

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 02.11.2023 № 122

О присуждении Некрасову Олегу Олеговичу, гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** "Электротермоконвекция слабопроводящей жидкости в горизонтальном слое при нагреве сверху" по специальности 1.1.9 – "Механика жидкости, газа и плазмы" принята к защите 26.06.2023, протокол № 119, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26 января 2018.

**Соискатель** Некрасов Олег Олегович 1996 г. рождения, в 2020 г. с отличием окончил магистратуру ФГБОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" по направлению «Прикладная математика и физика». В период с 01.09.2020 по настоящее время обучается в аспирантуре очной формы обучения в ФГАОУ ВО "Пермский государственный национальный исследовательский университет" (ПГНИУ) по научной специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы. В настоящее время соискатель работает учителем физики в МАОУ "Лицей № 2", г. Пермь. Диссертация выполнена на кафедре физики фазовых переходов ПГНИУ.

**Научный руководитель** – д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры физики фазовых переходов ПГНИУ Смородин Б.Л.

**Официальные оппоненты:**

1. Кривилев Михаил Дмитриевич, доктор физико-математических наук (05.13.18), доцент, заведующий лабораторией физики конденсированных сред Института математики, информационных технологий и физики ФГБОУ ВО "Удмуртский государственный университет", г. Ижевск;
2. Садилов Евгений Сергеевич, кандидат физико-математических наук (01.02.05), научный сотрудник лаборатории вычислительной гидродинамики Института механики сплошных сред ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук", г. Пермь;

дали положительные отзывы на диссертацию

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова" (МГУ), г. Москва, в своем положительном заключении, составленным д.ф.-м.н., профессором РАН Георгиевским Д.В., и.о. директора Института механики МГУ; д.ф.-м.н. Никитиным Н.В., заведующим лабораторией общей аэродинамики

Института механики МГУ, и утвержденном проректором МГУ, д.ф.-м.н., профессором Федяниным А.А., указала, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу в области теоретического исследования электротермоконвективных течений, возникающих в горизонтальном слое. Представленные в диссертации результаты достоверны, выводы обоснованы. Применяемые в работе подходы могут быть использованы при изучении актуальных задач конвекции и теплопереноса. Представленная диссертационная работа "Электротермоконвекция слабопроводящей жидкости в горизонтальном слое при нагреве сверху" удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Некрасов Олег Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – "Механика жидкости, газа и плазмы".

**Соискателем опубликовано 6 статей** в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК:

1. **Nekrasov O.O.**, Kartavykh N.N. Electroconvection instability of poorly conducting fluid in alternating electric field // *Interfacial Phenomena and Heat Transfer*. 2019. Vol. 7, № 3. P. 217-225. (WoS, Scopus).

*На основе маломодовой модели проведен анализ влияния умеренного нагрева сверху и переменного электрического поля на поведение горизонтального слоя слабопроводящей жидкости, электропроводность которой зависит от температуры.*

2. **Nekrasov O.O.**, Smorodin B.L. Effect of charge modulation on the electroconvective flow of a low conducting liquid // *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*. 2021. Vol. 16. Art. id № 35. 11 p. (WoS, Scopus).

*Численно исследовано формирование модулированных бегущих волн и модулированной электротермоконвекции при периодическом изменении заряда на катоде.*

3. **Некрасов О.О.**, Смородин Б.Л. Электроконвекция слабопроводящей жидкости при униполярной инжекции и нагреве сверху // *Вычислительная механика сплошных сред*. 2022. Т. 15, № 3. С. 316-332. (ВАК, Scopus).

*Численно исследовано формирование надкритических волновых и стационарных режимов электротермоконвекции и эволюция пространственных гармоник в слое нагреваемой сверху слабопроводящей жидкости в постоянном электрическом поле при наличии автономной инжекции.*

4. **Nekrasov O.O.**, Smorodin B.L. The electroconvective flows of a weakly conducting liquid in the external DC and AC electric fields // *Microgravity Science and Technology*. 2022. Vol. 34, № 4. Art. id № 75. (WoS, Scopus).

*Изучены режимы электротермоконвекции слабопроводящей жидкости в постоянном и переменном электрическом поле.*

5. **Nekrasov O.**, **Smorodin B.** Electro-thermo-convection of a dielectric liquid in the external DC and AC electric fields // *Mathematics*. 2023. Vol. 11, № 5. Art. id №. 1188. (WoS, Scopus).

*Проведен линейный анализ неустойчивости нагреваемого сверху слоя слабопроводящей жидкости в случае автономной инжекции. Исследованы особенности поведения волновых электротермоконвективных течений в переменном внешнем поле.*

6. **Некрасов О.О.** Стоячие конвективные волны в слабопроводящей жидкости //

Вычислительная механика сплошных сред. 2023. Т. 16, № 1. С. 125-134. (ВАК, Scopus).

