

**Отзыв официального оппонента**  
**на диссертационную работу Абдуллаева Расула Нажмудиновича «Термические свойства и коэффициенты взаимной диффузии жидких сплавов натрий–свинец и калий–свинец с частично ионным характером межатомного взаимодействия», представленную на соискание**  
**ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 -**  
**Теплофизика и теоретическая теплотехника.**

**Актуальность избранной темы**

Сочетание значительной теплоемкости и высокой теплопроводности позволяет использовать жидкие металлы и их сплавы в качестве теплоносителей в контурах ядерных реакторов. Как и широко известные эвтектические сплавы, образуемые свинцом и висмутом с литием, сплавы свинца с натрием и калием также считаются кандидатами для применения в ядерных реакторах нового поколения на быстрых нейтронах и других областях современной техники и технологии. В частности, сплавы свинец-натрий с содержанием до 10 ат.% свинца являются менее пожароопасными, чем чистый натрий, а добавки калия в свинец понижают окислительный потенциал расплава и уменьшают коррозионную активность по отношению к конструкционной стали, т.е. способны обеспечить не только высокую эффективность работы, но и повысить безопасность ядерных энергетических установок. Исследования взаимной диффузии в жидких сплавах этих систем требуются для прогнозирования поведения теплоносителя при эксплуатации реактора, расчета режимов охлаждающего контура при его запуске и в аварийных ситуациях (например, при затвердевании теплоносителя), сопровождаемых сегрегацией бинарного сплава.

Изученные в диссертационной работе сплавы эвтектического состава систем Bi–Sn, Ag–Sn и Bi–In–Sn, в настоящее время рассматриваются в качестве альтернативы опасным для здоровья и экологически вредным припоям с участием свинца. С другой стороны, эти же объекты использованы соискателем для совершенствования методики измерения гамма-методом термических свойств многокомпонентных систем и взаимной диффузии компонентов в расплавах.

В то же время в большинстве имеющихся в литературе исследований плотности, поверхностного натяжения и других теплофизических свойств сплавов с участием щелочных металлов проведены в очень ограниченных температурных и концентрационных интервалах составов. В связи с этим тема диссертационной работы Абдуллаева Р.Н. «Термические свойства и коэффициенты взаимной диффузии жидких сплавов натрий–свинец и калий–свинец с частично ионным характером межатомного взаимодействия» представляется мне вполне актуальной и представляющей несомненный интерес как для практики, так и теории разработки новых теплоносителей для ядерной энергетики, поскольку вопрос о выборе теплоносителя для реакторов на быстрых нейтронах является одним из важных.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов диссертационной работы**

Методический и технический уровень экспериментов по определению плотности и термических свойств, в том числе коэффициентов взаимной диффузии жидких сплавов, соответствует современным достижениям экспериментальной техники, в которых использованы автоматизация эксперимента. Абдуллаев Р.Н., для повышения надежности и достоверности результатов своих измерений, при изучении одних и тех же теплофизических свойств использовал независимые методы, а большинство температурно-зависимых свойств с целью контроля возможных гистерезисных явлений им повторялись по несколько раз в режимах нагрева и охлаждения исследуемых образцов.

Следует особо отметить, что методики определения теплофизических свойств металлов и сплавов, использованные в диссертационной работе, включают как хорошо апробированные и базирующиеся на многолетнем опыте подобных измерений, накопленном в Лаборатории веществ и материалов Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе, имеющего мировое признание, так и новыми, предложенными соискателем, методами оценки вязкости расплавов бинарных систем с использованием экспериментальных данных по функции стабильности Даркена и коэффициентов взаимной диффузии. Таким образом, достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается использованием надежных и апробированных экспериментальных методик и установок, детальным анализом практически всех возможных источников и составляющих суммарных погрешностей измерений, проведением комплекса большого количества тарировочных и тестовых опытов, воспроизводимостью результатов экспериментов и

степенью их согласия с наиболее надежными рекомендуемыми значениями, а также их сопоставлением с литературными данными.

В диссертационной работе Абдуллаев Расул Нажмудинович получил следующие новые данные, обладающие научной новизной:

1. Метод оценки вязкости расплавов бинарных систем с использованием опытных данных по функции стабильности Даркена и коэффициентам взаимной диффузии компонентов.

2. Экспериментальные данные о термических свойствах 10-ти жидких сплавов системы Na–Pb с содержанием в натрии от 2,50 до 70,01 ат. % свинца; 6-ти сплавов K–Pb (с содержанием свинца от 30,01 до 90,70 ат. % в калии), а также ряда бинарных и одного тройного сплава с участием висмута, олова, индия и серебра, полученные в температурном интервале от ликвидуса до 950–1000 К.

Для ряда сплавов впервые определены скачки плотности при плавлении–кристаллизации и термические свойства твердых фаз.

3. Коэффициенты взаимной диффузии в семи расплавах системы Na–Pb, пяти расплавах системы K–Pb, двух расплавах системы Bi–Sn и жидком сплаве Ag–Sn (с содержанием олова 59,30 ат. % Sn).

