

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.13, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 28 декабря 2016 года публичной защиты диссертации Бондаревой Надежды Сергеевны «Численное исследование сопряженного конвективного теплопереноса в системах, содержащих материалы с фазовым переходом» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

На заседании присутствовали 19 из 26 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы:

|     |  |                      |          |
|-----|--|----------------------|----------|
| 1.  | Христенко Юрий Федорович, заместитель председателя диссертационного совета | д-р техн. наук       | 01.02.04 |
| 2.  | Васенин Игорь Михайлович, заместитель председателя диссертационного совета | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.05 |
| 3.  | Пикушак Елизавета Владимировна, ученый секретарь диссертационного совета   | канд. физ.-мат. наук | 01.02.05 |
| 4.  | Архипов Владимир Афанасьевич   | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.05 |
| 5.  | Биматов Владимир Исмагилович   | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.05 |
| 6.  | Бутов Владимир Григорьевич   | д-р физ.-мат. наук   | 01.04.14 |
| 7.  | Герасимов Александр Владимирович   | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.04 |
| 8.  | Глазунов Анатолий Алексеевич   | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.05 |
| 9.  | Глазырин Виктор Парфирьевич  | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.04 |
| 10. | Зелепугин Сергей Алексеевич  | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.04 |
| 11. | Крайнов Алексей Юрьевич  | д-р физ.-мат. наук   | 01.04.14 |
| 12. | Люкшин Борис Александрович   | д-р техн. наук       | 01.02.04 |
| 13. | Макаров Павел Васильевич   | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.04 |
| 14. | Прокофьев Вадим Геннадьевич  | д-р физ.-мат. наук   | 01.04.14 |
| 15. | Скрипняк Владимир Альбертович  | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.04 |
| 16. | Тимченко Сергей Викторович   | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.05 |
| 17. | Черепанов Олег Иванович  | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.04 |
| 18. | Шрагер Геннадий Рафаилович   | д-р физ.-мат. наук   | 01.02.05 |
| 19. | Шрагер Эрнст Рафаилович  | д-р физ.-мат. наук   | 01.04.14 |

**В связи с невозможностью присутствия на заседании председателя диссертационного совета доктора физико-математических наук, профессора Гришина Анатолия Михайловича по его письменному поручению заседание провёл заместитель председателя диссертационного совета доктор технических наук, старший научный сотрудник Христенко Юрий Федорович.**

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение ученой степени – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить Н.С. Бондаревой учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.13**  
**на базе федерального государственного автономного образовательного**  
**учреждения высшего образования**  
**«Национальный исследовательский Томский государственный университет»**  
**Министерства образования и науки Российской Федерации**  
**по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.12.2016 г., № 300

О присуждении **Бондаревой Надежде Сергеевне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Численное исследование сопряженного конвективного теплопереноса в системах, содержащих материалы с фазовым переходом»** по специальности **01.02.05** – Механика жидкости, газа и плазмы принята к защите 24.10.2016 г., протокол № 287, диссертационным советом Д 212.267.13 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012 г.).

Соискатель **Бондарева Надежда Сергеевна**, 1989 года рождения.

В 2013 г. соискатель окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

В 2016 г. соискатель очно окончила аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Работает в должности младшего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории моделирования процессов конвективного теплопереноса в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре теоретической механики и в научно-исследовательской лаборатории моделирования процессов конвективного тепломассопереноса федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Шерemet Михаил Александрович**, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», лаборатория моделирования процессов конвективного тепломассопереноса, заведующий лабораторией; по совместительству – кафедра теоретической механики, профессор.

Официальные оппоненты:

**Федорова Наталья Николаевна**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», кафедра прикладной математики, профессор

**Демин Виталий Анатольевич**, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», кафедра теоретической физики, заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук**, г. Новосибирск, в своем положительном заключении, подписанном **Бердниковым Владимиром Степановичем** (доктор физико-математических наук, лаборатория свободноконвективного теплообмена, заведующий лабораторией) и **Сахновым Алексеем Юрьевичем** (кандидат физико-математических наук, лаборатория термохимической аэродинамики, научный сотрудник), указала, что актуальность темы диссертации обусловлена

