)	38200 кг (100 шт.·38,2кг)	~183360,0	~38200,0	6,16
7	Штанга	180 кг (14·16·300·2,7)	18000 кг (100 шт.·180кг)	~260000,0	54000,0	8,71
8	Порошковая проволока	1,59	159 кг (100 шт.·1,59кг)	2521,8	525,4	0,085
9	Чугун литейный для заливки гнезда анода	7кг · 4 ниппеля · 650 анодов = примерно 20 т/сутки	600 т · 4680 сомони/т или в м-ц 2916000 сомони, где: 4680 сом.- цена 1т чугуна	~2916600	607625	31,2 на 1 АТ
10	Трудозатраты УРАД	На 1 анододержатель -14,95		92690,0	19310,0	3,2
11	Содержание УРАД			1452795,2	302666,0	48,8
12	Содержание ЦППЭ			614801,7	128083,7	20,7
13	Транспортные расходы		464 рейса анодовозов	29507,0	6147,3	1,0
ИТОГО:						182,3

Выводы из таблицы 4.6. расчета расходов на ремонт АТ в ОАО

«ТАЛКО»:

4. Ремонт только ниппельной части кронштейна анододержателя обходится в **167,4 долл. США** (182,3-6,16-8,71).

Качество «восстановленных», отремонтированных контактных узлов кронштейна анододержателя «ниппель-кронштейн» и «ниппель-анод» низко.

5. Стоимость стального литья нового кронштейна по данным ОАО «ТАЛКО» составляет ~ **50 долл. США** и при этом обеспечивается надежный контакт в ниппельной части кронштейна анододержателя.

При этом, указанная экономия средств на ремонт анододержателей рассчитана без учета экономии средств от:

- значительного сокращения технологических операций по изготовлению и эксплуатации усовершенствованных АТ, упрощения транспортных перевозок АТ по предлагаемой технологии;

- значительного снижения удельного расхода электроэнергии на производство алюминия-сырца;

- от потерь стоимости первичного алюминия из-за снижения качества его в результате оплава ниппелей кронштейна анододержателей в ходе процесса электролиза алюминия.

Например, на ремонт-замену ниппелей кронштейна в месяц расходуется до 223,2 тонны стального проката и это при выпуске 33300 тн алюминия в месяц (400000:12), т.е. выпуск алюминия первичного принят в пределах 400,0 тыс.тонн в год. В результате, только от оплава ниппелей кронштейна анододержателей содержание железа в алюминии сырце составит $223200:33300:100\% = 0,65\%$, т.е. содержание Fe =0,65%, при допустимом содержании в первичном алюминии марки А7Е не выше 0,11%. Как говорится, комментарии излишни...

Кроме того для сравнения приводится материально-финансовые затраты для создания производства обожженных анодов в настоящее время (Табл. 5.1.).

Таблица 4.7 - Материально-финансовые затраты для производств обожженных анодов

Показатели	Удельное потребление на 1 тонну анодов	Анодный завод мощностью 360 тыс. т/год	Анодный завод мощностью 500 тыс. т/год	Анодный завод мощностью 1 млн. т/год
Сырьевые материалы				
Нефтяной кокс	630 кг/т	230 тыс. т., факт.320 т.т.	315 тыс. т	630 тыс. т
Каменноугольный пек	160 кг/т	60 тыс. т., факт. 90 т.т.	80 тыс. т	160 тыс. т
Возврат на рециклинг	300 кг/т	108 тыс. т., факт.120 т.т.	150 тыс. т	300 тыс. т
Энергетические затраты				
Электрическая энергия	0,1 мВт·час/т	36000 мВт·час, по факт.- 50000 мВт·час)	50000 мВт·час	1000000мВт·час
Природный газ	100 нм ³ /т	36 млн. нм ³ 50 млн. нм ³	50 млн. нм ³	100 млн. нм ³
Трудовые затраты				
Персонал (человек)		100 чел., по факту – 280.	150 чел.	250 чел.
Капитальные затраты				
	~ 900 USD/т	330 млн.USD	450 млн.USD	800 млн.USD

ВЫВОДЫ:

- определены оптимальные формы и проведены расчеты механической прочности, теплового расширения конструктивных узлов анодного токоподвода;
- исследованы физико-механические показатели анодного блока с трапециевидным пазом и предложены усовершенствованные материалы, конструкции и технологии изготовления, сборки анодных токоподводов с использованием специального электропроводного материала вместо чугуновой заливки;
- составлены технологические схемы и процессы изготовления, эксплуатации и утилизации отработанных усовершенствованных анодных токоподводов;
- проработаны техпроцессы и прочие проблемные аспекты, связанные с огарками, остатками электролита и другими возвратными материалами, которые требовали специальной переработки и утилизации в анодном производстве.
- выполнено сравнение технологических процессов изготовления и эксплуатации типовых и усовершенствованных анодных токоподводов;
- проведены опытно-промышленные и стендовые испытания серийных и экспериментальных анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия;
- определены технико-экономические показатели выпуска и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баймаков Ю.В. Электролиз в металлургии. Т. 3. Расход электроэнергии при производстве легких металлов. – М.: Металлургиздат, 1944. - 110 с.
2. Патон Б.Е., Лакомский В.И. Сварные электрические контакты разнородных проводников. Журнал «Автоматическая сварка» сентябрь 2011
3. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров. М.Издательский дом «Руда и металлы», 2001. -672 с.
4. R&D Carbon Ltd. Anodes (or Aluminium Industry // 1-st Eddition. 1995. Sierre (Switzerland). — 394 p.
5. Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., и др. Металлургия алюминия. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 438 с.
6. Ветюков М.М., Цыплаков А.М., Школьников С.Н. Электрометаллургия алюминия и магния. – М.: Металлургия, 1987, – 320 с.
7. Беляев А.И., Рапопорт М.Б., Фирсанова Л.А. Электрометаллургия алюминия, ГНТИ, М.: 1953, - 720 с.
8. Лысенко А.П. – Цветные металлы, №2, 2012, 47-49 с.
9. Москвитин В.И., И.В. Николаев, Фомин Б.А. Металлургия легких металлов, Изд-во «Интернет инжиниринг», М.: 2005, 413 с.
10. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия. – Изд-во «Металлургия», 1971, 560 с.
11. Баймаков Ю.В., Ветюков М.М. Электролиз расплавленных солей. – М.: Металлургия, 1966. – 560 с.
12. Лакомский В.И., Фридман М.А. Плазменно-дуговая сварка углеродных металлов с металлами. – Київ: Екотехнологія, 2004. — 196 с.
13. Привалов Е. В., Степаненко М. А. Каменноугольный пек. — М.: Металлургия, 1981.
14. Пасукова Л. П., Гребенкин А. Ф., Жуйкова Л. В. Пути совершенствования контроля качества углеродного сырья и материалов, используемых при электролитическом производстве алюминия. — М.: ЦНИИЭИЦМ, 1986. — 60 с.

15. Сюняев З. И. Производство, облагораживание и применение нефтяного кокса. — М.: Химия, 1973.
16. Красюков А. Ф. Нефтяной кокс. — М.: Химия, 1966.
17. Веселовский В. С. Угольные и графитовые конструкционные материалы. — М., Л.: Наука, 1966.
18. Санников А. К., Сомов А. В., Ключников В. В. и др. Производство электродной продукции. — М.: Metallurgy, 1985.
19. Чалых Е. Ф. Прокалочные печи электродной промышленности. — М.: Цветметинформация, 1963.
20. Чалых Е. Ф. Технология углеграфитовых материалов. — М.: Metallurgizdat, 1956.
21. Чалых Е. Ф. Оборудование электродных заводов. — М.: Metallurgy, 1990.
22. Клушанцев Б. В., Косарев А. И., Муйземнек Ю. А. Дробилки. — М.: Машиностроение, 1990.
23. Андреев С. Е., Петров В. А., Зверевич В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. — М.: Недра, 1980.
24. Муйземнек Ю. А., Калюнов Г. А., Кочетов Е. В. и др. Конусные дробилки. — М.: Машиностроение, 1970.
25. Матюшев Л. Г., Сумин В. Н. Транспортные устройства и склады обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1979.
26. Каждан Я. С. Технология электродов. — М.: Metallurgizdat, 1941.
27. Коробов М. А., Дмитриев А. А. Самообжигающиеся аноды алюминиевых электролизеров. — М.: Metallurgy, 1972.
28. Чалых В. И. Изучение влияния грансостава анодной массы на расход анода при электролизе алюминия: Автореф. дис. канд. техн. наук. Л., 1976.
29. Янко Э. А., Лазарев В. Д. // Цветные металлы. 1975. № 12. С. 73-76.
30. Ветюков М. М. Исследование электродных процессов и расхода углерода при электролитическом получении алюминия: Автореф. дис. докт. техн. наук. Л., 1973.