*Изучены неустойчивые электротермоконвективные течения в виде стоячих волн и модулированных стоячих волн.*

Публикации содержат в сумме 72 страницы и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:** от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Кривилева М.Д. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации; отмечены новизна, научная и практическая значимость и достоверность полученных результатов. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- замечание о том, что в третьей и четвертой главах в постановке задачи не дается определение слабой проводимости и не приводятся количественные критерии для данного термина;
- замечание о том, что во второй главе работы не проводится анализ чувствительности решения к количеству функций в выбранном базисе;
- замечание о том, что в третьей и четвертой главах не приводятся данные об анализе чувствительности результатов к протяженности расчетной области;
- замечание о том, что в тексте работы не раскрывается физическая природа интенсификации теплопереноса при воздействии на систему на резонансных частотах.

2. Положительный отзыв официального оппонента Садилова Е.С. В отзыве отмечено, что результаты данной диссертации служат вкладом в теорию нелинейных колебательных и волновых течений жидкости под действием модулированных внешних полей и они могут быть использованы для планирования новых экспериментов в данной области науки, а также для проектирования различных технических устройств, управляющих процессами теплопереноса в системах, использующих жидкое охлаждение. Оппонент отмечает следующие замечания:

- замечание относительно стилистики написания диссертации, а именно использования некоторых союзов, также указывается на некоторые опечатки в тексте диссертации
- замечание о не самом удачном способе иллюстрации на рисунках 2.6 и 2.7;
- замечание о неудачном с физической точки зрения выборе названия для безындукционного приближения;
- замечание об отсутствии в списке литературы в диссертации одной из публикаций, указанных в автореферате;
- замечание о том, что в автореферате не указаны две работы автора диссертации, не вошедшие в список ВАК.

3. Положительный отзыв ведущей организации ФГБОУ ВО МГУ. В отзыве отмечается, что диссертация характеризуется полнотой и завершенностью, ясно и грамотно написана, достаточно подробно иллюстрирована графиками и рисунками. Диссертационное исследование выполнено автором на современном уровне и является завершенной научно-исследовательской работой в области и теоретического исследования электротермоконвективных течений, возникающих в горизонтальном слое.

Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- замечание о том, что в введении дается краткое описание униполярной инъекции с катода и просьба дать более подробное описание;
- вопрос о том, подтверждается ли во второй главе квазипериодичность возникающего на пороге конвекции колебательного режима каким-либо способом, кроме анализа Фурье-спектров;
- вопрос о том, чем обосновано во второй главе использование минимально возможного количества базисных функций для изучения нелинейных колебаний;
- замечание о том, что в главах 3 и 4 при численном моделировании уравнении Пуассона можно было бы использовать прямой безытерационный метод, а не метод последовательной верхней релаксации;
- вопрос о том, чем обосновывается в третьей и четвертой главах выбор значения длины конвективной структуры.

**На автореферат поступило 6 отзывов:**

1. Положительный отзыв от Бекежановой В.Б., д.ф.-м.н., заведующей отделом дифференциальных уравнений механики ФГБУН "Институт вычислительного моделирования СО РАН", г.Красноярск (без замечаний);
2. Положительный отзыв от Демёхина Е.А. д.ф.-м.н., профессора, заведующего лабораторией электро и гидродинамики микро- и наномасштабов ФГБОУ ВО "Финансовый университет при правительстве Российской Федерации" (Краснодарский филиал), г. Краснодар (2 замечания);
3. Положительный отзыв от Зубарева Н.М., д.ф.-м.н., член-корреспондента РАН, главного научного сотрудника лаборатории нелинейной динамики ФГБУН "Институт электрофизики УрО РАН", г.Екатеринбург (без замечаний);
4. Положительный отзыв от Жакина А.И., д.ф.-м.н., профессора, ведущего научного сотрудника; Кузько А.Е., к.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики ФГБОУ ВО "Юго-западный государственный университет", г. Курск (без замечаний).
5. Положительный отзыв от Сираева Р.Р., к.ф.-м.н., доцента кафедры прикладной физики ФГАОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь (без замечаний);
6. Положительный отзыв от Цибулина В.Г., д.ф.-м.н., доцента, заведующего кафедрой теоретической и компьютерной гидроаэродинамики ФГАОУ ВО "Южный федеральный университет", г. Ростов-на-Дону (1 замечание).

**В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:**

- замечание о формулировке задачи, отличной от обычно применяемой модели Нернста-Планка и отсутствии обоснования выбора такой формулировки;
- замечание об использовании термина «электротермоконвекция»;
- замечание, связанное с отсутствием в автореферате информации о сходимости численных результатов для конечно-разностных схем.

