

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.110.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 30.05.2018 протокол № 9

О присуждении Беликову Роману Сергеевичу, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Экспериментальное исследование теплофизических свойств системы Мо-С эвтектического состава и графита при высоких температурах» в виде рукописи по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника, принята к защите 21.03.2018г., (протокол заседания № 5), диссертационным советом Д 002.110.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии наук (125412, г. Москва, Ижорская ул., д. 13, стр. 2, (495) 485-8345, jiht.ru), утвержденного Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 105/нк от 11.04.2012г.

Соискатель Беликов Роман Сергеевич 1989 года рождения, в 2012 году окончил Московский физико-технический институт (государственный университет).

В 2016 году окончил очную аспирантуру Московского физико-технического института (государственного университета).

Работает научным сотрудником лаборатории № 1.1.3 – Широкодиапазонных уравнений состояния НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии.

Диссертация выполнена в лаборатории № 1.1.3 – Широкодиапазонных уравнений состояния НИЦ – 1 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Объединенном институте высоких температур Российской академии наук.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории № 1.1.3 – Широкодиапазонных уравнений состояния НИЦ – 1 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Объединенного института высоких температур Российской академии Сенченко Владимир Николаевич.

Официальные оппоненты:

- д.ф.-м.н., профессор, в.н.с. лаборатории быстропротекающих процессов и физики кипения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики Уральского отделения Российской академии наук (620016 Екатеринбург, ул. Амундсена, 107а, тел. (343) 362-3353, [itp.uran.ru](http://itp.uran.ru), e-mail: [pavel-skrupov@bk.ru](mailto:pavel-skrupov@bk.ru)) Скрипов Павел Владимирович;

- к.т.н., начальник лаборатории радиометрии, фотометрии, спектрофотометрии и колориметрии некогерентного излучения научно-исследовательского отделения М-4 Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийского научно-исследовательского института оптико-физических измерений» (119361, г. Москва, ул. Озерная, 46, тел. (495) 665-5291 доб. 3601, [vniofi.ru](http://vniofi.ru), e-mail: [vniofi@vniofi.ru](mailto:vniofi@vniofi.ru))

Хлевной Борис Борисович

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск), в своем положительном заключении, составленном заместителем директора по научной работе, заведующим Отделом термодинамики веществ и излучений ИТ им. С.С. Кутателадзе СО РАН, доктором физико-математических наук, Станкусом С.В. (утвержденном директором ИТ им. С.С. Кутателадзе СО РАН, чл.-корр. РАН Марковичем Д.М.), указала что:

1. Разработана методика и создана установка для исследования теплофизических свойств материалов, в частности, твердых смесей карбидов различных составов при их объемном нагреве до предельно высоких температур.
2. Проведено экспериментальное исследование свойств системы Мо-С эвтектического состава, таких как: теплота плавления, удельная энтальпия, теплоемкость, термическое расширение и электросопротивление в области плавления в условиях высокого статического давления.
3. Выполнено экспериментальное исследование изобарного линейного расширения и плотности пиролитического графита при высоких температурах и в области предплавления.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования, например, в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», Объединенном институте высоких температур РАН, Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» и во многих других научных учреждениях.

Соискатель имеет 27 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 22 работы, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 9 работ.

Основные работы:

1. В.Н. Сенченко, Р.С. Беликов, «Установка для экспериментального исследования теплофизических свойств проводящих тугоплавких веществ в окрестности их точки плавления методом импульсного нагрева» // Известия Кабардино-Балкарского Государственного Университета, 2014, Т. 4 № 1, С. 22-26.
2. В.Н. Сенченко, Р.С. Беликов, В.С. Попов, «Экспериментальная установка для исследования поведения тугоплавких металлов в области предплавления при быстром нагреве» // Вестник Казанского технологического университета, 2014, Т. 17 № 21, С. 285-286.
3. Р.С. Беликов, И.К. Красюк, Т. Ринекер, А.Ю. Семенов, О.Н. Розмей, И.А. Стучебрюхов, М. Томут, К.В. Хищенко, "Отрицательные давления и откол в мишенях из графита при нано- и пикосекундном лазерном воздействии" // Квант. электроника, 2015, Т. 45 № 5, С. 421–425.
4. V.N. Senchenko, R.S. Belikov and V.S. Popov, «Experimental investigation of refractory metals in the premelting region during fast heating» // Journal of Physics: Conference Series, 2015, V. 653, P. 012100.
5. I.K. Krasyyuk, A.Yu. Semenov, I.A. Stuchebryukhov, R.S. Belikov, K.V. Khishchenko, O.N. Rosmej, T. Rienecker, A. Schoenlein and M. Tomut, «Investigation of the spall strength of graphite using nano- and picosecond laser pulses» // Journal of Physics: Conference Series, 2015, V. 653, P. 012002.
6. V.N. Senchenko, R.S. Belikov and V.S. Popov, «Experimental investigation of thermophysical properties of eutectic Mo—C, graphite and tantalum at high temperatures» // Journal of Physics: Conference Series, 2016, V. 774, P. 012020.
7. V.N. Senchenko and R.S. Belikov, «Experimental investigation of linear thermal expansion of pyrolytic graphite at high temperatures» // Journal of Physics: Conference Series, 2017, V. 891, P. 012338.
8. V.N. Senchenko and R.S. Belikov, «Experimental investigation of density of pyrolytic graphite up to melting point» // Journal of Physics: Conference Series 2018, V. 946, P. 012105.

