



Государственный научный центр Российской Федерации –  
федеральное государственное унитарное предприятие  
**"Исследовательский центр имени М.В.Келдыша"**  
**(ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша")**

ул. Онежская, д. 8,  
г. Москва, Россия, 125438

Тел. +7 (495) 456-4608  
Факс: +7 (495) 456-8228

ОКПО 07547339 ОГРН 1027700482303 kerc@elnet.msk.ru; kerc@comcor.ru  
ИНН/КПП 7711000836/774301001 <http://www.kerc.msk.ru>

02.12.2016 № 48-24/64

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Национальный исследовательский  
Томский государственный университет».  
Ученому секретарю диссертационного совета  
Д 212.267.13 кандидату физ. - мат. наук  
Е.В. Пикушак.  
Пр. Ленина, д.36, г. Томск, 634050

### ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Бондаревой Надежды Сергеевны  
«Численное исследование сопряженного конвективного теплопереноса в  
системах, содержащих материалы с фазовым переходом»,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01. 02. 05 – Механика жидкости, газа и плазмы**

В настоящее время перспективным способом повышения эффективности теплообмена считается создание условий, когда теплоперенос сопровождается фазовым переходом. Теплообмен при фазовом переходе «жидкость – пар» (теплообмен при испарении и кипении) изучается уже давно. Что касается конвективного теплообмена при плавлении, то он изучен гораздо меньше, хотя этот случай также интересен, как с научной, так и прикладной точек зрения. Здесь следует отметить, что системы с плавлением могут использоваться в технике не только для интенсификации теплообмена, но и в качестве временных накопителей энергии. Кроме того, для данного класса задач чрезвычайно широк круг практических приложений в области геофизики. Наконец, надо добавить, что обратная задача – задача о затвердевании в условиях конвекции представляет большой интерес для различных технологий выращивания кристаллов и здесь могут оказаться востребованными математические модели и численные методы, разработанные для решения прямой задачи. Поэтому тема диссертации Н.С.

Бондаревой актуальна и полученные в диссертации результаты представляют практический интерес.

В диссертации разработаны новые вычислительные модели для двумерных и пространственных задач о плавлении вещества в условиях естественной конвекции в жидкой фазе. В случае одномерного теплопереноса через плавящийся материал (задача Стефана) эффективным является подход, при котором предполагается скачкообразное изменение фазового состояния вещества на плоском фронте фазового перехода, скорость перемещения которого ищется из условий сопряжения решений в твердой фазе и расплаве. Однако для двумерных и пространственных нестационарных задач, когда надо определять еще и сложную и меняющуюся во времени конфигурацию фронта плавления, такой подход уже не рационален. Поэтому скачкообразное изменение фазового состояния при температуре плавления заменяется в диссертации процессом, протекающим в некотором конечном интервале температуры. Этот методический прием позволил значительно упростить процедуру расчета и получить новые научные результаты физического характера о характеристиках процесса плавления при наличии конвекции в двумерных и трехмерных задачах, в том числе в условиях, когда процесс подвержен влиянию магнитного поля.

Результаты диссертации широко апробированы на международных и российских конференциях и весьма полно опубликованы (8 статей в журналах из перечня ВАК).

Замечание:

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.

Несмотря на сделанное замечание, диссертационная работа Н.С.Бондаревой, судя по автореферату, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены новые научные результаты

по характеристикам сопряженного двумерного и трехмерного нестационарного теплообмена в системе «твердое вещество – расплав» при наличии конвекции и магнитного поля. Эти результаты представляют большой практический интерес применительно к геофизике и различным техническим приложениям.

Таким образом, диссертация Надежды Сергеевны Бондаревой «Численное исследование сопряженного конвективного теплопереноса в системах, содержащих материалы с фазовым переходом», соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (п. 9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01. 02. 05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы, профессор, главный научный сотрудник отделения твердотопливных ракетных двигателей Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша»

2 декабря 2016 г.

Черкасов Сергей Гелиевич

Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438

Контактный телефон: +7 (495) 456-20-62

Адрес электронной почты: [sgcherkasov@yandex.ru](mailto:sgcherkasov@yandex.ru)

Подпись д. ф.-м. н., профессора Черкасова С.Г. удостоверяю:

Ученый секретарь

Государственного научного центра Российской Федерации – федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В. Келдыша», кандидат военных наук

Ю.Л. Смирнов



Почтовый адрес: ул. Онежская, д. 8, г. Москва, Россия, 125438

Контактный телефон: +7 (495) 456-93-12

Адрес электронной почты: [kerc@elnet.msk.ru](mailto:kerc@elnet.msk.ru)

Я, Черкасов Сергей Гелиевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Бондаревой Надежды Сергеевны, и их дальнейшую обработку.