

**Сведения**  
об официальном оппоненте

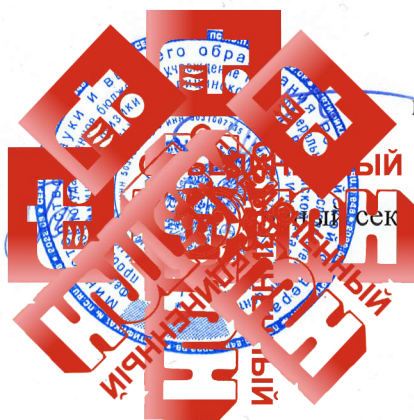
Фамилия, имя, отчество	Николаев Дмитрий Николаевич
Гражданство	РФ
Ученая степень	Кандидат наук
Отрасль науки	Физико-математические науки
Специальность	01.04.17 Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества
Ученое звание	нет
Должность	Заведующий лабораторией
Место работы	Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН
Организационно-правовая форма	ФИЦ
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Структурное подразделение	Отдел экстремальных состояний вещества, Лаборатория высоких динамических давлений
Адрес электронной почты	nik@ficr.ac.ru
Телефон	+7(496) 522-51-64, +7(917)537-40-03

**СПИСОК**

опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях официального оппонента по защите диссертации Кондратьева Арсения Михайловича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Теплофизические свойства флюидов металлов и углерода в широкой области состояний на плоскости давление - удельный объем», по специальности 1.3.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

№	Название публикации	Тип	Соавторы	Выходные данные	Перечень ВАК
1	Измерение упругого предела гюгонио в керамике "идеал"	Научная статья	Шевченко В.Я., Орыщенко А.С., Лепин В.Н., Лушников А.В., Алдошин С.М., Перевислов С.Н., Ломоносов И.В., Савиных А.С., Гаркушин Г.В., Разорёнов С.В., Мочалова В.М., Уткин А.В., Николаев Д.Н., Минцев В.Б.	Физика и химия стекла, Т. 50, № 1, с. 3–11, 2024	Да

2	Измерение вязкости расплава серы методом протонной микроскопии	Научная статья	Хурчиев А.О., Гаврилин Р.О., Скобляков А.В., Канцырев А.В., Голубев А.А., Минцев В.Б., Николаев Д.Н., Шилкин Н.С., Беликов Р.С.	Дефектоскопия, № 10, с. 28–35, 2024	Да
3	Shock response of two epoxy resins at up to 330 GPa pressure	Научная статья	Mochalova V.M., Utkin A.V., Nikolaev D.N., Savinykh A.S., Garkushin G.V., Kapasharov A.T., Malkov G.V.	Journal of Applied Physics, T. 136, № 4, с. 045902-1 - 045902-10, 2024	Нет
4	Shock induced melting of sapphire	Научная статья	Ostrik A.V., Nikolaev D.N.	Journal of Physics: Conference Series T. 2154 с. 012010 2022	Нет
5	Shock response of unidirectional carbon polymer composite up to pressures of 200 GPa	Научная статья	Mochalova V.M., Utkin A.V., Nikolaev D.N.	Journal of Applied Physics, T. 133, № 24, с. 245902-1 - 245902-9, 2023	Нет
6	Пирометрическая методика во взрывном эксперименте	Научная статья	Кулиш М.И., Николаев Д.Н., Дудин С.В., Минцев В.Б.	Приборы и техника эксперимента, № 6, с. 164–175, 2025	Да



к.ф.-м.н. Николаев Д.Н.

секретарь, д.х.н. Психа Б.Л.

08 мая 2026г.

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Кондратьева Арсения Михайловича «Теплофизические свойства флюидов металлов и углерода в широкой области состояний на плоскости давление - удельный объем» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

