

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.316.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 10 февраля 2022 года № 1

о присуждении Иванковой Евгении Павловне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Моделирование стойкости оболочковой формы по выплавляемым моделям к трещинообразованию при охлаждении в ней отливки» по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твёрдого тела (технические науки) принята к защите 6 декабря 2021 г., протокол заседания № 7, диссертационным советом 24.2.316.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27, созданный приказом Минобрнауки России № 787/нк от 24 июня 2016 г.

Соискатель – Иванкова Евгения Павловна, 12 июля 1981 года рождения, в 2003 году окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» с присуждением квалификации инженер по специальности «Управление и информатика в технических системах». В настоящее время работает в должности старшего преподавателя кафедры «Промышленная электроника» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре «Авиастроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Научный руководитель – Дмитриев Эдуард Анатольевич, доктор технических наук, доцент, ректор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет».

Научный консультант – Одинокое Валерий Иванович, доктор технических наук,

профессор, Заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Официальные оппоненты:

Господариков Александр Петрович, гражданин РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», г. Санкт-Петербург;

Козлов Владимир Анатольевич, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительная механика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования (ФГАОУ ВО) «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток – в своём положительном заключении, подписанном Любимовой Ольгой Николаевной, доктором физико-математических наук, доцентом, профессором Отделения машиностроения, морской техники и транспорта Инженерного департамента Политехнического института (школы) Дальневосточного федерального университета, указала, что диссертация Евгении Павловны Ивановой является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Предложенные математические модели по определению оптимальных параметров термонапряженного состояния в многослойных оболочковых формах и методы их расчета позволили разработать для оболочковых форм новые структуры. Полученные результаты достоверны, все выводы обоснованы. Работа вносит существенный вклад в методы расчета математических моделей в термомеханике слоистых материалов. Диссертационная работа «Моделирование стойкости оболочковой формы по выплавляемым моделям к трещинообразованию при охлаждении в ней отливки» соответствует специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела», имеет важное научное и прикладное значение, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (в редакции от 11.09.2021), а ее автор Иванова Евгения Павловна – заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ по теме диссертации, из них 2 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 6 – в изданиях, индексируемых Scopus и WoS. Авторский вклад в подготовку работ состоит в разработке идеи конструирования многослойной оболочковой формы, методов и расчетов температурных напряжений, оценке и интерпретации полученных результатов.

Наиболее значимые работы:

1. Евстигнеев, А.И. Влияние внешнего теплового воздействия на напряженное состояние оболочковых форм по выплавляемым моделям / А.И. Евстигнеев, В.И. Одинокоев, Э.А. Дмитриев, Е.П. Иванкова, А.В. Свиридов // Математическое моделирование. – 2021. – Том 33 – № 1. – С. 63-76.

2. Odinokov, V.I. Modelling selection of structure and properties of monolayer electrophoretic shell molds during investment casting / V.I. Odinokov , E.A. Dmitriev, A.I. Evstigneev, A.V. Sviridov , E.P. Ivankova // Materials Today: Proceedings Volume 38, Part 4, 2021, P. 1672-1676 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.200>

3. Одинокоев, В.И. Моделирование и оптимизация выбора свойств материалов и морфологического строения структуры оболочковых форм по выплавляемым моделям / В.И. Одинокоев, Э.А. Дмитриев, А.И. Евстигнеев, Е.П. Иванкова, А.В. Свиридов // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2020. – Том 63 – № 9. – С. 742-754.

4. Евстигнеев, А.И. Развитие исследований напряженно-деформированного состояния оболочковых форм по выплавляемым моделям / А.И. Евстигнеев, Э.А. Дмитриев, В.И. Одинокоев, Е.П. Иванкова [и др.] // Литейное производство. – 2021. – № 5. – С. 16-20.

5. Одинокоев, В.И., Прогнозирование трещиностойкости многослойных оболочковых форм при заливке их сталью / В.И. Одинокоев, А.И. Евстигнеев, Э.А. Дмитриев, Е.П. Иванкова [и др.] // Литейное производство. – 2020. – № 7. – С. 26-30.