31. Ветюков М. М., Ведерников Г. Ф. // Тр. ЛПИ. 1970. № 304. С. 45-50.
32. Патент РФ 2408743 Инертный анод электролизёра для производства алюминия.
33. Фиалков А. С. Формирование структуры и свойств углеграфитовых материалов. — М.: Metallurgy, 1965.
34. Янко Э. А., Лазарев В. Д., Чалых В. И. // Цветные металлы. 1973. № 10. С. 27-30.
35. Филимонов В. А., Авраменко П. Я., Плаксина А. К. // Цветные металлы. 1982. № 7. С. 51-53.
36. Свердлин В. А., Казакевич В. И. Современное состояние технологии и техники формования анодных блоков для алюминиевых электролизеров. — М.: ЦНИИЭИЦМ, 1982.
37. Свердлин В. А., Федоров В. К., Могилевич Б. Б. Исследование свойств электродных масс, используемых при виброформовании анодных блоков // Науч. тр. ВАМИ. — Л., 1977. № 98. С. 80-85.
38. Свердлин В. А., Ласукова Л. П., Литвинов Е.В. // Цветные металлы. 1980. № 3. С. 56-59.
39. Пенсе Э. Цех обожженных анодов на алюминиевом заводе фирмы «Рейнольде» в Гамбурге. Пер. № 81/77 ВАМИ.
40. Пат. 3526686 США, пат. 1758926 ФРГ, пат. 1105567 Великобритании.
41. Пат. 2005064 ФРГ.
42. Пат. 2017980 Франции.
43. FCB. Рекламный проспект фирмы.
44. Проспект фирмы KHD, HUMBOLT WEDAG PROCESS AUTOMATION. DENSITROL. Vibration Compacting Process Monitor.
45. Fisher W. K. Meier W. Markus, Lustenberger M. R&D Carbon, AIME // Light Metals. 1999. P. 547-554.
46. Свердлин В. А., Приезжая Г. А., Янко Э. А. // Light Metals. VAMI. 1991. P. 673-678.
47. Fischer W. K., Keller F., Perruchoud R. C, Oderbolz S. R&D Carbon, AIME //

Light Metals. 1993. P. 683-689.

48. Keller F., Oderbolz S. Process controlled operation of baking furnaces. Aluchemic and Alusuisse R&D Carbon (Netherlands, Switzerland).

49. Колодин Э. А., Свердлин В. А., Свобода Р. В. Производство обожженных анодов алюминиевых электролизеров. — М.: Metallurgy, 1980.

50. Hyvernai P., Fayef P., Lemorchand J. L. Aluminium Pechiney, AIME. // Light Metals. 1983. P. 821-841.

51. R&D Carbon Ltd. Bake Furnace Firing and Process Control System (BPS). Брошюра фирмы.

52. SETARAM SA. Anode Baking Furnace. Firing Systems. Брошюра фирмы.

53. Sulzberger P. W., Bacon J. K. Comalco Aluminium Limited, AIME // Light Metals. 1989. P. 547-551.

54. Keller F. R&D Carbon, AIME // Light Metals. 1985. P. 1107-1123.

55. Свердлин В. А., Егоров С. Ф., Бабин А. Н. и др. // Цветные металлы. 1989. № 1. С. 72-74.

56. Пешине — Эр Индастри. Проспект фирмы.

57. Gale M. Hosokawa Micron Limited, AIME // Light Metals. 1998. P. 753-757.

58. Cloufier M. ALCOA — Massena Plant, AIME // Light Metals. 1998. P. 711-714.

59. KHD HUMBOLT WEDAG AG. Pitch Fume Dry Scrubbing Systems. Брошюра фирмы.

60. Riedhammer GmbH & Co. KG. Comparison between Open and Closed Carbon Baking Furnace. 90332 Nuremberg. 1993.

61. Foosnaes T., Jarek S., Linga H. R&D Carbon, AIME // Light Metals. 1989. P. 569-575.

62. Thomas J. C, Breme P. Rotger J. C, Ameerli J. G. Pechiney, Aluminium Bahrain B.S.C. (c), AIME // Light Metals. 1999. P. 567-572.

63. KHD Humboldt Wedag. Проспект фирмы KHD.

64. Westfalia Becorit. Partner in the Aluminium Industry. Проспект фирмы SCHARF WESTFALIA Industrial Systems GmbH & Co. KG.

65. Broad J. C, Farmer B. D. New Zealand Aluminium Smelter Ltd, AIME // Light Metals. 1984. P. 1015-1024.
66. KHD Humboldt Wedag. Bath material removal and Crushing System. KAISER Aluminium EUROPE. 10-716e. Брошюра фирмы KHD.
67. KHD Humboldt Wedag AG. 7-86e. Butts removal Presses. Брошюра фирмы.
68. KHD Humboldt Wedag AG. 10-711e. Thimble removal presses. Брошюра фирмы KHD.
69. KHD Humboldt Wedag. Rod grinding Machines. 10-714e. Брошюра фирмы KHD.
70. Шальное В. А. Шлифование и полирование высокопрочных материалов. — М.: Машиностроение, 1972. — 272 с.
71. KEMPE. Intern. Австралия. Aluminium Smelter Equipment and Technology. Проспект фирмы.
72. Baillargeon F., Menard Y., Perron C. ALCAN Smelters and Chemicals Ltd Grande Baie Plant. Canada, AIME // Light Metals. 1996. P. 569-573.
73. Dunn M. R., Allison B., Hall T. W. Dubai Aluminium Company Ltd, AIME // Light Metals. 1993. P. 671-675.
74. Asahi Chemical Industry Co., Ltd BACLAD. Explosion Bonded Metal Composites. Брошюра фирмы Asahi.
75. Анодный токоподводящий элемент для алюминиевых электролизеров с обожженными анодами. — М.: ЦНИИЭИЦМ, 1986.
76. I. Welders Limited. Anode Stub Repair with an A.I. Friction or Flash Welder. Брошюра фирмы A. I. Welders.
77. Kumera Corporation. Сварочное оборудование для ремонта анододержателей. 1995. Проспект № AL 95003.
78. Rendon J., Rao M. N. Venalum, Universidad Nacional Experimental de Guayana, AIME // Light Metals. 1998. P. 627-635.
79. Barstow M., Riposan J., Chisamera M. Politechnical University of Bucharest, AIME // Light Metals. 1997. P. 619-627.
80. Иоффе А. Я., Минченко В. А., Орлов А. Я., Меркурьев В. Г. // Цветные

металлы. 1975. № 9. С. 36.

81. Ohlswager M. D., Goeres G. E., Peterson R. W. Aluminium Company of America // Light Metals. 1990. P. 499-503.

82. KHD Humboldt Wedag AG. Rail Car Mounted Cast Iron Pouring Machine. Брошюра фирмы KHD.

83. KHD Humboldt Wedag AG. Anode assembly Unit. Брошюра фирмы KHD.

84. Syprim (Франция). Systemes et Procédes Industriels Modernes. Брошюра фирмы Syprim.

85. Fischer W. K., Perruchoud R. Test methods for the determination of Prebaked Anode Properties. Брошюра фирмы R&D Carbon Ltd.

86. Schmidt W., Kooijman A. A., Van de Bogerd P. R&D Carbon Ltd, AIME // Light Metals. 1988. P. 253-257.

87. Fischer W. K., Perruchoud R. R&D Carbon Ltd, AIME // Light Metals. 1986. P. 575-580.

88. Keller F., Fischer W. K. R&D Carbon Ltd, AIME // Light Metals. 1982. P. 729-740.

89. Янко Э. А. Научные основы получения углеродных масс и формирования анода алюминиевых электролизеров с повышенной химической и термической устойчивостью: Дис. д-ра техн. наук. — Свердловск: УПИ, 1983.

