

**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, КОНСТРУКЦИЙ И  
ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНОДНЫХ ТОКОПОДВОДОВ  
ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности**

**05.02.01 – Материаловедение**

**(05.02.01.02 – отрасль машиностроения)**

Душанбе – 2022

Работа выполнена в отделе инновационных технологий и лаборатории переработки местного глинозём - углеродсодержащего сырья государственного учреждения «Научно-исследовательский институт металлургии» ОАО «Таджикская алюминиевая компания» (ГУ «НИИМ» ОАО «ТАЛКО»).

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

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

**Официальные оппоненты:** **Одиназода Хайдар Одина** - доктор технических наук, профессор кафедры «Металловедение, металлургические машины и оборудование» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, член-корреспондент НАНТ.

**Мирзоев Бодур** - доктор технических наук, старший научный сотрудник отдела науки, инноваций, международных связей и издательской деятельности филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе.

**Ведущая организация:** Государственное учреждение «Центр по исследованию инновационных технологий Национальной академии наук Таджикистана (ГУ ЦИИТ НАНТ).

Защита состоится «02» февраля 2023 года в 9-00 часов на заседании диссертационного совета 6D.КОА-028 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими по адресу: 734063, г. Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте <http://.ttu.tj> Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими.

**Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук**



**Бабаева А.Х.**

## 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 отработанных элементов АТ после их эксплуатации.

### ***Задачами исследования данной работы являются:***

- определение оптимальной формы и проведение расчетов механической прочности, теплового расширения конструктивных узлов АТ;

- 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 чугуновой 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:**

- изучение механизма контактной электропроводимости системы «металл-углерод» с применением буферных паст на основе водоспиртографитовых смазок с целью исключения образования интерметаллидов в зоне контакта;
- исследование процесса электропроводимости в контактах «металл-углеграфит» при больших плотностях тока, что позволило выбрать оптимальный состав электропроводящей смазки;
- исследование перепадов напряжений в контактных зонах анодного токоподвода для снижения потерь электрического тока в критических зонах.

**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** заключается в сокращении техпроцессов монтажа-демонтажа АТ, переработки огарков-отходов анодов, ликвидации всех операций, связанных с применением чугуновой заливки - индукционных печей ИЧТ и прессов для съёма чугуна, улучшении экологии, снижении многих производственных затрат.

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».

**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.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выполненных исследований, сформулированы цели и задачи работы, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

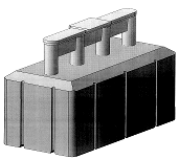
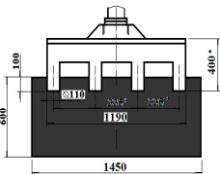
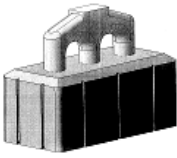
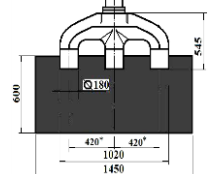
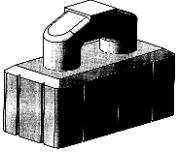
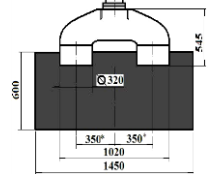
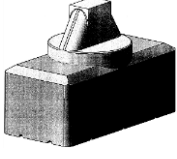
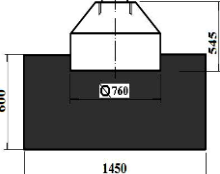
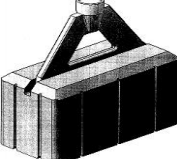
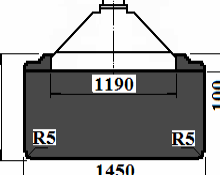
**В первой главе** выполнен обзор литературы о состоянии и перспективах развития анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия (см. рис. 1,2,3). Рассмотрены имеющиеся конструктивные и технологические решения по применяемым материалам, технологии изготовления и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров. Проведен анализ материалов, конструкций и технологии изготовления анодных токоподводов, используемых в алюминиевой отрасли, на базе чего сформулированы, обоснованы цели и задачи направлений исследований по теме диссертации.

**Во второй главе** произведён выбор и расчёт оптимальных материалов, конструкции усовершенствованных анодных токоподводов, включая расчеты механической прочности и теплового расширения кронштейна. Исследованы физико-механические показатели анодного блока с клиновым пазом. Разработана новая конструкция анодного токоподвода в сборе из угольного анодного блока и стального кронштейна анододержателя.

**В третьей главе** приведены разработанные технологические схемы, процессы изготовления, эксплуатации усовершенствованных анодных токоподводов и выполнено сравнение технологических процессов изготовления и эксплуатации типовых и усовершенствованных анодных токоподводов. Приведены технологии, методы разборки, ремонта, утилизации предложенных анодных токоподводов, отработавших в электролизном производстве.

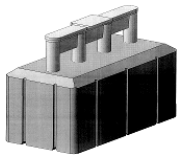
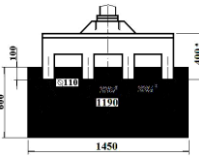
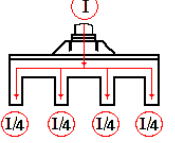
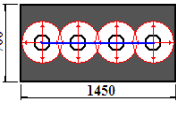
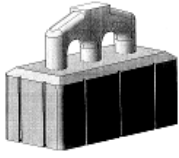
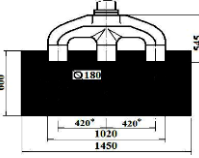
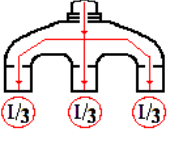
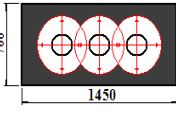
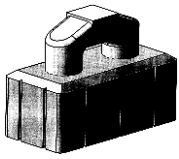
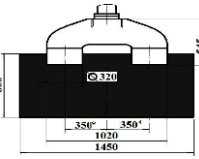
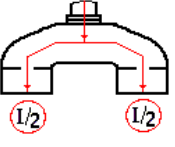
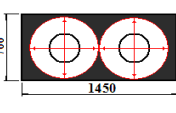
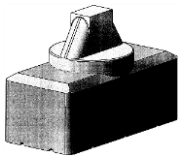
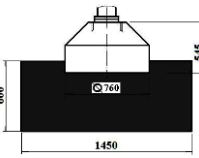
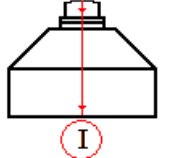
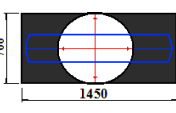
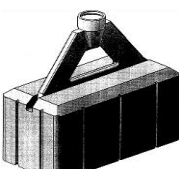
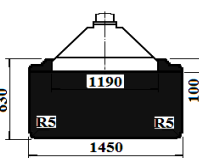
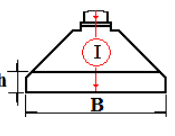
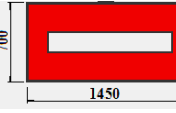
**В четвёртой главе** проанализированы результаты стендовых и опытно-промышленных испытаний физико-механических, электрических и эксплуатационных параметров усовершенствованных и серийных анодных токоподводов, а также технико-экономическое обоснование изготовления и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.

## Тенденция развития конструкции анодных токоподводов в мире

№	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 с 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 100 мм $\Delta S$ - площадь контакта одного ниппеля равна $1380 : 4 = 345 \text{ см}^2$ .	<u><b>Ø110</b></u> 4
2	3-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля с 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><b>Ø180</b></u> 3
3	2-х ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля с 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><b>Ø320</b></u> 2
4	1- ниппельный, ниппель - круглый, соединение ниппеля с 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><b>Ø760</b></u> 1
5	1- ниппельный, трапециевидный, соединение ниппеля с анодным блоком по типу «ласточкин хвост» со смазкой электропроводной			$V$ - длина контактной площади, принята равной длине 4-х ниппельного анодного кронштейна. $V = 1190 \text{ мм}$ $h$ - высота контакта 100 мм $n$ - число зон контакта 2 $S = V \cdot h \cdot n$ , откуда, $h = 2415 : 119 \cdot 2 = 10,14 = h = 101,4 \text{ мм}$	<u><b>V x h</b></u> 1190x100

**Рисунок 1** - Геометрические параметры анодных токоподводов

## Анализ токопроводимости анодных токоподводов

№	Наименование анодного токоподвода	Внешний вид токоподвода	Эскиз токоподвода	Расчет площади контакта	Токопроводимость	
					Схема	Эпюра
1	<b>4-х ниппельный</b> , 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	<b>3-х ниппельный</b> , 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	<b>2-х ниппельный</b> , 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	<b>1- ниппельный</b> , 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	<b>1- ниппельный</b> , трапецевидный, соединение ниппеля с анодным блоком по типу «ласточкин хвост» с электропроводной смазкой			$S = B \cdot h \cdot n =$ $1190 \cdot 100 \cdot 2$ $S = 2380 \text{ см}^2$		

**Рисунок 2 - Токопроводимость анодных токоподводов**



**Рисунок 3 - Прогноз направления развития конструкции АТ**



## Глава 2. Выбор формы и расчёт параметров усовершенствованного однопипельного трапециевидного кронштейна АТ

На основе анализа типовых конструкций АТ и с учетом более простого изготовления пипеля прямоугольной формы, разработана конструкция однопипельного, трапециевидного кронштейна АТ.

Работа по конструированию кронштейна АТ была начата с выбора его формы, геометрических размеров (рис. 4).

При расчете и выборе конструкции нового кронштейна АТ, приняв высоту и ширину кронштейна соразмерными типовому кронштейну, определили толщину кронштейна в зоне контакта.

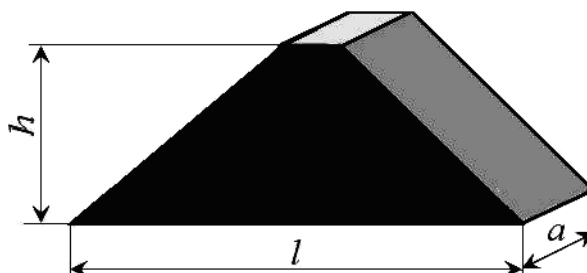


Рисунок 4 - Геометрические размеры трапециевидного кронштейна

Кронштейн сконструирован в виде равнобедренного треугольника, где:  
 $l$  – ширина кронштейна принята равной ширине серийного кронштейна, т.е.  $l \approx 1190$  мм;

$h$  – высота кронштейна принята равной высоте серийного кронштейна, т.е.  $h \approx 600$  мм;

$a$  – толщина кронштейна, где расположена трапециевидная часть АТ, определена по формуле:

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

где:

$G_k$  – масса экспериментального кронштейна принята равной массе серийного аналога без учета стальной бобышки и равна  $\approx 230$  кг;

$\gamma$  – удельный вес стали  $\approx 7,5$  г/см<sup>3</sup>,

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

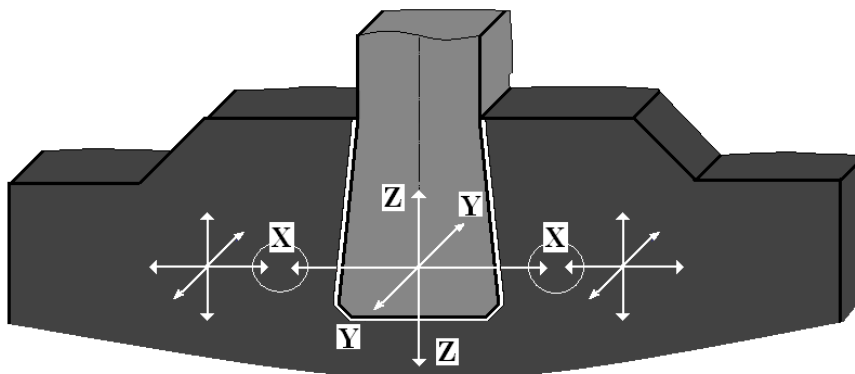
Откуда

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

В итоге кронштейн был сконструирован треугольной формы, изготовлен, контакт «кронштейн–анод» рассчитан на механическую прочность, а испытания подтвердили правильность расчетов.

## Расчет элементов АТ на тепловое расширение

По составленной схеме (рисунок 5) 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 5** - Схема теплового расширения стального кронштейна и углеродистого анодного блока

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:

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

$$e_a = \alpha_y \cdot \Delta t \cdot B_a : n \quad (2)$$

где:

$e_k$  и  $e_a$  – величины теплового расширения кронштейна и анода;

$\alpha_c$  и  $\alpha_y$  – коэффициенты теплового расширения для углеродистой стали и угля (графита) в рабочем диапазоне температур;

$\Delta t$  - 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 равной температуре электролиза алюминия ( $\approx 950^\circ\text{C}$ ) и подставляя значения  $\alpha_c$  и  $\alpha_y$  при этой температуре в уравнения 1,2 получим:

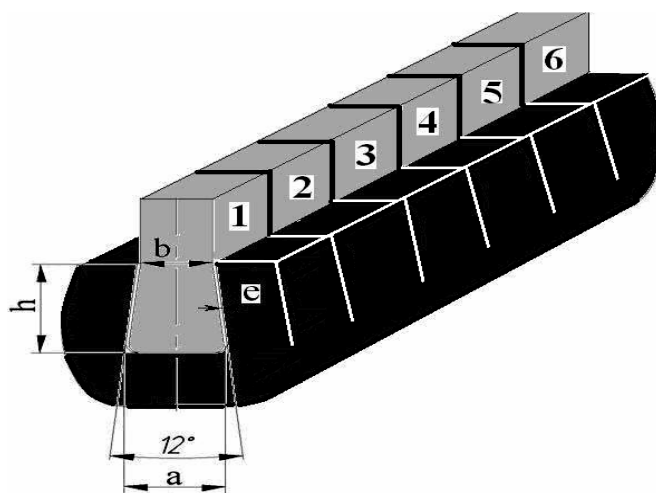
$$e_k = 14.3 \cdot 10^{-6} \cdot 930 \cdot 84 : 2 = 0,56\text{мм}$$

$$e_a = 0.63 \cdot 10^{-6} \cdot 930 \cdot 700 : 2 = 0,21\text{мм}$$

Проведенные расчеты показали, что суммарная величина теплового расширения кронштейна ( $e_k$ ) и анода ( $e_a$ ) будет равна 0,77мм, но с учетом электропроводной смазки величину зазора необходимо принять больше расчетной величины.

Для подбора оптимальной величины зазора ( $e$ ) между анодом и кронштейном, стальная вставка длиной 1450мм, имитирующая ниппельную

часть кронштейна, была распилена на шесть частей, каждая длиной примерно 240мм (см. рисунок 6).



**Рисунок 6** - Подбор оптимальной величины зазора (e) между анодом и кронштейном

Остальные параметры стальных вставок, а именно размеры (a) и (б), указанные на рисунке 6 и в таблице 1, были изготовлены точно для обеспечения необходимого зазора (e) между анодом и ниппелем кронштейна в пределах от 0,25 до 1,5мм.

**Таблица 1** - Подбор оптимального зазора между анодом и кронштейном

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

Указанные стальные вставки вмонтировали в трапециевидный паз анодного блока, верхняя часть которого предварительно также была распилена на шесть элементов.

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

Затем эти элементы в сборе установили в экспериментальную печь, где произвели их нагрев в печи при температуре до 970°C.

Эксперимент позволил проверить пределы допустимого диапазона зазоров между соединяемыми деталями АТ и возможные пределы допусков по их изготовлению.