необходимостью детального изучения процессов плавления и кристаллизации, протекающих в материалах с изменяемым фазовым состоянием, при наличии локального тепловыделения, для решения проблем теплоэнергосбережения, связанных с разработкой эффективных систем обеспечения теплового режима энергетических установок, электронных устройств и аппаратов, а также объектов строительной индустрии. В рамках развития теории приближенных решений задач естественной конвекции соискателем разработаны новые вычислительные модели плавления материала в замкнутых областях при наличии локальных источников энергии с учетом влияния однородного магнитного поля, имеющего различную ориентацию относительно вектора силы тяжести, в двухмерном приближении на основе преобразованных переменных «функция тока – завихренность» и в трехмерном случае с использованием переменных «векторный потенциал – вектор завихренности». Проведен детальный численный анализ нестационарных режимов плавления внутри замкнутой области при наличии локального источника энергии. Исследовано влияние однородного магнитного поля на интенсивность естественной конвекции при плавлении галлия с числом Прандтля  $Pr = 0.0216$ . Впервые проведено сравнение результатов двумерного и трехмерного приближений в рамках рассматриваемого класса задач, позволяющее данные двумерной модели использовать для предварительного описания процесса в пространственном случае. Определены области применимости двумерной постановки задачи.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации – 25 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 8 (из них 3 статьи в российских научных журналах, переводные версии которых индексируются Web of Science, 5 статей в зарубежных научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus), статья в зарубежном научном журнале, индексируемом Web of Science – 1 (опубликована онлайн), свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ – 4, публикаций в сборниках семинаров, международного форума по тепло- и массообмену, международных и всероссийских научных и научно-технических конференций – 12 (из них 1 сборник докладов, изданный за рубежом). Общий объем публикаций – 8,34 п.л., авторский вклад – 5,56 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Бондарева Н. С.** Влияние однородного магнитного поля на ламинарные режимы естественной конвекции в замкнутом объеме / Н. С. Бондарева, М. А. Шеремет // Теплофизика и аэромеханика. – 2015. – Т. 22, № 2. – С. 213–226. – 0.84 / 0.6 п.л.

2. **Бондарева Н. С.** Математическое моделирование режимов плавления в квадратной полости с локальным источником энергии / Н. С. Бондарева, М. А. Шеремет // Теплофизика и аэромеханика. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 577–590. – 0.84 / 0.6 п.л.

3. **Bondareva N. S.** Effect of inclined magnetic field on natural convection melting in a square cavity with a local heat source / N. S. Bondareva, M. A. Sheremet // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – Vol. 419. – P. 476–484. – DOI: 10.1016/j.jmmm.2016.06.050. – 0.54 / 0.36 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На автореферат поступило 9 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **С.Г. Черкасов**, д-р физ.-мат. наук, проф., главный научный сотрудник отделения твердотопливных ракетных двигателей Исследовательского центра имени М.В. Келдыша, г. Москва, *с замечаниями*: При замене скачкообразного фазового перехода при температуре плавления плавным переходом в некотором диапазоне температуры, возникает вопрос о рациональном выборе этого диапазона, чтобы обеспечить достаточную точность при достаточно умеренных затратах компьютерных ресурсов. Из автореферата не ясно, изучался ли в диссертации, этот важный с методической точки зрения, вопрос.

2. **А.И. Простомолотов**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, *с замечаниями*: Анализ влияния параметра  $\eta$  проводился на начальных этапах исследования. Выбор

$\eta = 0.01$  связан с тем, что увеличение этого параметра ведет к увеличению погрешности расчетов. Уменьшение параметра  $\eta$  требует увеличения числа узлов расчетной сетки и приводит к увеличению времени счета; несмотря на то, что на 1-й странице автореферата соискатель перечисляет выдающихся ученых в области гидромеханики, но фактически при тестировании своей методики и программы не использует их важные результаты. Например, не анализируются экспериментальные результаты проф. Бердникова В.С. по кристаллизации галлия; не ясна физическая и практическая значимость вывода о роли поперечного магнитного поля, а также соискатель не тестирует свои методические разработки на известных и многочисленных работах по магнитной гидродинамике, выполненных для расплавленных металлов и полупроводников другими авторами.