90. R&D Carbon Ltd. Anode Behaviour in Hall Heroult Cells. Брошюра фирмы R&D Carbon Ltd.

91. Fischer W.K., Keller F. R&D Carbon Ltd. Anode Properties and their Influence on Anode Behaviour in Hall-Heroult Cells // 8-th ILMT, 1987. Leoben.

92. Dreyer C, Samanos B. Aluminium Pechiney Research Center — LRF-BP114, AIME // Light Metals. 1994. P. 685-694.

93. Meier M. W., Fisher W. K., Perruchoud R. C. R&D Carbon Ltd, AIME // Light Metals. 1994. P. 685-694.

94. Слуцкий М. З., Цыпкин М. Г., Деркач А. С, Скворцов А. П., Пряхин Г. В. // Цветные металлы. 1983. № 2. С. 44-46.

95. Welch B. Technical Development & Future Operating Challenges for

- Aluminium Smelters. Arab Aluminium Conf. Bahrain. 14-16 Nov. 1989.
96. Дыблин Б. С, Сираев Н. С. Аналитический обзор возможных причин растрескивания обожженных анодов. — СПб.: ВАМИ, 1998.
97. Perruchoud R. C, Meier M. W., Fischer W. K. R&D Carbon Ltd, AIME // Light Metals. 1996. P. 543-549.
98. Berclaz G., Vittorio de Nora, Duruz J.-J. MOLTECH, AIME // Light Metals. 1997. P. 605-611.
99. Sekhar I. F., Liu J., Li J., V. de Nora. Intern. Center for Micropyretics, University of Cincinnati, AIME // Light Metals. 1998. P. 645-650.
100. Perruchoud R.C., Hulse K.L., Fischer W.K. R&D Carbon Ltd, AIME // Light Metals. 1999. P. 509-516.
101. Wang X., Peterson R. D. Manufacturing Technology Laboratory Reynolds Metals Company, AIME // Light Metals. 1996. P. 285-293.
102. Вольфсон Г. Е., Панкин В. П. Производство алюминия в электролизерах с обожженными анодами. — М.: Metallurgy, 1974. — 136 с.
103. Деркач А. С, Скворцов А. П. Выявление причин повышенного расхода электроэнергии на электролизерах с ОА. — СПб.: ВАМИ, 1997.
104. Коробов М. А., Дмитриев А. А. Самообжигающиеся аноды алюминиевых электролизеров. — М.: Metallurgy, 1972. — 207 с.
105. Лекции технического директора фирмы Пешине инж. Гролле о состоянии техники и производства алюминия во Франции. ЦИИНЦМ, 1963.
106. Янко Э. А., Лозовой Ю. Д. Производство алюминия в электролизерах с верхним теплоподводом. — М.: Metallurgy, 1976. — 106 с.
107. Курохтин А. Н. Электролизеры с боковым токоподводом и их обслуживание. — М.: Metallurgy, 1973. — 140 с.
108. Чистяков А. Н. Химия и технология переработки каменноугольных смол. — Челябинск: Metallurgy, 1990.
109. Buzunov V. Y., Hewgill D. KrAZ, Kaiser Al Technical Service, Inc. AIME // Light Metals. 1998. P. 227-234.
110. Янко Э. А., Ицков М. Л. И др. // Цветные металлы. 1990. № 4. С. 59-61.

Список публикаций Мирпочаева Х.А. по теме диссертации:

1-А. Усовершенствование конструкции анодных токоподводов - смонтированных обожженных анодов электролизёра для производства алюминия / Мирпочаев Х.А., Азизов Б.С., Муродиён А.Ш.//ДАН РТ, 2008, т.51, №10, С.760-764.

2-А. Усовершенствование технологии изготовления, демонтажа, ремонта, использования вновь анодных токоподводов электролизёра для производства алюминия / Мирпочаев Х.А., Азизов Б.С., Муродиён А.Ш.// ДАН РТ, 2008, т.51, №11, С.845-849.

3-А. О механизме протекания электродных процессов на угольном аноде при электролитическом производстве алюминия / Сафиев Х., Азизов Б.С., Мирпочаев Х.А., Бахретдинов Р.М.//ДАН РТ, 2012, т.55, №2, С.156-162.

4-А. Новые технологии изготовления анодных токоподводов для электролизёров производства алюминия / Мирпочаев Х.А., Азизов Б.С. // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: Сборник трудов восьмой международной научно-практической конференции, г. Санкт-Петербург, 2009, С.170-171.

5-А. Усовершенствование конструкции анодных токоподводов электролизеров по производству алюминия / Мирпочаев Х.А., Кабиров Ш.О., Тошматов Б.Э., Сафиев Х.С., Азизов Б.С.// Инновационные технологии, глобализация и диалог цивилизаций: Материалы республиканской научно-практической конференции, Душанбе, 2011, С.86-93.

6-А. Анализ перепадов напряжений в узлах усовершенствованного анодного токоподвода электролизеров для производства алюминия / Мирпочаев Х.А., Кабиров Ш.О., Тошматов Б.Э., Бахретдинов Р.М.// Перспективы применения инновационных технологий и усовершенствования технического образования в ВУЗах стран СНГ: Материалы V-й международной научно-практической конференции, Душанбе, 2011, С.325-328.

7-А. Производство алюминия на электролизерах с обожженными анодами: Книга для мастеров и рабочих алюминиевых заводов/ Э.А. Янко, Ш.О.

Кабиров, Х.Сафиев, Б.С. Азизов, Х.А. Мирпочаев // Душанбе, «ЭР-граф», 2011, 272с.

8-А.Конструкции, материалы анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия / Мирпочаев Х.А.// Вестник Педагогического университета естественных наук №3-4 (11-12), Душанбе, 2021, С.319-322.

9-А. А.с. 1061523 СССР. Анододержатель обожженного анода / Авторы Б.Б. Могилевич, Х.А. Мирпочаев и др. / ВАМИ, 14.05.1982.

10-А. А.с. 1165091 СССР. Токоподвод для алюминиевых электролизеров/ Авторы В.Б. Касперович, Х.А. Мирпочаев и др./ Белорусское НПО порошковой металлургии 07.06.1983.

11-А. Пат. ТЈ № 223 РТ. Способ изготовления анодных токоподводов электролизеров для производства алюминия / Авторы Х.А. Мирпочаев, Б.С. Азизов. / 21.11.08.

12-А. Пат. ТЈ № 224 РТ. Анодный токоподвод электролизера для производства алюминия / Авторы Х.А. Мирпочаев, Б.С. Азизов. / 21.11.08.

13-А. Пат. №015614 Евразии. Анодный токоподвод электролизера для производства алюминия и способ его изготовления / Авторы Х.А. Мирпочаев, Ш.О. Кабиров, Х. Сафиев, Б.С. Азизов / 31.10.11.

14-А. Пат. №024151 Евразии. Анододержатель цельнолитой для электролизёров производства алюминия/ Авторы Х.А. Мирпочаев, Ш.О. Кабиров, Х. Сафиев, Б.С. Азизов /24.08.12.