6. Патент № 2743439 С1 Российская Федерация, МПК В22С9/04 Оpubл. 18.02.2021 г., бюл. № 5 Литейная многослойная оболочковая форма / Евстигнеев А.И., Дмитриев Э.А., Одинокоев В.И., Иванкова Е.П.

7. Патент № 2763359 С1 Российская Федерация, МПК В22С9/04 Оpubл. 28.12.2021 г., бюл. № 1 Литейная многослойная оболочковая форма / Евстигнеев А.И., Дмитриев Э.А., Одинокоев В.И., Иванкова Е.П., Евстигнеева А.А.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616121 «Программа математического моделирования оптимизации выбора температуры опорного наполнителя, физических свойств материала и структуры оболочковой формы по выплавляе-

мым моделям для повышения её трещиностойкости при охлаждении в ней отливки» / В.И. Одинок, Э.А. Дмитриев, А.И. Евстигнеев, Е.П. Иванкова Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 16.04.2021 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные, указывается основное отражение замечаний):

Отзыв на диссертацию ведущей организации Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», имеет основные замечания:

1. Из приведенных соотношений в математических моделях Глав 2 - 5 не вполне ясно, как учитывается изменение напряженно-деформированного состояния в растущей затвердевающей «корочке», затем во всей массе расплава и как это влияет на изменение термических напряжений в оболочковой форме после охлаждения вплоть до полной кристаллизации отливки.

2. К сожалению, автор не проясняет по тексту работы зависимость коэффициента линейного температурного расширения от температуры и экстремальные значения нормальных напряжений, например на графиках Рисунков 2.1 - 2.3 в, г и Рисунка 3.2. в, г. Неясно, с чем связано существенно нелинейное изменение нормальных напряжений по толщине оболочковой формы при приведенных в работе постоянных теплофизических и механических коэффициентах и параболическом характере изменения температуры?

3. При приведении алгоритма решения задачи исследования напряженно-деформированного состояния оболочковой формы в Главе 2 (п.2.3) автор пишет «Решается система уравнений (2.2) с учетом разностных аналогов (2.6, 2.7, 2.9) и разработанной методики, описанной в работе [95]», но работа [95] Норри, Д де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. М.: Мир, 1981. – 304 с. - учебник, который содержит не одну методику решения систем, не ясно какой именно пользовался автор и что помешало ему привести или описать методику подробнее.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Господарикова Александра Петровича содержит следующие основные замечания:

1. Разработанные математические модели заливки жидкого металла в ОФ и затвердевания отливки применялись лишь для осесимметричных тел вращения, материал которых по слоям рассматривается изотропным, а деформации предполагались малыми.

2. Некоторые размерности физико-механических свойств материала (γ – удельный вес, G – модуль сдвига и т.д.) приведены не в системе СИ.

Отзыв на диссертацию официального оппонента Козлова Владимира Анатольевича содержит следующие основные замечания:

1. В первой главе на стр. 13 указано, что «исследованию НДС оболочковых форм по выплавляемым моделям посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ». Но сравнения полученных численных результатов с экспериментальными данными и численными исследованиями других авторов в диссертационной работе не приводятся.

2. Выводы по второй главе изложены очень кратко (три строки), в них не отражены преимущества и недостатки построенной автором математической модели, разработанного алгоритма решения в сравнении с другими научными исследованиями в рассматриваемой области.

3. В диссертационной работе все численные результаты представлены лишь для одной конфигурации литейной оболочковой формы – полусфера, сопряженная с цилиндром. В практике реального проектирования формы для отливки весьма разнообразны. Для сравнения можно было рассмотреть распределение напряжений в оболочковой форме другой конфигурации (например, полностью сферической).

4. С целью верификации представленных в работе численных решений следовало получить аналогичные результаты с помощью другого апробированного численного подхода (например, методом конечных элементов или конечных разностей).

