



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ

Уральского отделения Российской академии наук

(ИМЕТ УрО РАН)

Амундсена ул., д. 101, г. Екатеринбург, 620016

Тел. (343) 267-91-24, факс (343) 267-91-86

E-mail: admin@imet.mplik.ru

http://www.imet-uran.ru

ОКПО 04683415, ОГРН 1026605246766

ИНН/КПП 6661004301/667101001

05.04.2019 № 16352-01-184

На № _____ от _____

[Отзыв ведущей организации]

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института металлургии Уральского
отделения Российской академии наук,
чл.-корр. РАН, профессор, д-р.физ.-мат.наук



А.А. Ремпель

«___» апреля 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института металлургии Уральского отделения Российской академии наук
о диссертационной работе Абдуллаева Расула Нажмудиновича
«Термические свойства и коэффициенты взаимной диффузии жидких сплавов натрия–свинец и калий–свинец с частично ионным характером межатомного взаимодействия», представленной
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Актуальность темы диссертации Абдуллаева Р.Н. связана как с фундаментальными вопросами физики жидких металлов, так и с прикладными задачами применения металлических расплавов в ядерной энергетике. В фундаментальном плане актуальность экспериментального исследования теплофизических свойств жидких сплавов натрия–свинец и калий–свинец в широком интервале концентраций и температур связана с задачей развития физики жидкого состояния, в частности, с решением фундаментального вопроса о механизмах превращений типа «металл – неметалл» в бинарных металлических расплавах. В настоящее время эта проблема еще далека от окончательного решения, что во многом связано с отсутствием подробных и надежных экспериментальных данных по многим структурно-чувствительным свойствам жидких систем с ионно-металлическим типом химической связи. Актуальность работы для решения прикладных задач заключается в возможном использовании жидких сплавов натрия–свинец и калий–свинец в качестве теплоносителей для нового поколения ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Наличие достоверных экспериментальных данных по теплофизическим свойствам расплавов этих систем имеет важное значение при разработке и оптимизации составов жидкометаллических теплоносителей, а также при проведении опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, направленных на создание нового поколения реакторов на быстрых нейтронах и прогнозировании последствий тяжелых аварийных ситуаций.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит 152 страницы текста, включая 54 рисунка и 46 таблиц. Список литературы содержит 159 наименований.

По объему и структуре работа соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Во **Введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, определены новизна, научная и практическая значимость работы.

В главе 1 проведен подробный и детальный обзор имеющихся в литературе сведений о

теплофизических и электрофизических свойствах расплавов Na–Pb и K–Pb, а также современных представлений о структуре жидких сплавов щелочных металлов со свинцом. В итоге, сделаны выводы о недостаточной достоверности, фрагментарности и противоречивости литературных данных по их термическим и транспортным свойствам, что подтвердило актуальность проведенного в диссертационной работе исследования.

В **главе 2** приведено детальное описание экспериментальной установки и конструкции измерительных ячеек для исследования сплавов щелочных металлов со свинцом гамма-методом, изложены методики проведения основных измерений и подготовки образцов, представлен подробный анализ погрешностей измерений.

В **главе 3** представлены полученные в работе результаты экспериментальных исследований термических свойств и коэффициентов взаимной диффузии жидких систем Na–Pb и K–Pb в широких интервалах концентраций и температур. Кроме того, приведены экспериментальные данные по термическим свойствам никеля и меди в широких интервалах температур твердого и жидкого состояний, ряда двойных сплавов висмут–олово и серебро–олово, эвтектического сплава тройной системы висмут–индий–олово в жидком и, частично, твердом состояниях, а также результаты исследования взаимной диффузии в расплавах систем Bi–Sn и Ag–Sn.

Проведено сравнение полученных в диссертации результатов с известными литературными данными. Для каждой исследованной жидкой бинарной системы построены температурные и концентрационные зависимости термических свойств и коэффициента взаимной диффузии. Показано, что концентрационная зависимость коэффициента взаимной диффузии жидкой системы K–Pb имеет максимум в районе экваторного состава, а соответствующие зависимости коэффициентов теплового расширения и взаимной диффузии жидкой системы Na–Pb имеют максимумы в районе 20 ат. % Pb.

В **4-й главе** проведен анализ построенных в работе концентрационных зависимостей с использованием современных представлений о структуре жидких сплавов щелочных металлов со свинцом. Сравнение полученных температурных и концентрационных зависимостей мольного объема, объемного коэффициента теплового расширения и коэффициентов взаимной диффузии расплавов K–Pb с соответствующими зависимостями их электрофизических и термодинамических свойств подтвердило существующие представления о наличии в жидких сплавах калия со свинцом плотных ионных комплексов Цинтля K_4Pb_4 . Для системы Na–Pb проведенный анализ подтвердил выдвигаемую некоторыми авторами модель, согласно которой в расплавах натрия–свинец могут существовать два типа ассоциированных комплексов (Na_4Pb и Na_4Pb_4 , с преобладанием первых).