ПРИЛОЖЕНИЯ:

Далее приведены приложения:

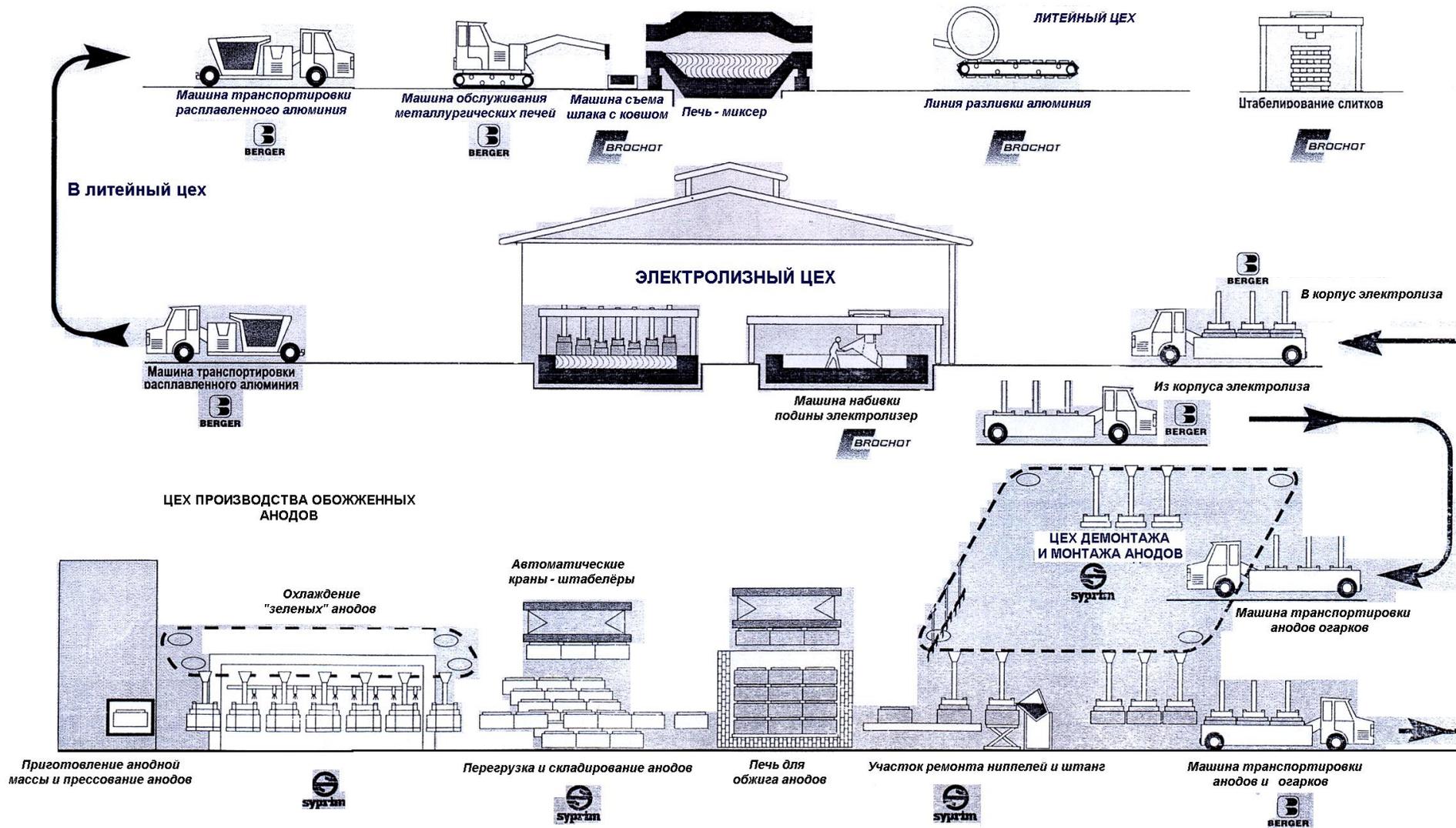


Рисунок. 4.18 - Укрупненная маршрутная схема движения технологического транспорта в электролизном, литейном и анодном производствах, принятая в мировой практике

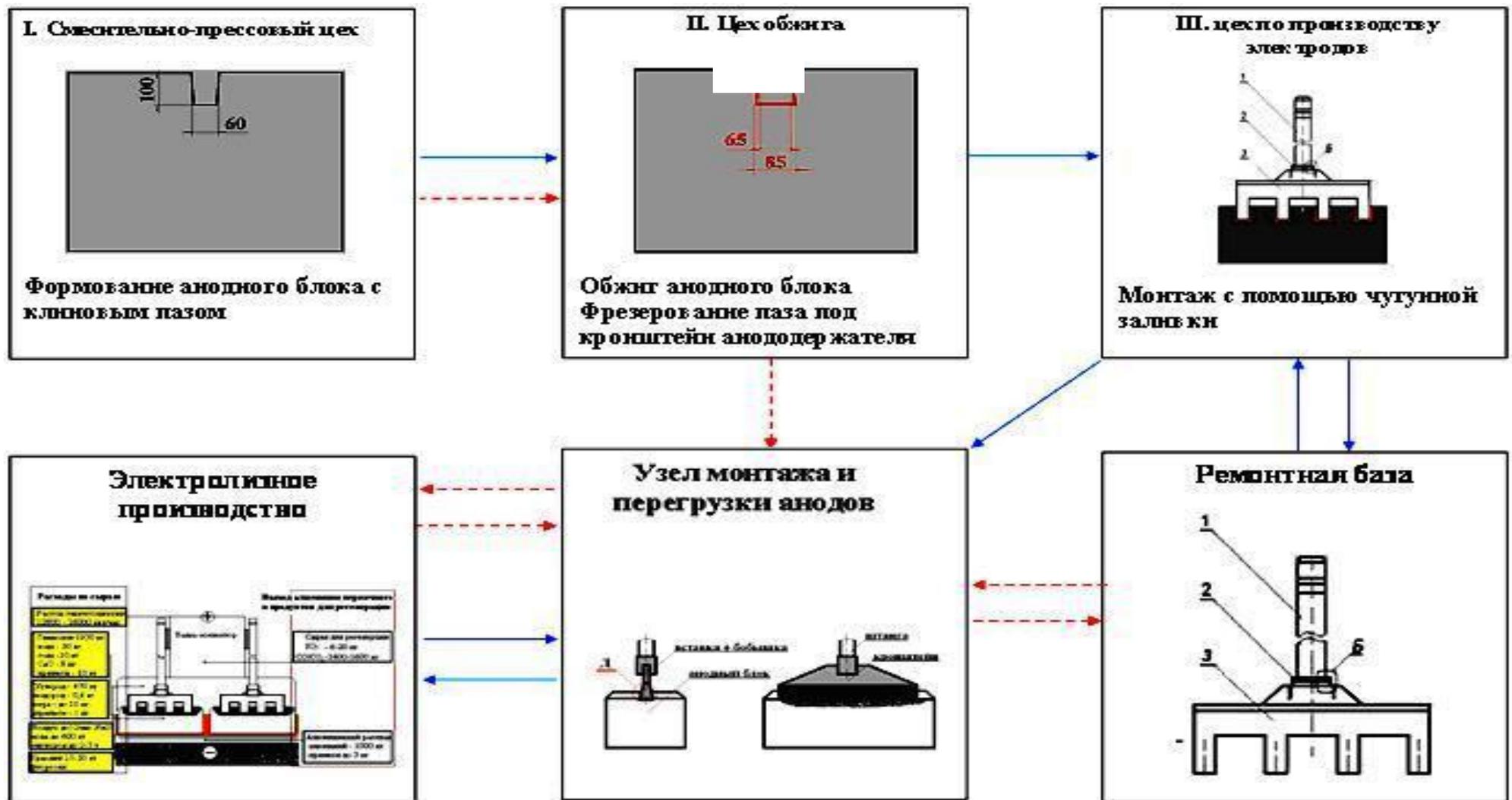


Рисунок. 4.19 - Блочная, укрупненная маршрутная схема движения анодных токоподводов

