

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.190.06 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 19 февраля 2016 г. протокол № 23
о присуждении **Забелло Константину Константиновичу**, гражданину
Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация *«Исследование влияния магнитных полей различной ориентации на характеристики катодного пятна вакуумной дуги и генерируемой пятном плазменной струи»* в виде рукописи по специальности 01.04.04 - физическая электроника принята к защите 1 декабря 2015 г., протокол № 22 диссертационным советом Д 212.190.06 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет» (ФГБОУ ВО ПетрГУ) (185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, действующего на основании приказа Министерства образования и науки Российской Федерации №156/нк от 1 апреля 2013года).

Соискатель **Забелло Константин Константинович**, 1976 года рождения, на момент защиты работает в лаборатории Физики низкотемпературной плазмы Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) в должности научного сотрудника. В 1999 г. соискатель окончил магистратуру Санкт-Петербургского Государственного Технического Университета по направлению «Техническая физика» и получил диплом магистра.

Диссертация выполнена в лаборатории Физики низкотемпературной плазмы ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Школьник Сергей Маркович, заведующий лабораторией Физики низкотемпературной плазмы ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Официальные оппоненты:

1. Юшков Георгий Юрьевич, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории плазменных источников Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук.

2. Игнахин Владимир Станиславович, гражданин Российской Федерации, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель Кафедры электроники и электроэнергетики Физико-технического факультета ФГБОУ ВО ПетрГУ дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Акционерное общество Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова (АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова)**, г. Санкт-Петербург, в своём **положительном** заключении, подписанном председателем секции Научно-технического совета отделения Научно-технического центра "Синтез" (секции НТС отделения НТЦ "Синтез") АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, директором отделения НТЦ "Синтез", доктором физико-математических наук, профессором *Беляковым Валерием Аркадьевичем*, ученым секретарем секции НТС отделения НТЦ "Синтез" АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, ведущим научным сотрудником, кандидатом физико-математических наук *Люблиным Борисом Владимировичем* и начальником Научно-исследовательской лаборатории вакуумных и плазменных технологий АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, кандидатом технических наук *Карповым Дмитрием Алексеевичем* и утверждённым генеральным директором АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, доктором физико-математических наук *Филатовым Олегом Геннадьевичем* указала, что, диссертационная работа Забелло К.К. "представляет собой законченное научное исследование, выполненное по актуальной тематике на высоком экспериментальном и теоретическом уровне", а также "отвечает всем требованиям ВАК, включая п. 9 "Положения о порядке присуждения ученых степеней" (постановление Правительства Российской Федерации №842 в редакции от 24.09.2013 года,

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук). Отзыв о диссертационной работе Забелло К.К рассмотрен и одобрен на заседании научно-технического совета НТЦ "Синтез" АО НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, протокол №10 от 10 декабря 2015 г.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 8 научных работ общим объёмом 6 печатных листов в том числе 2 статьи в российских научных журналах и изданиях, которые включены в международные реферативные базы данных и систем цитирования, а также 6 работ в зарубежном научном издании (IEEE Trans. Plasma Sci). Опубликовано 10 докладов в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Zabello K.K., Barinov Y.A., Chaly A.M., Logatchev A.A., Shkol`nik S.M., "Experimental study of cathode spot motion and burning voltage of low-current vacuum arc in magnetic field," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 33, №5, pp.1553-1559, 2005.
2. Chaly A.M., Logatchev A.A., Zabello K.K., Shkol`nik S.M., "Effect of amplitude and inclination of magnetic field on low-current vacuum arc," IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 35, №4, pp.946-952, 2007.
3. Chaly A.M., Logatchev A.A., Taktarov R., Zabello K.K., Shkol`nik S.M., "Optical Investigation of the Plasma Jet of Vacuum-Arc Cathode Spot," , IEEE Trans. Plasma Sci., vol.37, №8, pp.1426-1432, 2009.
4. Забелло К.К., Логачев А.А., Чалый А.М., Школьник С.М., " Характеристики статистического распределения тока, пропускаемого катодным пятном вакуумной дуги, в магнитных полях различной ориентации," ЖТФ, т.79, №6, стр.58-66, 2009.
5. Zabello K.K., Logatchev A.A., Taktarov R.A., Shkol`nik S.M., "Spectroscopic Studies of Low-Current (Single-Spot) Short Vacuum Arcs in Axial Magnetic Field," IEEE Trans. Plasma Sci., vol.39, №6, pp.1319-1323, 2011.
6. Забелло К.К., Чалый А.М., Школьник С.М., " Измерение угла Робсона в вакуумных дугах различной длины," Письма в ЖТФ, т.39, №2, стр.44-51, 2013

7. Chaly A.M., Barinov Y.A., Minaev V.S., Myatovich.S.U., Zabello K.K., Shkol'nik S.M., "Characteristics of vacuum-arc cathode spots on the refractory metal electrodes," IEEE Trans. Plasma Sci., vol.41, №8, pp.1917-1922, 2013.
8. Zabello K.K., Myatovich S.U., Logatchev A.A., Shkol'nik S.M., "Influence of magnetic field on the direction of cathode spot plasma jet propagation," IEEE Trans. Plasma Sci., vol.41, №8, pp.1917-1922, 2013.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Пронина Владимира Петровича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры теоретической физики и астрономии Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена.
2. Олещука Олега Валентиновича, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры электроники и электроэнергетики Физико-технического факультета ФГБОУ ВО ПетрГУ.

Замечания:

- а) Масштаб рисунка 5 автореферата нечётко воспроизводит экспериментальные точки.
 - б) Для раздела III.5 (рис.9,10,11) не указаны параметры разряда (ток, длительность, момент измерения), длины волн, спектральные характеристики исследуемой плазмы.
3. Козырева Андрея Владимировича, доктора физико-математических наук, заведующего Кафедрой физики плазмы Физического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета (ФФ НИ ТГУ) и Коваля Николая Николаевича, доктора технических наук, профессора кафедры физики плазмы ФФ НИ ТГУ.

