

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу Хасанова Асламбека Идрисовича

"Влияние малых добавок лития, кальция, висмута, серебра и никеля на плотность и поверхностное натяжение свинца и смачивание им спецсталей",  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

### **Оценка актуальности.**

Исследование температурной и концентрационной зависимостей поверхностного натяжения двухкомпонентных жидких металлических растворов может дать ценную информацию о свойствах и строении поверхностного слоя, межфазного взаимодействия и процессах, происходящих на межфазной поверхности с изменением состава и температуры раствора. Объектом исследования представленной диссертационной работы являются расплавы на основе свинца с добавками лития, кальция, висмута, серебра и никеля. Выбор в качестве основного материала свинца является не случайным. Известно применение свинцово-висмутовых расплавов в качестве теплоносителя в транспортных энергетических установках. Действительно, сочетание значительной теплоемкости и высокой теплопроводности позволяет успешно использовать жидкие металлы в качестве теплоносителей в контурах ядерных реакторов. Исследование влияния других добавок к свинцу позволяет сделать выводы о возможности практического применения перечисленных сплавов.

Несомненный практический интерес представляет изучение политерм углов смачивания новых реакторных сталей тяжелыми теплоносителями на основе свинца.

Важен и чисто академический аспект подобных исследований. Известно решающее влияние малых добавок щелочных металлов на поверхностное натяжение ртути. Эти исследования в своё время показали роль адсорбции поверхностно-активных добавок в формировании поверхностного слоя. Рассматриваемая работа также посвящена влиянию малых добавок на некоторые свойства металлического раствора. Не лишены интереса и исследования влияния малых добавок на плотность жидкого металла.

Сказанное дает основание утверждать, что тема диссертации является актуальной.

**Оценка новизны исследований.** Актуальность исследований поверхностных свойств расплавов на основе свинца и взаимодействия этих расплавов с конструкционными материалами обусловила значительное число работ, посвящённое этой тематике. Однако некоторые аспекты, связанные с поверхностными свойствами свинцовосодержащих сплавов, требуют дальнейшего изучения. Обсуждаемая работа по ряду позиций отвечает требованиям новизны.

Экспериментальным путём получены политермы плотности и поверхностного натяжения расплавов свинец–серебро, свинец–никель, свинец–кальций, свинец–висмут в широком интервале температур. Автор сосредоточил исследования в области составов, близких к чистому свинцу. Было промерено поверхностное натяжение трёх растворов с добавкой серебра до 0,10 мас. %, пяти растворов с добавкой никеля до 0,30 ат. %, четырёх растворов с добавкой висмута до 1,0 ат. %, а также сплава эвтектического состава системы свинец–висмут, трёх растворов с добавкой кальция до 0,19 мас. %.

При исследовании температурной зависимости поверхностного натяжения разбавленных растворов серебра и никеля в свинце обнаружено явление температурной буферности.

Исследование смачиваемости реакторных сталей свинцом и висмутом позволило установить температурные области резкого снижения углов смачивания.

Рассмотрена задача капиллярного впитывания проводящей жидкости в магнитном поле с учётом смачивания.

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

Высокая степень достоверности экспериментальных результатов обусловлена следующими особенностями обсуждаемой работы. Использовали металлы высокой степени чистоты, сплавы готовили переплавкой в кварцевые ампулы в условиях вакуума.

Для измерения плотности, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания использовали апробированный метод лежащей капли. Измерения проводились после вакуумной откачки, а при повышенных температурах – в атмосфере гелия. В процессе плавки расплав подвергался интенсивному перемешиванию, что способствовало его дегазации. Капля формировалась фильтрацией через капилляр, что способствовало очистке поверхности капли от оксидов. Для обработки изображений капли применяли автоматизированный программный комплекс, благодаря чему устраняется негативная составляющая "человеческого фактора" при измерениях. Методический уровень экспериментов по смачиванию сталей металлическим расплавом соответствует современным достижениям экспериментальной техники. Полученные в работе экспериментальные результаты не противоречат современным научным представлениям.

Теплофизические эксперименты требуют надёжного измерения температуры исследуемого объекта. Автор рассматриваемой диссертации принял участие в разработке и реализации запатентованного способа изготовления термопар.

Таким образом, результаты диссертационной работы достоверны, а научные положения и выводы вполне обоснованы.

По материалам диссертации опубликовано достаточное число работ, в том числе в авторитетных журналах, входящих в список ВАК и индексируемых в SCOPUS и WOS. Результаты докладывались на международных и российских конференциях и получили одобрение специалистов.

