МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Восточно –Казахстанский Государственный Технический Университет им. Д.Серикбаева

Механико Технологический Институт

РЕФЕРАТ

на тему:

“Разработка и внедрение системы воспламенения пылеугольного факела с использованием электродуговых плазматронов “

Выполнил студент гр.04-ТЭ-1 Крюков Александр

Принял : доцент Алимгазин Алтай Шурумбаевич

Г.Усть-Каменогорск

2004г.

Современное развитие теплоэнергетики характеризуется сокращением использования дефицитного топочного мазута на пылеугольных тепловых электростанциях (ТЭС) и расширением применения твёрдых топлив, качество которых повсеместно снижается, вследствие чего снижается реакционная способность твёрдых топлив, ухудшается их воспламенение и выгорание в топках котлов.

Данная проблема особенно актуальна для Республики Казахстан, энергетика которой базируется на низкосортных углях и испытывает значительный дефицит импортного мазута. По данным Государственной компании «Казахстанэнерго» количество мазута, расходуемого только на растопку пылеугольных котлов составляет по Казахстану около 500 тыс.т.у.т. в год, а на подсветку пылеугольного факела и компенсацию недостаточного тепловыделения угля ухудшённого качества ежегодно расходуется более 500 тыс.т.у.т. мазута. Общая стоимость закупаемого топочного мазута составляет по мировым ценам более 80 млн. долларов США в год.

Известные методы снижения расхода мазута при сжигании низкосортных углей не решают проблему существенного сокращения расхода жидкого топлива на пылеугольных ТЭС, особенно на стадии мазутной растопки котлов, которая в отдельных случаях является доминирующей.

Из сказанного следует, что разработка и внедрение на ТЭС принципиально новых плазменных технологий безмазутной растопки котлов является весьма актуальной научно- технической задачей, решение которой повышает технико-экономические показатели твёрдо- топливных электростанций.

**Цель** заключается в создании эффективных конструкций системы воспламенения углей с электродуговым плазматроном, научно-техническом и экономическом обосновании целесообразности применения и внедрения на этой основе плазменной технологии безмазутной растопки котлов Усть-Каменогорской ТЭЦ и ПОЭиЭ “Алтай-энерго”.

Научная новизна заключается в следующем:

**1**. Разработана усовершенствованная плазменная система безмазутной растопки (СБР) и испытана на специализированном стенде.

**2**. Исследованы электрические и тепловые параметры СБР, вольтамперные характеристики электродугового плазматрона на воздухе, обобщенные в критериях подобия. Проведены детальные расчеты термохимической подготовки ранее не исследованных углей.

**3.** Проведены промышленные испытания СБР при безмазутной растопке котлов ЦКТИ-75-39\ст.№10 и ст.№9 Усть-Каменогорской ТЭЦ.

**4.** Разработана и составлена техническая документация на изготовление, выданы практические рекомендации по внедрению СБР на пылеугольных ТЭС Казахстана.

**5**. Проведен технико- экономический анализ топливно- энергетического баланса ТЭС и парка пылеугольных котлов Казахстана, на основании которого определены: годовая потребность отрасли в СБР и экономия мазута при внедрении СБР в основных энергосистемах Казахстана.

Практическая работа:

На основании предложенных технических решений разработано и изготовлено новое энергетическое оборудование, состоящее из электродугового плазматрона постоянного тока, источника электропитания ( тристорного преобразователя с блоком управления) и камеры электротермохимической подготовки топлива. Созданное плазменно-энергетическое оборудование прошло успешные промышленные испытания не котлах Усть-Каменогорской ТЭЦ, сжигающих кузнецкие, карагандинские и шубаркольские каменные угли. Практический опыт, накопленный в результате промышленного освоения плазменных систем безмазутной растопки на указанной ТЭЦ, можно использовать на других энергоблоках( БКЗ-320 и ТПЕ-430А (500) )Усть-Каменогорской ТЭЦ.

Результаты расчетно- теоретических исследований и экспериментальные данные, обобщённые в критериях подобия, могут быть использованы для расчёта параметров СБР с электродуговым плазматроном мощностью до 500 кВт и распространения плазменных технологий на ТЭС других энергосистем Казахстана.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась использованием в экспериментах надёжных и аттестованных средств и методик измерения и подтверждалась хорошей воспроизводимостью результатов в стендовых условиях и при многократных безмазутных растопках котлов в условиях Усть-Каменогорской ТЭЦ.