Таблица 4.8 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	№ экспериментальной ванны (анода)	№ серийной ванны (анода)	Разница	№ экспериментальной ванны (анода)	№ серийной ванны (анода)	Разница	№ экспериментальной ванны (анода)	№ серийной ванны (анода)	Разница	№ экспериментальной ванны (анода)	№ серийной ванны (анода)	Разница
				327 (18)	383 (8)		327 (18)	383 (8)		327 (18)	383 (8)		327 (18)	383 (8)	
				26.10.10г 12 ⁰⁵ час	26.10.10г 12 ⁰⁵ час			26.10.10г 14 ⁰⁰ час	26.10.10г 14 ⁰⁰ час			26.10.10г 15 ³⁰ час	26.10.10г 15 ³⁰ час		
				27.10.10г 9 ³⁰ час	27.10.10г 9 ³⁰ час			27.10.10г 9 ³⁰ час	27.10.10г 9 ³⁰ час			27.10.10г 9 ³⁰ час	27.10.10г 9 ³⁰ час		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷ 4,5												
2	Сила тока	кА	175												
3	Анодная плотность	А\см ²	0,72												
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	0,5	0,4	+0,1	2,0	1,0	+1	2,0	1,0	+1	2,5	2,0	+0,5
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	-	-		12	10	+2	12,5	11,5	+1	21	21	-
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	-	-		250	65+68+ +63+63 =259	-9	310	83+78+ +73+70 =304	+6	310	84+76+ +75+80 =315	-5
7	Контакт бобышка.-штанга	мВ													
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		-	-		28	13+9+ +15+16 =53/13	+15	28	13+10+ +14+17 =54/14	+15	57	47+45+ +54+65 =211/53	+4
9	Температура анода	°С		-	-		83	89	-6	95	91	+4	230	186	+44
10	Температура кронштейна	°С		-	-		81	82	-1	95	83	+12	182	124	+58
11	Контакт бобышка-анод	-													
12	Контакт анод-штанга	мВ													
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25												

Таблица 4.9 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	№ эксперимента	№ серийной	Разница	№ экспериментальной	№ серийной	Разница	№ экспериментальной	№ серийной	Разница	№ экспериментальной	№ серийной	Разница
				ванны (анода) 327 (18)	ванны (анода) 383 (8)		ванны (анода) 327 (18)	ванны (анода) 383 (8)		ванны (анода) 327 (18)	ванны (анода) 383 (8)		ванны (анода) 327 (18)	ванны (анода) 383 (8)	
				27.10.10г 13 ³⁰ час	27.10.10г 13 ³⁰ час		28.10.10г 13 ³⁰ час	28.10.10г 13 ³⁰ час		29.10.10г 09 ⁰⁰ час	29.10.10г 09 ⁰⁰ час		01.11.10г 09 ⁰⁰ час	01.11.10г 09 ⁰⁰ час	
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷ 4,5										4089	4089	
2	Сила тока	кА	175										179,91	179,91	
3	Анодная плотность	А/с м ²	0,72										0,7385	0,7385	
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	3,0	3,2	-0,2	3,2	3,4	-0,2	4,2	4,7	-05	5,4	4,6	+0,8
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	18	20	-2	26	22	+4	26	24	+2	28	27	+1
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	300	320	-20	300	320	-20	260	232	+28	240	160+230 200+235 =825/206	+34
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		10	10	-	9	10	-1	9	9	-	9	9	-
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ								73	53	+20	77	65+60 68+98 291/73	+4
9	Температура анода	°С		235	230	5	240	228	+12	230	210	+20	223	220	3
10	Температура кронштейна	°С		190	160	30	200	180	+20	200	200	-	200	212	-12
11	Контакт бобышка-анод	-													
12	Контакт анод-штанга	мВ													
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25												

Таблица 4.10 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница
				02.11.10г 10 ³⁰ час	02.11.10г 10 ³⁰ час		03.11.10г 10 ⁰⁰ час	03.11.10г 10 ⁰⁰ час		04.11.10г	04.11.10г		05.11.10г	05.11.10г	
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4037	4037		4077	4077		4092	4092				
2	Сила тока	кА	175	179,89	179,89		179,95	179,95		179,9	179,9				
3	Анодная плотность	А\см ²	0,72	0,7384	0,7384		0,7387	0,7387		0,7381	0,7381				
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	4,4	3,8	+0,6	4,3	3,8	+0,5	5,0	4,8	+0,2	5,0	4,8	+0,2
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	30	30	-	28	32	-4	28	35	-7	24	35	-11
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	230	255	-25	220	245	-25	210	245	-35	200	225	-25
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		8	8	-	8	8	-	8,0	7,8	+0,2	4	6	-2
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ								42	35	7	45	49	-4
9	Температура анода	°С		218	220	-2	208	220	-12	220	225	-5	215	234	-19
10	Температура кронштейна	°С		206	210	-4	212	202	+10	210	205	+5	214	240	-26
11	Контакт бобышка-анод	-					260	280	-20	250	350	-100	240	380	-140
12	Контакт анод-штанга	мВ					320	340	-20	360	230	+130	300	300	0
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25							42	35	-7	45	49	-4

Таблица 4.11 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница
				09.11.10г 10 ⁰⁰ час	09.11.10г 10 ⁰⁰ час		10.11.10г 14 ³⁰ час	10.11.10г 14 ³⁰ час		11.11.10г 9 ²⁰ час	11.11.10г 9 ²⁰ час		12.11.10г	12.11.10г	
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4099	4099		4078	4078		4111	4111		4031	4031	
2	Сила тока	кА	175	179,93	179,93		179,24	179,24		179,89	179,89		179,85	179,85	
3	Анодная плотность	А/см ²	0,72	0,7386	0,7386		0,7358	0,7358		0,7385	0,7385		0,7383	0,7383	
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	4,5	4,2	+0,3	4,5	3,8	+0,7	4,0	3,5	+0,5	3,5	3,0	+0,5
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	20	35	-15	24	30	-6	26	30	-4	28	30	-2
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	180	220+210+200+210=840/210	-30	180	180+160+190+160=690/172	+8	180	180+170+170+150=670/168	+12	180	150+180+200+180=710/177	+3
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		4,2	5,0	0,8	4,2	4,3	-0,1	4,3	5,8	-1,5	6,3	7,8	-1,5
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		63	55+22+40+80=197/49	14	64	50+57+61+80=248/62	+2	64	50+57+75+63=245/61	3	75	48+54+82+83=267/67	+8
9	Температура анода	°С		214	240	-26	247	243	+4	-	-		-	-	-
10	Температура кронштейна	°С		210	220	-10	220	224	-4	223	220	+3	220	220	-
11	Контакт бобышка-анод	-		220	310	-90	200	230	-30	230	220	+10	230	170	+60
12	Контакт анод-штанга	мВ		250	220	+30	200	240	-40	250	240	+10	320	220	+100
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	63	63+60+63+70=196/49	+14	62	58+55+63+80=256/64	-2	64	66+62+68+68=264/66	-2	75	70+66+73+71=280/70	+5

Таблица 4.12 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	№ экспериментальной ванны 327 (18)	№ серийной ванны 327 (14)	Разница	
				15.11.10 10 ⁰⁰ час	15.11.10 10 ⁰⁰ час		17.11.10 10 ⁰⁰ час	17.11.10 10 ⁰⁰ час		18.11.10 10 ⁰⁰ час	18.11.10 10 ⁰⁰ час		19.11.10 10 ⁰⁰ час	19.11.10 10 ⁰⁰ час		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4121	4121											
2	Сила тока	кА	175	179,89	179,89											
3	Анодная плотность	А/см ²	0,72	0,7385	0,7385											
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	4,3	3,7	+0,6	4,5	3,8	+0,7	4,5	3,8	+0,7				
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	25	32	-7	27	33	-6	29	35	-6				
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	170	200+180 160+136= 676/169	+1	160	170+160 +150+130 =610/157	+3	155	180+170+ 170+150= 670/168	-13				
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		6,8	7,5	-0,7	4,3	7,0	-2,7	4,3	7,3	-3				
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		74	73+74+ 71+70 =288/72	+2	75	76+66 +72+78 =292/73	+2	74	73+74+ 72+69 =288/72	+2				
9	Температура анода	°С														
10	Температура кронштейна	°С		248	230	+18	250	240	+10	251	249	+2				
11	Контакт бобышка-анод	-		280	320	-40	180	140	+40	180	-					
12	Контакт анод-штанга	мВ		300	250	+50	280	300	-20	200	-					
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	74	70+66+ 68+84= 288/72	+2	75	72+68+ 70+82= 292/73	+2	74	70+62+ 72+84= 288/72	+2				

Таблица 4.13 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА
(II-второй этап – проверка выбора оптимальной электропроводящей смазки)