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

Представлен и запатентован метод изготовления термопар, который может быть применён при исследованиях теплофизических свойств материалов.

Результаты экспериментальных исследований, представленных в обсуждаемой диссертации, используются в преподавании спецкурсов студентам, при написании выпускных работ бакалаврами и магистрами. Полученные результаты пополняют базу экспериментальных данных, лежащих в основе дальнейших теоретических разработок в области физики межфазных явлений. Результаты исследования смачиваемости реакторных сталей жидкими металлами могут быть использованы при модернизации и конструировании атомных энергетических установок.

Таким образом, имеет место высокий уровень значимости выводов и рекомендаций диссертанта для науки и практики.

### **Отдельные замечания и недостатки по содержанию и оформлению диссертации:**

1) Текст диссертация местами внутренне не согласован. Например, при формулировке задач, основных положений, выносимых на защиту, и в заголовке раздела 3.6. говорится о влиянии электромагнитных полей на

кинетику капиллярного впитывания. Однако в указанном разделе рассматривается влияние только магнитного поля.

2) Некоторые рисунки и другие источники оформлены недолжным образом, а поэтому не несут предполагаемой информации. Например, неясно, что демонстрируют линии на рис. 1.5 (а).

В таблице 1.2. показаны значения величины  $\Phi$ , однако смысл этой величины нигде не поясняется.

На рисунках 3.1, 3.2. приведены политермы поверхностного натяжения расплавов на основе свинца с малыми добавками висмута и серебра. Было бы естественно на этих же рисунках привести политерму чистого свинца, однако такая политерма присутствует только на рисунке 3.3, где показаны политермы для расплавов свинца с добавкой никеля.

3) В работе встречаются неточности, например:

В формуле 1.15 и следующем за этой формуле выражении не согласованы размерности (если  $\rho$  – плотность, как указано в Списке сокращений и обозначений диссертации).

В комментарии к формуле 1.25 активности компонентов ошибочно названы коэффициентами активности.

На стр. 32 диссертации утверждается, что в работе [73] изучены концентрационная и температурная зависимости ПН системы Pb–Hg. На самом деле в этой работе приведены давно известные результаты работы [Ибрагимов Х.И., Саввин В.С. Поверхностное натяжение и плотность расплавов ртуть–свинец // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. 1976. № 4. 148-149]. Эта работа в обсуждаемой диссертации иллюстрируется рисунком 1.13 и таблицей 1.3, однако к какой температуре относятся приведённые результаты не сообщается (на рис. 1.13 приведена изотерма поверхностного натяжения системы Pb–Hg при 350°C).

В пункте 2.2 утверждается, что наиболее распространёнными способами измерения поверхностного натяжения жидких металлов являются метод лежащей капли и метод максимального давления в газовом пузырьке.

Почему-то автором игнорируются многочисленные результаты метода максимального давления в капле, полученные, в том числе, в лабораториях физического факультета Чечено-Ингушского государственного университета.

В работе встречаются утверждения, что инактивным является компонент, у которого в чистом виде поверхностное натяжение выше (например, стр. 70). На самом деле это не так. В частности, в упомянутой системе свинец–ртуть оба компонента взаимно инактивны, в то время как  $\sigma_{Pb} > \sigma_{Hg}$ .

4) При обсуждении результатов сделанные заключения не всегда являются достаточно обоснованными. Например, автор работы утверждает, что обнаружен минимум поверхностного натяжения для раствора 0,5%  $Bi$  в свинце (стр. 73). Видно, однако, что предполагаемый минимум возник в результате исследования одной единственной капли, что делает вывод о минимуме не вполне убедительным. То же можно сказать по результатам обсуждения измерений в системе свинец–серебро.

Перечисленные недостатки не меняют общего положительного впечатления о рассматриваемой работе.

**Заключение.** Диссертация выполнена на актуальную тему. Основные результаты обладают научной новизной и практической ценностью. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Материалы диссертации опубликованы в авторитетных научных изданиях. Диссертация соответствует специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Содержание диссертации свидетельствует, что диссертационная работа Хасанова Асламбека Идрисовича "Влияние малых добавок лития, кальция, висмута, серебра и никеля на плотность и поверхностное натяжение свинца и смачивание им спецсталей", соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении

ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Саввин Владимир Соломонович,  
доктор физико-математических наук,  
доцент,  
Профессор кафедры Общей и специальной физики  
Обнинского института атомной энергетики – филиала ФГАОУ ВПО  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».  
249040, РФ, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, 1  
27.02.2017  
savvin-vs@yandex.ru



Подпись профессора Саввина В. С. заверяю.

И. о. директора ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Леонова Т. Н.