При расчётно-теоретическом анализе процесса термохимической подготовки к сжиганию основных энергетических углей Казахстана (экибастузского, карагандинского, шубаркольского, куучекинского, борлинского и кузнецкого)

использовались современные численные методы с контролируемой относительной

погрешностью счёта, не превышающей 1,5-2%.

**Содержание работы**

(1) Анализируется современное состояние проблемы использования топочного мазута на пылеугольных ТЭС Республики Казахстан и отдельно для Производственного объединения энергетики и электрификации (ПОЭиЭ) “Алтайэнерго”. На основании аналитического обзора определено количество пылеугольных ТЭС в республике, включая теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), государственные районные электростанции (ГРЭС) и промышленные котельные. Приведено распределение ТЭЦ ГРЭС по энергосистемам и представлены характеристики энергетических котлов, использующих мазут для растопки и подсветки пылеугольного факела. Анализ технико-экономических показателей и топливоиспользования ТЭС Казахстана показал, что около 80% (по мощности) ТЭС Казахстана работают на угле. На твёрдом топливе работает 31 электростанция суммарной установленной мощностью 12780 МВт.

В ПОЭиЭ “Алтайэнерго” имеется 5 пылеугольных ТЭС, включая промкотельную, суммарной мощностью 345 МВт. Паропроизводительность котлов в ПОЭиЭ “Алтайэнерго” варьируется от 40 до500 т/ч. В целом по Казахстану единичная производительность котлов ТЭС изменяется в интервале от 30 до 1650 т/ч. Количество пылеугольных горелок, установленных на этих котлах, варьируется от 2 до 24 штук на один котёл. Расход угля через эти горелки также изменяется в широких пределах: от 2,3 до 13,4 т/ч. Всего на пылеугольных ТЭС Казахстана сжигается 15 разновидностей твёрдого топлива (каменных и бурых углей). Основными видами из них являются экибастузский уголь- 75,3, карагандинский- 8,6, борлинский-7,3, куу-чекинский -4,1 и кузнецкий -2,9% от общего объёма сжигаемых на ТЭЦ углей. Теплотехнические характеристики этих углей различны: зольность колеблется от 10 до 48%, влажность от 5 до 37%, выход летучих от 22 до 48,5%, а теплота сгорания изменяется от 3100 до5465 ккал/кг.

Большое разнообразие теплотехнических характеристик сжигаемых углей, конструкций горелочных устройств (прямоточные, плоскофакельные и вихревые) и их компоновки с котлоагрегатами требует индивидуального подхода к разработке плазменных технологий безмазутного воспламенения пылеугольного факела и техники для их осуществления в каждом конкретном случае /1-3/.

На пылеугольных ТЭС Республики расходуется около 26 млн.т.у.т. органического топлива, в том числе 2 млн.т.у.т. газомазутного топлива, из которых собственно мазут составляет 1,08 млн.т.у.т. Таким образом, средний удельный расхода мазута на пылеугольных котлах Казахстана составляет 4,2% от суммарного расхода топлива. Анализ распределения расхода мазута пылеугольными ТЭС показал, что его доля для конкретных станций варьируется от 0,42 до 34,4% от суммарного расхода топлива на них.

При сжигании твёрдого топлива мазут расходуется на следующие цели:

* На растопку котлов -40-45%;
* На подсветку пылеугольного факела -1-5%;
* На компенсацию недостающего количества тепла при сжигании непроектного топлива (угля ухудшённого качества)-50-55%.

При переходе к безмазутной технологии растопки котлов и подсветки пылеугольного факела, помимо экономии дефицитного мазута, существенную роль играют экономические факторы, определяемые соотношением цен на топочный мазут и уголь, которым замещают мазут в новой технологии. Существующая в последние годы тенденция повышения цен на энергоносители легко прослеживается на примере стоимости экибастузского угля. По оценкам Института энергетических исследований РАН цены на топливо в Казахстане будут возрастать и дальше.

Отсюда следует экономическая целесообразность замены мазута энергетическими углями на стадиях растопки котлов и подсветки пылеугольного факела.

В этой связи весьма актуальными направлениями являются разработка и внедрение новых плазменных технологий безмазутного воспламенения пылеугольного факела.

