

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**на диссертационную работу Канаметовой Оксаны Хусеновны
«Поверхностные свойства околоэвтектических расплавов систем
висмут-литий, олово-литий и олово-натрий», представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника**

Разработка новых поколений ядерных и термоядерных энергетических установок в решающей степени зависит от прогресса в области жидкометаллических теплоносителей и тритийвоспроизводящих материалов. Среди наиболее интересных кандидатов – расплавы на основе висмута, олова и щелочных металлов (лития, натрия), которые обладают улучшенными физическими и теплофизическими характеристиками, а именно более низкой температурой плавления, высокой теплопроводностью, низким давлением насыщенных паров, а также способностью к эффективному воспроизводству трития в blankets термоядерных реакторов. Однако их практическое внедрение в ядерную и термоядерную энергетику сдерживается острейшим дефицитом систематических экспериментальных данных о поверхностных свойствах, в первую очередь о поверхностном натяжении и смачиваемости конструкционных сталей. Именно эти параметры определяют гидродинамику течения теплоносителя, интенсивность тепломассопереноса в активной зоне, а также коррозионную стойкость материалов оболочек тепловыделяющих элементов и контурного оборудования. Без достоверных значений поверхностного натяжения и краевых углов смачивания невозможно корректное моделирование контактных взаимодействий, прогнозирование ресурса элементов ядерно-энергетических установок и обеспечение их безопасной эксплуатации в экстремальных температурно-радиационных условиях.

В связи с этим, диссертационная работа Канаметовой Оксаны Хусеновны, посвященная экспериментальному определению поверхностного натяжения околоэвтектических расплавов систем висмут-литий, олово-литий и олово-натрий, а также исследованию их смачивающей способности по отношению к реакторным сталям, представляется весьма актуальной и имеющей как фундаментальное, так и прикладное значение.

Диссертация имеет традиционную структуру и состоит из введения, четырех глав, общих выводов и списка литературы из 304 источников. Материал изложен на 176 страницах, содержит 48 рисунков и 10 таблиц.

В первой главе проведен детальный анализ современного состояния экспериментальных и теоретических исследований поверхностного натяжения чистых металлов (Ga, Pb, Bi, Sn, Na, Li) и их бинарных сплавов (Pb-Bi, Bi-Li, Sn-Na, Sn-Li). Показано, что для систем с литием и натрием данные крайне фрагментарны, а для ряда составов отсутствуют полностью. На основе обзора сформулированы задачи диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена методологии эксперимента. Автором модернизирована установка для метода «большой» капли, создано программное обеспечение «SigmaDrop», позволяющее в автоматическом режиме регистрировать профиль капли и вычислять поверхностное натяжение. Разработана методика учета влияния механических колебаний на результаты измерений. Подробно описаны процедуры приготовления литиевых и натриевых сплавов, включая очистку металлов в сверхвысоком вакууме.

Третья глава содержит основные экспериментальные результаты. Впервые получены температурные и концентрационные зависимости поверхностного натяжения для 16 сплавов Bi-Li (0-10,46 ат.% Li), 7 сплавов Sn-Li (7,5-15 ат.% Li) и 19 сплавов Sn-Na (0,06-5,00 ат.% Na). Исследовано влияние газовой среды (вакуум, аргон, воздух) на

поверхностное натяжение эвтектики Pb-Bi. Экспериментально определены пороговые температуры смачивания для систем «Sn – сталь 12X18H9T» при температуре 870 К и «Sn+15 ат.% Li – сталь 12X18H9T» при температуре 1050 К.

В четвертой главе на основе полученных данных рассчитаны адсорбция компонентов (по Гуггенгейму-Адаму), предельная поверхностная активность натрия и лития. Выполнены оценки критических температур щелочных металлов и эвтектических сплавов Pb-Li и Na-K.

В заключении диссертации сформулированы основные выводы, полностью отражающие содержание работы.

Обобщая представленные в диссертации экспериментальные и теоретические результаты, следует особо выделить наиболее значимые достижения соискателя, которые определяют научную новизну работы. Научная новизна диссертации Канаметовой О.Х. заключается в следующем:

1. Впервые экспериментально установлены температурные и концентрационные зависимости поверхностного натяжения для широкого набора сплавов Bi-Li, Sn-Li и Sn-Na в околзвтектических областях, включая составы, ранее не исследованные.