**3. М.И. Супельняк**, канд. техн. наук, доцент кафедры ФН5-КФ «Прикладная механика» Калужского филиала Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, г. Калуга, *с замечаниями*: На стр. 4 автореферата в методах исследования отмечено, что для решения краевых задач использовались методы конечных разностей и контрольного объема, однако в дальнейшем всюду указано, что применялся только метод конечных разностей. В автореферате не указано, чем обусловлен выбор метода конечных разностей в качестве основного метода решения уравнений, ведь известно, что его применение для областей сложной геометрии вызывает заметные сложности по сравнению с методом конечных объемов (контрольного объема), который используется в большинстве современных пакетов вычислительной газодинамики. Исследования проводились для ламинарного течения, однако в автореферате не указано, где находится граница устойчивости данного режима, и как она определялась. То же касается приближения Буссинеска; из автореферата неясно, почему в двумерном случае не возникает потеря устойчивости симметричного течения, если в трехмерном случае она имеет место. Сам по себе переход к пространственной постановке в рассматриваемой задаче не должен являться основной причиной развития асимметрии, если сетка является симметричной. Возможно, неустойчивость симметричного течения связана с самим методом численного решения; изолинии на рисунках 2, 7 и 8 подписаны довольно мелким шрифтом,

который крайне проблематично разобрать. 4. **И.В. Егоров**, д-р физ.-мат. наук, проф., член-корреспондент РАН, начальник Научно-исследовательского отделения Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н.Е. Жуковского, г. Жуковский, *с замечаниями*: Из автореферата неясно, как аппроксимировались соотношения для завихренности на границе фазового перехода. В автореферате не указано, оценивалось ли влияние кондуктивного механизма переноса энергии внутри тепловыделяющего элемента на структуру течения и теплообмен в расплаве. 5. **С.А. Исаев**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры механики Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, *с замечаниями*: хотелось бы более четко выделить предшественников данной работы, чтобы охарактеризовать ее научную новизну; хотелось бы расширить верификацию численных прогнозов, включив в нее информацию об интегральных и локальных характеристиках течения и теплообмена; каковы пределы применимости разработанной модели и где ожидается ламинарно-турбулентный переход? в задаче не видно акцента к интенсификации физических процессов. Хотелось бы большего внимания к асимметричным вихревым структурам, которые, как правило, характеризуются более интенсивными токами, чем симметричные; следовало бы рассмотреть перспективы управления физическими процессами в этой не слишком вариативной задаче. 6. **А.В. Морозов**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Отделения безопасности ЯЭУ Физико-энергетического института имени А.И. Лейпунского, г. Обнинск, *с замечанием*: В качестве замечания по автореферату следует отметить, что в работе представлено недостаточно информации о практическом применении полученных автором результатов, в частности, об использовании для разработки материалов с фазовым переходом в строительстве (о чем упомянуто во введении). 7. **А.Н. Сухановский**, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории «Физическая гидродинамика» Института механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь, *с замечаниями*: В автореферате неоднократно встречается формулировка «наличие возможного магнитного поля», которая вызывает недоумение: что понимается под возможным магнитным полем – непонятно. В автореферате приведено сравнение с достаточно старой работой (1986 г.), хотя

есть эксперименты по кристаллизации и плавлению, проведенные недавно (смотрите, например, работы Колесниченко И.В. и др. и ссылки в этих статьях); непонятно, что характеризует параметр  $A$  – «отношение размера полости вдоль координаты  $Y$  к размеру стороны сечения квадратной формы « $Y = const$ ». Для всех иллюстраций, представленных в автореферате, отношение размера полости к размеру нагретого элемента одинаковое, если именно это отношение менялось в расчетах, то необходимо было представить структуру течений для этих случаев; значительная часть работы посвящена расчетам при наличии наложенного магнитного поля. При этом мотивация этой части работы в автореферате отсутствует, зачем необходимо магнитное поле, где подобные системы используются надо пояснить.