9. R.S. Belikov, V.N. Senchenko and S.N. Sulyanov, «Experimental investigation of thermophysical properties of eutectic Re–C at high temperatures» // Journal of Physics: Conference Series, 2018, V. 946, P. 012106.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**1. Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»** (доцент кафедры физических проблем материаловедения, старший научный сотрудник, к.т.н., Тенишев Андрей Вадимович) – отзыв положительный, с замечаниями:

- К сожалению, в автореферате соискатель не приводит экспериментальных фотографий, на основании которых производились расчеты термического расширения. Заявленная погрешность определения приращения длины в 10 % слишком велика по сравнению с возможностями современных дилатометров и рентгеновских аппаратов. Поэтому хотелось бы иметь возможность повышения точности определения данной характеристики с помощью предложенной в работе методики.

- В автореферате не представлена диаграмма состояния системы Mo-C и какое-либо ее обсуждение, а также практически не описаны процедуры подготовки экспериментальных образцов и их аттестации, что может служить источником дополнительных методологических ошибок.

**2. Национальный Исследовательский Университет МЭИ** (доцент кафедры Инженерной теплофизики МЭИ, старший научный сотрудник, к.т.н. Мирошниченко Владимир Иванович) - отзыв положительный, с замечаниями:

- В автореферате не указано, на чем основано принятое приближение серого тела.

- Если данные о коэффициент излучения карбида молибдена отсутствуют, то интересно было бы получить такую информацию из проведенных в данной работе измерений яркостной температуры карбида молибдена.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что:

- д.ф.-м.н., профессор Скрипов П.В. является ведущим ученым в области быстропротекающих процессов и физики кипения, признанным специалистом в области экспериментальной высокотемпературной теплофизики;

1. S.B. Rutin, D.A. Galkin, P.V. Skripov “Returning to classic conditions of THW-technique: A device for the constant heating power mode” // Int. J. Heat and Mass Transfer, 2017, V. 115, pp. 769-773;

2. П.В. Скрипов, В.С. Усков «Теплофизика быстропротекающих процессов» Учебное пособие // Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2014;

3. S.B. Rutin, A.D. Yampol'skiy, P.V. Skripov, “Heat transfer in supercritical fluids. Going to microscale times and sizes” // In: L. Chen, & Y. Iwamoto (Eds.), Advanced Applications of Supercritical Fluids in Energy Systems, 2017, Hershey, PA: IGI Global, pp. 271-291.

- к.т.н. Хлевной Б.Б. является признанным специалистом в области радиометрии, фотометрии, спектрофотометрии и колориметрии некогерентного излучения, ряд его публикаций связан напрямую с исследуемым в диссертации веществом  $\text{MoC}_{0,82}$ .

1. A. Prokhorov, V. Sapritsky, B. Khlevnoy, V. Gavrilov “Alternative methods of blackbody thermodynamic temperature measurement above silver point” // International Journal of Thermophysics, 2015, V. 36, № 2-3, pp. 252-266;

2. В.Р. Гаврилов, Д.А. Отряскин, Б.Б. Хлевной, И.А. Григорьева, М.В. Солодилов, М.Л. Самойлов, В.И. Саприцкий «Измерение термодинамической температуры высокотемпературных реперных точек» // Измерительная техника, 2013, № 4, С. 53-57;

3. Y. Yamada, K. Anhalt, M. Battuello, P. Bloembergen, B. Khlevnoy, T. Wang, G. Machin, M. Matveyev, M. Sadli, A. Todd “Evaluation and selection of high-temperature fixed-point cells for thermodynamic temperature assignment” // International Journal of Thermophysics, 2015, V. 36, № 8, pp. 1834-1847.

Выбор Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук в качестве ведущей организации обусловлен тем, что «ИТ им. С.С. Кутателадзе СО РАН» является профильной организацией, проводящей обширные исследования, в том числе в области экспериментальной теплофизики. В институте, в частности, группой С.В. Станкуса, активно ведутся работы по изучению высокотемпературного теплового расширения тугоплавких веществ, в том числе графитов, что близко к тематике диссертационного исследования соискателя.