Основные принципы плазменной технологии безмазутного воспламенения углей:

(которые базируются на электротермохимической подготовке топлив(ЭТХПТ) к сжиганию ). Она заключается в нагреве электродуговым плазматроном определённой части пылеугольного потока до температуры полного выделения летучих угля и частичной газификации коксового остатка с тем, чтобы обеспечить суммарный выход горючих газов на уровне содержания летучих в высокореакционных углях, способных воспламеняться и устойчиво гореть без подсветки мазутом. Тем самым из меньшей части аэросмеси (уголь-воздух), прошедшей электродуговую зону, получают (независимо от качества исходного угля) высокореакционное двухкомпонентное топливо (горючий газ +коксовый остаток), способное воспламеняться при смешении с основным потоком аэросмеси и стабилизировать процесс горения.

Для аэросмеси, необходимая для ЭТХПТ, составляет 10-20% и определяется из уравнения теплового баланса, таким образом, чтобы тепла, выделяющегося при сгорании получаемого двухкомпонентного топлива, в сумме с энергией электродуговой плазмы было достаточно для нагрева основного потока аэросмеси от начальной температуры воспламенения.

**Задача исследований**

**1.**Осуществить анализ потребления мазута на пылеугольных ТЭС Казахстана и на этой основе выбрать оптимальную технологию безмазутной растопки котлов и подсветки факела.

**2.** Выполнить расчётно- теоретическое обоснование эффективности использования выбранной плазменной технологии безмазутного воспламенения углей.

**3.** создать эффективную конструкцию плазменной системы безмазутной растопки, провести её промышленные испытания на котлах Усть-Каменогорской ТЭЦ и разработать техническую документацию для серийного производства СБР.

**4.** Выдать по результатам промышленных испытаний технико- экономические и технологические рекомендации по освоению СБР на пылеугольных ТЭС Казахстана, использующих мазут в качестве второго топлива.

(2)Методика расчётов с использованием универсального программного комплекса АСТРА-4 ( Автоматизированная Система Термодинамических Расчётов- версия 4.) В основе метода лежит принцип максимума энтропии для изолированных термодинамических систем, находящихся в состоянии равновесия, характеризующемся максимом энтропии относительно термодинамических степеней свободы, к которым относятся концентрации компонентов системы и какая- либо пара задаваемых переменных (например, давление и температура). Установление равновесия достигается за счёт внутренних, фазовых и химических превращений в изолированной системе, равновесные параметры которой могут быть определены путём решения задачи о нахождении максимума энтропии системы с учётом ограничений, накладываемых фундаментальными законами сохранения массы, энергии и заряда.

Цель расчётов в определении равновесного состава газообразных и конденсированных продуктов ЭТХПТ, удельных энергозатрат и электрической мощности плазматрона, вычисляемых по выражениям:

Qуд.=Iравн.-Iисх. ,кВт. ч/кг, (1)

где Iисх. и Iравн - полная энтальпия, отнесённая к 1 кг. Рабочего тела ( уголь + воздух), находящегося соответственно в исходном и равновесном ( после всех превращений) состояниях.

Знание Qуд  позволяет рассчитать необходимую вкладываемую мощность плазматрона на соотношения:

Рэл.= Qуд .Gр.т; кВт,(2)

где Gр.т - расход рабочего тела, кг/ч.

Рассмотрим результаты расчёта на примере широко распространённого экибастузского угля (ЭУ) с теплотой сгорания 4075 ккал/кг, выходом летучих на сухую массу 12% с составом, приведённым в табл.1

Состав сухого угля, массовое содержание компонента, %

таб.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| C | O | H | N | S | SiO2 | Al2O3 | CaO | MgO | Fe2O3 | ∑ |
| 41,30 | 6,47 | 2,81 | 0,67 | 0,75 | 31,10 | 14,82 | 0,36 | 0,40 | 1,32 | 100,0 |

Как видно концентрация горючих компонентов (СО+Н2+СН4) нарастает с увеличением температуры процесса, составляет 50-60% в интервале температур 900-1200К. При этом теплота сгорания горючего газа достаточно высока и равна 2000-2500 ккал/кг. Весьма важно с точки зрения экологии, что азот исходной воздушноугольной смеси представлен в основном молекулярным азотом N2 , концентрация которого остаётся практически постоянной в интервале 800-1600К. Выход оксидов азота NOx не превышает 1-5 мг/нм3 ,что на два порядка меньше, чем в дымовых газах ТЭЦ. Сера топлива выходит в газовую фазу в основном в виде сероводорода (HS2), а концентрация оксидов серы пренебрежимо мала (< 1мг/нм3).