Отзыв на автореферат от **Севастьянова Георгия Мамиевича**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории проблем создания и обработки материалов и изделий Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии (ИМиМ ДВО РАН) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук содержит замечания:

1. автореферат кажется перегруженным, некоторые детали численного интегрирования можно было бы сократить и большее внимание уделить результатам, в том числе описать характеристики процесса оптимизации;

2. поскольку напряженное состояние (судя по результатам) двухосное, то, возможно, лучшим выбором в качестве критерия прочности была бы интенсивность напряжений, а не максимальное координатное (которое, тем не менее, близко к наибольшему главному);

3. керамические материалы имеют, как правило, существенно разные пределы прочности на растяжение и сжатие.

Отзыв на автореферат от **Колокольцева Валерия Михайловича**, президента ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», доктора технических наук, профессора и **Феоктистова Нико-**

лая Александровича, заведующего кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», кандидата технических наук содержит замечания:

1. Из автореферата неясно применима ли представленная линейная математическая модель (в том числе изложенная в радиальных координатах) для описания тепловых условий формирования НДС фасонных отливок;

2. Учитываются ли предложенным математическим аппаратом фазовые напряжения в опорном наполнителе при температуре 573 °С, вследствие перехода оксида кремния модификации α-кварц в Р-кварц, сопровождающийся значительным изменением объема;

3. Применимы ли и использовались ли в полученном соискателем решении определения НДС температурные зависимости механических и теплофизических свойств слоев оболочковой формы.

Отзыв на автореферат от **Леушина Игоря Олеговича**, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Металлургические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ) содержит замечания:

1. В тексте автореферата не сформулированы основные отличия результатов работы автора от результатов работ предшественников, занимавшихся данной проблемой.

2. При формулировке автором задач исследования говорится о необходимости «разработки более адекватных математических моделей исследуемых процессов и объектов» (стр.4 автореферата). В этой связи возникает вопрос о том, что им понимается под большей адекватностью (модель либо адекватна, либо нет) и на каком основании ставится под сомнение адекватность моделей, разработанных другими исследователями.

3. Приведенные в тексте автореферата алгоритмы решения задач было бы целесообразно проиллюстрировать блок-схемами.

4. К сожалению, в своей работе автор ограничивается рассмотрением исключительно температурного и силового факторов влияния на напряженно-деформированное состояние многослойной оболочковой формы и не принимает во внимание такие свойства материала ее отдельных слоев и формы в целом, как газотворность и газопроницаемость, а также физико-химические процессы, протекающие в материале на различных этапах изготовления и использования литейной формы.

5. В тексте автореферата отсутствует информация об экспериментальной верификации расчетных данных, полученных с использованием разработанных математических моделей, не обозначены четкие границы области их применения в части геометрии и материала отли-

вок, а также состава, структуры и свойств материала отдельных слоев многослойных оболочковых форм.

6. Из текста автореферата не ясно, используется ли в действующем производстве и с какими результатами разработанная и зарегистрированная соискательницей программа для ЭВМ по математическому моделированию оптимизации выбора температуры опорного наполнителя, физических свойств материала и структуры ОФ по ВМ для повышения её трещиностойкости при охлаждении в ней отливки.

Отзыв на автореферат от **Карпова Александра Ивановича**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника лаборатории физико-химической механики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» содержит замечания:

1. Во втором абзаце на стр.8 (перед уравнением (4)) утверждается, что "... градиент температуры в жидкой фазе равен нулю", тогда как уравнение теплопроводности для жидкой фазы металла (второе уравнение системы (1)) предполагает наличие пространственного градиента температуры. Что является обоснованием такого заметного упрощения постановки для получения решения, выраженного уравнением (4)? Кажется бы, ничто не мешает решить уравнения теплопроводности (последние в системах (1) и (2)) по всей области с учетом границы фазового перехода (уравнение (3)).

Отзыв на автореферат от **Алексеева Геннадия Валентиновича**, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника, заведующего научно-исследовательской группой вычислительной аэрогидродинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук содержит замечания:

1. Из текста автореферата неясно, чем объясняется немонотонное распределение температуры в оболочковой форме на рис. 10 и 11 в отличие от ее распределений на рис. 3 - 5, 7 - 9?