4. Впервые обнаруженные максимумы на зависимостях коэффициента теплового расширения для жидкой системы Na–Pb от состава сплавов с содержанием около 20 ат. % свинца в натрии и коэффициента взаимной диффузии для расплавов систем Na–Pb и K–Pb в области 20 и 40–50 ат. % Pb. Обнаруженным эффектам даны возможные объяснения с опорой на современные представления о концентрационных переходах «металл – неметалл» в жидкометаллических системах.

#### **Оценка значимости для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта**

Представлены новые решения, направленные на совершенство методики и техники теплофизических исследований, в частности измерения поверхностного натяжения металлических расплавов, в том числе с участием щелочных металлов, которые могут быть использованы при дальнейших исследованиях. Результаты исследований, представленные в обсуждаемой диссертации, существенно пополняют не только базу экспериментальных данных, лежащих в основе дальнейших технико-теоретических разработок по модернизации и конструированию атомных энергетических установок, но и могут быть использованы в преподавании спецкурсов студентам по физике капиллярности и межфазных явлений, при написании выпускных работ бакалаврами и магистрами, в частности, в Институте физики и математики Кабардино-Балкарского и Чеченского государственных университетов.

О востребованности результатов данной диссертационной работы свидетельствует и то, что она выполнялась при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение 8073) и РФФИ (проект № 12-08-00192\_а). Таким образом, можно заключить, что результаты данной диссертационной работы, ее выводы и рекомендации имеют высокий уровень значимости для практики, науки и образования.

Приведенные в диссертации графические зависимости и многочисленные таблицы свидетельствуют о том, что Абдуллаев Р.Н. выполнил большой объем экспериментальных и расчетных работ и зарекомендовал себя как высококвалифицированный исследователь, способный тщательно и доказательно обсуждать и интерпретировать полученные результаты.

#### **Замечания и недостатки по содержанию и оформлению диссертации.**

1. Недостаточно подробно (для экспериментальной работы) дано описание методики приготовления исследуемых образцов сплавов с участием натрия и калия, несмотря на то, что они и были осуществлены в другой организации.

2. В диссертации вопросам обеспечения и контроля гомогенности исследуемых сплавов уделяется значительное внимание, но в ней все же не приводятся достаточно четкие данные о составах изученных сплавов с участием высокоактивных и легколетучих натрия и калия до и после проведения измерений, что можно было осуществить, например, электронно-спектроскопическими методами (ВИМС – вторично-ионной масспектроскопии для изучения профиля концентрации компонентов по глубине образцов и т.д.).

3. Для сравнения полученных результатов определения плотности и вязкости натрия и калия соискателем используются рекомендуемые данные из несколько устаревшего справочного издания Э. Шпильрайна и др. 1970 г. (Шпильрайн Э.Э. Якимович К.А., Тоцкий Е.Е. и др. Теплофизические свойства щелочных металлов. М.: Изд. стандартов. 1970. 485 с.). На наш взгляд,

предпочтительнее было сослаться на более «свежие» данные о плотности Na и K, к примеру, на обзорную работу этих же авторов 1983 года (Шпильрайн Э.Э., Якимович К.А., Сквородько С.Н., Мозговой А.Г. Плотность и тепловое расширение жидких щелочных металлов: Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. – М.: ТФЦ ИВТАН, 1983. - №6. - 94с.).

Перечисленные замечания никак не меняют общего и весьма положительного впечатления о содержании и форме рассматриваемой диссертационной работы. Она написана и оформлена хорошо, а графический материал выполнен безупречно.

**По материалам диссертации опубликовано 28 работ**, в том числе 11 – в журналах, входящих в список ВАК. Полученные результаты хорошо апробированы: они докладывались на международных, общероссийских, региональных и студенческих конференциях и получили одобрение специалистов.

Содержание автореферата полностью соответствует основным идеям и выводам диссертации.

Характеризуя в целом диссертационную работу Абдуллаева Р.Н. «Термические свойства и коэффициенты взаимной диффузии жидких сплавов натрий–свинец и калий–свинец с частично ионным характером межатомного взаимодействия», можно утверждать, что она представляет собой самостоятельную и завершенную научно-квалификационную работу и соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842, от 24.09.2013 г. по специальности 01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника, а ее автор - Абдуллаев Расул Нажмудинович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Алчагиров Борис Батокович,  
доктор физико-математических наук, профессор  
кафедры теоретической и экспериментальной физики  
Института физики и математики ФГБОУ ВО  
«Кабардино-Балкарский государственный  
университет им. Х.М. Бербекова»

360004, Кабардино-Балкарская республика, Россия,  
г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173.  
Сот. тел. 8-928-723-25-56  
E-mail: [alchg@kbsu.ru](mailto:alchg@kbsu.ru)  
[boris@alchagirov.ru](mailto:boris@alchagirov.ru)

Подпись профессора Алчагирова Б.Б.  
Заверяю.....

19.04.2019.



"ЗАВЕРЯЮ"  
Ученый секретарь КБГУ  
"19" 04 2019г.

И.В. Ахмедова