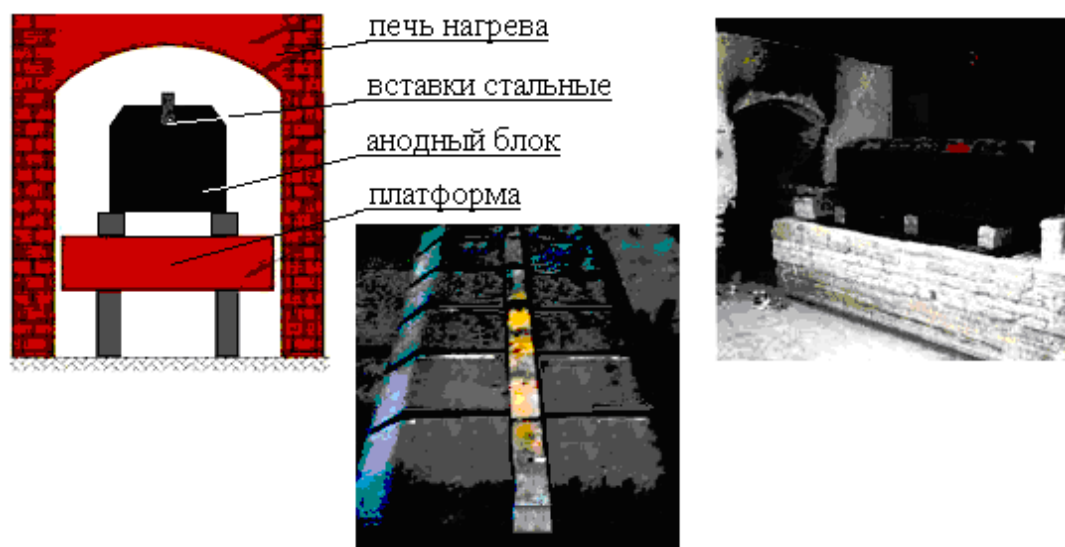
Выбор оптимальных видов смазки был осуществлен, исходя из их удельных электрических сопротивлений (УЭС).

Далее через эти элементы-контакты «анод-кронштейн» был пропущен ток силой 400А и замерены перепады напряжения (табл. 2).

**Таблица 2** - Проверка перепадов напряжения по выбранным смазкам

№ вставки	Зазор, (мм)	Сила тока, (А)	Перепад напряж., (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+маслоИ-40
4	1,0	400	30	Анодная пыль+отходы графитной смазки
5	1,25	400	75	Холоднонабивная подовая масса (ПХНМ)
6	1,5	400	75	Холоднонабивная подовая масса (ПХНМ)

Окончательный выбор оптимальных видов смазки был сделан по результатам экспериментов, исходя из их меньших перепадов напряжения. Достоверность теоретических расчетов по тепловому расширению сопрягаемых деталей подтвердили (см. рис.7) испытания в экспериментальной печи при температуре до 970°C.



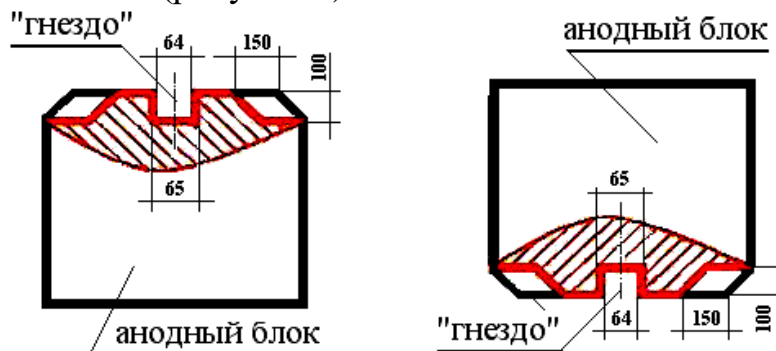
**Рисунок 7** - Стенд для испытаний АТ на тепловое расширение

### **Физико-механические исследования материала анодного блока**

С целью обеспечения механической прочности соединения анодного блока с трапециевидным кронштейном АТ в условиях работы при высоких температурах, при определении места формирования и протяжки клинового паза – «гнезда» контакта в анодном блоке должны быть учтены два обязательных условия.

Первое, это должно быть место в анодном блоке с оптимальной, допустимо большей плотностью.

Второе, 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 (рисунок 8).



**Рисунок 8** - Выбор места формирования паза анодного блока

Путем определения плотности анодного блока в лаборатории было установлено, что верхняя часть анодного блока имеет наибольшую плотность и мелкую зернистость (таблица 3).

**Таблица 3** - Основные физико-механические показатели анодного блока

Анодный блок, № проб	Плотность (объемный вес), г/см <sup>3</sup>	Плотность (удельный вес), г/см <sup>3</sup>	Механическая прочность, кгс/см <sup>2</sup>	Выводы
1	1,57	2,073	455	Верхняя часть анодного блока более плотная
2	1,58	2,069	449	
3	1,59	2,068	431	
Среднее значение в верхней части анодного блока	1,58	2,070	445	
1	1,58	2,066	400	
2	1,56	2,071	419	
3	1,52	2,060	443	
Среднее значение в нижней части анодного блока	1,55	2,065	420	

Поэтому в верхней части анодного блока на вибропрессе был отформован клиновидный паз с помощью специально изготовленного пуансона. Затем анодный блок направили в обжиговый передел производства АТ.

После обжига на специальном стенде протяжки окончательно сформировали трапециевидный паз в обожженном анодном блоке, при этом одновременно произвели чистку и калибровку паза, то есть подготовили анодный блок (АБ) для сборки с анододержателем (АД).

## Разработка конструкции АТ с трапециевидным кронштейном

С целью улучшения эксплуатационных характеристик электролизера для производства алюминия, используя результаты проведенных исследований - расчетов по оптимальному выбору форм, материалов конструктивных элементов новых АТ, была разработана рабочая конструкторская документация (РКД) на АТ с трапециевидным кронштейном (рис. 9).

Затем было проведено сопоставление габаритов АТ в привязке к электролизеру, а также сравнение экспериментального АТ с существующими конструкциями в мировой практике.

По разработанной РКД были изготовлены элементы АТ для окончательного их соединения.

Произвели сборку экспериментальных АТ (рис. 9), соединив анодный блок с анододержателем, используя графитную, электропроводящую смазку и подготовили АТ для проведения испытаний на стенде и действующих электролизных ваннах.

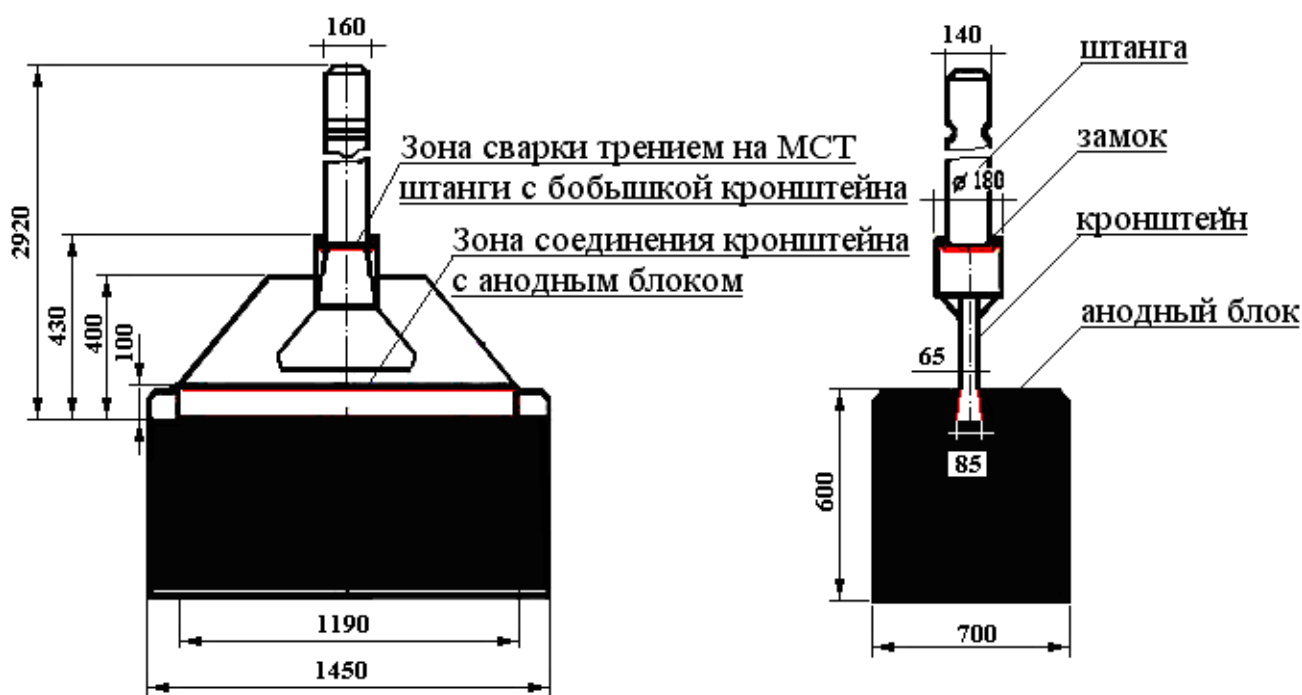


Рисунок 9 - Конструкция АТ с трапециевидным кронштейном

### Глава 3. Разработка технологических схем и процессов изготовления, эксплуатации и утилизации отходов усовершенствованных АТ.

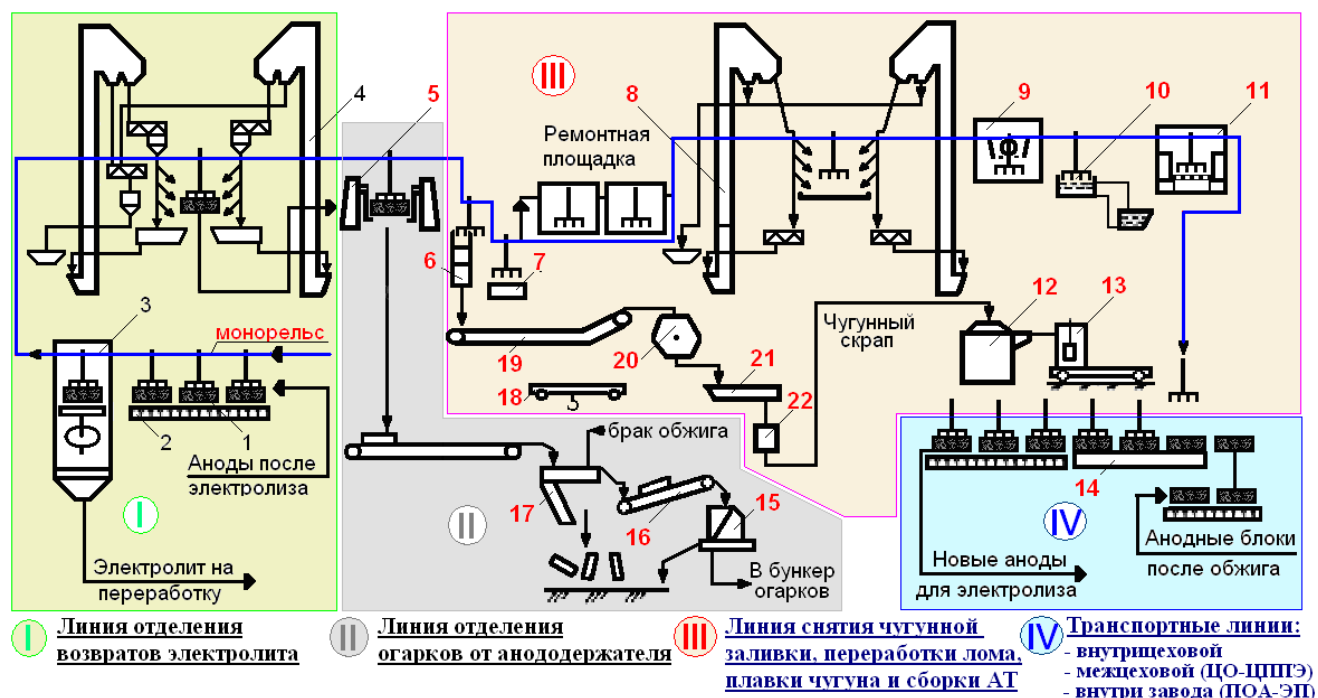
Разработаны технологические схемы и процессы изготовления и эксплуатации АТ, утилизации отработанных элементов типовых и предлагаемых АТ, включая способы монтажа, разборки и ремонта отработанных элементов АТ, проанализированы принятые в мировой

практике технологии и оборудование по утилизации – переработке возвратов электролизного и анодного производств, а именно – электролита, остатков анода – огарка, чугуновой заливки, оплавленных ниппелей.

Также были предложены новые технологии, схемы, оборудование для удаления и регенерации электролита, снятия – дробления анодных блоков – огарков, обоснованы отказ от значительного количества технологического оборудования по типовой технологии и необходимость внесения конструктивных изменений в оставляемое оборудование.

Типовая технология изготовления, эксплуатации АТ и вновь разработанная технология сведены в табличную форму, а также дано сравнение этих технологий.

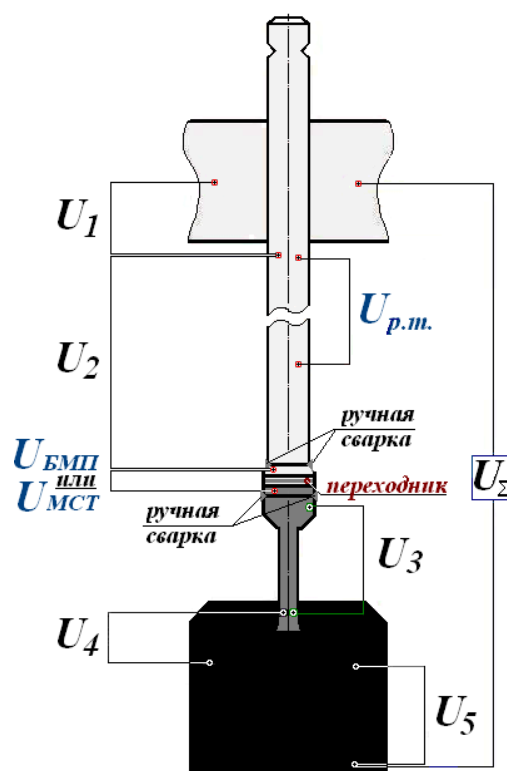
В качестве примера, на рисунке 10 приведена технологическая схема анодно-монтажного отделения (АМО), где на соответствующих линиях производятся операции по разборке, утилизации и ремонту элементов АТ, монтажу отремонтированного или нового анододержателя с анодным блоком типового АТ, которые практически полностью ликвидируются по предлагаемой технологии.



**Рисунок 10** - Технологическая схема анодно-монтажного отделения

#### **Глава 4. Опытно-промышленные и стендовые испытания анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия.**

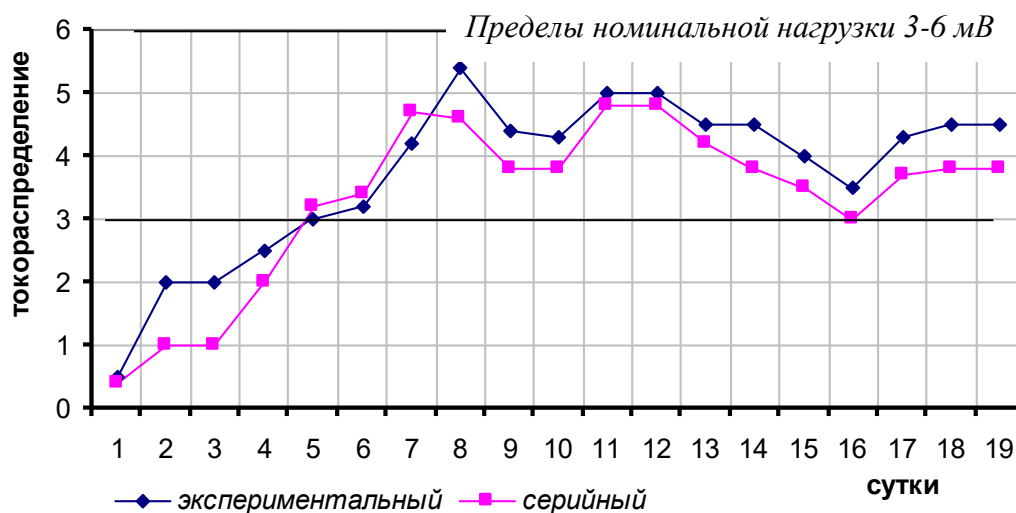
На основе практически принятой в алюминиевой отрасли методике и схеме замеров (рисунок 11) технологических, особенно электрических параметров работы электролизеров были составлены и утверждены с ЭП и ПОА программы, методики стендовых и опытнo-промышленных испытаний АТ на действующем электролизёре.