2. Также нигде не сказано, зависят ли коэффициент линейного расширения и модуль сдвига, имеющие наибольшее влияние на изменение напряжений, от температуры. Если нет, то, возможно, учет такой зависимости повлиял бы на распределение итоговых напряжений.

Отзыв на автореферат от **Петрова Петра Петровича**, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника отдела «Технологии сварки и металлур-

гии» ФГБУН ФИЦ «ЯНЦ СО РАН», обособленного подразделения «Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова» СО РАН содержит замечания:

1. Самым существенным недостатком в автореферате считаю отсутствие апробации результатов исследований в работах Международных, Российских и региональных научно-технических конференциях, семинарах с выездом в другие города (кроме г. Севастополь);

2. На странице 21 реферата в заключении ссылка на собственную публикацию в каждом абзаце снижает корректность и красоту изложения материала.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **предложены** новые слоистые структуры оболочковых форм в литье по выплавляемым моделям, позволяющие понизить уровень возникающих температурных напряжений в условиях заполнения их жидким металлом и формирования отливки;

- **доказано** посредством расчетов температурных напряжений слоистой оболочки, предлагаемой конструкции, возможность снижения уровня температурных напряжений и повышения стойкости оболочек в целом к трещинообразованию;

- **разработаны** алгоритмы и программы расчетов в задачах теории температурных напряжений в многослойных оболочечных структурах с вариацией механических свойств слоев и задаваемых температур опорного наполнителя;

- **определены** основные исходные свойства материалов слоев оболочковой формы, их расположения в её структуре, с указанием значений параметров термомеханических свойств материалов слоев для достижения пониженного уровня температурных напряжений и недопущения разрушений;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **установлено**, что слои оболочковой формы могут быть изготовлены из традиционных исходных материалов, за исключением слоя, примыкающего к наружному внешнему слою оболочки;

- **показано**, что основным термомеханическим параметром, определяющим стойкость оболочковой формы к разрушению при заливке её жидким металлом, является коэффициент линейного расширения материалов формы;

- **найден** технологически оправданное значение температуры нагрева опорного наполнителя при заливке стали в холодную литейную оболочковую форму равное 500°C;

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

- фундаментальные уравнения механики деформируемых тел, средств математической физики, теории разностных схем.

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

- **изучены** связи напряженного состояния многослойной оболочковой формы с термомеханическими свойствами материалов слоев оболочек, их морфологическим строением и внешним тепловым воздействием, как со стороны жидкого металла, так и опорного наполнителя;

- **разработаны** новые опытные структуры оболочковых форм, технологическая новизна которых подтверждена полученными патентами на изобретения;

- **установлены и указаны** условия и параметры внешнего температурного воздействия на оболочку, приводящие к трещинообразованию в ней и ее возможному разрушению;

- **реализован и зарегистрирован** программный комплекс по математическому моделированию оптимизации выбора температуры опорного наполнителя, физических свойств материала и структуры оболочковой формы по выплавляемым моделям для повышения её трещиностойкости при охлаждении в ней отливки;

- **результаты исследования внедрены** в учебный процесс Комсомольского-на-Амуре государственного университета при выполнении практических и лабораторных работ в дисциплине «Математическое моделирование» и «Численные методы», при выполнении магистерских и аспирантских исследований;

- **предложены** рекомендации по расширению полученных результатов по морфологическому строению литейных многослойных оболочковых форм и их напряженному состоянию на другие функциональные оболочки и оболочечные конструкции.

Оценка достоверности результатов выявила:

- математическая модель изучаемых процессов основана на использовании фундаментальных уравнений механики деформируемых тел, положений и средств математической физики, теории конечно-разностных схем;

- **идея базируется** на анализе практики и обобщении передового опыта в части образования микро- и макротрещин и даже полного разрушения оболочковых форм при заливке и