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	30.11.2010, 14 ⁻³⁰			Разница	01.12.2010, 09 ⁻³⁰			Разница	02.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница
				Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)	
				№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/22 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4048	4048	4021		4052	4052	4015		4013	4013	3996	
2	Сила тока	кА	175	179,76	179,76	179,76		179,41	179,41	179,41		179,75	179,75	179,75	
3	Анодная плотность	А/см ²	0,72	0,7379	0,7379	0,7379		0,7365	0,7365	0,7365		0,7379	0,7379	0,7379	
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	2,2	4,6	3,0		2,9	4,6	3,6		3,2	4,6	3,7	
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	25	15	26		26	13	30		26	18	32	
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	260	380	420+420+420+400=1650\412		330	460	410+410+400+380=1600\400		250	360	360+250+320+280=1210\302	
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		7,0	5,0	5,0		7,0	5,0	6,0		5,0	7,0	6,0	
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		40	65	36		40	60	38		25	56	46	
9	Температура анода	°С		123	117	145		164	181	208		181	183	220	
10	Температура кронштейна	°С		112	122	119		162	183	135		175	210	149	
11	Контакт бобышка-анод	-		260	350	460		400	530	480		340	340	380	
12	Контакт анод-штанга	мВ		280	340	450		400	520	490		330	320	360	
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	40	65	36		40	82	38		25	56	46	

Таблица 4.14 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА (II-второй этап – проверка выбора оптимальной электропроводящей смазки)

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	03.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница	06.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница	07.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница
				Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)	
				№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4016	4016	4037		3999	3999	4090					
2	Сила тока	кА	175	179,98	179,98	179,98		179,95	179,95	179,95					
3	Анодная плотность	А\см ²	0,72	0,7388	0,7388	0,7388		0,7387	0,7387	0,7387					
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	3,5	4,8	5,4		5,0	4,2	5,4		4,2	3,4	5,4	
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	26	17	22		25	17	23		25	15	26	
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	220	300	330+220+310+290=1150\287		230	290	320+325+330+325=1300/325		250	280	340+350+370+300=1360/340	
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		4,5	4,2	8,9		5,0	2,2	13		6,6	3,4	15	
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		58	58	62		54	43	60		54	45	58	
9	Температура анода	°С		219	173	219		186	184	283		180	203	275	
10	Температура кронштейна	°С		176	217	210		171	218	227		172	280	260	
11	Контакт бобышка-анод	-		340	340	390		240	290	500		300	280	340	
12	Контакт анод-штанга	мВ		320	420	420		240	290	500		340	310	410	
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	58	58	62		54	43	90		54	38	80	

Таблица 4.15 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА
(II-второй этап – проверка выбора оптимальной электропроводящей смазки)

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	08.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница	09.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница	10.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница
				Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)	
				№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	3998	3998	3998		4014	4014	4020		4008	4008	4011	
2	Сила тока	кА	175	179,79	179,79	179,79		177,74	177,74	177,74		179.86	179.86	179.86	
3	Анодная плотность	А\см ²	0,72	0,7381	0,7381	0,7381		0,7279	0,7279	0,7279		0.7383	0.7383	0.7383	
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	3,8	3,7	5,4		4,4	3,5	5,2		4,2	3,5	4,5	
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	26	13	30		26	18	32		26	17	22	
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	280	280	290		270	280	270		260	270	220	
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		4,8	3,9	15		6,2	5,2	16		6,3	5,4	13	
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		58	48	56		65	50	55		70	55	55	
9	Температура анода	°С		192	210	262		250	214	260		250	223	256	
10	Температура кронштейна	°С		200	310	310		220	320	350		229	205	260	
11	Контакт бобышка-анод	-		340	330	410		350	300	470		340	300	300	
12	Контакт анод-штанга	мВ		75	55	85		78	50	90		350	310	290	
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25									70	55	55	

Таблица 4.16 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА (II-второй этап – проверка выбора оптимальной электропроводящей смазки)

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	13.12.2010, 9 ³⁰			Разница	14.12.2010,			Разница	15.12.2010,			Разница
				Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)	
				№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4027	4027	4034		4009	4009	4006		4040	4040	4046	
2	Сила тока	кА	175	179,99	179,99	179,99		177,69	177,69	177,69		179,96	179,96	179,96	
3	Анодная плотность	А/см ²	0,72	0,7389	0,7389	0,7389		0,7234	0,7234	0,7234		0,7387	0,7387	0,7387	
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	5.2	3.2	3.8		4,5	3,5	3,2		4,8	3,9	4,0	
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	13	16	22		14	15	20		12	17	22	
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	250	200	205		240	220	180		240	210	152	
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		6.3	5.8	12		5,8	5,0	10		5,7	4,1	7,6	
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		66	50	50		68	52	48		70	50	45	
9	Температура анода	°С		300	230	192		290	245	168		294	259	171	
10	Температура кронштейна	°С		249	212	250		202	229	226		209	229	222	
11	Контакт бобышка-анод	-		490	290	270		390	230	210		230	240	220	
12	Контакт анод-штанга	мВ		480	270	280		410	210	220		300	230	230	
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	105	50	50		68	52	48		81	50	45	

Таблица 4.17 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА (II-второй этап – проверка выбора оптимальной электропроводящей смазки)

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	16.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница	17.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница	20.12.2010, 9 ⁻³⁰			Разница
				Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)	
				№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4026	4026	4093	4028	4028	4031						
2	Сила тока	кА	175	180.01	180.01	180.01	179,84	179,84	179,84						
3	Анодная плотность	А/см ²	0,72	0.7389	0.7389	0.7389	0,7383	0,7383	0,7383						
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	4,2	3,8	4,4	4,1	3,9	3,8		4,1	3,9	3,8		
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	10	15	20	10	22	21		25	26	22		
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	230	200	182	220	200	182		210	200	180		
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		5,6	3,2	5,8	5,4	3,5	7,5		5,5	4,5	8,0		
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		68	55	42	65	55	48		58	69	46		
9	Температура анода	°С		300	300	155	304	270	159		270	260	149		
10	Температура кронштейна	°С		220	205	210	220	210	200		230	220	200		
11	Контакт бобышка-анод	-		280	220	220	300	300	250		190	-	140		
12	Контакт анод-штанга	мВ		300	220	240	300	280	250		190	-	250		
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	68	55	42	85	55	48		58	69	46		

Таблица 4.18 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА
(II-второй этап – проверка выбора оптимальной электропроводящей смазки)

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	21.12.2010, 9 ³⁰			Разница	22.12.2010, 9 ³⁰			Разница	23.12.2010, 9 ³⁰			Разница
				Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)	
				№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5	4026	4026	4027		4063	4063	4046					
2	Сила тока	кА	175	180	180	180		180	180	180					
3	Анодная плотность	А/см ²	0,72	0,7389	0,7389	0,7389		0,7389	0,7389						
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	4,9	3,4	4,2		4,5	3,6	4,0		4,0	3,8	3,5	
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	24	17	22		24	22	21		22	20	23	
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	100	-	-		-	-	-		-	-	-	
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		5,6	5,1	8,5		4,8	4,5	3,5		4,0	4,1	8,5	
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		65	68	55		60	65	55		60	60	56	
9	Температура анода	°С		262	-	-		-	-	-		-	-	-	
10	Температура кронштейна	°С		234	225	195		257	261	195		245	183	200	
11	Контакт бобышка-анод	-		150	-	-		-	-	-		-	-	-	
12	Контакт анод-штанга	мВ		140	-	-		-	-	-		-	-	-	
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	65	68	55		30	80	55		36	72	52	

Таблица 4.19 - Падение напряжения в контактных зонах и температуры нагрева анодного блока и кронштейна на экспериментальном и серийном анодных токоподводах электролизеров С - 175 кА
(II-второй этап – проверка выбора оптимальной электропроводящей смазки)

№	Наименование замера	Ед. измерения	Нормативы	24.12.2010, 9 ³⁰			Разница				Разница				Разница
				Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)		Экспериментальные ванны		№ серийной ванны 374 (14)	
				№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)			№373/21 (масло)	№373/11 (спирт масло)		
1	Рабочее напряжение	В	3,9÷4,5												
2	Сила тока	кА	175												
3	Анодная плотность	А/см ²	0,72												
4	Токораспределение по анодам	мВ	3÷6	2,8	3,0	3,8									
5	Контакт шина-штанга	мВ	до 12	15	12	22									
6	Контакт кронштейн-анод	мВ	до 150	-	-	-									
7	Контакт бобышка-штанга	мВ		3,2	3,5	5,6									
8	Контакт бобышка-кронштейн	мВ		63	58	58									
9	Температура анода	°С		-	-	-									
10	Температура кронштейна	°С		232	175	190									
11	Контакт бобышка-анод	-		-	-	-									
12	Контакт анод-штанга	мВ		-	-	-									
13	Контакт кронштейн-штанга	мВ	до 25	63	56	58									

