

Заключение диссертационного совета МГУ.013.3
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 13 ноября 2025 г. № 8

О присуждении Руденко Юлии Константиновне, гражданке Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Распространение тепла в поверхностном слое жидкости и диагностика неизотермических течений на основе измерений полей температуры» по специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества принята к защите диссертационным советом МГУ.013.3 11 сентября 2025 г., протокол № 6.

Соискатель Руденко Юлия Константиновна, 1997 года рождения, обучалась в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» с 01.10.2021 г. по 30.09.2025 г.

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Уваров Александр Викторович, профессор кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Якимов Михаил Юрьевич, доктор физико-математических наук, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории лазерных разрядов,

Шеремет Михаил Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный исследовательский Томский государственный университет, механико-математический факультет, заведующий научно-исследовательской лабораторией моделирования процессов конвективного теплопереноса,

Моралев Иван Александрович, кандидат физико-математических наук, Объединенный институт высоких температур РАН, заведующий лабораторией №21.3 Плазменной аэродинамики и стимулированного горения
дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их профессиональной квалификацией и наличием публикаций в области химической физики, горения и взрыва, физики экстремальных состояний вещества.

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 7 работ, из них 6 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

1. Rudenko Yu.K. Horizontal convection driven by nonuniform radiative heating in liquids with different surface behavior / Vinnichenko N.A., Pushtaev A.V., Plaksina Yu.Yu., Rudenko Yu.K., Uvarov A.V. // International Journal of Heat and Mass Transfer – 2018. – Vol. 126, Part B. – P. 400-410. Импакт-фактор 5.8 (JIF), EDN: YBHJJZ, 1,3 печ. л., вклад автора 0,3.

2. Rudenko Yu.K. Horizontal convective flow from a line heat source located at the liquid-gas interface in presence of surface film / Rudenko Yu.K., Vinnichenko N.A., Plaksina Yu.Yu., Pushtaev A.V., Uvarov A.V. // Journal of Fluid Mechanics – 2022. – Vol. 944. – A35. Импакт-фактор 3.9 (JIF), EDN: ZMTKXC, 2,7 печ. л., вклад автора 0,5.

3. Rudenko Yu.K. Color-encoded M-array Background Oriented Schlieren for measurements of strongly refracting objects / Vinnichenko N.A., Andrianova A.V., Pushtaev A.V., Rudenko Yu.K., Plaksina Yu.Yu., Uvarov A.V. // International Journal of Thermofluids – 2023. – Vol. 18. – P. 100364. Импакт-фактор 1.43 (SJR), EDN: AICGWM, 0,6 печ. л., вклад автора 0,3.

4. Rudenko Y.K. Reconstruction of turbulent flow from temperature field measured using Background Oriented Schlieren / Rudenko Y.K., Vinnichenko N.A., Pushtaev A.V., Plaksina Y.Yu., Uvarov A.V. // International Journal of Thermofluids – 2024. – Vol. 23. – P. 100744. Импакт-фактор 1.43 (SJR), EDN: SKKRMD, 0,6 печ. л., вклад автора 0,6.

5. Rudenko Y. Complete characterization of axisymmetric turbulent jet using background oriented schlieren and physics-informed neural network / Rudenko Y., Vinnichenko N., Plaksina Y., Uvarova I., Ganichev A., Uvarov A. // Heat Transfer Research – 2025. – Vol. 56, No. 5. – P. 17-35. Импакт-фактор 1.6 (JIF), EDN: IIXZUB, 2,2 печ. л., вклад автора 0,6.

6. Rudenko Yu.K. Background-oriented schlieren with image processing based on phase-shifting profilometry / Vinnichenko N.A., Pushtaev A.V., Rudenko Yu.K., Plaksina Yu.Yu., Uvarov A.V. // Experiments in Fluids – 2025. – Vol.66, No. 3. – P. 47. Импакт-фактор 2.5 (JIF), EDN: WLPHRQ, 2,1 печ. л., вклад автора 0,3.

На диссертацию и автореферат поступило 2 дополнительных положительных отзыва.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены научные результаты и решены научные задачи, имеющие значение для развития химической физики, горения и взрыва.

Основные результаты работы:

1. Впервые получены автомодельные решения для задачи конвекции при нагреве поверхности жидкости линейным источником тепла в жидкостях с различными свойствами межфазной границы. В зависимости от граничных условий на поверхности конвекция обусловлена или преимущественно термокапиллярным эффектом, или взаимодействием термокапиллярного и концентрационного эффектов, что приводит к замедлению движения поверхности и ее полной блокировке.