**Диссертационная работа Кондратьева Арсения Михайловича** посвящена актуальной и практически важной теме - созданию экспериментальной установки для исследования теплофизических свойств металлов методом электровзрыва, и получения экспериментальных данных по свойствам трех материалов -- чистого свинца, эвтектического сплава свинец - висмут (СВЭС) и твердого и жидкого углерода. Исследованиям теплофизических свойств металлов посвящено множество как теоретических, так и экспериментальных работ, о чем свидетельствует детальный разбор литературы, проведенный автором. Особенный интерес представляет изучение свойств углерода в области плавления при высоких давлениях. В результате, Кондратьевым А. М. была верно выбрана цель работы и сформулированы задачи, обеспечивающие достижение этой цели. **Целью диссертационной работы** является получение экспериментальных данных по теплофизическим свойствам жидкого свинца, СВЭС в жидком состоянии, а также графита и жидкого углерода в области состояний, которая до настоящего времени экспериментально не исследовалась и на плоскости плотность – давление соответствует относительно широкому интервалу давлений (до 5 ГПа) и значений удельного объема (до значений в 5–20 раз больших, чем нормальный) и определение экспериментальных данных по теплофизическим свойствам графита и жидкого углерода в окрестности линии плавления при давлениях 0,5–1,5 ГПа. Также в цели работы входит оценка систематической погрешности измерений, в том числе, при значениях давления и удельного объема, для которых невозможно провести сравнение с литературными данными.

Объем диссертации составляет 122 страницы, содержит 42 рисунка, 5 таблиц и включает в себя 97 ссылок на литературные источники. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений.

**Во введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы цели и задачи работы, показаны ее научная новизна, обоснована достоверность результатов, их научная и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, а также описан личный вклад автора.

**В первой главе** диссертационной работы проведен обзор экспериментальных методик, используемых для изучения свойств металлов при высоких давлениях и температурах, а также обзор доступных литературных данных по экспериментально определенным свойствам трех материалов, которым посвящена диссертационная работа.

**Во второй главе** работы описывается экспериментальная методика. Для исследования свойств веществ автором был создан вариант методики взрывающихся проволочек. Вообще, методика взрывающихся проволочек, или изохорический нагрев вещества, используется во многих лабораториях. Кондратьев А. М. использовал редко встречающийся вариант методики - с образцом в виде фольги или тонкой пластинки, зажатой между значительно более толстыми пластинами из прозрачного твердого диэлектрика (сапфир или кварцевое стекло). Такая постановка с акустически жесткой стенкой позволяет значительно, до величин более 5 ГПа, поднять давление в образце, при этом степень расширения вещества может достигать 20 - кратной относительно нормального объема. Предложенная методика позволяет исследовать вещество при параметрах, недостижимых при традиционным расширением в газовую среду. Следует отметить, что вещество расширяется одномерно, то есть только по толщине, при этом площадь образца сохраняется и краевые эффекты не оказывают влияния на область, где происходят измерения. Показано, что данная методика в одном эксперименте может обеспечить измерение всех термодинамических параметров, необходимых для построения калорического уравнения состояния вещества. Для обоснования достоверности методики автором исследуются вопросы однородности распределения параметров в образце, толщины скин-слоя течения тока, делается оценка пондеромоторных сил и теплопотерь в диэлектрическую стенку. Проводятся оценки времени распространения возмущений, которые могут повлиять на одномерность расширения и однородность расширенного образца. Автор приводит методику расчета термодинамических величин в образце, исходя из измеренных данных. Соискатель описывает теорию интерферометрической методики для независимого и непрерывного измерения объема расширенного образца с высокой точностью и определения давления. В конце главы 2 приводится подробное описание экспериментальной установки, а также тщательно выполненные оценки погрешностей измерения физических величин.

**В третьей главе** приводятся результаты по измерениям термодинамических величин и удельного электросопротивления свинца. Выполненные эксперименты находятся в области расширенного сверхкритического флюида с объемом до 20 раз выше нормального и с давлениями до 5 ГПа. Представлены зависимости плотности от энтальпии, удельного электрического сопротивления и коэффициента Грюнайзена от

степени расширения. Выполнено сравнение полученных экспериментальных данных с данными других авторов. Следует отметить, что полученные данные также приводятся в приложении к диссертации в виде стандартных таблиц термодинамических величин.

Также в третьей главе подробно описывается методика измерения скорости слабых ударных волн (УВ) в расширенном нагретом веществе. Ударная волна возбуждается импульсом мощного лазера, а для измерения ее скорости используется двухканальный интерферометр. Автор сравнивает измеренные скорости УВ с рассчитанными по уравнению состояния, что используется для обоснования приемлемых погрешностей измерения термодинамических свойств материалов в области, в которой отсутствуют данные других авторов. Приведенные данные об отклонении скоростей на 2-16% соответствуют величинам погрешностей измерений, обоснованным в главе 2. Интересно отметить обнаруженный автором эффект смены знака зависимости изохорического температурного коэффициента сопротивления при определенном удельном объеме,  $V/V_0 = 2.7$ .

