

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.053.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 15.05.2019 г. № 10/2019

О присуждении Абдуллаеву Расулу Нажмудиновичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Термические свойства и коэффициенты взаимной диффузии жидких сплавов натрия–свинец и калия–свинец с частично ионным характером межатомного взаимодействия» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 20.02.2019 г. (протокол заседания № 4-1/2019) диссертационным советом Д 003.053.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН), 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказ о создании диссертационного совета №105/НК от 11.04.2012 г.

Соискатель Абдуллаев Расул Нажмудинович, 1988 года рождения. В 2011 г. соискатель окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирского национального исследовательского государственного университета» (НГУ) по направлению «физика», в 2014 г. закончил очную аспирантуру НГУ по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в ИТ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории «Термодинамики веществ и материалов» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук. Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Хайрулин Рашид Амирович, главный научный сотрудник лаборатории «Термодинамики веществ и материалов» ИТ СО РАН.

Официальные оппоненты: Попель Петр Станиславович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики и математического моделирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральского государственного педагогического университета» (ФГБОУ ВО УрГПУ) и Алчагиров Борис Баточкович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и экспериментальной физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова» (ФГБОУ ВО КБГУ) дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО



РАН), г. Екатеринбург, в своём положительном заключении, подписанном доктором физико-математических наук, заведующим лабораторией порошковых, композиционных и наноматериалов ИМЕТ УрО РАН Гельчинским Борисом Рафаиловичем, указала, что «Научная и практическая значимость работы заключается в том, что полученные в диссертации надежные экспериментальные данные по плотностям, коэффициентам теплового расширения и коэффициентам взаимной диффузии жидких сплавов систем Na–Pb и K–Pb, а также обнаруженные в работе особенности в поведении концентрационных зависимостей и установленные между ними корреляции могут быть использованы в качестве эмпирического материала для развития теории жидкого состояния (в частности, для прояснения механизма концентрационного перехода «металл – неметалл» в жидкометаллических системах с частично ионным характером химической связи) и для разработки и внедрения новых жидкометаллических теплоносителей для перспективных реакторов на быстрых нейтронах. Результаты диссертационной работы Абдуллаева Р.Н. могут быть рекомендованы к использованию в исследовательских учреждениях, связанных с изучением теплофизических свойств металлов и сплавов, в частности, в Институте теплофизики УрО РАН, Объединенном институте высоких температур РАН, Институте металлургии УрО РАН, Институте Металлургии и Материаловедения РАН им. А.А. Байкова, и др., а также в научных и проектных организациях, в которых проводятся исследования жидкометаллических теплоносителей для ядерных энергетических установок – Государственный научный центр Российской Федерации Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского, Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"».

Соискатель имеет 52 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 28 работ, из них в изданиях из списка ВАК – 11 (содержат в сумме 81 страницу). Вклад автора в опубликованных работах состоит в подготовке и проведении экспериментов; обработке, анализе и интерпретации полученных результатов исследования. Большая часть работ выполнена с определяющим вкладом соискателя. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Khairulin R.A. The interdiffusion in sodium–lead melts of compositions from 2.5 to 41.1 at. % Pb / R.A. Khairulin, S.V. Stankus, R.N. Abdullaev, V.A. Morozov // *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*. – 2012. – Vol. 33, No. 5. – P. 369–374.
2. Khairulin R.A. Density, thermal expansion and binary diffusion coefficients of sodium–lead melts / R.A. Khairulin, S.V. Stankus, R.N. Abdullaev // *High Temperatures – High Pressures*. – 2013. – Vol. 42, No. 6. – P. 493–507.
3. Абдуллаев Р.Н. Взаимная диффузия в расплавах системы калий–свинец в широком интервале концентраций / Р.Н. Абдуллаев, Р.А. Хайрулин, С.В. Станкус // *Теплофизика и аэромеханика*. – 2014. – Т. 21, № 3. – С. 365–372.
4. Abdullaev R.N. Density and thermal expansion of high purity nickel over the temperature range from 150 K to 2030 K / R.N. Abdullaev, Yu.M. Kozlovskii, R.A. Khairulin, S.V. Stankus // *International Journal of Thermophysics*. – 2015. – Vol. 36, No. 4. – P. 603–619.



5. Хайрулин Р.А. Термические свойства жидких сплавов системы К–Pb / Р.А. Хайрулин, С.В. Станкус, Р.Н. Абдуллаев // Теплофизика и аэромеханика. – 2015. – Т. 22, № 3. – С. 359–364.