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

**официальные оппоненты** являются одними из ведущих специалистов в области механики жидкости и газа, физики, вычислительной гидродинамики, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных работ; обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

**ведущая организация** Научно-исследовательский институт механики ФГБОУ ВО "Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова", г. Москва, является одним из ведущих научно-образовательных центров России, включает в свою структуру Научно-исследовательский институт механики МГУ. В нем активно ведутся фундаментальные и прикладные исследования по гидроаэродинамике, механике нестационарных процессов в газообразных и жидких средах, механике природных процессов. Институт выпускает издание «Физико-химическая кинетика в газовой динамике», включенное в перечень ВАК РФ. Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов обсужден и одобрен на научном семинаре "Неустойчивость и турбулентность" НИИ механики МГУ 19.09.2023 г. в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** методика анализа пространственно-временных характеристик электроконвективных волновых течений, позволяющая корректно учитывать влияние величины электрического поля на свойства электротермоконвективных структур;

**предложена** аналитическая зависимость, описывающая напряженность и потенциал электрического поля в неподвижной жидкости при наличии автономной инжекции;

**доказано**, что для различных рассмотренных механизмов возбуждения конвекции (инжекционного и электрокондуктивного) при увеличении напряжения внешнего электрического поля имеет место пороговый переход между малоинтенсивной колебательной конвекцией и интенсивными режимами течения;

**введена** классификация колебательных режимов электротермоконвекции слабопроводящей жидкости, основанная на анализе изменения спектрального состава системы;

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**Доказано**, что конкуренция сил плавучести и сил Кулона приводит к мягкому возбуждению нелинейных электроконвективных колебательных течений как для инжекционного, так и для электрокондуктивного механизмов создания неоднородности плотности заряда;

**Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):**

**использованы** численные методы анализа устойчивости жидкости и нелинейной эволюции течений, а также методы обработки и визуализации результатов расчетов;

**изложены** результаты анализа различных режимов течения: смешанного режима, бегущей волны, модулированной бегущей волны, стоячей волны, модулированной стоячей волны, а также стационарной электроконвекции;

**раскрыта** возможность параметрического воздействия на бегущие в слабопроводящей жидкости волны, приводящего к интенсификации электроконвекции;

**изучено** влияние интенсивности нагрева сверху, меры подвижности зарядов и степени инжекции на характеристики монотонной и колебательной неустойчивости горизонтального слоя слабопроводящей жидкости при автономной униполярной инжекции с катода;

**проведена модернизация** постановки задачи об униполярной автономной инжекции заряда в горизонтальный слой нагретой сверху диэлектрической жидкости, учитывающая перераспределение электрического поля за счет конвективного переноса заряда.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработана** усовершенствованная методика анализа волновых электроконвективных структур;

**определены** условия существования бегущих волн в неоднородно нагретой слабопроводящей жидкости;

**создана** модель электротермоконвекции неоднородно нагретой слабопроводящей жидкости, которая может быть использована при решении практических задач, требующих эффективного управления процессами теплообмена;

**представлены** результаты, подтверждающие возможность многократного увеличения теплотока через горизонтальный слой слабопроводящей жидкости за счет малоамплитудной модуляции электрического поля на резонансных частотах.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена на известных, проверенных моделях, в предельных случаях она согласуется с результатами других авторов;

**идея базируется** на обобщении теоретических и экспериментальных исследований электроконвективных течений слабопроводящих и диэлектрических жидкостей;

**использованы** апробированные методы теоретического исследования; значения физических параметров изучаемых жидкостей для количественных оценок почерпнуты из авторитетных литературных источников;

**установлено** качественное и количественное согласие полученных данных с известными результатами других теоретических исследований.

**использованы** современные методы численного и аналитического исследования конвективных течений.

**Личный вклад соискателя состоит в** разработке и отладке вычислительных программ, проведении аналитических расчетов и численного моделирования, выполнении моделирования изучаемых процессов, участии в постановке задач, анализе полученных результатов и подготовке статей.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается** наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи основных выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится решение задачи об электроконвекции слабопроводящей жидкости в плоском горизонтальном нагреваемом сверху слое при электрокондуктивном или инжекционном механизмах зарядообразования. Изучены и классифицированы виды возникающих в таких системах колебательных режимов течения, виды отклика систем на параметрическое воздействие, обнаружена возможность управления тепло- и массопотоком при помощи параметрического воздействия на резонансных частотах.

На заседании 02 октября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Некрасову О.О. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, участвовавших в заседании, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 1, воздержался – 0, не проголосовало – 0.

Председатель  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.т.н., профессор, академик РАН  
Матвеев Валерий Павлович



/ Матвеев В.П.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.ф.-м.н., доцент  
Зуев Андрей Леонидович



/ Зуев А.Л.

03 ноября 2023 г.

М.П.