

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

д-р физ.-матем. наук, профессор

Черковец В.Е..

«05».....05.....2018г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Усманова Равиля Анатольевича

«Испарение и ионизация веществ, моделирующих отработавшее ядерное топливо, в вакуумном дуговом разряде с подогреваемым катодом» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы

Развитие энергетического комплекса Российской Федерации является приоритетной задачей, обеспечивающей рост промышленного и военного потенциала страны. Существенную роль в развитии энергетики страны играет производство электроэнергии на атомных станциях. Обеспечение безопасности и высокой эффективности эксплуатации ядерных станций требуют разработки новых высокотехнологичных методов переработки и вторичного использования отработанного ядерного топлива, а также сокращения количества радиоактивных отходов. Представленная диссертация относится к разработке новых методов плазменного разделения компонентов отработанного ядерного топлива. В рамках диссертационной работы в качестве эффективного метода перевода отработанного ядерного топлива в плазменное состояние предлагается и исследуется источник на основе диффузного вакуумного дугового разряда на модельных катодных материалах. Актуальность работы связана с перспективами практического использования диффузного вакуумного дугового плазменного разряда для плазменной сепарации отработанного ядерного топлива, получения новых композитных материалов и нанесения покрытий.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, рисунков и таблиц. Полный текст диссертации изложен на 102 страницах, библиография включает 87 наименований.

Во введении представлена актуальность темы исследования, изложены цели и задачи, которые ставил перед собой соискатель в процессе выполнения диссертационной работы. Также в нем отражена научная новизна полученных результатов, их практическая и теоретическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту. В конце заключения соискателем приведены список докладов на конференциях и конкурсах научных работ, где были апробированы результаты работы, список основных публикаций, отмечен личный вклад автора.

В первой главе представлен обзор литературных источников по теме плазменной переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и рассмотрены различные варианты

перевода твердого вещества в плазму. В качестве одного из перспективных источников для технологии плазменной сепарации предложена диффузная вакуумная дуга на горячем катоде. Данный выбор обусловлен возможностью получения на таких источниках стабильного разряда и отсутствием в разряде микрокапельной фракции материала катода. Приведены результаты анализа и выбора веществ, которые могут быть использованы в качестве моделирующих ОЯТ при исследовании разряда.

Во второй главе описаны схема экспериментальной установки и использовавшиеся экспериментальные методы диагностики вакуумного дугового разряда. Для исследования параметров плазмы полученной в дуговом разряде наряду с использованием зондовых методик (одиночный зонд Ленгмюра, конденсационный и многосеточный зонды) активно применялись методы оптической спектроскопии. Приведены результаты исследования диффузной вакуумной дуги на термоэмиссионном катоде из гадолиния, моделирующем процессы испарения и ионизации урана в дуге. Показана принципиальная возможность создать в данном разряде плазменный поток с близкой к 100% степенью ионизации, представленный преимущественно однозарядными ионами.

В третьей описаны результаты исследования впервые реализованной диффузной вакуумной дуги на катоде из свинца, представляющего из себя нетермоэмиссионный материал. Изучены режимы испарения катода в разряде и параметры образующейся плазмы. Экспериментально показано, что скорость испарения катода из свинца в условиях диффузного дугового разряда вдвое меньше по сравнению с термическим испарением. Данные экспериментов согласуются с гипотезой об ионном механизме переноса тока на данном типе катодного материала.

В четвертой главе представлены результаты исследования диффузной вакуумной дуги на керамическом, непроводящем при комнатной температуре катоде из CeO_2 , моделирующем UO_2 . Измерены скорость испарения катода в разряде, изучен компонентный состав плазмы межэлектродного промежутка и параметры образующегося за анодом ионизованного потока.

В заключение к диссертации сформулированы наиболее важные полученные результаты, на основе которых сделан вывод о перспективности применения диффузной вакуумной дуги в качестве источника плазмы для технологии сепарации ОЯТ.

Актуальность работы связана в первую очередь с необходимостью создания высокопроизводительного источника плазмы для активно развивающейся технологии плазменной переработки ОЯТ и исследованием возможности применения диффузной вакуумной дуги для этой цели. В ходе исследования изучалась работа вакуумного дугового разряда на свинцовом катоде – нетермоэмиссионном материале, для которого до сих пор не ясен механизм замыкания разрядного тока. Также рассматривался впервые полученный дуговой разряд на диэлектрическом катоде из диоксида церия, описаны особенности работы разряда на оксидном рабочем веществе.

Научная новизна. В работе приведены результаты подробного исследования режимов работы диффузной вакуумной дуги на катоде из термоэмиссионного гадолиния и получены новые экспериментальные данные о параметрах образующейся в разряде плазмы, в том числе о зарядовом составе, степени ионизации и энергетическом спектре ионов в зависимости от температуры катода и тока дуги.

Была впервые реализованна диффузная вакуумная дуга на нетермоэмиссионном катоде из свинца, определены ее основные характеристики и параметры образующейся плазмы. Получены новые данные о режимах испарения свинца в условиях разряда и продемонстрировано двукратное сокращение его скорости испарения в сравнении с термическим режимом, что свидетельствует в пользу гипотезы об ионном механизме переноса тока на нетермоэмиссионных катодах.