На автореферат диссертации поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что диссертация выполнена на высоком научном уровне, тема исследования является актуальной, результаты работы имеют теоретическую и практическую значимость и являются полезным материалом для развития физических представлений о механизме концентрационных фазовых переходов в металлических системах. В отзыве д.ф.-м.н. Палчаева Даира Каировича и д.ф.-м.н. Мурлиевой Жарият Хаджиевны, профессоров кафедры конденсированного состояния и наносистем ФГБОУ ВО Дагестанского государственного университета (ДГУ), содержится следующее замечание: «В работе не приведен анализ корреляции кинетического коэффициента (диффузии) с объемными изменениями, хотя они явно прослеживаются на концентрационных зависимостях исследованных сплавов». В отзыве д.ф.-м.н. Ивлиева Андрея Дмитриевича, профессора кафедры математических и естественнонаучных дисциплин ФГАОУ ВО Российского государственного профессионально-педагогического университета, содержится следующее замечание: «Каким образом создавалась негомогенность исследуемого образца, позволившая затем оценить коэффициент взаимной диффузии в широком интервале температур?». В отзыве д.ф.-м.н. Коршунова Игоря Георгиевича, профессора, заведующего кафедрой физики ФГБОУ ВО Уральского государственного горного университета, содержится следующее замечание: «В качестве замечания отмечу, что для расплавов Na-Pb область концентраций от 10 до 30 ат.% свинца автором диссертации осталась практически не исследованной». В отзыве д.т.н. Барбина Николая Михайловича, профессора, ведущего научного сотрудника ФГБОУ ВО Уральского института Государственной противопожарной службы МЧС России, содержится следующее замечание: «На рис. 5 приведены интервалы погрешностей. Почему они различаются?». В отзыве д.т.н. Арнольдова Михаила Николаевича, главного научного сотрудника АО ГНЦ РФ Физико-энергетического института им. А.И. Лейпунского, содержатся два замечания: «1. На стр. 11 автореферата имеется ссылка на рис. 16. Такого рисунка в автореферате нет. 2. В тексте автореферата встречаются термины «достоверность», «достоверные» и т.д. Мне не удалось найти раскрытие содержания этого термина ни в одном научно-техническом издании – монографиях, справочниках, учебниках, нормативно-правовых актах и т.д. Зато их полно в различных философских изданиях. Мне кажется, что нужно избегать использования таких терминов в научно-технической литературе». В отзыве д.ф.-м.н. Мартынца Виктора Гавриловича, ведущего научного сотрудника лаборатории физики низких температур ФГБУН Института неорганической химии им. А.В. Николаева, содержится следующее замечание: «В автореферате указывается, что методика получения коэффициентов взаимной диффузии описана в диссертационной работе Р.А. Хайрулина, но сама методика совершенно не описана. Так как получение коэффициентов взаимной диффузии даже вынесено в заглавие диссертации, то следовало бы (по моему мнению) хотя бы кратко описать эту методику». В отзыве д.ф.-м.н. Сона Леонида Дмитриевича,



профессора, главного научного сотрудника научно-образовательного центра «Расплав» ФГБОУ ВО Уральского государственного педагогического университета, содержится следующее замечание: «Сомнение вызывает лишь один пункт научной новизны, а именно – утверждение о наличии аномалии на концентрационных зависимостях коэффициентов теплового расширения и взаимной диффузии сплавов натрий–свинец в области 20 ат.% последнего. Отклонение от плавных кривых получено лишь для одного образца, что с высокой вероятностью может объясняться, например, присутствием неконтролируемой примеси. Для надежного вывода о наличии аномалии необходимо исследовать эту область с гораздо более мелким шагом по концентрации». В отзыве к.т.н. Устюжанина Евгения Евгеньевича, доцента кафедры инженерной теплофизики ФГБОУ ВО Национального исследовательского университета «МЭИ», содержатся три замечания: «1. В автореферате указано, что погрешность определения коэффициента взаимной диффузии  $D$  использованным в работе методом оценивается в  $\pm 8-15\%$ ; однако, как видно на рис. 4а и 5, ошибка измерения  $D$  в системе (Na–Pb) с содержанием 21 ат. % Pb явно превышает эти значения; с чем связан этот эффект? 2. Из рис. 1б видно, что система (Bi–Sn) эвтектического состава имеет отрицательный скачок плотности при плавлении. Однако, в автореферате не приводятся возможные причины такого аномального поведения. Также не указано, какие скачки плотности выявлены в системах (Bi–In–Sn, Ag–Sn), имеющих эвтектический состав. 3. Не указано при каких давлениях выполнен ряд теплофизических измерений».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что д.ф.-м.н. Попель П.С. является известным специалистом, занимающимся исследованиями строения и свойств металлических расплавов, в том числе и с использованием гамма-метода. Д.ф.-м.н. Алчагиров Б.Б. специализируется в области физики межфазных явлений в металлах и сплавах, в том числе занимается комплексными экспериментальными исследованиями свойств многокомпонентных металлических систем с участием высокоактивных щелочных металлов. Большой накопленный оппонентами опыт в этих областях науки позволяет провести критическую оценку диссертационной работы Абдуллаева Р.Н. Выбор ведущей организации обоснован тем, что ее сотрудники являются признанными, высоко-квалифицированными специалистами в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации, и могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены новые экспериментальные данные по плотности, коэффициентам взаимной диффузии и объемного коэффициента теплового расширения ряда жидких сплавов натрий–свинец (0–70 ат.% Pb) и калий–свинец (0–90,7 ат.% Pb), которые могут быть включены в справочные издания и базы данных по теплофизическим свойствам веществ и материалов. Предложен метод оценки вязкости расплавов бинарных систем, с использованием экспериментальных данных по их функции стабильности и коэффициентам взаимной диффузии. Впервые обнаружены максимумы на концентрационной зависимости объемного коэффициента теплового расширения жидкой системы Na–Pb в окрестности 20 ат.% Pb и на концентрационных зависимостях