Заметное снижение концентрации углерода в коксовом остатке в интервале температур 800-1200К обусловлено переходом углерода в газовую фазу по реакции С+0,5О2=2С0. В дальнейшем концентрация углерода резко снижается (Т>1600К), в связи с восстановлением минеральной части углей и образованием ферросилиция (FeSi) и карбосилиция (SiC). Качественно подобная картина получается и для других углей, приведённых в таблице 2.

(таб.2)

Характеристики основных энергетических углей:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип угля | Зольность, Ас, % | Выход летучих,Vг, % | Влажность,Wр, % | Содержание серы, Sобщ., % | Теплота сгорания,Q,ккал/кг. |
| 1 | 2 | 3 |  4 |  5 | 6 |
| ЭУКУБУКУУКЗУ | 40-48,030-32,0 46,0 44,016,0-18,0 | 5,08,08,07,012,5 |  24,228,027,021,038-40,0 | 0,6-0,80,8-0,90,60,80,4 | 3600-41504900-5020327039604660-5120 |

Видно, что удельные энергозатраты монотонно возрастают в интервале 800-1400К для всех типов углей. При Т>1400К .= Qуд резко увеличивается ( в 3-4 раза), что делает нецелесообразным проведение ЭТХПТ при Т> 1400К.

Учитывая, что максимальный выход горючих компонентов (Н2+СО+СН4) наблюдается при Т=1200К, её можно считать оптимальной температурой процесса ЭТХПТ. При этой температуре удельные энергозатраты заключаются в интервале 0,07-0,13 кВт.ч/кг угля. В среднем их можно принять равными 0,1 кВт.ч. для всей гаммы основных энергетических углей Казахстана. Расчёты по формуле (2) для Qуд=0,1 кВтч./кг угля и разных температур процесса ЭТХПТ, видно, что при используемых на практике пылеугольных горелках и расходах угля от 500 до 2000 кг/ч ( через одну горелку) требуемая мощность плазматрона варьируется от 50 до 200 кВт. Таким образом, для энергетических углей Казахстана необходим универсальный плазматрон с мощностью, регулируемой в диапазоне 50-200 кВт.

Количество плазматронов на котле при реализации безмазутной растопки определяется в соответствии с “Инструкцией по эксплуатации котлоагрегатов” конкретного типа, исходя из условий обеспечения за время растопки 30% (от номинальной) тепловой нагрузки котла. Это означает, что не менее 30% пылеугольных горелок на любом котле должны быть оснащены плазматронами соответствующей мощности из интервала 50-200 кВт.

В частности, на котлах Усть-Каменогорской ТЭЦ ЦКТИ-75 (паропроизводительностью 75 т/ч), оснащённых тремя горелками, устанавливают один плазматрон(33% от тепловой мощности котла); на котлах БКЗ-320 (паропроизводительностью 320 т/ч), имеющих 8 горелок, устанавливаются 3 плазматрона, обеспечивающих 37,5% от номинальной нагрузки котла; на котле Е-500 ( паропроизводительностью 500 т/ч), оснащённом 8 горелками, целесообразно установить 4 плазматрона (2 на фронтальной и 2 на тыльной стенках котла) в противоположных пылеугольных горелок. На самых крупных котлах в Казахстане (Экибастузэнерго) типа П-57 ( паропроизводительностью 1650 т/ч) с 24 горелками необходима установка 8 плазматронов (33% от тепловой нагрузки) в пылеугольные горелки.

При переходе от одного типа котлов к другому меняется лишь число устанавливаемых плазматронов и их компоновка с горелками различных типов. При этом сама конструкция плазматрона и его электрическая мощность остаются неизменными.

