

Отзыв

на автореферат диссертации Руденко Юлии Константиновны
«Распространение тепла в поверхностном слое жидкости и диагностика
неизотермических течений на основе измерений полей температуры»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика
экстремальных состояний вещества.

В диссертационной работе Ю.К. Руденко проведены теоретические и экспериментальные исследования закономерностей конвективного переноса тепла в поверхностном слое жидкости, а также разработаны методики восстановления характеристик турбулентного течения путем ассимиляции температурных полей. Исследование конвективного переноса тепла проведено для жидкостей с различными свойствами межфазной границы (с пленкой поверхностно-активных веществ, блокирующей температурную конвекцию Марангони, и без такой пленки). Актуальность исследований обусловлена тем, что процессы конвективного переноса тепла имеют высокую важность для ряда задач химической физики, теплофизики, а также для ряда технических приложений. Разработанные в диссертации методики ассимиляции температурных полей позволяют изучать неизотермические течения, а также течения химически-реагирующих сред, и не подразумевает засева и измерения параметров течения с помощью цифровой трассерной визуализации. Актуальность разработки данных методик обусловлена тем, что их использование позволяет снизить трудоемкость измерений, требуемых для восстановления параметров турбулентного потока. Таким образом, тематика диссертационного исследования являются актуальной.

В диссертационной работе получен ряд новых и важных научных результатов, основными из которых являются следующие. Предложены новые автомодельные решения для нестационарных конвективных течений, возникающих при наличии источника тепла, расположенного вблизи поверхности жидкости. Данные автомодельные решения описывают сопряженную задачу тепломассообмена и учитывают влияние температурного поля на гидродинамическое течение. При их выводе впервые учтены различные граничные

условия на поверхности (рассмотрены случаи наличия пленки, блокирующей температурную конвекцию Марангони, и отсутствия пленки). Показано, что хотя объемная конвекция эффективнее, чем поверхностная, однако вблизи источника тепла существует область, в которой гидродинамические потоки, вызванные поверхностными силами, являются определяющими. Разработаны новые методики ассимиляции данных для турбулентных течений, позволяющие определить распределения турбулентной вязкости, турбулентной теплопроводности, давления и скорости по экспериментально измеренным с помощью теневого фонового метода полям температуры и измеренным в выбранных точках значениям скорости.

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость. Полученные автомодельные решения для задач конвективного переноса тепла в поверхностном слое жидкости позволяют рассчитать скорость распространения теплового фронта для жидкостей с наличием пленки примесей на поверхности и при ее отсутствии. Данный результат имеет большое значение для ряда технических приложений, в том числе – связанных с отведением тепла от линейных источников нагрева, а также термозондирования и лазерной очистки поверхности. Трудоемкость разработанных методов восстановления коэффициентов турбулентной теплопроводности и вязкости намного меньше, чем при использовании метода трехмерной цифровой трассерной визуализации. Разработанные методы ассимиляции данных с помощью физически-информированных нейросетей в отличие от методов прямой подстановки экспериментальных данных в модельные уравнения не требуют проведения фильтрации данных, что решает проблему шума исходных данных.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что проведено систематическое исследование конвективных течений, возникающих при наличии линейного приповерхностного источника тепла и при локальном нагреве поверхности жидкости. Получены автомодельные решения, описывающие конвективные течения в жидкостях с различной структурой поверхности. Уточнены граничные условия при наличии и отсутствии поверхностной пленки. Показано, что для течения турбулентной осесимметричной струи экспериментально измеренное поле температуры и точечные измерения скорости

возможно использовать для ассимиляции данных с последующим восстановлением параметров течения без использования конкретной модели турбулентности.

Экспериментальные исследования выполнены с использованием современных экспериментальных методик: теневого фонового метода; ИК-термографии поверхности; цифровой трассерной визуализации. Для обработки экспериментально полученных результатов использовались современные методы, в том числе – искусственные нейросети для восстановления полей скорости, давления, турбулентной вязкости и турбулентной теплопроводности. Теоретические исследования выполнены путем численного решения уравнений гидродинамики, а также проведения аналитических выкладок для определения автомоделных зависимостей.

Полученные результаты достоверны, научные положения и выводы обоснованы, поскольку содержат два уровня анализа – численное моделирование и эксперимент. Проведено сопоставление теоретически и экспериментально полученных результатов, а для предельных случаев – сравнение с литературными данными.

По материалам диссертации опубликовано 7 статей в рецензируемых научных изданиях, из них 6 статей индексируются в базах данных Web of Science, Scopus, RSCI. Основные положения диссертации обсуждались на 18 научных конференциях.

Замечания по автореферату.

1. На страницах 20 и 23 автореферата отмечено, что в жидкости без пленки примесей, блокирующей температурную конвекцию Марангони, при нагреве профиль температуры расплывается быстрее, чем в жидкости с пленкой, даже при меньшей мощности нагрева. Однако количественное сравнение скоростей распространения температурного фронта не проведено.

2. В автореферате приводятся автомоделные координаты для различных рассмотренных конвективных течений. Однако модельные уравнения, имеющие данные автомоделные координаты, в автореферате не представлены.

3. В автореферате сравниваются друг с другом результаты ассимиляции полей скорости и давления по полю температуры и профилям осевой скорости, выполненные различными разработанными в диссертации методами. Однако не

представлены результаты сравнения полученных результатов ассимиляции с экспериментальными измерениями.

Отмеченные недостатки и замечания носят рекомендательный характер, не снижают значимость полученных в диссертации результатов и не влияют на положительную оценку работы в целом.

На основе анализа содержания автореферата диссертации, выносимых на защиту положений, результатов и выводов, можно сделать вывод о том, что диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, которая соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Соискатель Ю.К. Руденко заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17. Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Старший научный сотрудник АО
ГНЦ «Центр Келдыша»,
к.ф.м.н.

Сафронов Андрей
Александрович
тел.: (495) 456-46-08
e-mail:
«21» октября 2025 г.

Государственный научный центр Российской Федерации «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша» (АО ГНЦ «Центр Келдыша»), 125438, Москва, Онежская ул., д. 8, тел. +7 (495) 456-46-08, e-mail: kerc@elnet.msk.ru

Подпись Сафронова А.А.
Ученый секретарь
АО ГНЦ «Центр Келдыш

~~И.С. Партола~~