

ОТЗЫВ
научного руководителя на диссертацию

Михайлова Арсения Владимировича

(фамилия, имя, отчество аспиранта)

на тему «Экспериментальные исследования нестационарных свободноконвективных пограничных слоев на вертикальных стенках»

(название темы научно-квалификационной работы(диссертации))

по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника

(код и наименование научной специальности)

Системы, в которых реализуется сопряженный конвективный теплообмен при нагреве и охлаждении стенок, широко распространены в авиационной и ракетной технике, энергетике, металлургии, а также в технологиях выращивания монокристаллов. К таким системам относятся, в частности, топливные баки летательных аппаратов, частично заполненные жидкостью полости, агрессивные расплавы в тиглях. Для указанных объектов характерны как стационарные, так и нестационарные граничные условия, при которых формируются конвективные течения и пограничные слои, а также значительные термические напряжения.

Оптимизация тепловых режимов таких систем осложняется рядом физических факторов. При наличии газовой среды и границы раздела «жидкость — газ» теплообмен приобретает радиационно-конвективный характер. Наличие свободных неизотермических поверхностей приводит к развитию конвекции тепловой гравитационно-капиллярной природы, в которой наряду с силами плавучести существенную роль может играть термокапиллярный эффект (эффект Марангони). В условиях нестационарного нагрева и охлаждения стенок различной ориентации относительно вектора силы тяжести развиваются пограничные слои, в которых возможны ламинарно-турбулентные переходы и возникновение вторичных течений. Указанные процессы остаются недостаточно изученными, особенно в сопряженной нестационарной постановке.

Понимание механизмов формирования нестационарных температурных полей и градиентов температуры в стенках имеет важное значение для расчета термических напряжений, ресурса эксплуатации тонкостенных резервуаров и топливных баков летательных аппаратов. В технологических процессах, связанных с кристаллизацией и плавлением, режимы конвективного теплообмена определяют форму фронта кристаллизации, температурные поля в твердых телах и качество получаемых изделий. При выращивании монокристаллов особенно актуальной является задача снижения уровня термических напряжений, поскольку они могут существенно влиять на структуру и эксплуатационные свойства материала.

В связи с этим актуальным является проведение экспериментальных исследований нестационарной термогравитационной и тепловой гравитационно-капиллярной конвекции в прямоугольных полостях при внезапном и монотонном разогреве одной из вертикальных стенок; изучение формирования и эволюции пограничных слоев на нагреваемых и охлаждаемых стенках; определение влияния структуры конвективного течения на температурные поля и градиенты температуры в тонких стенках; исследование роли свободной поверхности жидкости, а также особенностей сопряженного теплообмена при наличии фазового перехода и продвижении фронта кристаллизации. Получение таких экспериментальных данных имеет как фундаментальное значение для развития представлений о механизмах нестационарного сопряженного теплообмена, так и практическое значение для расчета теплового состояния технических систем, оптимизации процессов выращивания монокристаллов и верификации численных моделей.

Михайлов А.В. начал работать в лаборатории свободноконвективного теплообмена в 2016 году, являясь студентом второго курса. В 2020 году им был окончен бакалавриат НГТУ (Техническая

физика), в 2022 – магистратура НГТУ (Авиационное). В настоящее время Михайлов А.В. заканчивает аспирантуру ИТ СО РАН по специальности 1.3.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и работает младшим научным сотрудником в лаборатории 6.6. интенсификации процессов теплообмена.

В диссертационной работе представлено экспериментальное исследование гидродинамики и теплообмена жидкости при нестационарной свободной конвекции в прямоугольных слоях различной геометрии. Использование современных тепловизионных и PIV-измерений позволило качественно и количественно изучить нестационарные распределения температуры и скорости для свободноконвективных течений. Показано, что изменение геометрии и перепада температуры оказывает существенное влияние на структуру течения и форму фронта кристаллизации при наличии фазового перехода. Михайловым А.В. проведены исследования гидродинамики и развития нестационарного пограничного слоя на вертикальных стенках, а также нестационарных полей температуры на тонкой стенке, на которую натекает поток нагретой жидкости. Получены данные об амплитудно-частотных характеристиках пульсаций температуры, вызванных сложной структурой течения.

Михайлов А.В. проявил целеустремленность и интерес к исследовательской работе. Он самостоятельно организовывал работу по созданию и модификации экспериментальных установок, провел большую работу по проведению экспериментов и обработке данных. В экспериментах использованы разные рабочие жидкости, проведен отбор частиц для PIV-измерений. Освоены пакеты программ Matlab, FLIR ResearchIR, Python, Полис. Изучены основные работы по теме исследования, написан подробный обзор литературы, выполнен анализ и обобщение опытных данных. Он полностью самостоятельно выполнил анализ данных по высоте слоев жидкости и перепаду температуры при двухфазных течениях с кристаллизацией. Проанализированы основные модели и корреляционные зависимости. Определены критерии режимов течений, идентифицированы границы между ними. Им получены зависимости формы фронта кристаллизации для различных режимов в диапазоне высот слоя жидкости от 10 до 105 мм и перепада температуры от 5 до 40 К.

Он выступал на многих международных и российских научных конференциях, где его работы отмечены призовыми местами. Михайлов А.В. являлся основным исполнителем проектов РФФИ 18-38-00790, 19-48-540003, РНФ 23-19-00245, 25-29-01500, 26-19-00146. Он соавтор более двадцати публикаций, две из которых входят в первый квартиль. Квалификация подтверждается тем, что последние статьи в наиболее высокорейтинговых международных журналах им написаны самостоятельно.

За время работы Михайлов А.В. продемонстрировал желание и способность заниматься научной работой. Он в полной мере раскрыл свой талант экспериментатора. Им получены новые интересные результаты. Считаю, что работа носит характер заверченного научного исследования.

Результаты исследований аспиранта опубликованы в:

1. А.В. Михайлов, В.С. Бердников, В.А. Гришков, Н.М. Рыбин, Е.А. Юровских. Влияние интенсивности тепловой гравитационно-капиллярной конвекции на поля температуры в тонких стенках // Теплофизика и аэромеханика. – 2026.
2. Mikhaylov A. V. et al. Experimental research of the process of crystallization front propagation from a cooled vertical side in a horizontal fluid layer //EPJ Web of Conferences. – EDP Sciences, 2019. – T. 196. – C. 00035.
3. Mikhaylov A. V., Grishkov V. A., Berdnikov V. S. Dependence of the temperature fields of a thin vertical wall on the intensity of the oncoming flow of a heated liquid // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – T. 1867. – №. 1. – C. 012040. – DOI: 10.1088/1742-6596/1867/1/012040

4. Berdnikov, V. S., Grishkov, V. A., Mikhailov, A. V., & Ryabov, V. O. Laminar-turbulent transitions during thermal gravitational-capillary convection in horizontal liquid layers heated from below // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2119. – №. 1. – С. 012166. – DOI: 10.1088/1742-6596/2119/1/012166
5. Bodneva, N. I., Berdnikov, V. S., Grishkov, V. A., & Mikhailov, A. V. Influence of thermal gravitational-capillary convection on temperature fields in a thin wall //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2119. – №. 1. – С. 012162.

Научный руководитель, д.ф.-м.н., г.н.с.

Ученая степень, звание

(подпись)

Бердников Владимир Степанович

(фамилия, имя, отчество)

Дата

17.08.2026