



**ВНИИМ**

им. Д.И. Менделеева

Федеральное государственное унитарное  
предприятие «Всероссийский научно-  
исследовательский институт  
метрологии им. Д.И. Менделеева»  
(ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева)

Московский пр., д. 19, Санкт-Петербург, 190005  
Тел.: (812) 251-76-01, факс: (812) 713-01-14  
e-mail: info@vniim.ru | www.vniim.ru  
ИНН 7809022120, КПП 783901001, ОКПО 02566450  
ОГРН 1027810219007

21 АВГ 2026

№

15355

на №

от

О направлении отзыва на автореферат

Уважаемый Владимир Викторович!

Направляем Вам отзыв на автореферат диссертации Хайрулина Андрея Рашидовича на тему «Экспериментальное исследование энтальпии и теплоемкости жидких сплавов щелочных металлов со свинцом и висмутом», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Приложение: Отзыв на автореферат на 3 л. в 1 экземпляре.

Заместитель генерального директора

К.В. Чекирда



Зарипова Е.А., специалист сектора диссертационного совета  
Тел. (812)323-96-24, e.a.zaripova@vniim.ru



**ВНИИМ**

им. Д.И. Менделеева

## **Отзыв**

на автореферат диссертации Хайрулина Андрея Рашидовича  
«Экспериментальное исследование энтальпии и теплоемкости жидких сплавов  
щелочных металлов со свинцом и висмутом»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических  
наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертационная работа Хайрулина А.Р. посвящена решению актуальных задач теплофизики и материаловедения – получению прецизионных экспериментальных данных по энтальпии и теплоемкости перспективных жидкометаллических теплоносителей и материалов, а также исследованию фундаментальных закономерностей поведения сложных ионно-металлических расплавов.

**Актуальность темы** не вызывает сомнений. Жидкие сплавы щелочных металлов со свинцом и висмутом прежде всего рассматриваются как кандидаты для применения в ядерной и термоядерной энергетике. Однако на практике их применение сдерживается дефицитом достоверных данных о теплофизических свойствах, особенно в области высоких температур и для широкого спектра концентраций. Разработка эффективной и безопасной конструкции реактора требует выполнения большого числа тепловых, гидравлических и прочностных расчетов, а для этого необходимы достоверные данные по теплофизическим свойствам теплоносителя. В этой связи, работа Хайрулина А.Р., направленная на восполнение этого пробела, является своевременной и востребованной.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

Впервые методом массивной изопериболической калориметрии измерены энтальпия и теплоемкость широкого круга сплавов систем Li-Pb, Na-Pb, K-Pb, Cs-Pb, Rb-Bi и Cs-Bi в широком интервале температур. Впервые обнаружены и количественно охарактеризованы максимумы на концентрационных зависимостях теплоемкости для систем Cs-Pb, Rb-Bi и Cs-Bi, а также минимумы энтальпии смешения для систем Rb-Bi и Cs-Bi. Автором уточнены фазовые диаграммы ряда сплавов и созданы справочные таблицы калорических свойств. Эти результаты существенно расширяют существующие представления о поведении данного класса расплавов.

### **Практическая значимость.**

Значимость результатов диссертации для науки и практики состоит в следующем: Созданный банк данных по калорическим свойствам критически важен для тепловых, гидравлических и прочностных расчетов при проектировании ядерных и термоядерных реакторов. Полученные закономерности (корреляции между теплоемкостью, электросопротивлением и объемным расширением) служат надежным фундаментом для дальнейшего развития теории ионно-металлических расплавов. Для возможно более широкого использования методических наработок другими специалистами, диссертантом аттестована модернизированная методика измерений (ГСССД МЭ 282-2025). Методика представляет самостоятельную метрологическую ценность.

**Обоснованность и достоверность результатов** обеспечена использованием современных высокоточных методов и аппаратуры, тщательной калибровкой и верификацией установки по эталонному материалу (лейкосапфиру), детальным анализом погрешностей, а также хорошим соответствием полученных данных для чистых металлов и эталонных составов с надежными литературными источниками. Корректная математическая обработка данных и анализ их воспроизводимости подтверждают высокий уровень доверия к выводам автора.

**Структура и содержание автореферата** полностью соответствуют требованиям ВАК. Автореферат логично построен, четко отражает цели, задачи и основные результаты работы. Представленный материал свидетельствует о глубокой проработке темы автором, хорошем владении им как методами эксперимента, так и методами теоретического анализа. В списке публикаций соискателя достаточно статей в ведущих рецензируемых журналах, что подтверждает полноту апробации работы.

**В качестве замечаний хотелось бы отметить следующее:**

1. «достоверность полученных в работе результатов обеспечена использованием надежной и апробированной экспериментальной установки, тщательной калибровкой и верификацией установки по эталонному материалу (лейкосапфиру)». Как апробирована экспериментальная установка через справочные данные по удельной теплоемкости лейкосапфира? Утвержденных справочных данных по удельной теплоемкости лейкосапфира и его удельной энтальпии нет. Если это градуировка или калибровка средства измерений по стандартному образцу, то в расчетах погрешности измерений необходимо обязательно учитывать погрешность измерений используемого калориметра.
2. Для применяемого оборудования определен класс средств измерений – калориметры смешения (дроп-калориметры). Автор применяет не стандартизованное название «изопериболический калориметр»
3. Понятие калорических свойств является частью понятия теплофизических свойств и применяется, в основном для определения свойств, полученных расчетным методом, например, по квантово-механическим уравнениям. Тем более автор рассматривает свойства веществ в разных температурных диапазонах, а термин «калорические свойства» применяется для того, чтобы подчеркнуть, что характеристика изменения энергии определена. Желательно пользоваться стандартизованными терминами.
4. В главе 4 отмечается, что теплоемкость сплавов значительно превышает аддитивные значения, причем этот эффект убывает с ростом температуры. Можно ли на основе полученных температурных зависимостей избыточной теплоемкости оценить энтропию образования ионных комплексов? Планируется ли проведение такой термодинамической оценки в дальнейшем?

5. По оформлению. Диссертант в двух местах текста автореферата (стр. 3 и стр. 11) перепутал свои собственные инициалы. Будем надеяться, что при выдаче диплома кандидата наук его инициалы не будут перепутаны.

Указанные замечания носят характер уточнения и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы, а скорее демонстрируют широкое поле для дальнейших исследований и дискуссий, которое открывают результаты автора.

**Заключение.** Ознакомление с авторефератом Хайрулина Андрея Рашидовича оставляет уверенное впечатление, что эта работа - законченное научное исследование в актуальной области, соответствует специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника. Полученные результаты обладают безусловной научной новизной и практической значимостью. По объему, содержанию и научному уровню работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Хайрулин Андрей Рашидович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук.

Главный научный сотрудник лаборатории Государственных эталонов и научных исследований в области измерений теплового расширения и комплексного термического анализа ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева", доктор технических наук по специальности 05.11.15 Метрология и метрологическое обеспечение (2.2.10), старший научный сотрудник.

Компан Татьяна Андреевна

20 августа 2026 г.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»)

190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 19

Телефон: +7 (812) 251-76-01

Электронная почта: info@vniim.ru

Подпись Компан Т.А. удостоверяю начальник отдела кадров



О.В. Копылова

20.08.2026