Замечания:

- а) На рис.6 автореферата, иллюстрирующем изменения напряжения горения дуги от величины аксиального магнитного поля, участок 3 слабо выражен. Каков при этом разброс значений напряжения и погрешность измерений? В автореферате не приведены также физические причины такого поведения зависимостей.
- б) В разделе III.3 автореферата утверждается, что скорость движения катодного пятна зависит от стабильности горения дуги, однако не даётся

определения "стабильности" дуги и не приведены количественные характеристики этой зависимости.

Все отзывы, поступившие на диссертацию и автореферат, **положительные** и заканчиваются выводом, что диссертационная работа Забелло К.К. полностью соответствует требованиям, которые ВАК предъявляет к кандидатским диссертациям, а её автор - Забелло К. К. - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью оппонентов в области физической электроники, значимым вкладом ведущей организации в области разработки и создания различных ионно-плазменных напылительных устройств, а также источников металлических ионов, что подтверждается публикациями за последние пять лет оппонентов и ученых из ведущей организации в высокорейтинговых научных журналах в области физической электроники.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика измерений и измерены средний ток на катодное пятно I_s для Cu, CuCr30, Mo и W в магнитных полях различной ориентации; обнаружена зависимость I_s от длины дуги;

установлена в дугах различной длины с катодами из Cu и CuCr30 зависимость напряжения горения дуги с одиночным катодным пятном от индукции аксиального (продольного) магнитного поля B_n при различных величинах тангенциального (поперечного) поля B_t ;

получены динамические характеристики пятен на катодах из Cu, CuCr30, Mo и W в магнитных полях различной ориентации;

изучена зависимость этих характеристик от переносимого в пятне тока и от длины дуги;

выполнены измерения угла Робсона на катодах из Cu, CuCr30, Mo и W;

обнаружена зависимость угла Робсона от длины дуги;

определено направление распространения плазменной струи катодного пятна во внешнем магнитном поле, наклонном к поверхности катода;

доказано экспериментально, что уже в относительно небольших полях ($B \geq 0,1$ Тл) плазменная струя катодного пятна разворачивается вдоль направления внешнего магнитного поля на небольшом (~ 1 мм) расстоянии от поверхности катода;

изучена форма свободногорящей плазменной струи и плазменной струи, стабилизированной аксиальным (продольным) магнитным полем при $B_n \leq 0,2$ Тл; *исследован* результат взаимодействия струи с поверхностью анода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изложены экспериментальные факты значений среднего тока на пятно, напряжения на дуге, раскрыты динамические характеристики катодного пятна в широком диапазоне магнитных полей различной ориентации;

изучены направление плазменного потока в магнитном поле и зависимость угла Робсона от длины дуги.

Новые знания о характеристиках катодных пятен являются необходимыми для развития теории катодного пятна вакуумной дуги и представляют интерес с точки зрения физической электроники и физики дугового разряда.

Значения полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

определённые значения средних токов на пятно и напряжения на дуге в магнитных полях различной ориентации, представленные динамические характеристики катодных пятен, и параметры и направления плазменных струй из них могут быть использованы для моделирования движения катодного пятна в различных разрядных устройствах, а также при выборе оптимальной конфигурации магнитного поля, контролирующего динамику катодного пятна в установках для напыления различных покрытий с помощью вакуумной дуги и установках для модификации поверхности с помощью вакуумного дугового разряда. Кроме того, эти результаты найдут широкое применение при разработке новых конструкций вакуумных дугогасительных камер, являющихся основным узлом вакуумной коммутационной аппаратуры.

Знание свойств катодных пятен на разных металлах важно для разработки новых электродных материалов для вакуумных приборов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты получены при помощи современных экспериментальных методов высокоскоростного фотографирования с последующей компьютерной обработкой и эмиссионной спектроскопии с пространственным и временным разрешением;

измерения в выбранных режимах производились многократно и все представленные в диссертации результаты получены путём статистической обработки измерений;

достоверность также подтверждается тем, что использованные в работе методы в тех режимах, которые ранее были исследованы, дают результаты, согласующиеся с имеющимися в литературе;

результаты исследования опубликованы в периодической печати и обсуждены на ряде международных и всероссийских научных конференций и имеет высокий индекс цитирования.

Таким образом, представленные в диссертационной работе результаты и выводы достоверны и обоснованы.

Личный вклад соискателя состоит в том, что основные результаты экспериментального исследования получены лично соискателем или при его непосредственном участии. Соискатель участвовал в постановке задачи и принимал непосредственное участие в разработке и создании экспериментальной установки. Обработка экспериментальных данных проведена лично соискателем и совместно с соавторами.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований, непротиворечивостью результатов и взаимосвязью выводов.

Диссертационный совет Д 212.190.06 на заседании 19 февраля 2016 г., протокол № 23 пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Забелло Константину

Константиновичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 (пятнадцати) человек, из них 4 (четыре) доктора наук по специальности 01.04.04 - физическая электроника, участвовавших в заседании и голосовании, из 22 (двадцати двух) человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 15 (пятнадцать), против - 0 (нет), недействительных бюллетеней - 0 (нет).

Председатель
диссертационного совета

Гуртов В. А.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Пикулев В. Б.

19 февраля 2016 г.

Подпись руки <u>проф. В. А. Гуртова;</u>
<u>доц. В. Б. Пикулева</u>
УДОСТОВЕРЯЮ.
Уч. секретарь ученого совета <u>[Signature]</u>
« 19 » 02 2016 г.