

**Заключение диссертационного совета Д 01.024.04 на базе  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» и  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНЕЦКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета Д 01.024.04 от 24.03.2020 г. протокол №06/20

**О ПРИСУЖДЕНИИ**

**Вороновой Ольге Сергеевне**

**ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Вычислительные алгоритмы и программные средства геометрического моделирования многофакторных тепломассообменных процессов» по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки) принята к защите «21» января 2020 г., (протокол № 02/20) диссертационным советом Д 01.024.04 на базе ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» и ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ», 283001, г. Донецк, ул. Артема, 58, корп. 1, ауд. 203 Тел./факс: 380(62) 304-30-55, e-mail: [uchensovnet@donntu.org](mailto:uchensovnet@donntu.org) (приказ о создании диссертационного совета № 802 от 20.09.2018 г., приказ об изменении состава диссертационного совета № 1743 от 09.12.2019 г.)

Соискатель, Воронова Ольга Сергеевна, 1985 года рождения в 2008 году окончила Донбасскую национальную академию строительства и архитектуры по специальности «Архитектура зданий и сооружений». В 2009 году окончила магистратуру при Донбасской национальной академии строительства и архитектуры по специальности «Архитектура зданий и сооружений». Работает ассистентом кафедры «Специализированные информационные технологии и системы» ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ».

Диссертация выполнена на кафедре специализированных информационных технологий и систем ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ».

Научный руководитель: Конопацкий Евгений Викторович, кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой специализированных информационных технологий и систем, ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ».



Официальные оппоненты:

1. ПРОВОТОРОВ ВЯЧЕСЛАВ ВАСИЛЬЕВИЧ, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры уравнений в частных производных и теории вероятностей, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», Российская Федерация, г. Воронеж;

2. ТАРАБАЕВА ИННА ВИКТОРОВНА, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Прикладная математика» ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики, г. Донецк.

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет», г. Брянск, в своем положительном заключении, подписанным проректором по научной работе, канд. техн. наук, доцентом Сканцевым В.М., указала, что диссертационная работа является завершенной научно-исследовательской работой, содержащей важные теоретические и практические положения, обладает научной новизной и практической значимостью, соответствует научной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), полностью отвечает требованиям п. 2.2 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Воронова Ольга Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области научно-практических исследований вычислительных алгоритмов и программных средств моделирования многофакторных тепломассообменных процессов, а также наличием публикаций в соответствующей сфере исследований.

Соискатель имеет 11 опубликованных научных работ: в том числе 5 – в рецензируемых научных журналах и изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук в Российской Федерации и Донецкой Народной Республики; 3 – по материалам научных конференций; 3 – в других изданиях.

#### **Наиболее значимые работы по теме диссертации:**

1. Воронова, О.С. Геометрическая модель взаимозависимости физических параметров хладагента R407C [Текст] / О.С. Воронова // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк: ГУ ИПИИ. – 2018. – №4 (11). – С. 52–61.

2. Воронова, О.С. Конструирование составных поверхностей отклика применительно к моделированию зависимости физических параметров хладагента [Текст] / О. С. Воронова // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк: ГУ ИПИИ. – 2019. – №1 (12). – С. 52–63.



3. Конопацкий, Е.В. Геометрическое моделирование и оптимизация физико-механических свойств дегтеполимербетона [Текст] / Е.В. Конопацкий, А.И. Бумага, А.А. Крысько, О.С. Воронова // Информационные технологии в проектировании и производстве. – Москва: ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас». – 2019. – №1 (173). С. 20–24.

4. Воронова, О.С. Геометрическое моделирование параметров физического состояния воды и водяного пара [Текст] / О.С. Воронова, Е.В. Конопацкий // Вестник кибернетики. – Сургут: БУ ВО ХМАО–Югры «Сургутский государственный университет», 2019. – №1 (33). – С. 29-38.

5. Воронова, О.С. Математическое моделирование физических параметров хладагента на основе составных поверхностей отклика [Текст] / О. С. Воронова // Информатика и кибернетика – Донецк: ДонНТУ, 2019. – № 3(17)-2019. – С. 54-62.