8. **Е.М. Смирнов**, д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Гидрогазодинамика, горение и теплообмен» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, и **Д.К. Зайцев**, д-р физ.-мат. наук, доцент кафедры «Гидрогазодинамика, горение и теплообмен» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, *с замечаниями*: Запись диффузионных слагаемых в уравнениях теплопереноса (3) и (7) в упрощенной форме  $\xi \nabla^2 \Theta$  (вместо  $\nabla \cdot (\xi \nabla \Theta)$ ) требует обоснования. Например, если твердая и жидкая фазы имеют различные коэффициенты теплопроводности, то использование упрощенной записи ведет к появлению в окрестности границы раздела фаз паразитного источника тепла  $-\nabla \xi \cdot \nabla \Theta$ , который может существенно исказить получаемое решение. На стр. 6 автореферата сказано, что в начальный момент времени материал находится в твердом состоянии и имеет температуру плавления  $T_m$ . Однако в рамках модели «сглаженного» фазового перехода такая формулировка начального условия кажется противоречивой. А именно, согласно определению переключающей функции  $\phi$  (4), температуре  $T_m$  формально отвечает не твердый ( $\phi = 0$ ), а «наполовину расплавленный» материал ( $\phi = 0.5$ ), которому для перехода в жидкое ( $\phi = 1$ ) состояние требуется энергия, равная лишь половине теплоты плавления. Соответственно, если в качестве начального условия задавалась именно температура  $T_m$  ( $\Theta = 0$ ), а не  $T_m = -\eta$  (что отвечало бы твердому материалу), то в расчете могла быть значительно завышена скорость



распространения фронта плавления (особенно в начале процесса).

9. **А.И. Гурьянов**, д-р техн. наук, декан факультета авиадвигателестроения, профессор кафедры «Общая и техническая физика» Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева, *с замечанием*: в автореферате проведено сравнение результатов двумерного и трехмерного приближений в рамках рассматриваемого класса задач, однако практически отсутствуют результаты экспериментальных исследований для верификации предложенных вычислительных моделей.

В отзывах отмечается, что необходимость изучения фазовых превращений материалов для организации теплообмена находит все более широкое применение в микроэлектронике, энергетике, приборостроении, машиностроении и строительстве. Автором разработана вычислительная модель, описывающая динамику плавления материала и естественную конвекцию расплава внутри замкнутых двумерных и трехмерных областей с локальным источником тепла, в том числе при наличии однородного магнитного поля произвольной ориентации. С помощью разработанной модели проведен численный анализ нестационарных режимов плавления материалов с разными теплофизическими свойствами в широком диапазоне режимных параметров, исследовано влияние магнитного поля на динамику плавления металлического носителя, путем сравнения результатов двумерного и трехмерного расчетов определена область применимости двумерного приближения для рассматриваемого класса задач. В диссертации получены новые интересные научные результаты по структуре течения расплава, выявлены различные режимы течения и факторы, влияющие на интенсивность охлаждения тепловыделяющего элемента. Достоинством работы является и то, что автор дает развернутую интерпретацию результатов проведенных численных экспериментов. Полученные результаты могут быть использованы как при создании эффективных систем пассивного охлаждения тепловыделяющих элементов радиоэлектронной аппаратуры или электронной техники, так и при проектировании новых строительных материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Н.Н. Федорова** является известным специалистом в вопросах численного

исследования гидродинамики и тепломассопереноса в сложных технических системах; **В.А. Демин** является известным специалистом в вопросах исследования нелинейных режимов конвективного теплопереноса в различных системах при наличии переменных силовых полей; федеральное государственное бюджетное учреждение науки **Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН** (г. Новосибирск) является известной научной организацией в области механики жидкости и газа, теплофизики, разработки и проектирования новых материалов и технологий.

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

*разработана* вычислительная модель, описывающая нестационарные режимы плавления материалов с учетом конвективного теплообмена в замкнутых областях при наличии локальных источников энергии под воздействием внешнего однородного магнитного поля в преобразованных переменных «функция тока – завихренность» в плоской постановке и переменных «векторный потенциал – вектор завихренности» в пространственной постановке;

*проведен* численный анализ нестационарных режимов плавления внутри замкнутых квадратных и кубических областей при наличии тепловыделяющего элемента в условиях воздействия однородного магнитного поля. Установлено, что увеличение числа Рэлея приводит к формированию нескольких тепловых факелов и асимметрии в распределениях линий тока и изотерм.

*установлено*, что снижение локального числа Нуссельта на верхней стенке источника энергии обусловлено прогревом зоны расплава над нагревателем и, соответственно, уменьшением температурного градиента.

*установлено*, что с увеличением числа Гартмана коэффициент теплоотдачи источника уменьшается, при этом максимальный эффект достигается при горизонтальном направлении магнитного поля.

*установлено*, что при плавлении материалов с низким числом Прандтля в кубической области наличие боковых стенок приводит к развитию поперечных течений и влияет на характер движения межфазной границы. Под воздействием сильного магнитного поля происходит ослабление конвекции, и трехмерная модель течения становится более схожей с двумерной моделью.