2. Создан автоматизированный экспериментальный комплекс (установка + ПО «SigmaDrop»), позволяющий в реальном времени отслеживать изменения поверхностного натяжения и впервые количественно оценить вклад механических колебаний капли в погрешность измерений.

3. Получены новые данные о пороговых температурах смачивания реакторных сталей жидким оловом и сплавом Sn-Li, что имеет прямое прикладное значение.

4. Рассчитаны адсорбционные параметры лития и натрия в указанных системах, выявлены экстремумы на изотермах адсорбции (максимум при

~0,8 ат.% Li и минимум при ~4 ат.% Li для Bi-Li; максимум при ~1,5 ат.% Na для Sn-Na).

5. На основе уточненных политерм поверхностного натяжения выполнены оценки критических температур щелочных металлов и эвтектик Pb-Li, Na-K, показавшие хорошее согласие с имеющимися данными.

Достоверность и надежность полученных результатов обеспечивается:

- использованием высокочистых исходных металлов (Bi 0000, Sn ОВЧ-000, Li ЛЭ-1 с дополнительной вакуумной перегонкой);

- применением метода «большой» капли, реализованного на модернизированной вакуумной установке с остаточным давлением $\sim 10^{-4}$ – 10^{-6} Па;

- автоматизированной обработкой изображений с использованием алгоритма Кэнни, что исключает субъективизм;

- согласием полученных значений поверхностного натяжения чистых металлов с наиболее надежными литературными данными (расхождение в пределах заявленной погрешности $\pm 2\%$);

- проверкой на предельные случаи (например, для чистых компонентов) и воспроизводимостью результатов.

При общей положительной оценке работы считаю необходимым высказать следующие замечания и задать соискателю вопросы:

1. При обсуждении полученных результатов диссертант часто ссылается на критерии поверхностной активности малых добавок. При этом следовало бы сформулировать эти критерии в тексте диссертационной работы.

2. В разделе 3.1.2 диссертации автор связывает положительный знак температурного коэффициента поверхностного натяжения с десорбцией лития с поверхности при нагреве. Однако для большинства металлических расплавов температурный коэффициент отрицателен. Не могли бы Вы пояснить физический механизм, по которому десорбция поверхностно-

активного компонента приводит к росту поверхностного натяжения с температурой?

3. На рис. 3.12 показано, что после контакта с воздухом поверхностное натяжение падает, а затем на вершине капли образуется «полочка» из оксидов. Указывается, что 30-минутная выдержка приводит к этому результату. Восстановится ли исходное значение ПН при повторном помещении расплава в вакуум?

4. Как готовились литиевые сплавы и контролировался ли их конечный состав (например, атомно-эмиссионной спектроскопией) после экспериментов? Не возникало ли проблем с гомогенизацией, учитывая склонность лития к образованию интерметаллидов?

5. Изменится ли полученная температурная зависимость краевого угла смачивания для системы «сталь 12Х18Н9Т – жидкое олово» при снижении температуры до температуры кристаллизации олова и последующем ее увеличении до максимальных значений?

Поставленные вопросы и указанные замечания не носят принципиального характера, не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Заключение.

Диссертационная работа Канаметовой Оксаны Хусеновны является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. В ней получены новые экспериментальные данные о поверхностном натяжении и смачиваемости перспективных жидкометаллических систем Bi-Li, Sn-Li и Sn-Na, имеющие важное значение для теплофизики и ядерной энергетики. Автореферат диссертации и опубликованные работы (16 статей в журналах из перечня ВАК, 5 публикаций в Scopus/Web of Science) полностью отражают содержание диссертации.

Диссертационная работа «Поверхностные свойства околоэвтектических расплавов систем висмут-литий, олово-литий, олово-

натрий» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Канаметова Оксана Хусеновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент

Арефьева Людмила Павловна



доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры «Материаловедение и технологии металлов»
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
Шифр и наименование специальности, по которой официальный оппонент
защитил диссертацию: 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Адрес: 344003, ЮФО, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону,
пл. Гагарина, 1

Тел.: +7 (903) 434 80 79

E-mail: ludmilochka529@mail.ru

Подпись Арефьевой Л. П. удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ДГТУ



В.Н. Анисимов

Я, Арефьева Людмила Павловна, даю согласие на обработку и передачу персональных данных, представляемых мною в диссертационный совет
21.2.308.01

« 06 » мая 2026 г.