(3) Между катодом и анодом включают электрическую дугу и по патрубку в плазматрон подают плазмообразующий газ- воздух. В камеру ЭТХПТ через тангенциальный ввод подают аэросмесь, которая, нагреваясь, воспламеняется при смешении с вторичным воздухом или с первичным воздухом аэросмеси в случае разделения исходного потока аэросмеси. Коммутация тока плазматрона производится силовыми тиристорами У1/У6. Автомат Q отключает ток нагрузки только в аварийных ситуациях, например, при пробое тиристоров. Датчики тока (ДТ) выдают сигналы, необходимые для работы автоматики. Дроссель (ДР) сглаживает пульсации выпрямлённого тока.

Эксперименты проводились на трёх типах углей (ЭУ,БУ и КЗУ), а также антрацитовом штыбе (АШ) и двух типах горелок: турбулентной двухулиточной и муфельной. Камера ЭТХПТ с плазмотроном устанавливается на оси двухулиточной горелки вместо мазутной форсунки, а в случае муфельной горелки камера ЭТХПТ с улиткой аэросмеси устанавливается в торце муфельного предтопка. При такой компоновке процесс ЭТХПТ осуществляется в объёме горелок (двухулиточной и муфельной), а в топочное пространство выходит подготовленное к сжиганию двухкомпонентное высокореакционное топливо. Плазменная технология безмазутного воспламенения реализуется следующим образом.

Вначале подают плазмообразующий газ ( воздух) в плазматрон 1 и первичный воздух в улитку 2. возбуждается электрическая дуга и через 2-3 мин. в камеру ЭТХПТ 10 подают аэросмесь, где она взаимодействует с воздушной плазмой. Полученное в камере 10  высокореакционное двухкомпонентное топливо с уровнем температур 1300-1500К поступает в зону П, где смешивается с основным потоком аэросмеси (80-90% общего расхода топлива через горелку). В зоне П осуществляется нагрев основного потока аэросмеси с выделением летучих и частичной газификации угольных частиц. При этом из-за малого количества окислителя, окисление углерода происходит только до окси углерода СО. Температура аэросмеси в зоне П достигает 800-100К за счёт энтальпии двухкомпонентного топлива и экзотермической реакции С+0,5О2=СО, осуществляемой при частичном выгорании топлива в термостойкой центральной трубе 4. Последняя, нагреваясь, служит своеобразным стабилизатором горения и способствует воспламенению двухкомпонентного топлива в течение определённого времени даже при периодическом включении плазматрона.

На рис.3.1 показаны изменения максимальной температуры и длины участка зажигания факела при различных значениях удельных энергозатрат. Длина участка зажигания представляет собой расстояние от среза амбразуры горелки до сечения максимальной температуры по оси факела.

Как видно из рис.3.1, безразмерная длина участка зажигания с ростом относительной электрической мощности плазматрона уменьшается, приближаясь к единице при E=2,4. Максимальная температура с увеличением Е возрастает от 15000С, что свидетельствует об интенсифицирующем воздействии плазменного источника, и подтверждается также значительным снижением мехнедожога; для АШ q4 снижается с 15 до 4,5%, для ЭУ с 3,5 до 1,3 , и для БУ с 7 до 4%, т.е. в среднем потери тепла с мехнедожогом уменьшаются в 2-3 раза.

По результатам экспериментов могут быть рекомендованы значения удельных энергозатрат, лежащие в интервале 0,08≤ Qуд≤0,12 кВтч/кг угля, что полностью согласуется с результатами расчётов.

Результаты стендовых испытаний воспламенения углей и обобщения вольтамперных характеристик (ВАХ) плазматронов легли в основу проекта промышленной СБР для Усть-Каменогорской ТЭЦ.

(4)Технические решения по компоновке СБР с электро- тепломеханическим оборудованием ТЭС и результаты промышленных испытаний плазменной растопки котлов ЦКТИ-75, ст. № 9 и ст. № 10 Усть-Каменогорской ТЭЦ.

Безмазутная растопка котлов ЦКТИ-75 Усть-Каменогорской ТЭЦ проводилось на карагандинских угля со следующими характеристиками: теплота сгорания 4290 ккал/кг, зольность 20%, влажность 18% и выход летучих 36%. Котёл оборудован двумя растопочными муфельными предтопками с расходом угля до 1,5 т/ч. В муфельных горелках обоих котлов были смонтированы плазмотроны с камерами ЭТХПТ.