Изложен метод оценки вязкости расплавов бинарных систем, с использованием экспериментальных данных по функции стабильности Даркена и коэффициентам взаимной диффузии. Проведена оценка вязкости ряда расплавов Na–Pb и K–Pb и их сопоставление с известными литературными данными. Показано, что концентрационная зависимость кинематической вязкости жидкой системы K–Pb имеет максимум в районе экваторного состава, а вязкость расплавов Na–Pb линейно зависит от состава в интервале от 0 до 41 ат. % Pb. В **заключении** сформулированы основные результаты диссертации.

Материал диссертационной работы изложен четко и ясно, подробно иллюстрирован рисунками и подкреплен справочными таблицами, удобными для практического использования. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Научная новизна изложенных в диссертационной работе результатов заключается в следующем:

1. Получены новые достоверные экспериментальные данные по термическим свойствам ряда жидких сплавов систем Na–Pb и K–Pb, трех расплавов жидкой системы Bi–Sn, двух расплавов системы Ag–Sn и эвтектического сплава Bi–In–Sn в интервале температур от ликвидуса до 950–1000 К. Для сплавов некоторых составов, кроме того, впервые измерены коэффициенты взаимной диффузии в жидком состоянии, определены скачки плотности при плавлении–кристаллизации и термические свойства твердых фаз.
2. Впервые экспериментально обнаружены максимумы на концентрационных зависимостях коэффициента теплового расширения для жидкой системы Na–Pb в окрестности 20 ат. % Pb и коэффициента взаимной диффузии для жидких систем Na–Pb и K–Pb в области 20 и 40–50 ат. % Pb, соответственно. Предложено объяснение для обнаруженных эффектов на основе современных представлений о концентрационных переходах «металл – неметалл» в жидкометаллических системах.

3. Предложен и апробирован новый метод оценки вязкости расплавов бинарных систем, с использованием экспериментальных данных по функции стабильности Даркена и коэффициентам взаимной диффузии.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается использованием надежных и апробированных экспериментальных методик и установок, детальным анализом погрешностей измерений, проведением комплекса тарировочных и тестовых опытов, воспроизводимостью результатов экспериментов, а также их сопоставлением с литературными данными.

Научная и практическая значимость работы заключается в том, что полученные в диссертации надежные экспериментальные данные по плотности, 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".

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 11 работ в печатных изданиях, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК. Основные результаты работы также изложены в 17 трудах и тезисах докладов международных и всероссийских конференций.

В качестве вопросов и замечаний по теме диссертации можно высказать следующее:

1. Следовало бы объяснить увеличение абсолютных значений относительного избыточного мольного объема при переходе от жидкой системы Na–Pb к системе K–Pb.
2. Диссертант использует уравнение Даркена для анализа концентрационной зависимости коэффициента взаимной диффузии D . Согласно данному уравнению коэффициент D пропорционален функции стабильности S . Однако, на полученной автором концентрационной зависимости D для жидкой системы Na–Pb при 723 К (рис. 4.3) имеется один пик, а на зависимости $S(X)$ из работы Saboungi и др. (1985) наблюдаются два пика. При этом, в диссертации нет объяснения причин различий в поведении этих зависимостей.
3. При расчете вязкости расплавов используется уравнение (4.4), но коэффициент C в этом уравнении равен 4 для жидкой системы K–Pb, а для расплавов Na–Pb $C = 6$. При этом автор не объясняет произвольный выбор значений C .

Заключение

Сделанные замечания не умаляют научную и практическую ценность представленной диссертационной работы. Диссертация Абдуллаева Расула Нажмуудиновича «Термические свойства и коэффициенты взаимной диффузии жидких сплавов натрий–свинец и калий–свинец с частично ионным характером межатомного взаимодействия» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, и соответствует паспорту специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника. Результаты, полученные в диссертации, достоверны и вносят существенный вклад в развитие теплофизики жидких металлов.

Рецензируемая диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлениями Правительства РФ № 725 от 30.07.2014 г. и № 335 от 21.04.2016 г., а ее автор – Абдуллаев Расул Нажмуудинович –

заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Диссертация Абдуллаева Расула Нажмуудиновича заслушана и обсуждена на расширенном научном семинаре Лаборатории порошковых, композиционных и наноматериалов Института металлургии УрО РАН 21 марта 2019 года, протокол №71. Участники семинара положительно оценили научную и практическую значимость диссертационной работы.

Отзыв утвержден на заседании Ученого совета Института металлургии УрО РАН (протокол № 4 от 5 апреля 2019 г.).

Отзыв подготовил:

Заведующий Лабораторией порошковых, композиционных и наноматериалов Института металлургии УрО РАН, д-р.физ.-мат.наук



Гельчинский Борис Рафаилович

Подпись Гельчинского Б.Р. удостоверяю, Ученый секретарь Института металлургии УрО РАН, к.х.н.



Долматов Алексей Владимирович

620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101, ФГБУН Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН)

Тел: 8 (343) 267-91-24, факс: 8 (343) 267-91-30.

E-mail: admin@imet.mplik.ru

<http://imet-uran.ru>