**Рисунок 11** - Схема замеров перепадов напряжений

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

На рисунке 12 показаны распределение тока по анодам и выход на номинальную нагрузку экспериментального и серийного АТ с момента их установки.

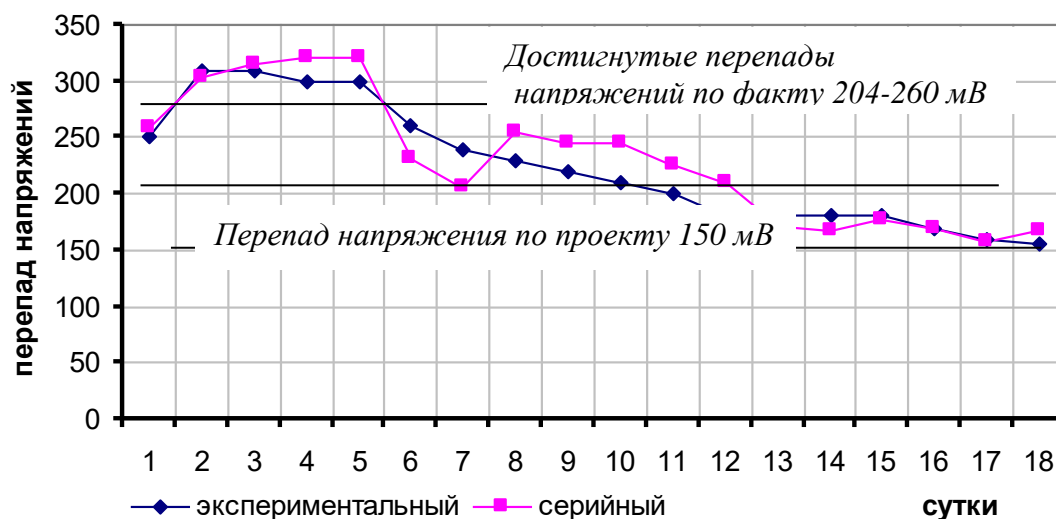


**Рисунок 12** - Распределение тока по анодным токоподводам

Как видно из рисунка, анодные токоподводы через 3 - 5 суток после их установки начинают принимать номинальную нагрузку. Характер выхода на режим работы обоих АТ не имеет существенных различий.

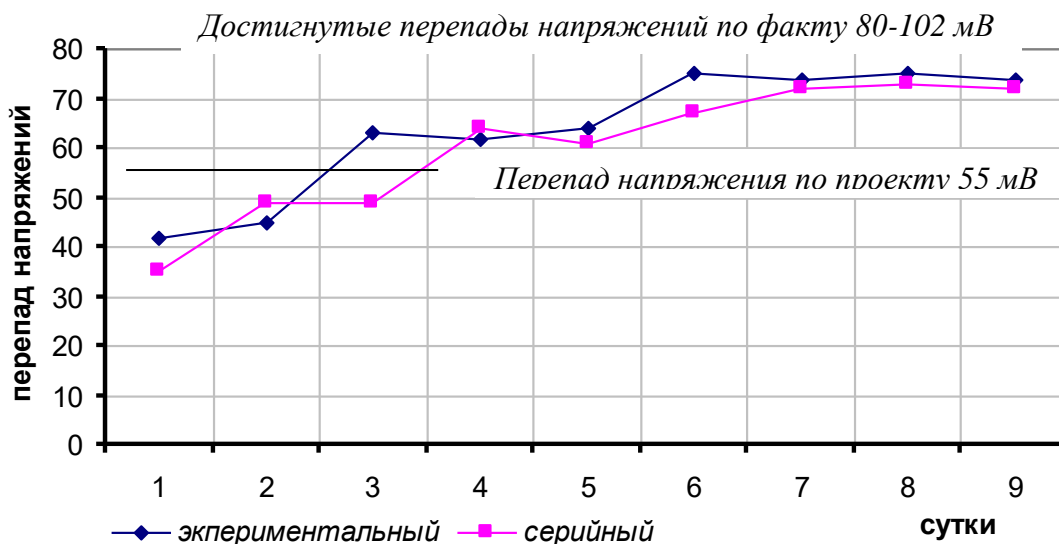


В начальный период (рисунок 13) перепады напряжений в контакте «кронштейн - анод» на обоих АТ достаточно велики (до 320 мВ) и только по истечению 4-5 суток работы показатели АТ нормализуются и достигают величины 150-200 мВ, что выше допустимых норм, но находятся на уровне фактически достигнутых норм перепадов напряжений для электролизеров данного типа.



**Рисунок 13** - Перепад напряжений в контакте кронштейн-анод, ( $U_6$ )

На рисунке 14 приведен перепад напряжений в контакте кронштейн-штанга сравниваемых АТ.



**Рисунок 14** - Перепад напряжений 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.

Проведенные суммарные замеры перепадов напряжений ( $U_{\Sigma}$ ) в контактных зонах АТ составили по экспериментальному токоподводу - 450 мВ, а фактически достигнутые перепады напряжения ( $U_{\Sigma}$ ) по серийному токоподводу на «ТАЛКО» составили около 481 мВ.

По данным замеров выполнен анализ перепадов напряжений в контактных зонах элементов экспериментального и серийного АТ.

В таблице 4 приведены причины и анализ отклонений перепадов напряжений в узлах экспериментального АТ.

**Таблица 4** - Анализ отклонений по перепадам напряжений в контактных зонах АТ

№ П/П	Наименование контактных зон анодного узла	Перепад напряжений	Норма	Факт	Отклонения $\Delta U$ , в мВ:		Причины отклонений
					мВ	%	
1	шина - штанга	$U_1$	12	25	13	12	1. Недостаточная чистота поверхности контактных зон 2. Плохой зажим
2	штанга <sub>в</sub> - штанга <sub>н</sub>	$U_{ш}$	15	75	60	58	1. Некачественная сварка трением на МСТ 2. Неполный провар бобышки с кронштейном и кронштейна с ниппелем
3	штанга - бобышка	$U_6$					
4	штанга - кронштейн	$U_2$					
5	кронштейн - ниппель	$U_3$	150	180	30	30	1. Неполный провар зон контакта «кронштейн – ниппель» 2. Некачественный контакт «чугун-анод», «смазка-анод»
6	ниппель - анод	$U_4$					
7	анод <sub>в</sub> - анод <sub>н</sub>	$U_5$	170	170*	-	-	* нормативные показатели
Итого		$U_{\Sigma}$	347	450	103	100	

На основании полученных данных можно сделать вывод, что разработанная конструкция АТ по электрическим параметрам сопоставима с серийно применяемыми АТ. Но при этом в разработанной конструкции АТ был обеспечен контакт «ниппель - анодный блок» без применения чугунной заливки, что является принципиальным отличием экспериментального АТ от серийного АТ.

Несомненно влияние материала (чем ниже УЭС материала, тем лучше) и конструкции (сокращение зон контакта содинения и т.п.) АТ на расход, потери электроэнергии.

Важно также качество анодных блоков АТ, которое серьёзным образом влияет на технологические и экологические аспекты электролиза алюминия.

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

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 в составе анодного газа доля  $\text{CO}$  будет увеличиваться, а  $\text{CO}_2$  – снижаться, также увеличится выделение перфторуглеродов (рисунок 15).

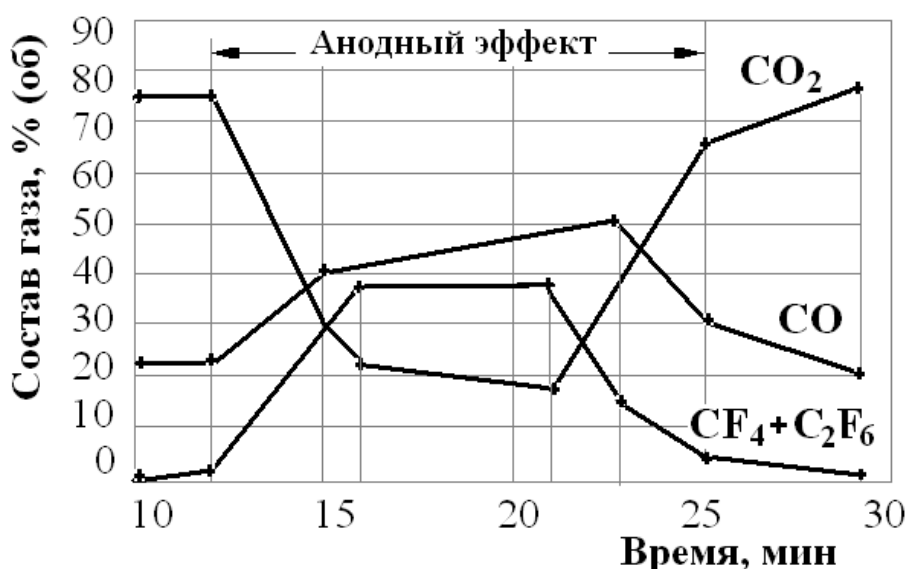


Рисунок 15 - Изменение состава анодных газов при анодном эффекте.

Таким образом, в периоды анодных эффектов, вызванных обеднением состава электролита глиноземом, наблюдается рост монооксида углерода  $\text{CO}$ ,

перфторуглеродов и рабочего напряжения (с 4,5В до 25-30В) на электролизёре, а это потери электроэнергии.

Зависимость состава анодных газов и расхода анодов от технологии процессов электролиза, качества используемых анодов представлена на рис. 16.

Выбросы $\text{CF}_4$ 400 кг	Выбросы $\text{CF}_4$ 1600 кг $\text{CO}_2$ эквивалента на одну тонну Al	Выбросы $\text{CF}_4$ 2100 кг $\text{CO}_2$ эквивалента на одну тонну Al
Выбросы $\text{CO}_2$ 1500 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$	Выбросы $\text{CO}_2$ 1650 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$	Выбросы $\text{CO}_2$ 1800 кг $\text{CO}_2/\text{т Al}$
Суммарные выбросы парниковых газов		
2,1т $\text{CO}_2/\text{т Al}$	3,4т $\text{CO}_2/\text{т Al}$	4,1т $\text{CO}_2/\text{т Al}$
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 16** - Состав газов и расход анодов в процессе электролиза

### **ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕМОНТА ТИПОВЫХ АНОДОДЕРЖАТЕЛЕЙ (АД) И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМЫХ АД**

Ремонт только ниппельной части кронштейна типового АД обходится в 146,5 долл. США. При этом качество «восстановленных» контактных узлов после ремонта кронштейна «ниппель-кронштейн» и «ниппель-анод» очень сомнительно.

Стоимость стального литья нового кронштейна АД по данным ОАО «ТАЛКО» составляет ~ 50 долл. США. Экономия средств на ремонт одного АД составит  $\$146,5 - \$50,0 = 96,5$  долл. США.

**Экономия средств на ремонт 6200 шт. АД составит в год –**  
(6200 шт. АД ·  $\$96,5 \cdot 12\text{мес.} = 7,18$ ), т.е. **свыше 7,0 млн. долл. США.**

При этом, указанная экономия средств на ремонт анододержателей рассчитана без учета экономии от сокращения технологических операций по изготовлению и эксплуатации новых АД, упрощения транспортных перевозок АД по предлагаемой технологии, снижения удельного расхода электроэнергии, потерь качества алюминия от оплава ниппелей кронштейна анододержателей в ходе процесса электролиза алюминия.

Например, на ремонт-замену ниппелей кронштейна в месяц расходуется до 85 тонн стального проката и литья при выпуске 10000 тн алюминия в месяц.

В результате, только от оплава ниппелей кронштейна анододержателей содержание железа в алюминии составит 0,85%, при допустимом содержании железа в первичном алюминии марки А7Е не выше 0,11%. Как говорится, комментарии излишни...

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе проведенной систематизации конструкций и технологий изготовления, эксплуатации АТ, принятых в алюминиевой отрасли, анализа электрической проводимости, потерь электроэнергии разных видов типовых АТ, обоснован прогноз направления развития АТ.

#### **Основные научные результаты исследования:**

1. Выбрана форма и рассчитаны геометрические параметры кронштейна АТ, а также выполнен расчет соединяемых элементов АТ на тепловое расширение для определения пределов допустимого диапазона зазоров между этими элементами АТ. Установлены пределы классов точности их изготовления и допусков при сборке [1-А, 8-А].

2. 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. Разработаны унифицированная конструкция и технология изготовления, эксплуатации АТ. При этом сокращены контактные зоны соединения элементов серийного АТ с 15 до 5 зон на вновь разработанном АТ [4-А, 8-А].

3. Составлены технологические схемы и процессы изготовления, эксплуатации и утилизации отработанных усовершенствованных анодных токоподводов [2-А, 8-А].

4. Проработаны техпроцессы и прочие проблемные аспекты, связанные с огарками, остатками электролита и другими возвратными материалами, которые требовали специальной переработки и утилизации в анодном производстве [5-А, 8-А].

5. Выполнено сравнение технологических процессов изготовления и эксплуатации типовых и усовершенствованных анодных токоподводов [8-А].

6. Проведены опытно-промышленные и стендовые испытания серийных и экспериментальных анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия [6-А, 8-А].

7. Определены технико-экономические показатели выпуска и эксплуатации анодных токоподводов электролизёров для производства алюминия [7-А, 8-А].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов:**

- На базе выполненных исследований доказана принципиальная возможность замены чугуновой заливки ниппелей на прямой контакт «металл-

углерод» под весом анода («сухой контакт») или контакт «металл-углерод» через электропроводящую, буферную пасту-смазку («скользящий контакт»).

- На ОАО «ТАЛКО» реализуется Программа изготовления, эксплуатации новых, предложенных АТ на электролизёрах для производства алюминия.

## **СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

### ***Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан:***

[1-А]. Мирпочаев Х.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]. Мирпочаев Х.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]. Сафиев Х. 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.

### ***Статьи, опубликованные в материалах конференций:***

[4-А]. Мирпочаев Х.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]. Мирпочаев Х.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]. Мирпочаев Х.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]. **Мирпочаев Х.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.

***Публикации учебных пособий и книг:***

[8-А]. Янко Э.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.

***Изобретения:***

[9-А]. Могилевич Б.Б. А.с. 1061523 СССР. Анододержатель обожженного анода / Авторы Б.Б. Могилевич, **Х.А. Мирпочаев** и др. / ВАМИ - Всесоюзный алюминиево-магниевый институт, 14.05.1982.

[10-А]. Касперович В.Б. 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]. Мирпочаев Х.А. Пат. ТЈ № 224 РТ. Анодный токоподвод электролизера для производства алюминия /Авторы **Х.А. Мирпочаев**, Б.С. Азизов / 21.11.08.

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

[13-А]. Мирпочаев Х.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]. Мирпочаев Х.А. Пат. №024151 Евразии. Анододержатель цельнолитой для электролизеров производства алюминия / Авторы **Х.А. Мирпочаев**, Ш.О. Кабиров, Х. Сафиев, Б.С. Азизов / 24.08.12.

**МУАССИСАИ ДАВЛАТИИ  
«ПАЖЎҲИШГОҲИ ИЛМИЮ ТАҲҚИҚОТИИ МЕТАЛЛУРГИЯ»-И  
ҶАМЪИЯТИ САҲОМИИ КУШОДАИ «ШИРКАТИ АЛЮМИНИЙИ  
ТОЧИК» (МД «ПИТМ» ҶСК «ШАТ»)**

*Бо ҳуқуқи дастнавис*

УДК:669.713:669-45:67.05

ББК: 34.33

М-21

**МИРПОЧАЕВ Хуршед Абдумуминович**

**ТАКМИЛДИҲИИ МАВОДҲО, СОХТОРҲО ВА ТЕХНОЛОГИЯИ  
ТАЙЁР НАМУДАНИ ҶАРАЁНОВАРҲОИ АНОДИИ  
ЭЛЕКТРОЛИЗЁРҲО БАРОИ ИСТЕҲСОЛИ АЛЮМИНИЙ**

**АВТОРЕФЕРАТИ**

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии**

**номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси**

**05.02.01 – Маводшиносӣ**

**(05.02.01.02 - Саноати мошинсозӣ)**

Душанбе – 2022



Кори диссертатсияонӣ дар шӯъбаи технологияҳои инноватсионӣ ва лабораторияи коркарди ашёи хоми маҳаллии гилхоку карбондори Муассисаи Давлатии «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқоти металлургия»-и Ҷаъмияти Саҳҳомии Кушодаи «Ширкати Алюминийи Тоҷик» (МД «ПИТМ»-и ҶСК «ШАТ») иҷро карда шудааст.