Растопку котлов производили из холодного состояния. Угольную пыль на безмазутную растопку подавали из промбункера (R90=37%).После включения плазмотронов в камеры ЭТХПТ подавали уголь с плавным увеличением расхода от 0,75 до 1,5 т/ч. Мощность плазмотрона 65 кВт, ток 260 А и напряжение 250 В. При этом наблюдалось устойчивое воспламенение и интенсивное горение пылеугольного факела на выходе из муфельных предтопков. Температура факела 1200-13000С при расходе воздуха на один муфель около 2000 м3/ч. После выхода муфелей на стационарный тепловой режим плазматроны отключались, а подача аэросмеси с воспламенением в муфеле продолжалась до повышения давления в барабане котла не менее 27 атм. Затем котёл переводили на работу трёх основных турбулентных горелок. Время растопки котла 3,5 часа. Скорости увеличения давления (≈0,13 атм./мин) и температуры пара (≈2 град/мин) соответствовали режимной карте котла ЦКТИ-75 при его растопке на мазуте. Температура питательной воды после завершения растопки составляет 1320С, уходящих газов -1500С и перегретого пара - 4300С.

Относительные затраты электроэнергии на плазмотрон составили 0,6% от тепловой мощности муфельной горелки. Многократные испытания безмазутной растопки котлов ЦКТИ-75 подтвердили высокую эффективность плазменного воспламенения аэросмеси в муфельном предтопке, по сравнению с существующей технологией растопки. В 1995 г. Плазменные системы безмазутной растопки котлов были сданы в постоянную эксплуатацию на Усть- Каменогорской ТЭЦ.

(5) Технико– экономическое обоснование эффективности применения плазменной системы растопки котлов в основных энергосистемах Казахстана. Определено, что в 7 основных энергосистемах находится в эксплуатации ≈215 пылеугольных котлов с общей паропроизводительностью 63795 т/ч. Эти котлы выбраны на основе анализа их пригодности для внедрения безмазутной технологии растопки. В соответствии с основной концепцией плазменной технологии растопки в среднем 30% пылеугольных горелок котла оснащается плазматронами. Минимальное количество систем безмазутной растопки, требуемое для оснащения 215 пылеугольных котлов, составляет около 500 штук. Для их серийного выпуска необходима организация промышленного производства.

Методика расчёта экономии мазута при внедрении СБР на ТЭС. Методика базируется на принципе замещения мазута эквивалентным по теплоте сгорания количеством угля и учётом стоимости электроэнергии, затрачиваемой на плазматроны за время растопки. Также учитывается стоимость СБР, ресурс которых при среднем числе растопок котла 20 в год составляет 3 года.

Поскольку стоимость угля, которым замещают мазут, на порядок меньше стоимости самого мазута, стоимость одного комплекта СБР ≈20000$, то экономическая эффективность достигает значительной величины 40-50$ на 1 т. Замещаемого углём мазута.

Результаты расчётов экономической эффективности для основных энергосистем, показали, что суммарная экономия составляет около 30 млн. $ в год.

**Основные результаты исследования**

1. Посредством термодинамического анализа процессов ЭТХПТ основных энергетических углей обоснована научно-техническая целесообразность применения на ТЭЦ плазменных систем безмазутной растопки пылеугольных котлов.

2. Расчёты с помощью модифицированного программного комплекса АСТРА-4 показали, что необходимая мощность плазматрона для безмазутного воспламенения факела составляет 50-200 кВт, что позволяет разработать универсальный плазмотрон с регулируемой в этих пределах мощностью.

3. Расчётным путём выявлены и экспериментально подтверждены оптимальные теплотехнические параметры процесса ЭТХПТ: температуры (1200-1500К), концентрация пыли в аэросмеси (0,4-0,6 кг/кг) и суммарный расход горючих газов (50-60% от органической массы угля)

4. Проведённые эксперименты по изучению электрических и тепловых параметров плазменной системы безмазутной растопки и вольтамперных характеристик плазматрона позволили оптимизировать конструкцию СБР.

5. Разработаны и освоены технологические схемы совместного функционирования плазменного и станционного оборудования при безмазутной растопке пылеугольных котлов на Усть-Каменогорской ТЭЦ.

6.Разработана техдокументация на изготовление плазменных СБР с электродуговым плазматроном, необходимая для организации серийного производства плазменно-энергетического оборудования в Казахстане.