На автореферат поступило 10 отзывов. Все отзывы положительные. В них отражены актуальность исследования, дана оценка основным результатам, указаны замечания, а также сделаны положительные заключения о соответствии работы требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В отзывах содержатся следующие замечания:

1. **Бездитный Андрей Александрович**, кандидат технических наук по специальности 05.01.01 – Прикладная геометрия, инженерная графика, доцент кафедры экономики, финансов и учета, Севастопольский филиал ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», РФ, г. Севастополь:

В автореферате не упоминается один из наиболее распространенных программных комплексов для моделирования термодинамических процессов MSC Cradle, математический аппарат которого основан на методе дискретного элемента.

2. **Кобзаренко Дмитрий Николаевич**, доктор технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), ведущий научный сотрудник лаборатории комплексного освоения возобновляемых источников энергии, Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики – филиал ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН, РФ, г. Махачкала:

Относительно формулировки первого защищаемого положения «Применение геометрической теории многомерной интерполяции позволяет исключить необходимость решения громоздких СЛАУ для выбранного интерполянта в процессе моделирования многофакторных теплообменных процессов». При такой формулировке получается, что применение геометрической теории многомерной интерполяции имеет преимущество по скорости вычисления по сравнению с решением через СЛАУ. Но скорость расчетов при современных возможностях вычислительной техники не всегда актуальна и для ее подтверждения необходимо дать сравнительную оценку выигрыша во времени для определенной категории задач. Если выигрыш в минутах это одно, в сутках – совсем другое.



**3. Кокарева Яна Андреевна**, кандидат технических наук по специальности 05.01.01 – Прикладная геометрия, инженерная графика, доцент кафедры «Информационные системы в строительстве» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», РФ, г. Ростов-на-Дону:

3.1. Из автореферата неясна логика разбиения план-схемы на рисунке 6 и получения коэффициентов в системе уравнений для модели 3-факторного процесса.

3.2. Выполнялось ли сравнение предлагаемого алгоритма оптимизации конструктивных и эксплуатационных характеристик с решением аналогичной задачи классическими методами оптимизации?

**4. Кучеренко Вадим Владимирович**, кандидат технических наук по специальности 05.01.01 – Прикладная геометрия, инженерная графика. Начальник планово-экономического отдела ООО «Юго-Западная торговая компания», РФ, г. Белгород:

Из замечаний можно выделить не раскрытый в автореферате вопрос о граничных точках сетках – происходит ли наложение таких точек для соседних сеток, а результат вычислений определяется как средневзвешенный, или имеет место стыковка с определенным порядком гладкости.

**5. Рябинин Константин Валентинович**, кандидат физико-математических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, доцент, доцент кафедры математического обеспечения вычислительных систем ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», РФ, г. Пермь:

5.1. На стр. 11 в формулах использована переменная  $\bar{i}$ , значение которой не объяснено.

5.2. Указано, что предложенный подход более эффективен с точки зрения вычислений, чем классические, однако не приводятся конкретных сравнений по затраченному машинному времени и/или теоретических оценок временной сложности разработанного алгоритма.

**6. Дворецкий Александр Тимофеевич** доктор технических наук по специальности 05.01.01 – Прикладная геометрия, инженерная графика, профессор, заведующий кафедрой «Геометрического и компьютерного моделирования энергоэффективных зданий», Академия строительства и архитектуры ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» РФ, г. Симферополь:

6.1. В автореферате отсутствует информация о сравнении результатов многомерной интерполяции при моделировании тепломассообменных процессов с существующими программными средствами расчёта, что не позволяет в полной мере оценить эффективность предложенных в работе вычислительных алгоритмов.

6.2. С точки зрения формальной логики, представляется не совсем корректными постановка цели и задач исследований в части «обоснования вычислительных алгоритмов». Скорее всего в работе речь идёт о разработке



новых вычислительных алгоритмов, а не об обосновании возможности использования существующих алгоритмов для решения поставленных в работе задач.

