

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу **Дышековой Фатимы Феликсовны**

"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

Оценка актуальности. Жидкие металлы исследуют уже в течение многих веков. В основе этого интереса лежат потребности металлургии. В середине прошлого века произошел новый всплеск научного интереса к исследованию жидких металлов, связанный с развитием атомной энергетики. Сочетание значительной теплоемкости и высокой теплопроводности позволяет успешно использовать жидкие металлы в качестве теплоносителей в контурах ядерных реакторов. Осознанное конструирование подобных объектов требует подробного знания свойств используемых материалов, характеристик взаимодействия этих материалов в зависимости от температуры, состава, времени и других параметров.

Объектом исследований в рассматриваемой диссертационной работе являются жидкие сплавы свинца, висмута и лития. Эти сплавы уже освоены промышленностью и имеют перспективу расширения области применения. Свинцово-висмутовый расплав рассматривается в качестве теплоносителя в ядерных реакторах. В перспективе свинцово-висмута-литиевые сплавы рассматриваются с точки зрения применения в качестве теплоносителей, а литиевая составляющая – как третий-воспроизводящий материал, в термоядерных реакторах будущего. В этой связи исследование взаимодействия двойных и тройных сплавов, содержащих свинец, висмут и литий, с конструкционными материалами, в частности с реакторными сталями, весьма актуально.

Не следует игнорировать и чисто академический интерес к исследованию природы. В области физики межфазных явлений этот интерес далек от удовлетворения. Существующие теоретические разработки в лучшем случае предлагают в той или иной мере правдоподобные объяснения обнаруженным в эксперименте фактам, но их прогностические возможности пока еще не удовлетворяют ожиданиям. В этих условиях важнейшим направлением исследований является накопление экспериментальных фактов. Существует дефицит исследований поверхностного натяжения расплавов с участием щелочных металлов, в частности лития.

Сказанное дает основание утверждать, что тема диссертации является актуальной.

Оценка новизна исследований. Несмотря на актуальность исследований поверхностных свойств литийсодержащих расплавов и взаимодействия этих расплавов с конструкционными материалами, работ, посвященных этой тематике явно недостаточно. Такое положение вещей можно объяснить трудностью проведения экспериментальных исследований с участием щелочных металлов, в частности, лития. Автор обсуждаемой диссертации принимала участие в разработке прибора, позволившего улучшить технологию измерений поверхностного натяжения расплавов при высокой упругости паров, о чем свидетельствует полученный патент на изобретение. Новым в методическом плане является разработка и применение программы автоматизации физического эксперимента по измерению поверхностного натяжения жидкостей методом лежащей капли, на которую получено свидетельство о государственной регистрации. Отмечу, что автоматизация физического эксперимента в процессе научного исследования важна не столько в плане упрощения работы исследователя или с точки зрения повышения производительности труда, сколько в уменьшении влияния человеческого фактора на результаты исследования, то есть в увеличении степени достоверности получаемых результатов. Таким образом, элементы новизны в области методики измерений в обсуждаемой работе несомненны и закреплены документально.

Основная ценность обсуждаемой работы заключена в экспериментальных результатах измерения поверхностного натяжения литийсодержащих двойных и тройных расплавов на основе свинца и висмута. Впервые произведены и представлены измерения поверхностного натяжения для расплавов системы свинец–литий в интервале от чистого свинца до 0,20 молярных долей лития при температурах от ликвидусных до 700 К. На изотермах поверхностного натяжения обнаружен минимум в области 7% лития. Можно отметить, что результат измерения поверхностного натяжения сплава эвтектического состава при 633 К (рис. 33) в пределах погрешности измерений совпадает с результатом нецитированной в обсуждаемой диссертации работе [H.E.J. Schins, *Liquid Metals for Heat Pipes, Properties, Plots and Data Sheets*, JRC-Ispra (1967)], хотя температурный коэффициент поверхностного натяжения для эвтектического расплава в указанной работе сильно отличается от представленного в обсуждаемой диссертации.