**В четвертой главе** описывается работа с образцами из свинцово-висмутового эвтектического сплава. Приводятся аналогичные главе 3 результаты по измерениям термодинамических величин и удельных электросопротивлений СВЭС. Область состояний отличается: состояния расширены на величину до 8 раз, давления до 5 ГПа. Представлены зависимости плотности от энтальпии, удельного электрического сопротивления и коэффициента Грюнайзена от степени расширения. Выполнено сравнение данных с литературными данными. Полученные данные также приводятся в приложении к диссертации в виде стандартных таблиц термодинамических величин. Для СВЭС существуют данные по измерению скорости звука в расширенном нагретом веществе, что позволило провести сравнение данных по скорости звука с экспериментом. Интересно отметить обнаруженный автором максимум на зависимости удельного электросопротивления от энтальпии. Он надежно фиксируется на всех экспериментальных зависимостях, обусловлен свойствами сплава и не связан с погрешностями измерений. Аналогично свинцу, в СВЭС зафиксирован объем  $V/V_0 = 2.4$ , при котором меняется знак зависимости изохорического температурного коэффициента сопротивления от объема. Также в главе 4 описывается метод оценки квазистатичности процесса джоулева нагрева образца: в одну и ту же точку по давлению можно прийти по разным траекториям на фазовой диаграмме, и при этом и энтальпия, и удельное сопротивление также одинаковы.

**В пятой главе** приводятся результаты исследования твердого и расплавленного графита. Измерения выполнены по схеме, аналогичной двум исследуемым ранее

веществам, основное отличие - использование как оконного материала двух различных веществ с различной динамической жесткостью. Из-за этого полученные траектории нагрева делятся на две характерные группы. На зависимости удельного сопротивления от объема отмечены точки, характеризующие начало и конец плавления углерода. Знак зависимости изохорического температурного коэффициента сопротивления от объема различен для твердого и расплавленного углерода. Отмечено хорошее совпадение зависимости плотности от энтальпии на изобаре 0.011 ГПа с литературными данными. Также в главе 5 делается обсуждение критики использованной методики измерения давления при помощи интерферометра.

**В заключении** сформулированы четыре основных новых научных результата работы.

По моему мнению, к основным **достоинствам** работы можно отнести:

- создание собственной установки для методики электровзрыва, дополнение ее методиками измерения давления (отличающейся от ранее применявшегося рубинового датчика давления), измерения скорости слабых УВ в сверхкритическом флюиде. Оба этих метода дают достоверные данные, на установке можно исследовать и другие вещества с достаточной начальной электропроводностью;

- освоение соискателем непростой "кухни" электрофизического эксперимента, методов измерения и расчета физических величин, построения уравнений состояния;

- выполнение дополнительных методических исследований с двухканальным интерферометром, позволяющих оценить однородность параметров нагретого металла;

- внимание к оценкам погрешностей эксперимента;

- наличие в диссертации приложения в виде таблиц термодинамических величин в стиле справочников физических величин и монографий Н. Б. Варгафтика, И. К. Кикоина, В.А.Рабиновича. Это может быть полезным для широкого круга научных сотрудников и инженеров.

В качестве **замечаний** следует отметить:

- некорректное обращение с термином "акустический импеданс". Правильнее использовать "волновой импеданс" - термин, сформулированный для плоской звуковой волны;

- не рассматривается возможное влияние профиля давления слабой УВ в образце в направлении поперек луча лазера, связанного с профилем интенсивности лазерного излучения в пятне в описании данной методики в главе 3;

- в методике измерения скорости слабой УВ в расширенном веществе автор независимо измеряет скорость УВ по времени прохождения зазора, и рассчитывает ее по

уравнению состояния, исходя из измеренного скачка массовой скорости и давления на противоположном окне. Измерения выполнены верно, однако следует учитывать, что зафиксированный скачок давления соответствует двукратному ударному сжатию флюида свинца при отражении от окна из сапфира. Давление в прямой УВ меньше, в предельном случае абсолютно жесткой стенки - 0.5 от давления в отраженной УВ. В реальных экспериментах на соотношение давлений в прямой и отраженной УВ влияет соотношение динамической жесткости сапфира и флюида свинца, это 0.7 - 0.9. Данная неточность несущественно меняет оценки погрешностей; интересно, что для большинства точек - в лучшую сторону.