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

в работе получены результаты, которые вносят вклад в исследования нестационарного процесса плавления и сопутствующего ему конвективного теплопереноса в материалах с изменяемым фазовым состоянием:

*разработана* методика математического моделирования нестационарных режимов плавления внутри замкнутых областей в преобразованных переменных «функция тока – завихренность» в двумерном случае и «векторный потенциал – вектор завихренности» в трехмерной постановке;

*установлены* границы применимости разработанной двумерной модели для описания процессов плавления в замкнутой квадратной области при наличии локального источника энергии для анализа интегрального теплопереноса в трехмерных объектах и локальных структур в среднем сечении кубической полости;

*установлены* основные закономерности воздействия внешнего однородного магнитного поля на конвективные режимы теплопереноса при фазовых переходах в замкнутых областях, содержащих локальные источники тепловыделения.

**Значение полученных соискателем результатов исследований для практики:**

*разработана* численная модель, предназначенная для решения задач естественной конвекции с фазовыми переходами в условиях воздействия однородного магнитного поля;

*получены* результаты, которые могут применяться для анализа влияния теплофизических свойств материалов, интенсивности тепловыделения источника, параметров внешнего магнитного поля на нестационарные режимы плавления внутри замкнутых областей.

**Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.** Разработанные автором численные модели могут быть использованы при решении широкого круга задач естественной конвекции, при анализе взаимодействия конвективных потоков и внешних магнитных полей в материалах с фазовыми переходами. Полученные новые численные результаты могут быть использованы для совершенствования существующих методик расчета теплового состояния энергетических объектов, а также для проектирования

эффективных систем обеспечения тепловых режимов электронной техники и рекомендованы для расширенного использования в учреждениях и академических институтах, которые занимаются исследованием тепло- и массопереноса в условиях фазовых превращений, таких как Национальный исследовательский Томский государственный университет, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (г. Новосибирск), Институт теоретической и прикладной механики СО РАН (г. Новосибирск), Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва), Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь), Институт теплофизики УрО РАН (г. Екатеринбург) и других образовательных, научных, академических и проектных организациях.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*для решения задачи использованы хорошо апробированные численные методы механики жидкости и газа;*

*выполнены принципы верификации физико-математических моделей;*

*проведено сравнение результатов численного моделирования с известными опубликованными теоретическими и экспериментальными данными других исследователей, показавшее хорошее согласование сравниваемых результатов.*

**Новизна результатов диссертационного исследования** заключается в развитии вычислительных моделей для описания нестационарных процессов плавления и режимов конвективного тепломассопереноса в замкнутых двумерных и трехмерных областях под воздействием однородного магнитного поля в преобразованных переменных «функция тока – завихренность» в двумерной постановке и «векторный потенциал – вектор завихренности» в трехмерной постановке.

С использованием разработанных моделей проведены численные исследования плавления материалов внутри квадратных и кубических областей с локальным источником тепловыделения.

На основе проведенных расчетов проанализировано влияние размеров рассматриваемой области решения и интенсивности тепловыделения на процесс плавления. Исследовано влияние интенсивности и направления магнитного поля на режимы плавления чистого галлия.

Впервые проведено сравнение результатов двумерного и трехмерного приближений в рамках рассматриваемого класса задач, позволяющее данные двумерной модели использовать для предварительного описания анализируемого процесса в пространственном случае.

**Личный вклад автора заключается в:** непосредственном участии в постановке всех задач, формулировании математических моделей, разработке вычислительных алгоритмов и программных кодов, выполнении расчетов, анализе всех полученных результатов. Постановка задач диссертации и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем. При активном участии соискателя подготовлены основные публикации по теме диссертации.

Диссертация отвечает критериям Положения о присуждении ученых степеней, установленным для диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, и, согласно пункту 9, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи сопряженного конвективного теплопереноса в материалах с изменяемым фазовым состоянием внутри замкнутых двумерных и трехмерных областей при наличии локальных источников энергии под воздействием однородного магнитного поля, имеющей значение для развития механики жидкости, газа и плазмы.

На заседании 28.12.2016 г. диссертационный совет принял решение присудить **Бондаревой Н.С.** ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Христенко Юрий Федорович

Пикушак Елизавета Владимировна

28 декабря 2016 г.