коэффициентов взаимной диффузии жидких систем Na–Pb и K–Pb в области 20 и 40–50 ат.% Pb, соответственно. Предложено объяснение наблюдаемых особенностей в поведении температурных и концентрационных зависимостей изученных свойств расплавов Na–Pb и K–Pb на основании представления о них как об ассоциированных растворах.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что изучены корреляции между концентрационными зависимостями коэффициента взаимной диффузии, термических, электрофизических и термодинамических свойств жидких систем Na–Pb и K–Pb, что подтвердило существенное изменение структуры расплавов при изменении их составов и впервые показало ее влияние на поведение теплового расширения и взаимной диффузии. Раскрыто несоответствие предлагаемой рядом исследователей модели о наличии комплексов Зинтля в структуре расплавов Na–Pb с полученными в работе результатами по их тепловому расширению и взаимной диффузии. Применительно к проблематике диссертации результативно использован гамма-метод для исследования взаимной диффузии и термических свойств изученных расплавов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные в работе таблицы температурных зависимостей исследованных свойств расплавов Na–Pb и K–Pb могут быть включены в справочные издания и базы данных по теплофизическим свойствам веществ и материалов, а также использованы в научных и проектных организациях, в которых проводятся исследования жидкометаллических теплоносителей для ядерных энергетических установок – Государственный научный центр Российской Федерации Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». Экспериментальные данные по плотности, объемным коэффициентам теплового расширения и скачкам плотности при фазовом переходе сплавов Bi–Sn, Ag–Sn и Bi–In–Sn эвтектического состава могут быть использованы для разработки технологий производства и применения перспективных безсвинцовых припоев на основе этих материалов.

Оценка достоверности исследований выявила, что в работе использованы надежные и апробированные экспериментальные методики и установки, проведен детальный анализ погрешностей измерений, проведен комплекс тестовых и тарировочных опытов, показана воспроизводимость результатов экспериментов, проведено сопоставление с экспериментальными данными других исследователей.

Личный вклад автора в диссертационную работу состоит в подготовке и проведении экспериментальных исследований по определению температурной зависимости плотности и объемного коэффициента теплового расширения жидких никеля, меди, натрия, калия и ряда расплавов систем Na–Pb, K–Pb, Bi–Sn, Ag–Sn и Bi–In–Sn; а также по получению экспериментальных данных по коэффициентам взаимной диффузии в ряде расплавов систем Na–Pb, K–Pb, Bi–Sn и Ag–Sn в широком интервале температур. Обработка и анализ данных, полученных в этих исследованиях, проведены автором лично. Обобщение и интерпретация результатов работы, а также подготовка статей для



публикации в рецензируемых журналах выполнены автором совместно с научным руководителем д.ф.-м.н. Р.А. Хайрулиным и д.ф.-м.н. С.В. Станкусом.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация Абдуллаева Расула Нажмуудиновича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи экспериментального исследования термических свойств и коэффициента взаимной диффузии жидкометаллических систем с частично ионным характером межатомного взаимодействия, имеющей существенное значение для развития теоретических представлений о природе концентрационных переходов металл – ионный расплав, и соответствует критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. и другим критериям, установленным в разделе II этого Положения.

На заседании 15 мая 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Абдуллаеву Расулу Нажмуудиновичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель  
диссертационного совета,  
д.ф.-м.н., академик РАН

Алексеенко Сергей Владимирович

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.ф.-м.н.



Кузнецов Владимир Васильевич

«17» мая 2019 г.