2. С помощью расчетов гидродинамических течений, возникающих при нагреве поверхности жидкости линейным источником тепла, впервые проведен сравнительный анализ эффективности теплоотвода от нагреваемого линейного источника в зависимости от свойств поверхности. Показано, что при наличии поверхностной пленки горизонтальная конвекция за счет градиента давления дает намного менее эффективное охлаждение по сравнению со случаем источника тепла, расположенного в объеме жидкости. Для горизонтальной конвекции за счет градиента давления получена зависимость числа Нуссельта от числа Рэлея $Nu \sim Ra^{1/6}$, а для вертикальной конвекции $Nu \sim Ra^{1/5}$. Но, если поверхностная пленка отсутствует, отвод тепла за

счет термокапиллярного механизма очень эффективен в ближней зоне с максимальными тепловыми нагрузками (число Нуссельта зависит от числа Марангони как $Nu \sim Ma^{1/4}$).

3. Впервые полученные автомодельные решения для нестационарной задачи конвекции при локальном ИК-нагреве поверхности позволяют рассчитать скорость распространения тепла для двух механизмов горизонтальной конвекции.

4. Показано существенное влияние свойств межфазной границы на параметры конвекции. При отсутствии поверхностной пленки, когда основной является термокапиллярная конвекция, эффективность теплоотвода существенно возрастает. В несколько раз при тех же условиях возрастают числа Нуссельта и скорость распространения тепла.

5. Показано, что регистрируемое с помощью ИК-термографии поле температуры поверхности жидкости при локальном зондировании поверхности лазерным излучением резко меняется при наличии поверхностной пленки примесей. Блокировка движения поверхности пленкой примесей (например, в воде, кроме деионизированной) приводит при тех же параметрах зондирующего импульса к резкому увеличению температуры в центре и отсутствию существенного расплывания теплового пятна. Наблюдаемые отличия позволяют использовать зондирование лазерным излучением в сочетании с тепловизионными наблюдениями для исследования свойств поверхности жидкости.

6. Впервые проведенное экспериментальное исследование рельефа поверхности и поля давлений с помощью теневого фонового метода привело к выводу о существенном влиянии на эти поля свойств межфазной поверхности — как в задаче с нагревом линейным источником тепла, так и в задаче локального зондирования. Это обусловлено различием механизма конвекции. Если для термокапиллярной конвекции основным фактором являются поверхностные силы, то при наличии пленки конвекция определяется перераспределением давления вблизи поверхности, приводящим к искривлению поверхности. Результаты экспериментов хорошо согласуются с численным расчетом, выполненным с учетом деформации поверхности жидкости.

7. Предложенный новый метод ассимиляции данных для турбулентных квазистационарных течений с помощью подстановки в уравнения гидродинамики экспериментальных полей температуры позволяет восстановить поля скорости, турбулентной вязкости и теплопроводности по экспериментально измеренным усредненным полям температуры для квазистационарной свободной осесимметричной струи горячего воздуха.

8. Впервые примененная для ассимиляции температурных полей и данных скорости физически-информированная нейросеть позволяет восстановить поля скорости, давления, турбулентной вязкости и теплопроводности, а также получить распределение турбулентного числа Прандтля для квазистационарной свободной и импактной осесимметричной струи горячего воздуха. Новый метод обладает перспективой развития как для более подробного анализа неизотермических течений, так и для химически-реагирующей среды при учете изменения концентраций веществ.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Предложенные новые автомодельные решения для нестационарного конвективного течения, генерируемого линейным источником тепла, расположенным вблизи поверхности жидкости, позволяют получить оценки для скорости распространения тепла в пограничном слое и рассчитать числа Нуссельта для оценки эффективности теплоотвода для различных граничных условий на межфазной поверхности.

2. Горизонтальная конвекция у поверхности за счет градиента давления менее эффективна с точки зрения охлаждения линейного источника тепла по сравнению с вертикальной конвекцией. Но при наличии термокапиллярной конвекции на некоторой длине вблизи источника нагрева гидродинамический перенос за счет поверхностных сил намного эффективнее и горизонтальной, и вертикальной конвекции.

3. ИК-термография и измерения рельефа поверхности с помощью теневого фонового метода для задачи локального ИК-нагрева поверхности CO₂-лазером позволяют сделать вывод об эффективности такого типа зондирования для определения свойств поверхности жидкости.

4. Новые методики ассимиляции данных для турбулентных квазистационарных течений позволяют восстановить поля скорости, давления, турбулентной вязкости и теплопроводности по экспериментально измеренным полям температуры и значениям скорости в некоторых точках.

На заседании 13.11.2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Руденко Юлии Константиновне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 15, против - 0, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета МГУ.013.3
доктор физико-математических наук,
профессор, академик РАН

А.Р. Хохлов

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.013.3
кандидат физико-математических наук, доцент

И.А. Малышкина

13 ноября 2025г.

Подписи А.Р. Хохлова и И.А. Малышкиной заверяю.
Ученый секретарь физического факультета МГУ,
профессор

С.Ю. Стремоухов