

О Т З Ы В

**официального оппонента на диссертационную работу
Дышековой Фатимы Феликсовны на тему «Поверхностное натяжение
расплавов свинца и висмута с участием лития и смачиваемость ими
реакторных сталей», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника**

1. Актуальность темы исследования

Фундаментальной проблемой физики конденсированного состояния является построение общей теории жидкого состояния. При этом особенно актуальны изучение строения и свойств поверхности и границ раздела в двойных и многокомпонентных системах, которые находят широкое применение на практике. В связи с этим диссертационная работа Ф.Ф. Дышековой, посвященная экспериментальному исследованию поверхностного натяжения двойных и тройных сплавов системы свинец-висмут-литий и смачиваемости ими реакторных сталей, а также расчетам термодинамических характеристик поверхностного слоя изученных систем является актуальной задачей.

2. Общая характеристика полученных результатов, степень новизны

Жидкие литий, свинец, висмут и их сплавы можно использовать в качестве теплоносителей в ядерных энергетических установках. В частности, двух- и трехкомпонентные сплавы системы свинец-висмут-литий обладают низкими температурами плавления и благоприятными ядерно-физическими свойствами, что делают их особенно привлекательными для использования в качестве теплоносителей и тритий-воспроизводящих материалов в проектах будущих термоядерных реакторов. Однако некоторые важные свойства сплавов этой системы, в частности, поверхностное натяжение и смачиваемость реакторных сталей, на момент начала настоящей работы фактически отсутствовали.

В диссертации впервые определены температурные и концентрационные зависимости поверхностного натяжения 37 сплавов лития на основе свинца, висмута и эвтектического расплава $Pb_{44,7}Bi_{55,3}$ в интервале температур от ликвидусных до 700 К.

Проведены расчеты адсорбции лития в сплавах систем Pb–Li, Bi–Li и Pb–Bi–Li в пакете «MathCAD» по соотношению Гуггенгейма-Адама («N» – вариант) и предельной поверхностной активности лития.

Экспериментально исследованы температурные зависимости смачиваемости поверхностей конструкционных сталей 12Х18Н10Т и ЭК–173 жидкими двойными и тройными сплавами системы свинец-висмут-литий в зависимости от концентрации лития в широкой области температур.

Экспериментальные установки и программный пакет «SigmaDrop» используются в научно-исследовательской лаборатории «Физика межфазных явлений в расплавах» и в лабораториях по спецдисциплинам «Физика межфазных явлений в конденсированных средах», «Общий физический практикум» для студентов по направлениям 03.03.02 – физика, бакалавр, 03.04.02 – физика, магистров и аспирантов по специальностям 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

3. Объем и структура диссертации

Диссертационная работа изложена на 128 страницах, содержит 65 рисунков и 8 таблиц. Она состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 187 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследований, перечисляются основные положения, выносимые на защиту, изложены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена литературному обзору и анализу результатов исследований поверхностного натяжения (ПН) и смачиваемости твердых поверхностей конструкционных сталей жидкими легкоплавкими сплавами с участием щелочных металлов, имеющих в литературе.

Проведенный в диссертации анализ состояния исследований поверхностных свойств показывает, что в подавляющем большинстве исследований измерения ПН и смачиваемости бинарных сплавов с участием лития проведены лишь в ограниченных температурных и концентрационных интервалах в виде малых добавок, что требует дополнительных и более тщательных исследований, а экспериментальные данные по тройным сплавам с участием щелочных металлов отсутствуют в литературе.

Вторая глава посвящена разработке новых приборов и усовершенствованию имеющихся установок, методики расчета ПН на базе программного пакета «SigmaDrop», подготовки образцов и заправки ими измерительных ячеек, а также особенностей диаграмм состояний исследуемых систем.

Были созданы цельнопаянные стеклянные приборы, предназначенные для изучения температурных и концентрационных зависимостей плотности, ПН и работы выхода электрона чистого лития и его сплавов, а также модернизирована экспериментальная установка для изучения смачиваемости поверхностей конструкционных сталей жидкометаллическими расплавами. В создании этих

приборов непосредственное участие принимала диссертант. Приборы прошли проверку метрологической службы КБГУ и защищены патентом.

Для автоматизации экспериментальной установки по изучению ПН разработан оригинальный программный пакет «SigmaDrop» в среде программирования C Sharp 5.0, позволивший автоматизировать процесс регистрации и цифровой обработки изображений с помощью ЭВМ исследуемых образцов. На программный пакет «SigmaDrop» получено также свидетельство о его государственной регистрации.

В третьей главе приведены полученные результаты измерений ПН чистых Li, Pb, Bi и их двойных и тройных сплавов, а также расчетные данные адсорбции и предельной поверхностной активности лития в изученных сплавах.