Впервые получен и исследован диффузный вакуумный дуговой разряд на непроводящем при комнатной температуре керамическом катоде из диоксида церия. Обнаружено, что при нагревании свыше 1000 К из-за изменения стехиометрического состава проводимость диоксида церия растет до уровня проводимости металла. Исследована управляемость напряжением разряда путем изменения температуры катода и тока дуги, получены данные о тепловом потоке, поступающем из плазмы в катод, электронной температуре плазмы, среднем заряде частиц, а также компонентном составе плазмы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты, полученные автором диссертации, затрагивают особенности работы диффузного вакуумного дугового разряда на широком спектре катодных материалов: термоэмиссионных, неэмитирующих и оксидных и могут быть использованы для разъяснения не изученных в полной мере особенностей катодных процессов, протекающих в вакуумных дугах, среди которых механизмы разогрева катода, а также замыкания тока разряда.

Практическая значимость работы. С практической точки зрения, полученные данные могут быть использованы для создания высокопроизводительных источников плазмы конденсированных веществ для задач плазменной сепарации веществ, нанесения функциональных покрытий и при синтезе наноматериалов в Объединенном институте высоких температур РАН, Иркутском государственном техническом университете, Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт», в Институте сильноточной электроники СО РАН, НИЯУ МИФИ, Институте общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Московском энергетическом институте (МЭИ ТУ), Институте прикладной физики РАН, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, Казанском федеральном университете, в Санкт-Петербургском государственном университете и Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова.

Апробация работы. Материалы диссертации были доложены на 12-ти ведущих российских и международных конференциях.

Публикации. По теме работы (кроме трудов конференций) автор имеет 10 статей в журналах из перечня ВАК, причем 9 из них опубликованы в изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science.

Личный вклад автора отражен в основных положениях, выносимых на защиту и содержании диссертации. Подготовка полученных результатов к публикации производилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные результаты получены автором лично.

По результатам представленной работы необходимо сделать несколько замечаний:

- 1) Во введении сформулированы основные требования к источнику плазмы для перевода отработанного ядерного топлива в плазменное состояние: плазма должна быть представлена преимущественно ионами одинаковой кратности, ее степень ионизации должна быть близка к 100%, в потоке плазмы должны отсутствовать микрокапельные фракции эродирующего катода, а производительность плазменного источника — находиться на уровне 100 г/ч. Требование по производительности не является критическим, так как выполнимо при использовании необходимого количества однотипных плазменных источников.
- 2) В диссертации не рассмотрены требования на геометрические размеры плазменного источника и ограничения на долю полезного плазменного потока для его эффективного использования в перспективных плазменных сепараторах отработанного ядерного топлива.
- 3) При описании методики измерения оптических спектров разрядной плазмы не указано пространственное разрешение по объекту, а также не приведены данные по спектральной чувствительности и разрешающей способности использованного спектрографа.
- 4) Для разрядов на термоэмиссионных катодах основной перенос тока осуществляется электронной компонентой и энергетические затраты на получение однозарядного иона материала катода оцениваются величиной от 200 до 250 эВ. В этой оценке не учтены энергетические затраты на подогрев катода, хотя они сравнимы с мощностью самого диффузного вакуумного дугового разряда.
- 5) Температура катода диффузного вакуумного разряда определяется как мощностью подогрева катода от внешнего электронного пучка, так и потоком мощности из плазмы разряда. Этот поток мощности сам зависит от режима разряда, что затрудняет поиск оптимальных условий разряда и, возможно, ограничивает диапазон оптимальных режимов. Представляется, что упомянутые в диссертации схемы установок, где развязаны области испарения материала катода и области разряда заслуживают более подробного обсуждения.
- 6) Используемая в ряде мест диссертации терминология «нетермоэмиссионный свинец» не совсем удачная, так как подразумевает, что существует и термоэмиссионный свинец.

Отмеченные недостатки не влияют на общий высокий научный уровень диссертационной работы.

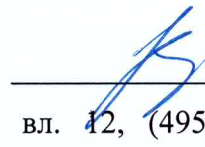
Результаты исследований, приведенных в диссертации и автореферате изложены в 32 печатных работах, среди которых 10 статей в периодических изданиях, рекомендованных ВАК для диссертаций, 22 тезиса докладов, опубликованных в сборниках трудов международных и всероссийских научных конференций.

Автореферат является самостоятельной научной работой и полностью отражает содержание диссертационной работы.

Представленная диссертация Усманова Р.А. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г. и требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам.

Усманов Р.А. несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Отзыв составил старший научный сотрудник Отделения Физики Токонесущей плазмы Акционерного Общества «Государственный Научный Центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований», кандидат физико-математических наук Волков Г. С.

 Волков Г.С.

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, вл. 12, (495) 941-56-14, E-mail: volkov@triniti.ru

Диссертационная работа Усманова Р. А. «Испарение и ионизация веществ, моделирующих отработавшее ядерное топливо, в вакуумном дуговом разряде с подогреваемым катодом», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы, и отзыв ведущей организации были заслушаны, обсуждены и одобрены на заседании секции №2 НТС Акционерного Общества «Государственный Научный Центр Российской Федерации Троицкий Институт Инновационных и Термоядерных Исследований» от 25. 04. 2018 г протокол № 226.

Председатель секции №2

НС АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»,

директор отделения,

кандидат тех. наук


Ученый секретарь секции №2

НС АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»,

Ведущий научный сотрудник,

кандидат физ. - матем. наук

 (Грабовский Е.В.)

 (Самохин А. А.)

СОГЛАСОВАНО:

Ученый секретарь

АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»

кандидат физ. - матем. наук

108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, вл.12 (495) 841-53-09, E-mail: ezhov@triniti.ru



 (Ежов А.А.)

«7» мая 2018 г.

Акционерное Общество «Государственный Научный Центр Российской Федерации Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований» АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», 108840, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, вл.12 (495) 841-57-76, liner@triniti.ru