- Роҳбари илмӣ:** **Асрори Муродиён (А.Ш. Мурадов)** – доктори илмҳои техникӣ, дотсент, ходими калони илмии озмоишгоҳи коркарди ашёи хоми маҳаллии гилхоку карбондори МД «ПИТМ»-и ҶСК «ШАТ»
- Мушовири илмӣ:** **Сафиев Ҳайдар** – доктори илмҳои химия, профессор, академики АМИ Тоҷикистон, директори МД «ПИТМ»-и ҶСК «ШАТ»
- Муқарризони расмӣ:** **Одиназода Ҳайдар Одина** – доктори илмҳои техникӣ, профессори Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ, аъзо-корреспонденти АМИ Тоҷикистон.
- Мирзоев Бодур** – доктори илмҳои техникӣ, ходими калони илмии шӯъбаи илм, инноватсия, робитаҳои байналмилалӣ ва фаъолияти нащриявии филиали Донишгоҳи давлатии Москва ба номи М.В. Ломоносова дар ш. Душанбе
- Муассисаи пешбар:** Муассисаи давлатии «Маркази тадқиқоти технологияҳои инноватсионӣ»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (МД «МТГИ»-и АМИТ).

Ҷимояи диссертатсия «02» феввали 2023, соати 9-00 дар ҷаласаи Шӯрои диссертатсионии 6D.KOA-028 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ баргузор мегардад. Суроға: 734063, ш.Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10.

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва дар сомонаи интернетии <http://.ttu.tj> Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ шинос шавед.

Автореферат санаи «\_\_\_» \_\_\_\_\_ соли 2022 аз рӯи феҳристи пешниҳодшуда, ирсол карда шудааст.

**Котиби илмии  
шӯрои диссертатсионӣ,  
номзади илмҳои техникӣ**



**Бабаева А.Ҳ.**

## МУҚАДДИМА

**Мубрамӣ ва зарурати гузаронидани таҳқиқот.** Солҳои охир чараёноварҳои анодӣ (ҶА) ё инки анодҳои пухта (АП)-и васлшудаи электролизёрҳо, чузъи нисбатан зиёд интиқодшаванда буда, дар баробари ин айни замон қисмати нокифоя омӯхташудаи технологияи истеҳсоли алюминий ба шумор меравад. Мавзӯи асосии корҳои дар хорич ва дохил кишвар иҷрошуда, ба масолаҳои карбондори соҳаи массаҳои анодӣ, анодҳои пухташуда ва технологияи истеҳсоли онҳо вобаста мебошанд. Дар баробари ин таҳқиқотҳо оид ба мукамалгардонии масолаҳо, конструксия ва технологияи омодаسازی, истифодаи ҶА-и электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий амалан вучуд надоранд. Муҳаққиқони ин соҳа нуктаи назари худро оид ба танзукунӣ ва самтҳои тараққиёти ҶА, интиҳоби дурусти маводҳо, конструксияи ҶА, технологияи омодаسازی ва дар умум васлнамоии анодҳо, ҷудо кардани анодҳои истифодашуда, коркарди партовҳои анодӣ ва ғайраҳо пешниҳод накардаанд.

Таҳқиқотҳои мазкур барои коҳиш додани харчи қувваи чараён мустақиман дар ҶА, ки пурра бо маводҳо, конструксияҳо ва технологияи омодаسازیи ҶА пайваست мебошанд, хело зарурӣ ба шумор меравад. Бинобар ин интиҳоб ва ҳисоби дурусти маводҳо, конструксияҳо, таҳияи схемаҳои технологӣ ва равандҳои омодаسازی, истифодабарии ҶА-и электролизёрҳо масъалаи мубрам ва серталаби соҳаи алюминий ба шумор меравад.

**Дараҷаи омӯхташавандагии масъалаи илмӣ.** Якчанд намуди ҶА маълум мебошанд, ки дар истеҳсолоти алюминий истифода мешаванд. Дар умум барои ҳама гуна ҶА, 4 унсури сохтори пайваст мавҷуд мебошад: штангаҳои чараёнрасони ҳамчун қоида аз металли алюминий ё инки силумин сохташуда, кронштейни пӯлодин (траверсҳо, консолҳо) ва нипелҳои пӯлодин, ки ба воситаи чӯяни рехташуда тамосро бо блоки анодӣ таъмин мекунад. Норасоии ҶА ба зарурати пасваст намудани чаҳор мавод (алюминий, пӯлод, чӯян ва аноди ангиштӣ), ки аз рӯйи ҳосиятҳои ҳамаҷун (чараёнгузаронӣ, васеъшавӣ аз таъсири гармӣ, устувории механикӣ), мавҷудияти зиёди минтақаҳои пайвастшавии қувваи чараён, тақсимшавии номунтазами қувваи чараён ва афтиши назарраси шиддат байни чузъҳои сохтори ҶА гуногунанд, вобаста мебошад. Инчунин диққати махсус ба тафтиши технологияи омодаسازیи пурхарчу пурмашаққат ва васлнамоӣ бо истифодаи рехтагарии чӯянии блоки анодӣ ва кронштейни ҶА-и электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий, нигаронида нашудааст.

## ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

**Мақсади таҳқиқот** мукамалгардонии маводҳо, конструксияҳо, технологияи омодаسازی, васлу насби чузъҳои сохтори ҶА-и электролизёрҳо барои беҳтар намудани хусусиятҳои истифодабарӣ, афзоиши чараёнгузаронӣ, коҳиш додани хароҷотҳои энергетикӣ зимни истеҳсоли алюминий ва коркарди элементҳои фарсудашудаи ҶА баъд аз истифодабарӣ, ба шумор меравад.

### ***Вазифаҳои таҳқиқот:***

- муайянкунии шакли оптималӣ ва гузаронидани ҳисобҳои устувории механикӣ, васеъшавии чузӯҳои сохтори ҚА зимни таъсири гармӣ;
- таҳқиқи нишондодҳои физикавӣ механикии блокҳои анодии ковокдор ва таҳияи маводҳои такмилшуда, конструксияҳо ва технологияи оmodасозӣ, васлу насби чараёноварҳои анодӣ бо истифода аз маводи махсуси чараёнгузаронанда ба ҷои ҷӯяни рехташаванда;
- тартиб додани схемаҳо ва равандҳои оmodасозӣ, истифодабарӣ ва коркарди чараёноварҳои анодҳои такмилшудаи фарсудагашта;
- муқоисаи равандҳои технологӣ ва истифодаи чараёноварҳои анодии ягона ва такмилшуда;
- гузаронидани озмоишҳои таҷрибавӣ саноатӣ ва стендии чараёноварҳои анодии электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий;
- муайянкунии нишондодҳои техникую иқтисодии истеҳсол ва истифодабарии чараёноварҳои анодии электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий.

***Объекти таҳқиқот:*** Чараёноварҳои анодии электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий.

***Мавзӯи (предмет) таҳқиқот:*** параметрҳои физикавӣ механикӣ, электрикӣ ва истифодабарӣ, маводҳои ангишту графитӣ, конструксияҳо, технологияи оmodасозӣ ва истифодаи чараёноварҳои анодӣ.

### ***Навгониҳои илмӣ таҳқиқот:***

- омӯзиши механизми чараёнгузаронии тамосии системаҳои «металл-карбон» бо истифодаи хамираҳои буферӣ дар асоси маводи молидании обу спирт ва графит бо мақсади аз байн бурдани ҳосилшавии интерметаллоидҳо дар минтақаи тамосӣ;

- таҳқиқоти раванди чараёнгузаронӣ дар баробари тамоси «металл-ангиштуграфит» зери таъсири зиёди қувваи чараёни зич, ки имконияти интиҳоби таркиби оптималии маводи молидании чараёнгузаронандаро медиҳад;

- таҳқиқоти афтиши шиддат дар минтақаҳои тамосии чараёноварҳои анодӣ барои паст кардани талафоти қувваи чараён дар минтақаҳои муҳим.

### ***Аҳамияти назариявӣ таҳқиқот:***

- параметрҳои геометрӣ, васеъшавии кронштейни аноддоранда аз таъсири гармӣ ҳисоб карда шуда, ҳади иҷозашудаи тарқиш, дақиқияти оmodасозӣ ва эътироф (допуск) зимни васлу насби чузӯҳои пасваस्तкунандаи ҚА, муайян гардидааст.

- механизми чараёнгузаронии тамосии системаи «металл-ангиштуграфит» бо истифода аз хамираи буферӣ дар асоси маводи молидании обу спирт ва графит омӯхта шудааст.

***Аҳамияти амалии таҳқиқот*** ба ихтисор намудани равандҳои технологияи васлкунӣ ва ҷудокунии ҚА, коркарди боқимонда ва партови анодҳо, барҳам додани ҳама гуна амалиётҳо вобаста ба истифодаи рехтагарии ҷӯян – истифодаи хумдонҳои индуксионии ИЧТ ва прессҳо барои ҷудо

кардани чӯян, беҳтар кардани вазъи экологӣ ва паст кардани хароҷотҳои зиёди истеҳсоли вобаста мебошад.

Самаранокии иқтисодии ҳисобшудаи интизорӣ оид ба татбиқи конструксияи чараёнрасонҳои анодӣ ҳамасола метавонад тақрибан 7 млн. доллари ИМА-ро ташкил диҳад.

***Нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда:***

- натиҷаҳои ба низом даровардани конструксияҳои намунавии мавҷудбуда ва технологияи оmodасозиву истифодабарии ҶА;
- конструксияи ягонаи ҶА-и таҳияшуда ва натиҷаҳои таҳқиқотҳои физикавӣю механикӣю маводҳои воҳидҳои сохтори ҶА.
- натиҷаи ҳисобҳои қаблӣю механикӣ, гармӣ ва электрикӣ, инчунин озмоиши ҶА барои таҳияи технологияи оmodасозии ҶА.
- схемаҳои технологияи таҳияшуда, равандҳои оmodасозӣ, истифодаи ҶА ва муқоиса бо равандҳои технологияи қабулшудаи ягона.
- натиҷаи озмоишҳои таҷрибавӣю саноатӣ ва стендӣ ҶА такмилёфта.

***Эътимоднокии натиҷаҳо*** ба истифодаи усулҳои интиҳоб ва санҷидашудаи физикавӣю механикӣ, электрикӣ ва параметрҳои ба қор андохтан дар соҳаи алюминий ва таҳлили муқоисавӣю инҳироф (отклонений) оид ба афтишҳои шиддат дар минтақаҳои тамосии ҶА вобаста мебошад.

Диссертатсия ба шаҳодатномаи ихтисоси 05.02.01 Маводшиносӣ (05.02.01.02 – соҳаи мошинсозӣ) бо бандҳои зерин мувофиқат мекунад:

- б.2., б.3., б.4. интиҳоб ва ҳисоби оптималии маводҳо гузаронида шуда, конструксияи мукамалгардонии ҶА-и электролизёрҳо таҳия шудааст;
- б.5., б.6. схемаҳои технологӣ ва равандҳои оmodасозии чараёноварҳои анодӣ, истифодаи онҳо ва қорқарди партовҳои ҷудошуда таҳия шудааст;
- б.7. озмоишҳои таҷрибавӣю саноатӣ ва стендӣ гузаронида шуда, параметрҳои физикавӣю механикӣ, электрикӣ ва истифодабарии ҶА муайян гардидаанд.

***Саҳми шахсии унвонҷӯ*** ин гузоштани масъалаҳои таҳқиқот, банақшагирӣ, гузаронидани қорҳои илмию таҳқиқотӣ ва таҷрибавӣю конструкторӣ (КИТваТК) оид ба масъалаҳои асосии мавзӯи диссертатсия, таҳияи самтҳо ва усулҳои ҳалли онҳо, таҳлил, қорқард ва ҷамъбасти маълумотҳои бадастомада оид ба натиҷаи қорҳо ва таҳияи хулосаҳоро дар бар мегирад.

***Тасвиби диссертатсия ва маълумотҳо оид ба истифодаи натиҷаи онҳо.*** Натиҷаҳои қори диссертатсионӣ дар қорабиниҳои зерин маъруза шудаанд:

- ҳаштум конференсияи байналмилалӣю илмию амалии «Таҳқиқот, таҳия ва истифодаи технологияҳои баланд дар саноат», 27-28 октябри соли 2009, дар ш. Санкт-Петербург;
- V конференсияи байналмилалӣю илмию амалии «Дурнамои истифодаи технологияҳои инноватсионӣ ва мукамалгардонии донишҳои техникӣ дар Муассисаҳои Таҳсилоти Олии ИДМ», с.2011, ДТТ дар ш. Душанбе;
- конференсияи ҷумҳуриявӣю илмию амалии «Технологияҳои инноватсионӣ, ҷаҳонишавӣ ва муколамаи тамаддунҳо» 2011, ДТТ дар ш. Душанбе;

– чамъомади 14-уми байналмилалии Маркази байналмилалии илм ва технология (МНТЦ) «Рушди инноватсияҳо ва технологияҳои интиқол дар заминаи амнияти ҷаҳонӣ» дар Қазоқистон, ш.Алма-Ато, 27-28 сентябри соли 2011;

– дарҷ гардидани маълумотҳо дар китоби барои устоҳо ва кормандони сеҳҳои электролизии корхонаҳои алюминий «Истеҳсоли алюминий дар электролизёрҳо бо анодҳои сӯзонидашуда», 2011. ш. Душанбе матбааи «ЭР-граф».

**Интишорот аз рӯи мавзӯи диссертатсия.** Дар асоси мавзӯи диссертатсия 8 мақола, аз он ҷумла 4 мақолаи тақризшавандаи КОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Вазорати маориф ва илми ФР нашр гардида, 6 патент барои ихтироот, аз он ҷумла 2 патенти Авруосиёгӣ, 2 патенти миллӣ ва 2 шаҳодатномаи муаллифии ИҶШС гирифта шудааст.

**Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия.** Диссертатсия аз муқаддима, хулосаҳо, адабиётҳои истифодашуда ва замимаҳо иборат мебошад. Ҳаҷми умумии кори диссертатсионӣ 141 саҳифаи хуруфчинии компютериро дар бар гирифта, аз онҳо: матни асосии диссертатсия дар 119 саҳифа бо шумули 69 расм, 27 ҷадвал ва 22 саҳифа замима дарҷ гардидааст. Рӯйхати адабиётҳои истифодашуда, 110 номгӯйро дар бар мегирад.

### **МУҲТАВОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ**

**Дар муқаддима** мубрамии таҳқиқотҳои иҷрошуда, пешниҳод гардида, мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот тартиб ёфта, наwgонии илмӣ, аҳамияти назариявӣ ва амалии натиҷаҳои таҳқиқот оварда шуда, нуктаҳои ба ҳимоя пешниҳодшуда дарҷ гардидааст.

**Дар боби якум** шарҳи адабиёт оид ба ҳолат ва дурнамои рушди чараёноварҳои анодии электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий (ниг. рас. 1,2,3) дарҷ гардидааст. Роҳҳои ҳалли сохторӣ ва технологӣ оид ба маводҳои истифодашаванда, технологияи оmodасозӣ ва истифодаи чараёноварҳои анодии электролизёрҳо муҳокима шудааст. Таҳлили маводҳо, конструкцияҳо ва технологияи оmodасозии ҶА, ки дар соҳаи алюминий истифода мешавад, гузаронида шуда, дар заминаи он мақсад ва вазифаҳои самти таҳқиқот оид ба мавзӯи диссертатсия тартиб ва асоснок карда шудааст.