Исследования поверхностного натяжения расплавов висмут–литий в интервале составов от чистого висмута до 0,105 молярных долей лития в температурном интервале 650–730 К также проведены впервые. На изотерме для 683 К показано наличие минимуму в районе 2% лития.

Оригинальным является исследование поверхностного натяжения тройных сплавов, образованных добавками до 0,33 молярных долей лития к эвтектическому

составу висмут–свинец. Температурные зависимости тройных сплавов показывают качественную изменчивость по мере роста содержания лития. Если двойная эвтектика висмут–свинец демонстрирует линейную температурную зависимость, то небольшие добавки лития принципиально изменяют ход температурной зависимости, с ростом температуры происходит резкое падение поверхностного натяжения, которое сменяется слабым уменьшением при дальнейшем росте температуры. С увеличением концентрации лития политермы становятся линейными.

Определенной научной новизной характеризуются и приведенные в рассматриваемой диссертации результаты экспериментальных исследований смачиваемости поверхностей реакторных сталей жидкими двойными и тройными сплавами системы свинец-висмут-литий в зависимости от концентрации лития в широкой области температур.

Степень достоверности и обоснованности научных положений и выводов диссертационной работы. Методический уровень экспериментов по смачиванию сталей металлическим расплавом соответствует современным достижениям экспериментальной техники. Методика измерений поверхностного натяжения металлических расплавов, в том числе с участием лития, базируется на многолетнем опыте подобных измерений, накопленном на физическом факультете КБГУ и имеющем мировое признание. То, что экспериментальная техника в рассматриваемой работе находится на переднем крае науки, подтверждается патентом на изобретение измерительного прибора и свидетельством на программу для ЭВМ, одним из авторов которых является автор рассматриваемой диссертации. Полученные в работе экспериментальные результаты и базирующиеся на них результаты расчетов адсорбции, предельной поверхностной активности и оценка толщины поверхностного слоя, не противоречат современным научным представлениям.

Особенности адсорбционных процессов в исследованных системах свинец–литий, висмут–литий и свинец–висмут–литий обсуждаются в работе с привлечением сведений о строении соответствующих расплавов, взятых из научной литературы, а также путем формулирования гипотез, не противоречащих известным представлениям о строении расплавов.

Таким образом, полученные в диссертационной работе результаты 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 конференциях и получили одобрение специалистов.

Оценка значимости для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта. Представлены новые решения, направленные на совершенствование техники измерения поверхностного натяжения металлических расплавов с участием щелочного металла, которые могут быть использованы при дальнейших исследованиях. 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 расплавами системы свинец–висмут–литий реакторных сталей 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) Недостаточно подробно для экспериментальной работы дано описание вакуумного поста и заправочной части. Не ясно, как компонент А (видимо, литий) попадает в стакан емкости 1 на рисунке 20. Ошибочно утверждение о замораживании капли при охлаждении до *ликвидусной* температуры (конец раздела 2.1).

2) Было бы желательным подробнее остановиться на расчете погрешностей. Например не ясно, является ли указанная относительная погрешность измерений в 2 % систематической, случайной или суммарной. Какова доверительная вероятность? При нахождении аппроксимирующих уравнений методом наименьших квадратов было бы полезно указывать погрешности по каждому из двух коэффициентов линейного уравнения регрессии.

3) При обсуждении получаемых результатов диссертант часто ссылается на некоторые критерии поверхностной активности. При этом следовало бы сформулировать эти критерии.

4) Судя по описанию, приведенному в диссертации, изменение углов смачивания происходит как в зависимости от температуры, так и со временем. Для интерпретации результатов было бы полезным разделить эти зависимости.

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 Дышековой Фатимы Феликсовны «Поверхностное натяжение расплавов свинца и висмута с участием лития и смачиваемость ими реакторных сталей», 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
06.05.2016
savvin-vs@yandex.ru

Подпись профессора Саввина В.С. заверяю

Директор ИАТЭ НИЯУ МИФИ



Айрапетова Н.Г.