

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Ламуевой Марины Владимировны
«Верификация разрезов многомерных фазовых диаграмм и
полиэдрация концентрационных комплексов в задачах разработки
материалов расплавно-солевого реактора 4-го поколения»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

Как известно, одной из центральных проблем мировой ядерной энергетики является модернизация конструкций ядерных реакторов с целью повышения их безопасности, устойчивости, эффективности, уменьшения стоимости. В настоящее время подавляющее большинство реакторов, находящихся в эксплуатации во всем мире, относятся к системам второго поколения и, по состоянию на 2021 год, существуют всего несколько реакторов третьего поколения. Однако, по планам Всемирной ядерной ассоциации, реакторы четвертого поколения могут войти в коммерческую эксплуатацию в период до 2030 года, а по сообщениям «Росатома» уже в середине 20-х годов XXI века в России появится действующий реактор четвертого поколения.

Одним из перспективных проектов реакторов четвертого поколения считается т.н. расплавно-солевой реактор, в котором первичный теплоноситель ядерного реактора и/или топливо представляет собой солевой расплав смеси. При этом в качестве возможных расплавно-солевых топливных композиций рассматриваются различные многокомпонентные фторидные, хлоридные и фторидно-хлоридные взаимные системы. Поэтому исследование физико-химических свойств подобных систем является важной задачей, лежащей на стыке интересов ядерной энергетики, физического материаловедения и физико-химического анализа.

Диссертационная работа Ламуевой Марины Владимировны посвящена разработке комплексной методологии исследования многокомпонентных фторидных, хлоридных и фторид-хлоридных взаимных систем, что позволяет прогнозировать свойства таких систем при их использовании в расплавно-солевых ядерных реакторах четвертого поколения.

Учитывая вышеизложенное, **актуальность** темы диссертационного исследования Ламуевой М.В., на мой взгляд, не вызывает сомнения.

Связь диссертационной работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Диссертационная работа выполнена в соответствии с тематическим планом фундаментальных исследований Института физического материаловедения СО РАН: проект 0336-2019-0008 «Физические характеристики, структурные особенности и функциональные свойства композитных материалов» (государственная регистрация № 01201366187) (2017-2020) и проект 0270-2021-0002 «Физические характеристики, особенности строения, фазовые диаграммы и функциональные свойства композитных структур и материалов» (государственная регистрация № 121033000126-5) (2021-2023), а также при финансовой поддержке РФФИ: проект № 19-38-90035 Аспиранты «Полиэдрация концентрационных комплексов и верификация разрезов многомерных фазовых диаграмм в задачах разработки материалов расплавленно-солевого реактора 4-го поколения» (2019-2021).

Содержание диссертационной работы и ее завершенность

Диссертационная работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ к оформлению диссертаций. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, а также приложений. Работа содержит 125 страницы машинописного текста сплошной нумерации, 58 рисунков и 23 таблицы (в том числе 27 рисунков и 3 таблицы в приложениях). Список литературы включает 127 источников.

Во введении обсуждается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования. Также показаны научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор литературы, в которой кратко обсуждаются общие принципы построения пространственных компьютерных моделей T-x-y и T-x-y-z диаграмм, перечисляются некоторые типы фазовых диаграмм фторидных и хлоридных систем, а также формулируются основные идеи полиэдрации многокомпонентных взаимных систем. В конце главы на основании обзора литературы сформулированы основные задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена обобщенному геометрическому описанию тройных систем, формирующих четырехкомпонентную систему LiF-NaF-CaF₂-LaF₃. Для этого построены пространственные компьютерные модели всех четырех тройных систем и проведен прогноз T-x-y-z диаграммы этой фторидной системы. Проведен прогноз геометрического строения T-x-y-z диаграммы LiF-NaF-CaF₂-LaF₃ и сконструирована 4D компьютерная модель ее прототипа.

В третьей главе представлена 4D компьютерная модель T-x-y-z диаграммы хлоридов урана, натрия, магния и плутония и четыре 3D компьютерные модели T-x-y диаграмм формирующих ее систем. На основе данных о строении ограничивающих тройных систем построена 4D модель прототипа T-x-y-z диаграммы и далее – 4D модель T-x-y-z диаграммы системы $UCl_3-NaCl-MgCl_2-PuCl_3$.

Четвертая глава посвящена полиэдрации четверной взаимной системы Li,Na,UHF,Cl. Показано, что полиэдрация системы Li,Na,UHF,Cl с соединениями $3NaF \cdot UF_4$ и $7NaF \cdot 6UF_4$ возможна в трех вариантах, и каждый в результате приводит к пяти четверным подсистемам.

В пятой главе представлена разработка технических заданий для прототипирования разборных T-x-y диаграмм на основе совместного использования графического пакета AutoCAD и табличного процессора Excel. При этом методология прототипирования демонстрируется на T-x-y диаграммах двух типов: эвтектической и с двойным инконгруэнтно плавящимся соединением.

В целом материал работы изложен последовательно, полно и логично, а сама диссертация написана грамотным научно-техническим языком. В диссертации и автореферате в полной мере представлены необходимые результаты для изучения и ознакомления с работой, при этом текст автореферата соответствует основному содержанию диссертации.

Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна

Все основные научные результаты, полученные соискателем, обладают научной новизной. При этом среди основных результатов работы, на мой взгляд, можно выделить следующие, как наиболее существенные:

1. Развита оригинальный метод расшифровки геометрического строения T-x-y-z диаграмм четырехкомпонентных систем с помощью табличных и четырехмерных схем ди-, моно- и нонвариантных состояний.
2. Построены 3D компьютерные модели T-x-y диаграмм систем, формирующих фазовые диаграммы фторидной $LiF-NaF-CaF_2-LaF_3$ и хлоридной $UCl_3-NaCl-MgCl_2-PuCl_3$ систем.
3. Выполнен прогноз геометрического строения T-x-y-z диаграмм $LiF-NaF-CaF_2-LaF_3$ и $UCl_3-NaCl-MgCl_2-PuCl_3$ и построены соответствующие 4D компьютерные модели.
4. Разработана методология построения 3D моделей T-x-y диаграмм на основе совместного использования графического пакета AutoCAD и табличного процессора Excel.

Работа хорошо апробирована. Материалы работы докладывались на всероссийских и международных конференциях. Основные научные результаты опубликованы в 48 работах, в т.ч. в 23 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ (РИНЦ, Scopus, Web of Science).

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность построенных 3D и 4D компьютерных моделей фазовых диаграмм подтверждается сопоставлением с имеющимися экспериментальными данными, в частности, с экспериментальными изо- и политермическими разрезами и проекциями ликвидуса. Корректность геометрического строения полученных диаграмм подтверждается выполнением основных положений геометрической термодинамики. Основные выводы диссертации обоснованы теоретически, согласуются между собой и сопоставимы с данными других исследователей (авторов, работ) в тех случаях, где сопоставление возможно. Все это обеспечивает надежность и обоснованность основных положений и выводов работы.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов и выводов

Автором выполнено интересное и полезное исследование в области построения фазовых диаграмм тройных и четверных фторидных и хлоридных систем, а также четверных фторид-хлоридных систем. Полученные Ламуевой М.В. результаты вносят существенный вклад в понимание фазовых равновесий в этих системах и, как следствие, позволяют прогнозировать их физико-химические свойства в широком интервале температур. Особо следует подчеркнуть развитый последовательный методологический подход при моделировании подобных систем.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты диссертационной работы могут быть использованы для дальнейшего исследования физико-химических свойств тройных и четверных фторидных и хлоридных систем, а также четверных фторид-хлоридных систем. Полученные результаты представляют интерес для специалистов в области физико-химического анализа, физического материаловедения и атомной энергетики МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, НИТУ МИСИС, НИЯУ МИФИ, ИМЕТ РАН, ГК «Росатом».

Замечания по диссертации

1. В ходе выполнения диссертационной работы соискатель использовал программы «Редактор фазовых диаграмм» (PD Editor) и «Конструктор фазовых диаграмм» (PD Designer) (автореферат, С.5). Однако, из диссертационной работы неясно, чем обусловлен выбор именно этих программ. Так же было бы полезным дать краткий сравнительный анализ этих программ с альтернативным коммерческим программным обеспечением для термодинамического моделирования фазовых диаграмм.

2. Формулируя основные результаты диссертационной работы, автор утверждает (автореферат, С.18, п.5): «Для прототипирования фазовых диаграмм и их фрагментов разработана *технология* построения 3D моделей Т-х-у диаграмм на основе совместного использования графического пакета AutoCAD и табличного процессора Excel». Неясно, какой смысл автор вкладывает в термин «технология». На мой взгляд, термин «методология» был бы более удачным и точным.

3. Имеются замечания по оформлению работы.

Так, в частности, статус публикации соискателя [5] (автореферат, С.19) указан «принято к печати».

Общее количество литературных источников в диссертации – 127, а в автореферате (С.7) – 126.

В диссертационной работе нарушена нумерация ссылок: на С.11 после ранее встречающихся в тексте ссылок [1-10] возникает ссылка [29], на С.13 после ранее встречающихся в тексте ссылок [1-30] возникают ссылки [45-48] и т.д.

Заключение

Следует отметить, что сделанные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку представленной диссертационной работы. Из сказанного выше можно сделать вывод, что диссертация Ламуевой Марины Владимировны «Верификация разрезов многомерных фазовых диаграмм и полиэдрация концентрационных комплексов в задачах разработки материалов расплавно-солевого реактора 4-го поколения» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой развита методология исследования многокомпонентных фторидных, хлоридных и фторид-хлоридных взаимных систем для подбора оптимальных составов, удовлетворяющих требованиям концепции расплавно-солевого ядерного реактора четвертого поколения.

Полученные в исследованиях Ламуевой М.В. научные результаты и сделанные на основании этих результатов выводы являются оригинальными, достоверными и обоснованными. Это подтверждают публикации автора в высокорейтинговых научных изданиях.

Автореферат адекватно и полно отражает содержание диссертации. Публикации соискателя соответствуют содержанию диссертации и отражают научные результаты работы. Тематика выполненных Ламуевой М.В. исследований соответствует паспорту научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

На мой взгляд, диссертация Ламуевой М.В. по форме и содержанию соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Ламуева Марина Владимировна, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры физики твердого тела и микроэлектроники
Института электронных и информационных систем
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого»

Захаров Максим Анатольевич

Проректор по научной работе и инновациям
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого»
доктор технических наук, доцент



Ефременков А.Б.

Контактные данные:

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

173003, г. Великий Новгород, ул. Б.С.-Петербургская, д. 41

Телефон: раб.: 8 (8162) 97-42-70; моб.: 8 (911) 623-01-68

Адрес электронной почты: Maxim.Zakharov@novsu.ru

*01.04.04 - физика конденсированного
состояния*