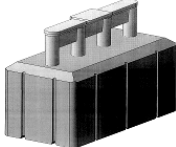
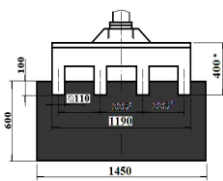
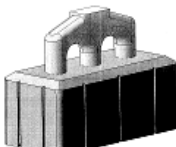
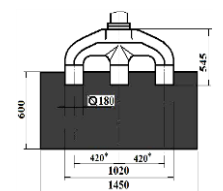
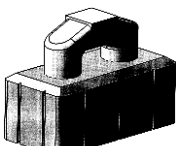
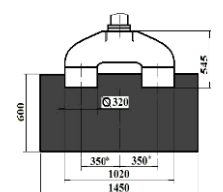
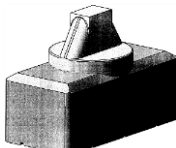
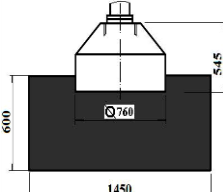
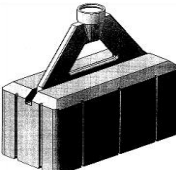
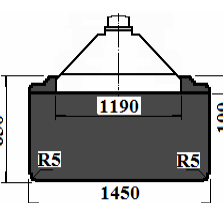
**Дар боби дуюм** интиҳоб ва ҳисоби оптималии маводҳо, конструкцияи ҶА такмилёфта, аз қабилҳои ҳисобҳои устувории механикӣ ва васеъшавии кронштейн аз таъсири гармӣ, гузаронида шудааст. Нишондодҳои физикавӣ механикии блокҳои анодии ковокдор, таҳқиқ шудааст. Конструкцияи нави ҶА аз блоки анодии ангиштӣ ва кронштейни аноддорандаи пӯлодин, таҳия гардидааст.

**Дар боби сеюм** схемаҳои технологияи таҳияшуда, равандҳои оmodасозӣ, истифодаи ҶА-и такмилёфта дарҷ гардида, муқоисаи равандҳои технологияи оmodасозӣ ва истифодаи ҶА-и ягона ва такмилёфта оварда шудааст. Технология, усулҳои таҳия, таъмир ва коркарди ҶА-и пешниҳодгардидаи дар истеҳсолоти электролизӣ истифодашуда дарҷ гардидааст.

**Дар боби чорум** натиҷаи озмоишҳои таҷрибавӣ саноатӣ ва стендӣ, параметрҳои физикавӣ механикӣ, электрикӣ ва истифодашавии ҶА-и

такмилёфта ва қаторӣ, инчунин асосҳои техникую иқтисодии оmodасозӣ ва истифодабарии ЦА-и электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий, таҳлил шудааст.

**Тамоюли рушди конструксияи ҷараёноварҳои анодӣ дар ҷаҳон**

№ б/т	Номгуи ҷараёноварҳои анодӣ	Намуди ЦА - ҷараёноварҳои анодӣ	Эскизи ЦА - ҷараёноварҳои анодӣ	Ҳисобӣ андозаҳои ниппел (ғафсӣ ё буриш)	Андозаи ниппел Микдори ниппелҳо
1	<b>4 - ниппелдор,</b> ниппели гирдшакл, пайвасти ниппел ба блоки анодӣ бо воситаи ҷўяни рехташуда			$S_4$ - масоҳати пайвастчо (контакт). $S_4 = \pi \cdot D_4 \cdot h \cdot n = 3,14 \cdot 11 \cdot 10 \cdot 4 = 1380 \text{ см}^2$ , ки дар инчо: $D_4$ - диаметри ниппел. $D_4 = 110 \text{ мм}$ , $n$ - микдори ниппелҳо. $h$ - баландии пайвастчои ниппел. $h = 100 \text{ мм}$ . $\Delta S$ -масоҳати пайвастчоӣ як ниппел баробар ба $1380 : 4 = 345 \text{ см}^2$ .	<u><b>Ø110</b></u> <b>4</b>
2	<b>3 - ниппелдор,</b> ниппели гирдшакл, пайвасти ниппел ба блоки анодӣ бо воситаи ҷўяни рехташуда			$S_3 = S_4 + \Delta S = 1380 + 345 = 1725 \text{ см}^2$ $S_3 = \pi \cdot D_3 \cdot h \cdot n = 1725 \text{ см}^2$ Аз инчо, $D_3 = S_3 : (\pi \cdot h \cdot n) = 1725 : (3,14 \cdot 10,0 \cdot 3) = 18 \text{ см}$ <b><math>D_3 = 180 \text{ мм}</math></b>	<u><b>Ø180</b></u> <b>3</b>
3	<b>2 - ниппелдор,</b> ниппели гирдшакл, пайвасти ниппел ба блоки анодӣ бо воситаи ҷўяни рехташуда			$S_2 = S_3 + \Delta S = 1725 + 345 = 2070 \text{ см}^2$ $S_2 = \pi \cdot D_2 \cdot h \cdot n = 2070 \text{ см}^2$ Аз инчо, $D_2 = S_2 : (\pi \cdot h \cdot n) = 2070 : (3,14 \cdot 10,0 \cdot 2) = 32 \text{ см}$ <b><math>D_2 = 320 \text{ мм}</math></b>	<u><b>Ø320</b></u> <b>2</b>
4	<b>1 - ниппелдор,</b> ниппели гирдшакл, пайвасти ниппел ба блоки анодӣ бо воситаи ҷўяни рехташуда			$S_1 = S_2 + \Delta S = 2070 + 345 = 2415 \text{ см}^2$ $S_1 = \pi \cdot D_1 \cdot h \cdot n = 2415 \text{ см}^2$ Аз инчо, $D_1 = S_1 : (\pi \cdot h \cdot n) = 2415 : (3,14 \cdot 10,0 \cdot 1) = 76,9 \text{ см}$ . <b><math>D_1 = 769 \text{ мм}</math></b>	<u><b>Ø769</b></u> <b>1</b>
5	<b>1-ниппелдори трапетсияшакл,</b> пайвасти ниппелу блоки анодӣ бо воситаи молидани -и электргузарон. Намуди пайваст монанди «думи фароштурук»			$S$ - масоҳати пайвастчоӣ ниппели трапетсияшакл. $S = S_1 = 2415 \text{ см}^2$ $S = B \cdot h \cdot n$ . Дар инчо: $B$ - дарозии пайвастчоӣ дарозии кронштейни 4 - ниппелдор. <b><math>B = 1190 \text{ мм}</math></b> . $n$ - шумораи ҷои пайваст $n = 2$ , яъне аз 2 тараф. $h$ - баландии пайвастчо. $h = 2415 : 119 \cdot 2 = 10,1 \text{ см}$ . <b><math>h = 100 \text{ мм}</math></b>	<u><b>B x h</b></u> <b>1190x100</b>

**Расми 1 – Параметрҳои геометрии ҷараёноварҳои анодӣ**

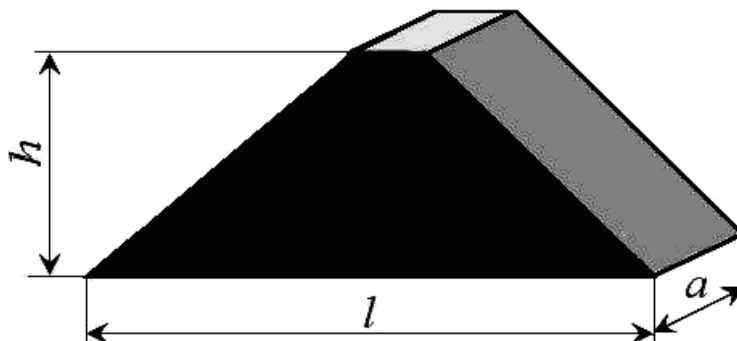


## Боби 2. Интихоби шакл ва ҳисоби параметрҳои кронштейнҳои ҶА-и такмилёфтаи якнипелаи трапетсияшакл

Дар асоси таҳлилҳои конструксияҳои ягонаи ҶА ва бо назардошти бозҳам соддатар омода намудани ниппелҳои шакли росткунҷадошта, конструксияи ҶА-и якнипелаи кронштейни трапетсияшакл таҳия карда шуд.

Кор оид ба сохтори кронштейни ҶА аз интихоби шакл ва андозаҳои геометрии он оғоз карда шуд (расми 4).

Зимни ҳисоб ва интихоби конструксияи нави кронштейни ҶА, баландӣ ва паҳноии кронштейн мувофиқи андозаи кронштейни ягона интихоб карда шуд.



Расми 4 – Андозаҳои геометрии кронштейни трапетсияшакл

Кронштейн дар шакли секунҷаи баробартараф тарҳкаши шудааст, ки дар ин ҷо:

$l$  – паҳноии кронштейн ба паҳноии кронштейнҳои қаторӣ баробар қабул шудааст, яъне  $l \approx 1190$  мм;

$h$  – баланди кронштейн ба баландии кронштейнҳои қаторӣ баробар қабул шудааст, яъне  $h \approx 600$  мм;

$a$  – ғафси кронштейн, ки қисмати трапетсияшакли ҶА ҷойгир шудааст ва бо формулаи зерин муайян карда мешавад:

дар ин ҷо:

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

$G_k$  – вазни кронштейни таҷрибавӣ баробар ба вазни кронштейнҳои қаторӣ бе назардошти бобишкаи пӯлодин қабул шудааст ва баробар ба  $\approx 230$  кг баробар аст;

$\gamma$  – вазни хоси пӯлод  $\approx 7,5$  г/см<sup>3</sup>,

$V_k$  – ҳаҷми кронштейн баробар ба  $V_k = \frac{h \cdot l}{2} \cdot a$  – шакли кронштейн барои секунҷаи баробартараф

аз он ҷо:

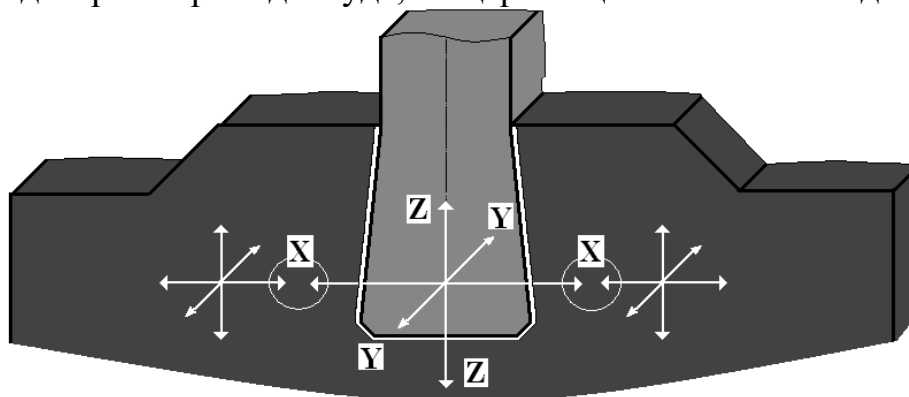
$$a = \frac{2 \cdot G_k}{\gamma \cdot h \cdot l} = \frac{2 \cdot 230000}{7,5 \cdot 60 \cdot 119} = 85 \text{ мм}$$

Дар натиҷа кронштейн дар шакли секунҷа тарҳсозӣ ва сохта шуд, инчунин ҳисоби устувории механикии тамоси «кронштейн–анод» гузаронида шуданд, ки озмоишҳо дақиқии ҳисобҳоро тасдиқ мекунад.



### Ҳисоби элементҳои ЦА ба паҳншавӣ аз таъсири гармӣ

Мувофиқи схемаи тартибдодашуда (расми 5) муайян карда шуд, ки ҷойивазкунии уфуқӣ дар тири X нисбатан хавфноктар мебошад, чунки ҷойивазкунии анод ва кронштейн дар натиҷаи васеъшавӣ аз таъсири гармӣ ба тарафи ҳамдигар нигаронида шуда, ин ҳаракатҳо чамъ мешаванд.



Расми 5 – Схемаи васеъшавии кронштейни пӯлодӣ ва блоки ангиштии анодӣ аз таъсири гармӣ

Бузургии иҷозашудаи минималии тарқишҳо барои ҷуброни васеъшавӣ маводҳои пайваस्तкунандаро аз таъсири гармӣ, метавонанд аз ҷиҳати назариявӣ тавассути бузургии васеъшавии кронштейнҳои пӯлодӣ ва блоки ангиштии анодӣ, бо назардошти андозаҳои геометрӣ ва ҳудудҳои ҳароратии қори қисмҳои пайваस्तкунанда дар раванди электролиз, ҳисоб намоянд, яъне:

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

$$e_a = \alpha_y \cdot \Delta t \cdot V_a : n \quad (2)$$

дар ин ҷо:

$e_k$  и  $e_a$  – бузургиҳои васеъшавии кронштейн ва анод аз таъсири гармӣ;

$\alpha_c$  и  $\alpha_y$  – коэффисиентҳои васеъшавӣ аз таъсири гармӣ барои пӯлоди карбондор ва ангишт (графит) дар ҳудуди қори ҳарорат;

$\Delta t$  – фарқияти ҳарорати байни муҳити муқаррарӣ ва қорӣ;

$V_k$  и  $V_a$  – паҳнои қисмҳои пайваस्तкунанда – кронштейни пулодӣ ва анод;

$n$  – шумораи тарафҳои қисмҳои пайваस्तкунанда.

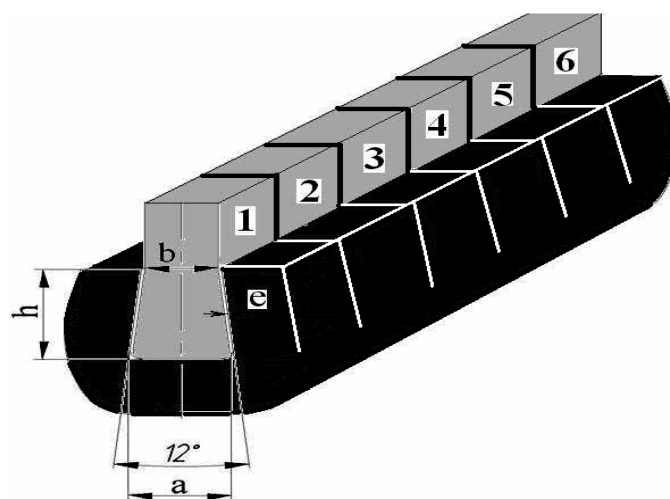
Ҳарорати максималии кронштейн ва анодро баробар ба ҳарорати электролизи алюминий мегирем ( $\approx 950^\circ\text{C}$ ) ва қиматҳои  $\alpha_c$  ва  $\alpha_y$ -ро дар ин ҳарорат ба муодилаҳои 1 ва 2 мегузorem ва чунин натиҷа мегирем:

$$e_k = 14.3 \cdot 10^{-6} \cdot 930 \cdot 84 : 2 = 0,56\text{мм}$$

$$e_a = 0.63 \cdot 10^{-6} \cdot 930 \cdot 700 : 2 = 0,21\text{мм}$$

Ҳисобҳои гузаронидашуда нишон доданд, ки бузургии умумии паҳншавии кронштейн ( $e_k$ ) ва анод ( $e_a$ ) аз таъсири гармӣ, баробар ба 0,77 мм мебошад, аммо бо назардошти ҷараёнгузаронии маводи молиданӣ, бузургии тарқишро бояд аз бузургии ҳисобшуда зиёдтар қабул кунем.

Барои интиҳоб кардани бузургии оптималии тарқиш ( $e$ ) байни анод ва кронштейн, васлаки пӯлодии дарозияш 1450 мм, ки қисми ниппелии кронштейнро таҷассум менамояд, ба шаш қисми ҳар кадомаш тақрибан 240 мм буда, тақсим карда шуд (ниг. расми 6).



Расми 6 – Интихоби бузургии оптималии тарқиш (e) байни анод ва кронштейн.

Параметрҳои боқимондаи васлақҳои пӯлодин, махсусан андозаҳои (a) ва (б), ки дар расми 6 ва ҷадвали 1 нишон дода шудаанд, маҳз барои таъмини тарқишҳои зарурӣ (e) байни анод ва ниппели кронштейн дар ҳудудҳои аз 0,25 то 1,5 мм сохта шудаанд.