В диссертации впервые получены экспериментальные значения температурных и концентрационных зависимостей ПН $\sigma(T,x)$ двойных сплавов системы Pb–Li и Bi–Li в интервале составов с содержаниями до 20 ат. % Li в свинце и до 10,46 ат. % лития в висмуте, а также $\sigma(T,x)$ тройных сплавов лития на основе эвтектического расплава $Pb_{44,7}Bi_{55,3}$ в области составов с содержанием до 33,1 ат. % Li. Всего изучены 13 сплавов системы Pb–Li, 11 сплавов Bi–Li и 13 сплавов системы Pb–Bi–Li со среднеквадратичной погрешностью, не превышающей 2%. В диссертации результаты приведены в виде эмпирических уравнений, графиков и таблиц.

На изотермах ПН сплавов системы Pb–Li и Bi–Li обнаружены неглубокие минимумы в области составов с содержанием около 6 ат. % Li в сплавах со свинцом и 4 ат. % Li в сплавах с висмутом, Показано также, что литий является слабой поверхностно-активной добавкой в эвтектическом расплаве свинец-висмут.

В этой же главе приведены данные расчетов адсорбции лития, составов и толщины поверхностных слоев, а также предельной поверхностной активности лития во всех изученных системах.

В четвертой главе приводятся результаты исследований смачиваемости поверхностей реакторных сталей 12X18H10T и ЭК–173 жидкими Pb, Bi и их двойными и тройными сплавами системы Pb–Bi–Li в широкой области температур в условиях вакуума и инертной среды (аргон).

Показано, что при температурах до 673 К чистый свинец не смачивает поверхность стали 12X18H10T, но при выдержке в течение часа угол смачивания уменьшается до 100° . Дальнейшее повышение температуры вплоть до 850 К не приводит к существенному изменению краевого угла, который остается постоянным и равным около 90° . Но, после повышения температуры исследуемой системы выше 850 К, угол смачивания достаточно быстро понижается до 75° , т.е. наступает смачивание стали.

В работе обнаружены критические температуры смачивания жидкими свинцом, висмутом и $(PbBi)_{эвт}$ поверхности стали ЭК–173, равные 920, 840 и

1020 К, соответственно. Диссертантом показано, что сталь марки ЭК-173 менее смачивается висмутом, свинцом и, особенно, жидкоэвтектическим сплавом Pb-Bi при более высоких температурах, чем конструкционная сталь 12X18H9T.

В результате исследования смачиваемости поверхности подложки из стали 12X18H10T жидкой эвтектикой Pb-Bi в условиях вакуума соискателем обнаружено наличие температурного порога перехода от несмачивания к смачиванию. Показано качественное различие смачиваемости стали 12X18H10T в условиях высокого вакуума и в атмосфере инертной среды (аргон). Представляет особый интерес результаты исследования температурной зависимости углов смачивания поверхности стали 12X18H10T жидкими тройными сплавами Pb-Bi-Li с различным содержанием лития (в эвтектическом расплаве Pb-Bi) в условиях высокого вакуума и в атмосфере аргона. В диссертации показано улучшение смачиваемости поверхности стали по мере повышения содержания лития в тройных сплавах.

Выводы, сделанные автором, представляются вполне обоснованными и отвечают постановке задачи исследования. Полученные результаты представляются оригинальными и новыми, они достаточно полно отражены в работе.

4. Полнота опубликования результатов и содержания автореферата

По материалам диссертации опубликовано 20 работ: 10 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ, из которых 4 работы индексируются международными системами цитирования Scopus и Web of Science, 8 – в сборниках конференций. Автор получила также 2 патента.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Научные положения, изложенные в диссертации, соответствуют области исследований по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, определяющей фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии и способствующей более глубокому пониманию явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах. Полученные научные результаты соответствуют пунктам 1 и 2 Паспорта специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

4. Замечания

В отношении диссертационной работы можно сделать некоторые замечания:
- различие между поверхностным натяжением свинца и висмута составляет не 9%, а

- 13% (стр. 64);
- не ясен ход кривой рисунка 33 (стр. 69), остается не ясным ход кривой от 0 до 2% на рисунке 37;
 - почему переход от несмачивания к смачиванию Вы называете порогом или критической температурой смачивания?

5. Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, Фатимой Феликсовной Дышековой проведена большая экспериментальная работа, отличающаяся надежностью и достоверностью. Диссертация Ф.Ф. Дышековой написана грамотным понятным научным языком, обеспечено также требование о единстве измерений. Работа отвечает высоким требованиям и полностью соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ, а ее автор достойна присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Дохов Магомед Пашевич
Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор кафедры технической
механики и физики факультета
механизации и энергообеспечения предприятий ФГБОУ ВО
«Кабардино-Балкарский государственный
аграрный университет им. В.М. Кокова»



Адрес: 360030, КБР, г. Нальчик, пр-кт Ленина, 1«В»,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский
государственный аграрный университет им. В.М. Кокова»
Тел.: 89289167142
E - mail: vdokhova@yandex.ru

Подпись гр. Дохов М.П.
ЗАВЕРЯЮ
Начальник управления правового
и кадрового обеспечения
Ашхотова М.Р.
16.05.2016