Актуальность работы определяется тем, что как чистый свинец, так и СВЭС уже использовались, используются, и планируются к использованию в перспективных ядерных реакторах с жидкометаллическим теплоносителем. Исследование теплофизических свойств этих материалов важно для оценки характера развития аварийных ситуаций с перегревом и вскипанием теплоносителя. Что касается углерода, его поведение вблизи кривой плавления при различных давлениях уже много десятилетий представляет значительный научный интерес. Знание его свойств важны для разнообразных приложений, начиная от тепловой защиты космических кораблей до внутреннего устройства планет, газодинамического расчета астероидных соударений и понимания его фазовой диаграммы.

Научная новизна работы определяется прежде всего тем, что впервые получены уникальные экспериментальные данные по теплофизическим свойствам сверхкритического флюида свинца и СВЭС при ранее недостижимых параметрах по давлению и степени расширения. Впервые экспериментально измерены скорости распространения слабых ударных волн в жидком расширенном свинце. Впервые в условиях полностью определенного термодинамического состояния измерены скачки плотности, энтальпии и удельного электросопротивления при плавлении графита в интервале давлений 0,5–1,5 ГПа. Впервые, по результатам прямых измерений свойств металлов и твердого и жидкого углерода, определен знак изохорического температурного коэффициента сопротивления для этих веществ.

Научная значимость работы подтверждается практической важностью объектов исследования, ранее плохо исследованной или не исследованной вовсе областью на фазовой диаграмме, где выполнены измерения. Определяемый в эксперименте набор данных достаточен для построения калорического уравнения состояния. Также следует отметить аккуратную работу Кондратьева А. М. над погрешностями эксперимента и достоверность полученных данных.

Результаты работы могут быть использованы на предприятиях и в институтах Росатома, занимающихся разработкой реакторов с жидкометаллическим теплоносителем, а также вопросами атомной безопасности. Результаты по графиту могут представлять интерес для предприятий Роскосмоса, например - для использования в расчетах уноса массы или пробивания метеоритом перспективных теплоизоляционных и конструкционных материалов типа углерод-углерод или углепластик. Отметим, что в случае разработки жидкометаллического реактора для космических применений, интересы этих организаций тесно переплетаются.

Результаты диссертации неоднократно докладывались на международных и всероссийских конференциях (в списке 12 конференций и совещаний). Опубликовано 6 статей в ведущих научных журналах и изданиях, включенных в международные системы цитирования. Данная библиография содержит полную информацию о полученных результатах. Приведенная в диссертации библиография отражает современный уровень проблемы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Следует отметить личный вклад автора: научный труд, начиная от создания экспериментальной установки и получения результатов, и до формулирования положений, выносимых на защиту и написания диссертации, А. М. Кондратьевым сделаны самостоятельно.

Диссертационная работа Кондратьева А. М. выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд новых результатов, имеющих практическое значение. Выводы диссертации, сделанные на основе полученных результатов, являются обоснованными и их достоверность не вызывают сомнений.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует всем критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24.09.2013г., а ее автор, Кондратьев Арсений Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 - теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв составил: оппонент, зав. лабораторией Высоких динамических давлений, отдела Экстремальных состояний вещества государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской физики Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН) 142432, Проспект академика Семенова, д. 1, г. Черноголовка, г. о. Черноголовка, Московская обл., +7 (49652) 244-74 [nik@icp.ac.ru](mailto:nik@icp.ac.ru)

к.ф.-м.н.



Николаев Дмитрий Николаевич.

8 мая 2026г.

Ученый секретарь государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра проблем химической физики и медицинской физики Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), Проспект академика Семенова, д. 1, г. Черноголовка, г. о. Черноголовка, Московская обл., +7 (49652) 244-74, [psi@icp.ac.ru](mailto:psi@icp.ac.ru)

д.х.н.



Психа Борис Львович

Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской физики Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), Проспект академика Семенова, д. 1, г. Черноголовка, г. о. Черноголовка, Московская обл., +7 (49652) 244-74 [icp-ras.ru](mailto:icp-ras.ru) [office@icp.ac.ru](mailto:office@icp.ac.ru)