**Ҷадвали 1 – Интихоби тарқиши оптималӣ байни анод ва кронштейн**

Андоза, мм	Рақами пӯлоди шинонидашуда					
	1	2	3	4	5	6
a	84,5	84	83,5	83	82,5	82
б	61,5	61	60,5	60	59,5	59
e	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,50

Васлақҳои номбаршудаи пӯлодин дар сӯрохии трапетсияшакли блоки анодӣ, ки қисми болоии он низ қаблан ба шаш қисм тақсим шуда буд, васл карда шуд.

Ковокҳои, ки дар байни анод ва кронштейн ба вучуд омадаанд бо маводҳои молидани чараёнгузаронандаи таркибашон гуногуни, пур карда шуданд.

Сипас, ин элементҳо дар печи таҷрибавӣ васлу насб шуда, онҳоро дар онҷо дар ҳарорати то 970 °C гарм мекунанд. Таҷриба имконияти тафтиши ҳудуди имконпазири ҳудудҳои тарқишҳои байни ҷузъҳои васлшудаи ҶА ва имконияти ҳудуди иҷозатии тайёркунии онҳоро медиҳад.

Интихоби оптималии намудҳои маводҳои молиданӣ воқеъан аз муқовимати хоси электрикии онҳо (УЭС) баромада, иҷро карда мешавад.

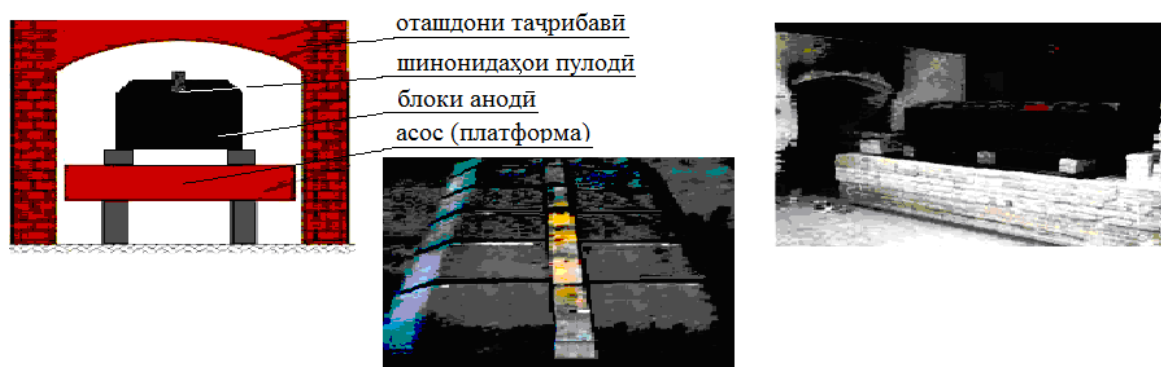
Пас бо ин пайваستҳои «анод – кронштейн» чараёни қуввааш 400А гузашта ва афтиши шиддат чен карда мешавад (ҷадвали 2).

## Ҷадвали 2 - Тафтиши афтиши шиддат бо интихоби маводҳои молидани

№ васлак	Тарқиш, (мм)	Қувваи ҷараён, (А)	Афтиши шиддат, (мВ)	Намуди маводи молидани
1	0,25	400	20	Ҳокаи анод+омехтаи обу спирт
2	0,5	400	30	Ҳокаи анод+омехтаи обу спирт
3	0,75	400	30	Ҳокаи анод+ҳоки пек+равғани индуст.И-40
4	1,0	400	30	Ҳокаи анод+боқимондаи молидани графитӣ
5	1,25	400	75	Массаи хунуксумбашавандаи фаршӣ (ПХНМ)
6	1,5	400	75	Массаи хунуксумбашавандаи фаршӣ (ПХНМ)

Аз инҷо мебарояд, ки бузургии ниҳии оптималии намуди молиданиҳо воқеъан бо натиҷаҳои таҷрибаҳо иҷро гардида, афтиши шиддати кадоме ки нисбатан камтар аст қабул мегардад.

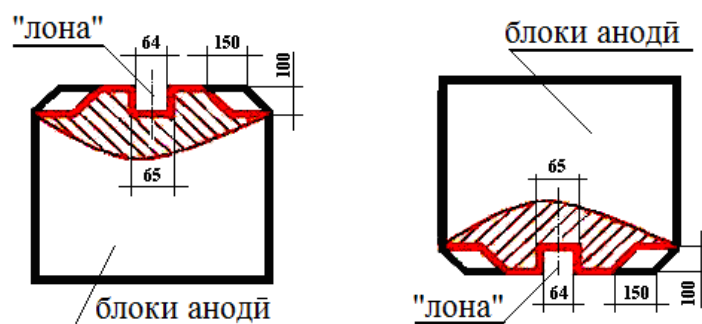
Дурустии ҳисобкуниҳои назариявӣ бо васеъшавӣ чузъҳои васлшаванда аз гармӣ тасдиқи (ниг. расми 7) санҷишҳо дар оташ-дони таҷрибавӣ, ҳангоми ҳарорати то  $970^{\circ}\text{C}$  таҳрезӣ мешаванд.



Расми 7 - Санҷиши васеъшавии қисмҳои ҶА аз гармӣ дар оташдон.

### Таҳқиқоти физико-механикии сохту маводи блоки анодӣ

Бо мақсади таъмини мустаҳкамии механикӣ дар шароити корӣ, ҳангоми ҳарорати баланд, ҳангоми муайянкунии ҷойи ҳосилшавӣ, кашидани фосилаҳои фонаҳо бо шакли «думи фароштурук» – «лона»-и пайваस्तҳо ба блоки анодӣ бояд, ду шартро ҳатмӣ ба назар бояд гирифт. Яқум, бояд ҷои оптималӣ бо зичии калони ҷоизӣ, дуюм, бояд ҷои оптималӣ бо сохти таркиби гранулометрӣ (шакл ва андозаҳои фраксияи кокси нефтӣ) барои имконияти коркарди механикии блокҳои анодии пешпукташуда дошта бошад (расми 8).



**Расми 8** - Интихоби ҷойи ҳосилшавии фосилаи блоки анодї

Роҳи муайянкунии зичии блоки анодиро дар озмоишгоҳ воқеъан муқаррар кард, ки қисми болои блоки анодї дорои зичии калон буда, аз дончаҳои хурди фраксиявӣ иборат аст (ҷадвали 3).

**Ҷадвали 3** - Нишондодҳои асосии физико-механикии блоки анодї

Блокҳои анодї, № интихоб	Зичии ҳаҷмӣ, г/см <sup>3</sup>	Зичии ҳақиқӣ, г/см <sup>3</sup>	Мустаҳкамии механикӣ, кгс/см <sup>2</sup>	Хулосаҳо
1	1,57	2,073	455	Қисми болоии блоки анодї нисбатан мустаҳкам
2	1,58	2,069	449	
3	1,59	2,068	431	
Қимати миёна дар болои блоки анодї	1,58	2,070	445	
1	1,58	2,066	400	
2	1,56	2,071	419	
3	1,52	2,060	443	
Қимати миёна дар поёни блоки анодї	1,55	2,065	420	

Бинобар сабаб дар қисми болоии блоки анодї дар пресси ларзонанда воқеъан ҳосилкуни фосилаи фонамонанд бо ёрии пуансони махсуси тайёркарда иҷро мегардад. Баъдан блоки анодї ба минтақаи истеҳсолии пешпӯштани анодҳо равона карда мешавад.

Баъди пӯштани ҶА дар стени махсус кашиши охири ҳосилшавии фосилаҳои трапетсияшакл дар блокҳои анодии пӯхташуда, гузаронида мешавад, бинобар ин дар як вақт тозакуни ва калибровкаи фосилаҳо низ гузаронида мешаванд. Баъд блоки анодии пӯхташударо бо анодқапанда пайваст (васл) гардонида метавонем.

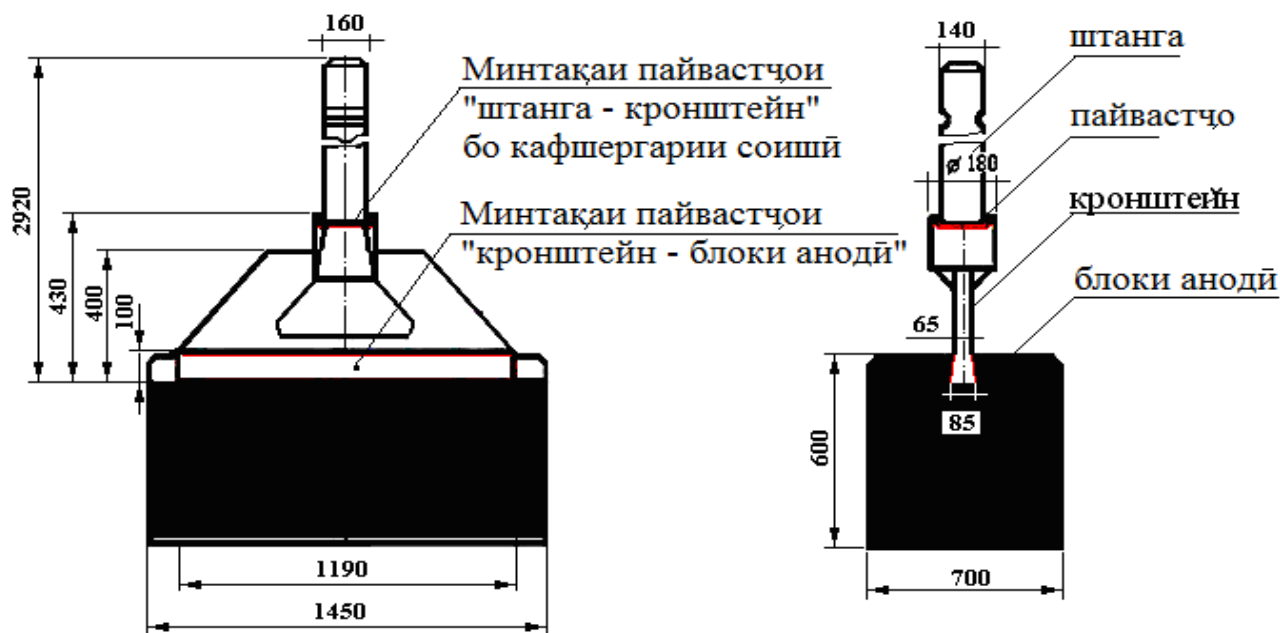
### Коркарди конструкцияи ҶА бо кронштейни трапетсияшакл

Бо мақсади беҳтар намудани хусусиятҳои истифоданамоии электролизёрҳо (афзоиши чараёнинтиқолдиҳӣ, кам кардани хароҷоти энергия) дар истеҳсоли алюминий натиҷаҳои таҳқиқотро оид ба интиҳоби оптималии мавод, сохтор, технологияи омодаанамоӣ – васлкунии элементҳои асосии ҶА-и нави электролизёрҳо истифода бурда, нақшаҳои (ҳуҷҷатҳои) конструктории сохтори ҶА бо кронштейни трапетсияшакл коркард кардем (расми 9).

Баъдан муқоисаи андозаи ҶА барои мутобиқ бо электролизёр ва инчунин муқоисаи он бо конструкцияҳои мавҷуд будаи дар таҷрибаҳои ҷаҳонӣ, гузаронидем.

Аз рӯи нақшаҳои конструкторӣ элементҳои асосии ҶА-и нави электролизёрҳо сохта барои васл кардани онҳо тайёр кардем.

Ҷамъкунии ҶА-и таҷрибавӣ гузаронида шуда, бо истифодаи маводи молидани графитии барқгузарон, барои гузаронидани санҷиши он дар стенд ва ваннаи амалкунандаи электролиз ҶА-ро васл мекунамд. (расми 9).



Расми 9 - Конструкцияи ҶА бо кронштейни трапетсияшакл

### Боби 3. Таҳияи схемаҳои технологӣ ва равандҳои омодаасозӣ, истифодабарӣ ва коркарди партовҳои ҶА такмилёфта.

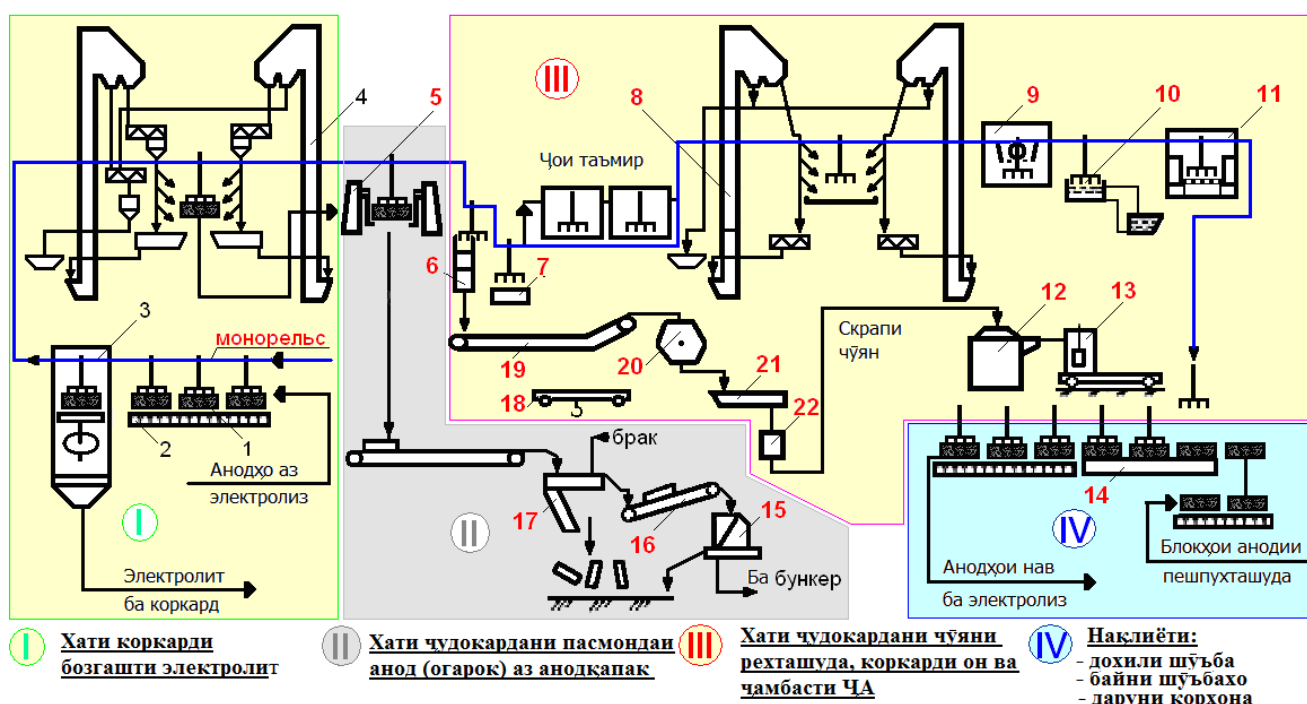
Коркарди нақшаи технологӣ ва равандҳои тайёркунии, истифодабарии ҶА, партовтозакунии элементҳои коркардшудаи намунавӣ ва пешниҳодгардидаи ҶА, ки дар худ васл, ҷудокунии ва таъмири элементҳои ҶА-и дар раванди электролизи алюминий коркардшудаанд дарбар мегирад.

Баъди таҳхис дар технологияи таҷрибаҳои ҷаҳонӣ ва таҷҳизотҳои барои партовтозакунии - баргардандаи коркарди электролиз ва истеҳсоли анодҳо, маҳсусан, электролит, боқимондаҳои аноди истифодашуда (огарки), ҷӯяни рехташуда, гудохташавии ниппел қабул карда мешавад.

Пешниҳоди технологияи нав, нақшаҳо, таҷҳизотҳо барои дуршавӣ ва навсозии электролит, бардоштан-майдакунии блокҳои анодӣ, дасткашии асоснок аз миқдори зиёди таҷҳизотҳои технологӣ бо технологияи намунавӣ ва зарурияти воридкунии тағйирдиҳии конструксиявӣ дар таҷҳизотҳои боқимонда мебошад.

Технологияи намунавии тайёркунӣ, истифодабари ҶА ва технологияи аз нав коркардшуда дар шакли чадвал ва инчунин муқоисаи ин технология дода шудааст.