Информация по действующим патентам на анодные токоподводы электролизеров по производству алюминия

№ п/п	Охранный документ	Название изобретения	Дата публикации	Организация - заявитель	Авторы
1	А/С 231842	Анододержатель алюминиевого электролизера	28.11.1968г.	ВАМИ - Всесоюзный НИИ алюминиевой, магниевой и электродной промышленности – г. Ленинград	Е.Г.Комерс, А.М. Цыплаков и В.Н. Зайцев
2	А/С 590373	Анододержатель алюминиевого производства	30.01.1978г.	Институт электросварки им. Е.О.Патона – г. Киев	Б.Е. Патон, Ю.П. Буштедт, В.А. Кирпатый, А.М. Чашухин и др.
3	717155			ВАМИ	
4	А/С 1061523	Анододержатель обожженного анода	14.05.1982г.	ВАМИ	Могилевич Б.Б., Цыплаков А.М., Деркач А.С., Пряхин Г.С. Мирпочаев Х.А. и др.
5	А/С 1165091	Анододержатель обожженного анода	07.06.1983г.	Белорусское республиканское научно-производственное объединение порошковой металлургии – г. Минск	Касперович В.Б., Демьянович Л.Б., Толошный А.А., Мирпочаев Х.А. и др.
6	1231085	Анододержатель обожженного анода	15.05.1986г.	ВАМИ	Г.А. Грибанов
7	А/С 1772220 А1	Анододержатель алюминиевого электролизера	30.10.1992г.	Институт электросварки им. Е.О.Патона – г. Киев	Л.А.Волгин, Ю.П. Буштедт, Г.И. Погорецкий. В.П. Бугаец и др.
8	2196193	Обожженный анод алюминиевого электролизера	05.06.2001	ОАО «Сибирский алюминий», РусАл	Берстенов В.В., Гейнце В.В., Зальцман А.А., Крылов Л.В., Старцев А.А., Ведерников Г.Ф., Петухов М.П.

9	А/С ПМ 33578	Анододержатель	21.04.2003	ОАО «Производственное объединение Усольмашзавод»	Гладышев А.М.
10	МП ТЈ 224	Анодный токоподвод электролизера	21.11.2008	ГУ НИИМ ГУП «ТАЛКО»	Мирпочаев Х.А. , Азизов Б.С.
11	МП ТЈ 223	Способ изготовления анодных токоподводов электролизера	21.11.2008	ГУ НИИМ ГУП «ТАЛКО»	Мирпочаев Х.А. , Азизов Б.С.
12	Евразийский патент 015614		28.12.2010	ГУ НИИМ ГУП «ТАЛКО»	Мирпочаев Х.А. , Янко Э.А., Азизов Б.С. и др.
13	Заявка №201201353 Евразийский патент	Анододержатель цельнолитой для электролизеров производства алюминия	24.08.2012	ГУ НИИМ ГУП «ТАЛКО»	Мирпочаев Х.А. , Кабиров Ш.О., Азизов Б.С. и др.
14	Евразийский патент (Заявка)	Способ изготовления анододержателя цельнолитого из алюминиевого сплава	24.12.2012	ГУ НИИМ ГУП «ТАЛКО»,	Мирпочаев Х.А. , Кабиров Ш.О., Янко Э.А. и др.

2. Фрезерование в РМЦ УГМ трапециевидных пазов в анодных блоках, отобранных из числа некондиционных в ЦО ГУП «ТалКо»;
3. Литье стальных кронштейнов в СЧЛЦ УГМ ГУП «ТалКо»;
4. Сборка трапециевидных анодных токоподводов в ОЭЦ ГУП «ТалКо»;
5. Проведение стендовых испытаний по механическим, тепловым и электрическим параметрам, которые дали позитивные результаты.

Результаты замеров по перепадам напряжений в контактных зонах трапециевидных и серийных анодных токоподводов приведены в приложенных таблицах.

Анализ по перепадам напряжений в контактных зонах трапециевидных и серийных анодных токоподводов сведен в табличную форму (см. ниже).

Анализ перепадов напряжений в узлах анодного токоподвода

№ п / п	Наименование зон контакта анодного узла	Перепад U	Норма	Факт	Отклонения ΔU , в:		Причины отклонений
					мВ	%	
1	шина-штанга	U_1	12	25	13	12	1) Некачественная чистота поверхности контактных зон. 2) Плохой зажим
2	штанга _в – штанга _н	U_2	15	75	60	58	1) Некачественная сварка трением на МСТ. 2) Неполный провар бобышки с кронштейном и кронштейна с ниппелем
3	штанга – бобышка	U_3					
4	штанга – кроштейн	U_4					
5	кроштейн – ниппель	U_5	150	180	30	30	1) Неполный провар контактных зон 2) Некачественный контакт «чугун-анод» и «смазка-анод»
6	ниппель – анод	U_6					
7	анод _в - анод _н	U_7	170	170*	-	-	*Замеры не производились, приведены нормативные показатели
Итого		U_{Σ}	347	450	103	100	

Таким образом, суммарный перепад напряжений - U_{Σ} составляет:

- по нормативам - 347 мВ;
- по факту для экспериментального токоподвода - 450 мВ;
- по факту для серийных токоподводов 440,8 - 521,1 мВ или в среднем 481 мВ.

На основании проведенных опытно - промышленных испытаний можно сделать следующие выводы:

1. Анодные токоподводы новой конструкции по технологическим параметрам сопоставимы с серийными анодными токоподводами, применяемыми на электролизёрах ГУП «ТАЛКо».
2. Анодные токоподводы, предлагаемые ГУ НИИМ ГУП «ТАЛКл», могут обеспечить контакт «ниппель-анодный блок» без использования чугунной заливки.
3. Продолжить опытно-промышленные испытания анодных токоподводов на основании решения технического совета ГУП «ТАЛКо»

Директор ГУ «НИИМ»
ГУП «ТАЛКо» д.х.н., профессор

Х. Сафиев

Технический директор ГУП «ТАЛКо»

Б.Э. Тошматов

Директор анодного
производства ГУП «ТАЛКо»

А.Н. Саидов

Директор электролизного
производства ГУП «ТАЛКо»

А.Б. Холов

Зам. директора по научной работе
ГУ «НИИМ» ГУП «ТАЛКо»
д.т.н., профессор

Б.С. Азизов

Зам. директора по
внедрению – главный инженер
ГУ «НИИМ» ГУП «ТАЛКо»

Х.А. Мирпочаев

Начальник УГЭ ГУП «ТАЛКо»

У.И. Халилов

Начальник ОЭЦ ГУП «ТАЛКо»

Х.К. Алиев

Начальник отдела по внедрению
инновационных технологий
ГУ «НИИМ» ГУП «ТАЛКо»

Р.М. Бахретдинов



ФАРМОН

ПРИКАЗ

№ 011, Февраль с. 2010

№ 39

ш. Турсунода

О предварительных испытаниях
анодных токоподводов
электролизеров для производства
алюминия

С целью проведения предварительных физико-химических исследований, электрических, механических испытаний анодного блока и анододержателя для выбора конструкции, технологии изготовления опытных анодных токоподводов электролизеров для производства алюминия

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Техническому директору Тошматову Б.Э., заместителю директора ГУ НИ-ИМ ГУП «ТАЛКО» (далее института) Мирпочаеву Х.А. в сроки:

- до 15 января 2010 года разработать рабочие чертежи на фрезу для изготовления клинового паза в анодном блоке;
- до 30 января 2010 года изготовить опытный образец указанной фрезы.