1. С.В. Станкус, И.В. Савченко, А.Ш. Агажанов, О.С. Яцук, Е.И. Жмуриков «Теплофизические свойства графита МПГ-6» // Теплофизика высоких температур. 2013. Т. 51. № 2. С. 205;
2. В.В. Кузнецов, И.А. Козулин, В.И. Орешкин, Н.А. Ратахин, А.Г. Русских « Динамика фазового взрыва при импульсном нагреве жидкости и электрическом взрыве проводника» // Тепловые процессы в технике, 2015, № 7, С. 301-306.
3. Р.Н. Абдуллаев, Р.А. Хайрулин, С.В. Станкус «Плотность сплава калий–свинец эвтектического состава» // Теплофизика и аэромеханика, 2013, Т. 20, № 1, С. 89-94.

Диссертационный совет отмечает, что **на основании выполненных соискателем исследований:**

- создана установка и разработана методика для изучения теплофизических свойств тугоплавких электропроводящих материалов в области высоких температур (1600-5000 К) и давлений (до 2 кбар) с возможностью прекращать нагрев образца при заданной температуре и варьировать скорости нагрева в пределах  $10^6$ - $5 \cdot 10^7$  К/с.
- измерены: изменение удельной энтальпии, удельная теплоемкость, теплота плавления, удельное сопротивление и коэффициент термического

расширения системы  $\text{MoC}_{0,82}$  эвтектического состава вплоть до температуры плавления ( $T \approx 2860 \text{ K}$ ).

- получены новые данные по изобарному линейному расширению пиролитического графита в области температур 3300-4800 K.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

- получены данные по изменению удельной энтальпии, удельной теплоемкости, электросопротивлению, теплоте плавления и величине термического расширения  $\text{MoC}_{0,82}$ , а также линейному расширению пиролитического графита, которые могут быть использованы для составления справочников и теоретического моделирования;

- разработана методика экспериментального исследования теплофизических свойств тугоплавких электропроводящих веществ, позволяющая получать данные в труднодостижимом для стационарных методов диапазоне высоких температур и давлений.

Значение полученных соискателем результатов **исследования для практики подтверждается** тем, что:

- получены данные по удельной энтальпии, удельной теплоемкости, электросопротивлению, теплоте плавления и величине термического расширения  $\text{MoC}_{0,82}$ , а также линейному расширению пиролитического графита, которые могут быть использованы для решения прикладных теплофизических задач, в частности, в ядерной энергетике, авиакосмической отрасли и метрологии в ряде исследовательских институтов, связанных с данной тематикой.

Работы с эвтектическими системами, в частности с  $\text{MoC}_{0,82}$ , проводятся в таких метрологических организациях России и других стран, как Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, Национальный метрологический институт Японии. Пиролитический графит широко используется в высокотемпературной



технике. Следует упомянуть, например, практику использования плотного пиролитического графита в качестве материала тиглей для карбидных материалов, подвергающихся нагреву до жидкой фазы, при этом знание коэффициентов термического расширения пирографита является полезной и необходимой информацией для проектировщиков установок, осуществляющих подобный нагрев.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования, например, в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», Объединенном институте высоких температур РАН, Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» и др.

**Оценка достоверности результатов** исследования выявила:

- проведена апробация созданной установки на материалах с известными теплофизическими свойствами (тантал и молибден), показана воспроизводимость результатов исследования;
- расчетно-теоретические исследования построены на известных, проверяемых данных, фактах, общепризнанных законах технической термодинамики, оптики и теплофизики. Они согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;
- идея диссертационной работы базируется на анализе научно-технической литературы по предметной области исследования, обобщении передового опыта работы других научных групп, лабораторий и технологических компаний;
- использованы современные методы и приборы для исследования теплофизических свойств материалов, в том числе системы Mo-C эвтектического состава и графита;
- установлено качественное совпадение авторских результатов и представлений с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**Личный вклад соискателя** состоит в непосредственном участии в выборе темы исследования, постановке задачи. Диссертация написана автором лично. Положения, выносимые на защиту, сформулированы лично автором. Экспериментальная установка создана при определяющем участии автора. Экспериментальные результаты получены автором лично или при его непосредственном участии. Апробация результатов исследования проводилась на более чем 13 российских и международных конференциях, в которых соискатель принимал личное участие. Основные публикации по выполненной работе также подготовлены лично автором.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям пункта 9, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г.

На заседании от 30.05.2018г. диссертационный совет принял решение присудить Беликову Р.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 12 докторов наук по специальности 01.04.08 — «Физика плазмы» и 11 докторов наук по специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника», участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 23 против - 0 недействительных бюллетеней - 0

Зам. председателя диссертационного совета Д 002.110.02

д.ф.-м.н., профессор



Андреев Н.Е.

ВРИО ученого секретаря диссертационного совета Д 002.110.02



д.ф.-м.н., профессор

Василяк Л.М.

30.05.2018г.