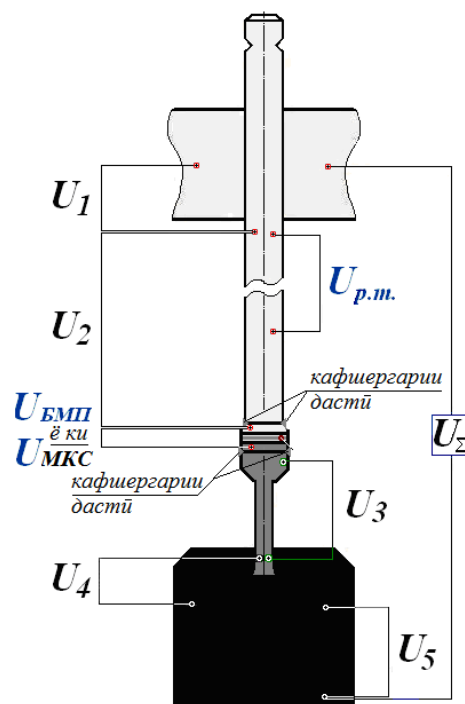
Ба сифати мисол, дар расми 10 нақшаи технологияи шӯъбаи васлкунии анод (ШВА), ки дар мувофиқаи хатти гузаронидани амалиёт бо ҷудокунӣ, партовтозакунӣ, таъмири элементҳои ҶА, васли анодкапандаҳоро бо блоки анодии намуди ҶА-и таъмиршуда ё нав, ки амалан пурра бо технологияи пешниҳодшуда барҳам медиҳад оварда шудааст.



Расми 10 - Нақшаи технологияи шӯъбаи анодваслқунӣ

#### Боби 4. Озмоишҳои таҷрибавию истеҳсолӣ ва стендии ҷараёноварҳои анодии электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий.

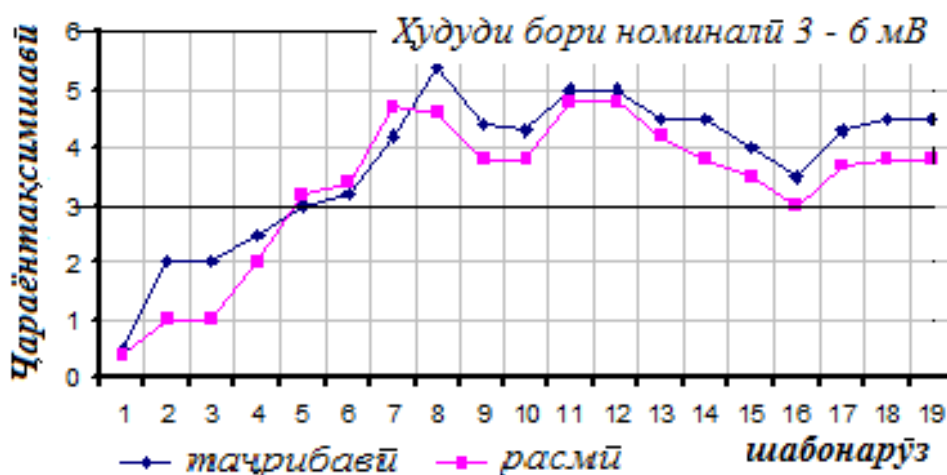
Дар асоси нақшаи ҷенкуниҳои амалан дар соҳаи истеҳсоли алюминий қабулшуда (расми 11) параметрҳои кории электролиз, бо ҳамроҳии коркунони истеҳсолотҳои алюминий (ИА) ва анод (ИА) барнома ва методикаҳои санҷишҳои стендӣ ва озмоишӣ - саноатии ҶА дар электролизёри коркардаи ИА тартиб дода шудааст.



**Расми 11** - Нақшаи ченкуниҳои афтиши шиддат

Дар ду электролизёри С-175кА воқеъан озмоишӣ саноатии санҷиши ҶА гузаронида шуда, ченкуниҳои зарури иҷро карда шуданд.

Дар расми 12 тақсимшавии чараён дар анод ва баромад ба бори номиналии таҷрибавӣ ва сериявии ҶА бо лаҳзаи таваққуфи он нишон дода шудааст.

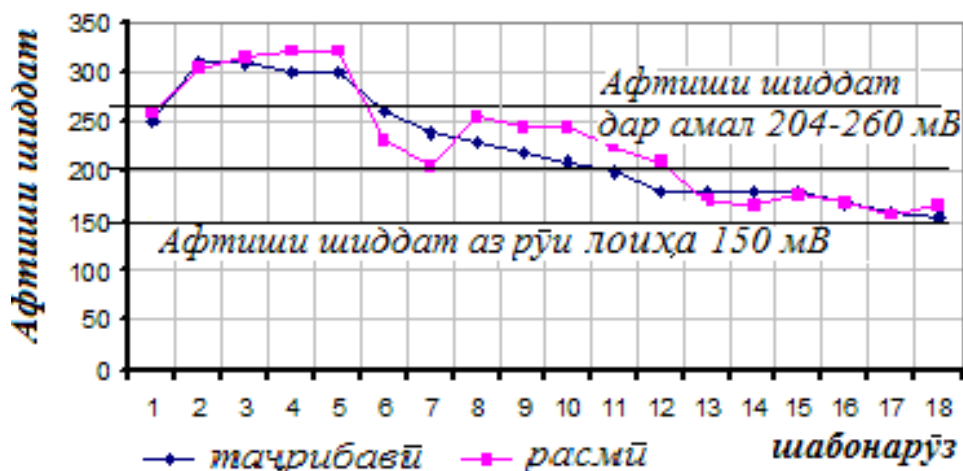


**Расми 12** - Тақсимшавии чараён дар чараёноварони анодӣ

Чи тавре аз расми 12 аён аст, чараёноварони анодӣ (ҶА) баъди 3 - 5 шабонарӯз аз саршавии кори онҳо, қабулкунии бори номиналиро сар мекунанд. Характери баромад ба речаи кори харду ҶА дорои мавҷудияти фарқкунанда нестанд.

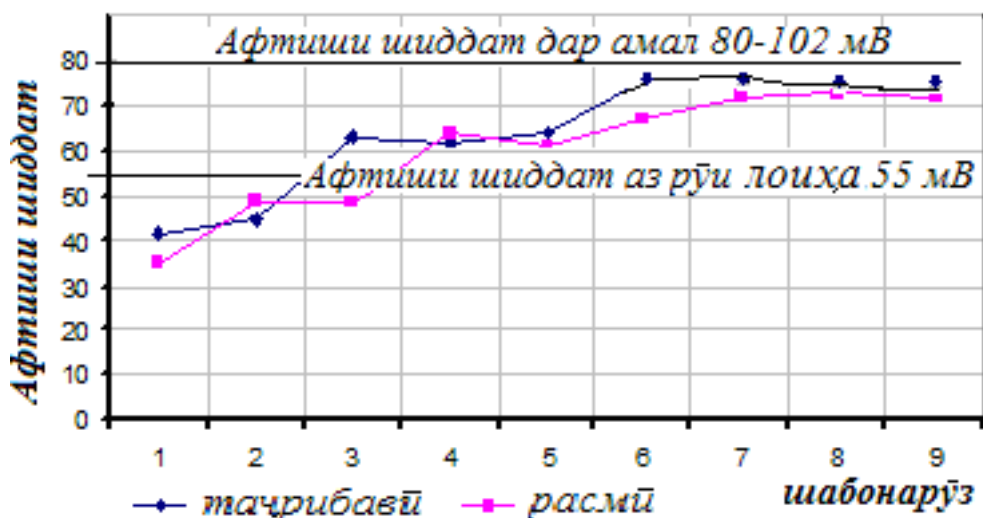
Дар даври аввал (расми 13) афтиши шиддат дар пайваستҳои «кронштейн – анод» дар харду ҶА бисёр калон (то 320 мВ) ва фақат баъди 4-5

шабонарӯзи кор нишондодҳои ҶА муътадил ва бузургии 150-200 мВ дорро мешаванд, ки аз меъёри иҷозати зиёд буда, вале амалан ба сатҳи меъёри афтиши шиддат барои чунин намуд электролизёрҳо мувофиқ аст.



Расми 13 - Афтиши шиддат дар пайвастиҳои «кронштейн-анод» ( $U_6$ )

Дар расми 14 афтиши шиддат дар пайвастиҳои «кронштейн-штанга» ҶА муқоисавӣ оварда шудааст.



Расми 14 - Афтиши шиддат дар пайвастиҳои «кронштейн-штанга»

Бузургии афтиши шиддат дар минтақаи пайвастиҳои ифодашуда бо қиматҳо ва характери тағйирёбии параметрҳои онҳо дар давоми сикли кори ҶА наздик буда, мавҷудияти фарқкунанда надоранд.

Гузaronидани ченкунҳои суммавии афтиши шиддат ( $U_{\Sigma}$ ) дар минтақаи пайвастиҳои ҶА аз ҷараёноварони таҷрибавӣ 450мВ-ро ташкил дода, амалан афтиши шиддат аз рӯи ҷараёноварони сериявӣ дар КВД «Ширкати алюминийи тоҷик» тақрибан 481мВ ташкил медиҳад. Аз рӯи маълумотҳои ченкунӣ таҳлили афтиши шиддат дар минтақаҳои пайвастиҳои



элементҳои таҷрибавӣ ва сериявӣи ҶА иҷро карда шудаанд. Дар ҷадвали 4 сабабҳо ва ташҳиси майли афтишҳои шиддат дар қитъаҳои ҶА таҷрибавӣ оварда шудааст.

**Ҷадвали 4** - Ташҳиси майлкунӣ аз рӯи афтиши шиддат дар минтақаҳои пайваستҷойҳои чараёноварҳои анодӣ (ҶА)

№ б/т	Номгӯи минтақаи пайвастҷойҳои қитъаҳои ҶА	Афтиши шиддат	Меъёр	Амалан (ҳақиқӣ)	Майл (тамоил), бо мВ		Сабабҳои майл (тамоил)
					мВ	%	
1	шина-штанга	$U_1$	12	25	13	12	1.Тозагии бесифати сатҳи пайвастҷо 2.Кашиш ба ҳам сустигузаронида.
2	штанга <sub>В</sub> -штанга <sub>Н</sub>	$U_{ш}$	15	75	60	58	1. Кафшергарӣ дар МКС (мошини кафшергарии соишӣ) бесифат кардашуда. 2. Кафшергарии нопур, бесифатнок
3	штанга-бобишка	$U_6$					
4	штанга - кронштейн	$U_2$					
5	кронштейн-ниппел	$U_3$	150	180	30	30	1. Кафшергарии нопур, бесифатнок 2. Пайвастҳои бади «чӯян - анод», «молиданӣ - анод»
6	ниппел - анод	$U_4$					
7	анод <sub>В</sub> - анод <sub>Н</sub>	$U_5$	170	170	-	-	Нишондодҳои меъёрӣ
Ҷамағӣ		$U_{\Sigma}$	347	450	103	100	

Дар асоси маълумотҳои ҳосилшуда мумкин аст, ки параметрҳои корӣ, технологӣ ва электрикӣи конструксияи ҶА коркардшударо бо ҶА-и истифодашавандаи расмӣ муқоиса карда хулосаи қаноатбахш баровардан мумкин аст. Вале, бинобар сабаб дар конструксияи АҶ коркардшуда воқеъан пайвастҷои «ниппел-блоки анодӣ» бе истифодаи чӯяни рехташуда таъмин аст, ки дар ҳақиқат ҶА-и таҷрибавӣ аз ҶА-и расмӣ фарқ менамояд.

Таъсири мавод (чӣ қадаре муқовимати хоси электрикӣи мавод паст бошад, ҳамонқадар хуб аст) ва конструксия (ихтисори минтақаҳои тамосии пайвасткунанда ва ғ.)-и ҶА ба харҷ, бешубҳа ба талафёбии қувваи чараён оварда мерасонад.

Инчунин сифати блокҳои анодии ҶА, ки ба таври қатъӣ ба омилҳои технологӣ ва экологии электролизи алюминий таъсир мерасонад, муҳим мебошад.

Блокҳои анодии ЦА ба электролит ғўтонида шудааст, аммо масофаи байни «фарш» - қисмати поёнии блоки анодӣ ва қисмати болоии алюминийи моеъ номи масофаи байни қутбҳоро мегирад.

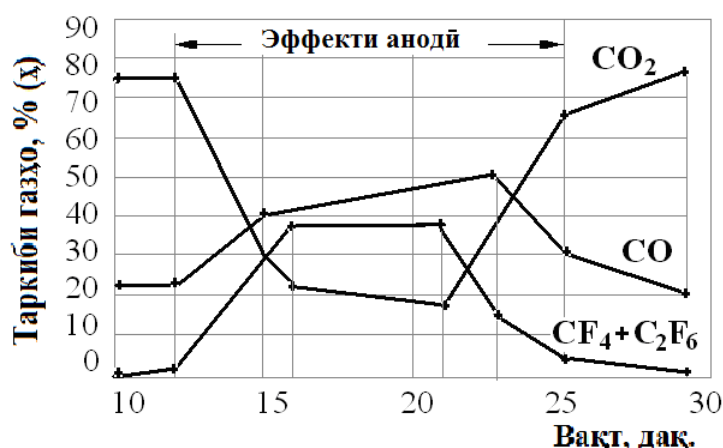
Замоне, ки дар таркиби электролит миқдори гилхок кам мешавад, яъне электролит “якҷоя” мешавад, онгоҳ имконияти ба вучуд омадани эффекти анодӣ зиёд мегардад. Эффекти анодӣ як падидаи давра ба давра ба амал оянда мебошад, ки ба электролизи намакҳои гудохташуда хос аст. Ин ходиса аз он иборат аст, ки раванди муқаррарии электролиз ногаҳон катъ мегардад, шиддат дар як элемент якбора зиёд мешавад ва чараён кам мешавад.

Дар баробари ин, дар сарҳади байни электролит ва сатҳи болоии анод ба он ғарқшуда рахҳои дурахшон – ҳалқаи разрядҳои ночизи шарора (вспышка) пайдо мешаванд, ки бо садои хос ва тарқиш ҳамроҳӣ мекунад. Хуручи хубобчаҳои маҳсулоти газӣ катъ мешавад ва электролит ба назар мерасад, ки гӯё аз сатҳи анод ба ақиб тела дода шудааст.

Таъсири анодҳои давра ба давра ба амал омада ба рафти раванди технологӣ таъсири манфӣ мерасонад: сарфи нисбии қувваи чараён ва намакҳои фтордор зиёд шуда, боиси аз ҳад зиёд гарм шудани электролит мегардад, концентратсияи перфторкарбонҳо дар газҳои анодӣ зиёд шуда, самаранокии баромади алюминий аз рӯйи чараёнро паст мекунанд. Дар баробари ин дар истехсолоти электролизӣ, ба вучуд омадани эффекти анодиро барои идора кардани кори электролизёрҳо (коркарди муътадили гилхок) иҷозат медиҳанд.

Дар ин ҳолат дар таркиби гази анодӣ миқдори  $\text{CO}$  зиёд шуда, миқдори  $\text{CO}_2$  – кам мешавад, инчунин ҷудошавии перфторкарбонҳо афзоиш меёбад (расми 15).

Махсусан, аниқ зоҳиршавии муайяни раванд, дар давраи пайдошавии эффекти анодӣ сабаби ҷамъшавии таркиби электролит бе глинозем (расми 15) аст.



**Расми 15** - Тағйирёбии таркиби газҳои анодӣ ҳангоми эффекти анодӣ

Тахминҳои додашуда оид ба механизми равандҳои электродӣ дар аноди карбонӣ имконияти фаҳмидани вобастагии таркиби газҳои анодӣ, сарфшавии анодҳоро аз равандҳои технологияи электролиз ва сифати анодҳои истифодашаванда медиҳад (расми 16).