2. Техническому директору Тошматову Б.Э., директору ПА Хисочаеву Х.Р., заместителю директора института Мирпочаеву Х.А. в сроки:

- до 15 января 2010 года разработать рабочие чертежи на фрезерование клинового паза в анодном блоке;
- до 10 февраля 2010 года изготовить фрезерованием опытные анодные блоки в количестве 12 шт., используя забракованные обожженные аноды.

3. Техническому директору Тошматову Б.Э., заместителю директора института Мирпочаеву Х.А. в сроки:

- до 20 января 2010 года разработать рабочие чертежи на стальную, литую, «усеченную» вставку (далее - вставку), имитирующую нижнюю часть кронштейна анододержателя;
- до 10 февраля 2010 года отлить указанные вставки в клиновой паз анодного блока в количестве 12 шт.

4. Директору ПА Хисочаеву Х.Р., главному специалисту «Талко менеджмент Ltd» Турсунову С.А. (по согласованию), заместителю директора института Мирпочаеву Х.А. в сроки:

- до 25 января 2010 года разработать сборочные чертежи на опытный анодный блок с клиновым пазом и вставкой;
- до 15 февраля 2010 года собрать опытные анодные блоки с вставкой в количестве 12 шт., используя забракованные обожженные аноды, изготовленные по пунктам 2,3 настоящего приказа. Перед сборкой очистить клиновой паз анодного блока, а также

обмазать вставку подогретой анодной массой или графитовой обмазкой или иным по составу углеграфитовым материалом;

- до 20 февраля 2010 года установить опытные анодные блоки с вставкой в обжиговые печи и провести их испытание на тепловое расширение в диапазоне температур 500 – 950 °С, соответствующему температуре в рабочей зоне процесса электролиза алюминия.

5. Техническому директору Тошматову Б.Э., начальнику УГЭ - главному энергетнику Халилову У.И., главному специалисту «Талко менеджмент Ltd» Турсунову С.А. (по согласованию), заместителю директора института Мирночаеву Х.А. в сроки:

- до 15 февраля 2010 года составить методику проведения механических и электрических испытаний опытных анодных блоков с вставкой, разработать проектно-техническую документацию на необходимые для испытаний оснастку, приспособления;

- до 25 февраля 2010 года изготовить необходимую оснастку, приспособления для механических и электрических испытаний опытных анодных блоков с вставкой;

- до 10 марта 2010 года провести механические и электрические испытания опытных анодных блоков с вставкой в количестве 12 шт. после проведения тепловых испытаний по пункту 4 настоящего приказа.

6. Техническому директору Тошматову Б.Э., директору ПА Хисочаеву Х.Р., начальнику УГЭ - главному энергетнику Халилову У.И., главному специалисту «Талко менеджмент Ltd» Турсунову С.А. (по согласованию), заместителю директора института Мирночаеву Х.А. в сроки:

- до 15 марта 2010 года по результатам проведенных работ подготовить предварительные выводы и заключения руководству ГУП «ТАЛКО» для рассмотрения на Совете директоров предприятия;

- до 30 марта 2010 года, с учетом рекомендаций Совета директоров и специалистов ГУП «ТАЛКО» до опытно-промышленных испытаний подготовить предложения по промежуточным, физико-химическим, электрическим, механическим исследованиям анодного блока с анододержателем для усовершенствования конструкции и технологии изготовления опытных анодных токоподводов электролизеров для производства алюминия.

7. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на технического директора Тошматова Б.Э. и директора института Сафиева Х. С.

Управляющий директор

Визы:

Юридический директор

Директор по коммерции и финансам

Технический директор

Директор по производству анодов

Приказ вносит:

Директор ГУ НИИМ ГУП «ТалКо»

С.Ф.Шарипов

М.Г.Мирзоев

Ш.О.Кабиров

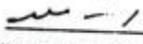
Б.Э.Тошматов

Х.Р.Хисочаев.

Х.С.Сафиев

Чарыева К.
19.01.2010

«Утверждаю»
Управляющий директор

 С.Ф. Шарипов
« 13 » 01 2010г.

Протокол № 08 - 10
Заседания технического совета ГУП «ТалКо»

22.12.2010г.

г. Турсунзаде

Повестка дня:

1. Отчет ГУ «НИИ Metallургии» ГУП «ТалКо» по результатам опытно-промышленных испытаний по получению и использованию криолит - глиноземного концентрата в электролизном производстве.

2. Отчет ГУ «НИИ Metallургии» ГУП «ТалКо» по результатам работ по усовершенствованию конструкций и технологии изготовления анодных токоподводов.

Присутствовали:

Тошматов Б.Э., Кадыров Н.А., Саидов А.Н., Джураев А.Х., Холов А.Б., Муминов Ш., Абдуллаев А.Б., Халилов У.И., Нормиратов Д.Х., Пардаев Ж., Куликова З.Н., Давлатов А.А., Назиров М.К., Хайдаров С., Султонов С., Мустафакулов Г., Курбонов И.
От ГУ «НИИ Metallургии» ГУП «ТалКо»
Сафиев Х.С., Азизов Б.С., Мирпочаев Х.А., Рузиев Д., Бахретдинов Р.М., Турдиматов С.

По первому вопросу выступил зам. директора по научной работе ГУ «НИИ Metallургии» - Азизов Б.С. Был заслушан отчет «О результатах опытно-промышленных испытаний по производству криолито-глиноземного концентрата из шлама и его использованию в качестве подпиточного сырья, укрывного материала, пускового и послепускового сырья в электролизном производстве».

В прениях выступили: Холов А.Б., Муминов Ш., Тошматов Б.Э.

Выступающим было отмечено, что в экспериментальных электролизерах наблюдается увеличение уровня пены. Так как эксперименты по использованию КГК проводились на электролизерах с большими сроками службы, выдаваемые алюминий с большим содержанием железа, закономерного негативного их влияния на процесс электролиза и сортности выпускаемого алюминия не наблюдается.

После обмена мнениями решили:

1. Утвердить отчет ГУ «НИИ Metallургии» «О результатах опытно-промышленных испытаний по производству криолито-глиноземного концентрата из шлама и его использованию в качестве подпиточного сырья, укрывного материала, пускового и послепускового сырья в электролизном производстве».

2. ГУ «НИИ Metallургии» разработать программу работ по внедрению технологии эффективной переработки шлама (отходов шламового поля) и использования КГК в производстве ГУП «ТалКо».

3. ГУ «НИИ Metallургии» продолжить опытно-промышленные испытания по производству КГК из шлама и его использованию в электролизном производстве. На основе этих работ разработать методику использования КГК в условиях ГУП «ТалКо» и представить на согласование специалистам ГУП «ТалКо».

Срок: январь 2011г.

Срок: май 2011г.

По второму вопросу выступил зам. директора по внедрению - главный инженер ГУ «НИИ Metallургии» - Мирпочаев Х.А. Был заслушан отчет «О результатах работ по усовершенствованию конструкций и технологии изготовления анодных токоподводов».

В прениях выступили: Холов А.Б., Саидов А.Н., Халилов У.И., Тошматов Б.Э.

Выступающим было отмечено:

Предложенная конструкция анододержателя практически не ремонтно-пригодная в случае оплава.

Необходима технологическая линия для очистки от огарков, зачистки кронштейнов и монтажа анодов на новые анододержатели, то есть техпроцессы в ЦППЭ полностью не исключаются.

Перепад напряжения в контакте «кронштейн – анод» экспериментального анодного токоподвода соразмерны с уровнем перепадов напряжения в существующих серийных конструкциях анодного токоподвода.

Основная задача состоит по уменьшению перепада напряжения в контактных узлах токоподводов и снижения затрат на ремонтно-эксплуатационные нужды.

Для сбора статистических данных и более основательного (точного) определения характеристик экспериментального анодного токоподвода предлагается продолжить их испытания.

После обмена мнениями решили:

1. Утвердить отчет ГУ «НИИ Metallургии» «О результатах НИР и ОКР по усовершенствованию конструкции и технологии изготовления анодных токоподводов».
2. ГУ «НИИ Metallургии» продолжить работы по испытанию экспериментальных анодных токоподводов на одном электролизере.

Технический директор

Тошматов Тошматов Б.Э.
10.01.1981

Х.А. Мирпочаев
А.Б. Холов
А.Н. Саидов
У.И. Халилов
Б.Э. Тошматов