Барориши $CF_4$ 400 кг	Барориши $CF_4$ 1600 кг эквиваленти $CO_2$ аз як тоннаи Al	Барориши $CF_4$ 2100 кг эквиваленти $CO_2$ аз як тоннаи Al
Барориши $CO_2$ 1500 кг $CO_2$ /т Al	Барориши $CO_2$ 1650 кг $CO_2$ /т Al	Барориши $CO_2$ 1800 кг $CO_2$ /т Al
Барориши ҷамбастии газҳо		
2,1т $CO_2$ /т Al	3,4т $CO_2$ /т Al	4,1т $CO_2$ /т Al
Сарфи анодҳо дар раванди электролиз		
420 кг C/т Al	520 кг C/т Al	640 кг C/т Al
Сифати анодҳои истифодашуда		
хуб	миёна	бад

**Расми 16** - Таркиби газҳо ва сарфи анодҳо дар раванди электролиз

### НИШОНДОДҲОИ ТЕХНИКИЮ-ИҚТИСОДИИ ТАЪМИРИ АНОДҚАПАНДАҲОИ (АҚ) РАСМӢ ВА ТАӢЁРКУНИИ АҚ НАВ

Фақат таъмири қисми ниппелии кронштейни АҚ-расмӣ арзиши 146,5 долл. ШМА–ро доранд. Бинобар ин сифати «барқароркунии» пайвастчойҳо баъди таъмири кронштейн қитъаҳо «ниппел-кронштейн» ва «ниппел-анод» хело шубҳаноканд.

Арзиши пӯлоди рехташудаи кронштейни нави ҶА-пешниҳодгардида бо маълумотҳои КВД «Ширкати алюминийи тоҷик» тақрибан 50 долл. ШМА–ро ташкил медиҳанд.

Сарфаи маблағ барои таъмири як дона кронштейни ҶА-  
\$146.5 - \$50 = 96.5 долл. ШМА–ро ташкил медиҳад.

**Сарфаи маблағ барои таъмири 6200 дона кронштейни ҶА дар як сол (6200 дона АҚ \* \$96.5 \* 12моҳ = 7,18), яъне зиёдтар аз 7 млн. долл. ШМА-ро ташкил медиҳад.**

Дар ин ҳолат, сарфи маблағи нишондодашуда барои таъмири аноддорандаҳо, бе баинобатгирии сарфаҳо аз ихтисори амалиётҳои технологӣ оид ба оmodасозӣ ва истифодабарии ҶА-и нав, содда кардани ҳамлу нақли ҶА бо технологияи пешниҳодшуда, паст кардани харчи нисбии кувваи чараён, талаф ёфтани сифати алюминий аз ҳисоби дубора гудохтани ниппелҳои кронштейнҳои аноддорандаҳо дар раванди электролизи алюминий, ҳисоб карда шудааст.

Масалан, барои таъмир ё иваз кардани ниппелҳои кронштейн дар як моҳ то 85 тонна лавҳаҳои пӯлодин ва рехтагариҳои онҳо, зимни истеҳсоли 10000 тонна алюминий дар як моҳ, харч мешавад. Дар натиҷа танҳо ҳангоми дубора гудохтани ниппелҳои кронштейнҳои аноддорандаҳо, миқдори оҳан дар таркиби алюминий 0,85%-ро ташкил медиҳад, дар ҳоле, ки миқдори оҳан дар таркиби алюминийи тамғаи А7Е набояд аз 0,11% зиёд бошад. Чуноне, ки мегӯянд, шарҳ додани ин ҳолат зиёдати аст...

## ХУЛОСА

Мувофиқи санчишҳои гузаронидашудаи конструксияҳо ва технологияи оmodасозӣ, истифодабарии ҶА-и дар соҳаи алюминий қабулгардида, таҳлили чараёнгузаронӣ, талафоти кувваи чараён дар намудҳои гуногуни ҶА-и ягона, пешгӯии самти рушди ҶА асоснок карда шудааст.

### **Натиҷаҳои асосии илмӣ таҳқиқот:**

2. Шакли кронштейни ҶА интиҳоб ва параметрҳои геометрии он ҳисоб шуда, инчунин ҳисобҳои элементҳои пайвастанандаи ҶА зимни васеъшавӣ аз таъсири гармӣ барои муайян кардани ҳудудҳои иҷозашудаи ҳади тарқишҳо байни ин элементҳои ҶА гузаронида шудааст. Ҳудудҳои дақиқияти оmodакунӣ онҳо ва ҳудудҳои иҷозашуда зимни васлу насб, муқаррар карда шудааст [1-А, 8-А].

2. Нишондодҳои физикавӣ механикии блокҳои анодӣ бо ковокии трапетсияшакл таҳқиқ шуда, маводҳои такмилёфта, конструксияҳо ва технологияи оmodакунӣ, васлу насби чараёноварҳои анодӣ бо истифодаи маводи махсуси чараёнгузаронанда ба ҷойи ҷӯяни реахташуда, пешниҳод гардидааст. Конструксияи ягона ва технологияи оmodасозӣ, инчунин истифодаи ҶА таҳия шудааст. Дар ин ҳолат минтақаҳои тамосии пайвастанавии элементҳо қатории ҶА аз 15 то 5 минтақа дар ҶА-и аз сари нав таҳияшуда, ихтисор гардидааст [4-А, 8-А].

3. Схемаҳои технологӣ ва равандҳои оmodасозӣ, истифодабарӣ ва коркарди чараёноварҳои анодии такмилёфтаи фарсудашуда, тартиб дода шудааст [2-А, 8-А].

4. Равандҳои технологӣ ва дигар омилҳои таҳқиқшавандаи пайвастан бо боқимондаи носӯхта (огарка), боқимондаи электролит ва дигар маводҳои бозгардон, ки коркарди махсус ва коркард дар истеҳсолоти анодиро талаб мекунад, таҳия шудааст [5-А, 8-А].

5. Муқоисаи равандҳои технологияи оmodасозӣ ва истифодабарии ҶА-и стандартӣ ва такмилёфта, иҷро шудааст [8-А].

6. Озмоишҳои таҷрибавӣ саноатӣ ва стендии чараёноварҳои қаторӣ ва санчишии электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий гузаронида шуданд [6-А, 8-А].

7. Нишондодҳои техникавӣ иқтисодии истеҳсол ва истифодаи ҶА-и электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий муайян карда шудааст [7-А, 8-А].

### **Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо.**

- Дар заминаи таҳқиқотҳои иҷрошуда, имконияти принсипиалии иваз кардани ҷӯяни реахташудаи ниппелҳо ба тамоси мустақими «металл-карбон» зери вазни анод («тамоси хушк») ё инки тамоси «металл-карбон» ба воситаи маводи молиданӣ – хамираи буферии чараёнгузаронанда («тамоси лағжанда»), исбот шудааст.

- Дар ҶСК «ШАТ» Барномаи оmodасозӣ, истифодаи ҶА-и нави пешниҳодшуда дар электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий амалӣ гардида истодааст.

**ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ ДАРЁФТИ  
ДАРАҶАИ ИЛМӢ АЗ РӢӢИ МАВЗӢИ ДИССЕРТАТСИЯ**

***Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмӣ тавсиянамудаи КОА-и назди  
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон наиришуда:***

[1-М]. Мирпочаев Х.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-М]. Мирпочаев Х.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-М]. Сафиев Х. 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.

***Мақолаҳои дар маводи конференсҳои илмӣ наиришуда:***

[4-М]. Мирпочаев Х.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-М]. Мирпочаев Х.А. Усовершенствование конструкции анодных токоподводов электролизёров 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-М]. Мирпочаев Х.А. Анализ перепадов напряжений в узлах усовершенствованного анодного токоподвода электролизёров 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-М]. **Мирпочаев Х.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.

***Наири китобҳо оид ба мавзӯи диссертатсия:***

***Публикации учебных пособий и книг:***

[8-М]. Янко Э.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.

***Ихтироот:***

[9-М]. Могилевич Б.Б. А.с. 1061523 СССР. Анододержатель обожженного анода / Авторы Б.Б. Могилевич, **Х.А. Мирпочаев** и др. / ВАМИ - Всесоюзный алюминиево-магниево-институт, 14.05.1982.

[10-М]. Касперович В.Б. 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-М]. Мирпочаев Х.А. Пат. ТЈ № 224 РТ. Анодный токоподвод электролизера для производства алюминия /Авторы **Х.А. Мирпочаев**, Б.С. Азизов / 21.11.08.

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

[13-М]. Мирпочаев Х.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-М]. Мирпочаев Х.А.Пат. №024151 Евразии. Анододержатель цельнолитой для электролизеров производства алюминия / Авторы **Х.А. Мирпочаев**, Ш.О. Кабиров, Х. Сафиев, Б.С. Азизов / 24.08.12.

## АННОТАЦИЯИ

диссертатсияи Мирпочаев Хуршед Абдумуминович «Такмилдиҳии маводҳо, сохторҳо ва технологияи тайёр намудани чараёноварҳои анодии электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий», барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзади илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 - саноати мошинсозӣ)

**Калимаҳои калидӣ:** чараёноварҳои анодии (ҚА) электролизёрҳо барои истеҳсоли алюминий, маводу сохтори анодкапандаҳо ва блокҳои анодӣ, технологияи истеҳсоли анодҳои пӯхта, коркарду такроран истифода бурдани элементҳои ҚА.

**Объект ва усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда:** мавод, сохтор, равандҳои технологияи истеҳсол ва истифодаи ҚА-и электролизёрҳо дар истеҳсоли алюминий бо усулҳои махсуси таҳқиқоти маводи ҚА ва параметрҳои истифоданамоии онҳо; технологияи истеҳсолот – васлкунӣ; коркарди дубораи ҚА-и сарфшуда ва ғайра, ки ба стандартҳои байналмилалӣ технологӣ ва экологӣ мувофиқат мекунанд.

Таҳқиқотҳо бо истифода аз дастгоҳҳо, стендҳо ва таҳҷизоти тавсия-намудаи институтҳои соҳавии саноати алюминий ва электродии ФР ва ширкати R&D Carbon LTD дар Швейтсария, ки ба ашёи хоми анодҳо ва технологияи истеҳсоли онҳо машғуланд, гузаронида шудаанд.

**Мақсади таҳқиқот** таҳлили ҚА-и маъмулӣ ва оптимизатсияи интиҳоби мавод, сохтор, технологияи истеҳсоли ҚА-и нав барои беҳтар намудани хусусиятҳои истифоданамоии электролизёрҳо (афзоиши чараёнтинқолдиҳӣ, кам кардани хароҷоти энергия) ва коркарди партовҳои ҚА-ро пас аз истифоданамоӣ.

**Натиҷаҳои ҳосилишуда ва навгониҳои онҳо:**

- механизми чараёнгузаронии тамосии системаи «метал-карбон» бо истифода аз хамираҳои буферӣ дар асоси равандҳои молиданиҳои об, спирт ва графитӣ бо истисноӣ ҳосилшавии пайвастаҳои интерметаллоидҳо омӯхта шудааст;

- раванди интиқоли чараён дар алоқаҳои «хӯлаи метал-ангишт» ҳангоми баланд будани зичии қувваи чараён таҳқиқ карда шуд;

- динамикаи ҷунбишҳои муқовимати контактӣ дар сарҳади «металл-карбон»-и электролизи алюминийи амалкунанда таҳқиқ карда шуд;

- механизми равандҳои электродӣ ба анодҳои ангиштӣ пешниҳод карда шуда, вобастагии суръати харҷшавии анодҳо ва таркиби газҳои анодиро аз зичии чараён, ҳарорат ва омилҳои дигар шарҳ медиҳад.

**Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳо:**

- дар асоси таҳқиқоти гузаронидашуда, имконияти принсипиалии ивази ҷӯяни рехташавандаи нишпелҳо ба пайвастаи мустақими ангишту-графитӣ, Кам кардани хароҷоти молии гардишӣ ва истеҳсолӣ барои тайер ва истифода намудани ҚА электролизёрҳо.

**Соҳаи истифодабарӣ:** истеҳсоли алюминийи аввалия ва маводҳои электродӣ.

## АННОТАЦИЯ

диссертации Мирпочаева Хуршеда Абдумуминовича на тему:  
«Усовершенствование материалов, конструкций и технологии изготовления анодных токоподводов электролизеров для производства алюминия», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – Материаловедение (05.02.01.02 отрасль машиностроения)

**Ключевые слова:** анодный токоподвод (АТ) электролизёров для производства алюминия, материалы и конструкции анододержателей и анодных блоков, технология производства обожженных анодов, утилизация и повторное использование элементов АТ после их эксплуатации.

**Объекты и методы исследования, использованная аппаратура:** материалы, конструкции, технологические процессы изготовления и эксплуатации АТ электролизеров производства алюминия по специальным методам исследований материалов АТ, их эксплуатационных параметров; технологии изготовления- сборки; переработки-утилизации отработанных АТ и др., соответствующим международным технологическим и экологическим нормам. Исследования выполнены с использованием приборов, стендов и аппаратуры, рекомендованными отраслевыми институтами алюминиевой, электродной промышленности РФ, компанией R&D Carbon LTD в Швейцарии, занимающейся исследованиями сырья, технологией производства анодов

**Целью работы** является теория и практика оптимального выбора материалов, конструкции, технологии изготовления - сборки основных элементов новых АТ электролизеров для улучшения эксплуатационных характеристик (повышение электропроводности, снижение энергетических затрат) при производстве алюминия и утилизации АТ после их эксплуатации.

### **Полученные результаты и их новизна:**

- изучен механизм контактной электропроводимости системы «металл-углерод» с применением буферных паст на основе водоспиртографитовых смазок с исключением образования интерметаллидов;
- исследован процесс электрической проводимости в контактах «уголь-металлический сплав» при больших плотностях тока;
- исследована динамика колебаний контактного сопротивления на границе «металл-углерод» действующего алюминиевого электролизёра;
- предложен механизм электродных процессов на угольном аноде, объясняющий зависимость расхода анодов и состава анодных газов от плотности тока, температуры и других факторов.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов:**

- на базе выполненных исследований доказана принципиальная возможность замены чугунной заливки ниппелей на углеграфитовый контакт, что снизит затраты на изготовление, сборку и эксплуатацию АТ электролизёра.

**Область применения:** производство первичного алюминия и электродной продукции



## ANNOTATION

**dissertation of Mirpochaev Khurshed Abdumuminovich on the topic: "Improvement of materials, structures and manufacturing technology of anode current leads for electrolytic cells for the production of aluminum" submitted for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.02.01 - Materials Science (05.02.01.02 - mechanical engineering)**

**Key words:** anode current lead (AT) of electrolyzers for the production of aluminum, materials and designs of anode holders and anode blocks, production technology of baked anodes, utilization and reuse of AT elements after their operation.

**Objects and methods of research, equipment used:** materials, structures, technological processes for the manufacture and operation of AT of electrolyzers for the production of aluminum using special research methods for AT materials, their operational parameters; manufacturing technology - assembly; recycling and disposal of spent AT, etc., corresponding to international technological and environmental standards. The studies were carried out using instruments, stands and equipment recommended by the branch institutes of the aluminum and electrode industry of the Russian Federation, by R&D Carbon LTD in Switzerland, which is engaged in research of raw materials for anodes and their production technology.

**The aim of the work** is the theory and practice of the optimal choice of materials, design, manufacturing technology - assembly of the main elements of new AT electrolyzers to improve operational characteristics (increase in electrical conductivity, reduce energy costs) in the production of aluminum and disposal of AT after their operation.

**The results obtained and their novelty:**

- the mechanism of contact electrical conductivity of the "metal-carbon" system with the use of buffer pastes based on water-alcohol graphite lubricants with the exclusion of the formation of intermetallic compounds has been studied;
- the process of electrical conductivity in "coal-metal alloy" contacts at high current densities has been investigated;
- the dynamics of oscillations of the contact resistance at the "metal-carbon" interface of the operating aluminum electrolyzer has been investigated;
- a mechanism of electrode processes on a carbon anode is proposed, explaining the dependence of the flow rate of anodes and the composition of anode gases on the current density, temperature and other factors.

**Recommendations for the practical use of the results:**

- on the basis of the studies performed, the fundamental possibility of replacing the cast-iron filling of nipples with a carbon-graphite contact has been proved, which will reduce the costs of manufacturing, assembling and operating an AT electrolyzer.

**Application:** production of primary aluminum and electrode products