**7. Столбова Ирина Дмитриевна**, доктор технических наук по специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки), доцент, заведующая кафедрой дизайна, графики и начертательной геометрии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», РФ, г. Пермь:

7.1. В автореферате недостаточно четко сформулированы объект и предмет исследования, из чего можно сделать вывод, что исследуются любые тепломассообменные процессы.

7.2. В автореферате отсутствует информация об экономической эффективности внедрения полученных результатов моделирования.

**8. Цыганков Александр Васильевич**, доктор технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), профессор, Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, РФ, г. Санкт-Петербург:

8.1. На стр. 1 указано, что использование математического аппарата БН-исчисления исключает необходимость составления и решения СЛАУ, но на рисунке 9 в блок-схеме алгоритма показана необходимость составления и решения СЛАУ.

8.2. Не обоснован выбор в качестве экстраполирующей функции полинома Бернштейна.

8.3. Приведено сравнение результатов расчета уравнения нестационарной теплопроводности предлагаемым методом и методом разделения переменных. Представляется целесообразным провести дополнительно сравнение по вычислительной эффективности (количество арифметических операций) с другими численными методами, например, би-кубической сплайн интерполяцией на регулярной и нерегулярной сетке.

**9. Гонтовой Сергей Викторович**, кандидат технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов, доцент, заведующий кафедрой «Специализированные компьютерные системы» государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донбасский государственный технический университет», ЛНР, г. Алчевск:

9.1. Из текста автореферата не ясны принципы обоснования вычислительных алгоритмов (второй раздел).

9.2. Из текста автореферата не понятно, что автор считает «достаточной степенью совпадения с эталонным решением» (стр. 16).

**10. Карпов Александр Иванович**, доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и



комплексы программ (физико-математические науки), главный научный сотрудник лаборатории физико-химической механики Института механики ФГБУН Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН, РФ, г. Ижевск:

10.1. Расположение точек дискретных значений, представленных на рис. 2-4, выглядит достаточно «хорошо» и интерполяция проводится достаточно гладкими полиномами невысокого порядка. Понимая, что это модельное изображение, отмечу, что реальные экспериментальные точки могут содержать аномальные значения, приводящие к нефизичным отрезкам интерполирующих функций, для корректировки которых необходимы отдельные алгоритмы.

10.2. Является ли единственным решение неоднородного модельного уравнения теплопроводности, представленное на стр. 15 и возможно ли получение более простого полинома, с достаточной точностью соответствующего аналитическому решению?

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований по специальности 05.13.18:**

**разработаны:**

- принципиальный вычислительный алгоритм геометрического моделирования многофакторных тепломассообменных процессов, основанный на геометрической теории многомерной интерполяции;

- вычислительные алгоритмы геометрического моделирования дискретизированных двухфакторных тепломассообменных процессов и проведен вычислительный эксперимент на примере моделирования физического состояния теплоносителя различного технического назначения с помощью многомерной интерполяции;

- комплекс программ, сформированный на основе вычислительных алгоритмов геометрического моделирования многофакторных тепломассообменных процессов, который позволяет с высокой точностью описать модели дискретизированных двухфакторных тепломассообменных процессов на примере моделирования физического состояния теплоносителя различного технического назначения и обеспечить проведение вычислительных экспериментов по моделированию и оптимизации конструктивных и эксплуатационных характеристик жаротрубных котлоагрегатов.

**предложен:**

- вычислительный алгоритм аппроксимации решения неоднородного уравнения теплопроводности в частных производных с помощью геометрических интерполянтов, который легко обобщается на многомерное пространство и потому может быть использован для решения дифференциальных уравнений с большим количеством переменных.

**доказана:**

- эффективность применения геометрической теории многомерной интерполяции, которая позволяет исключить необходимость решения громоздких СЛАУ для выбранного интерполянта в процессе моделирования многофакторных тепломассообменных процессов;



– возможность эффективного использования дискретизации поверхностей отклика, которая позволяет повысить точность моделирования многофакторных тепломассообменных процессов в случае большого количества экспериментально-статистических данных.

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

**применительно к проблеме диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован математический аппарат БН-исчисление, который позволяет эффективно решать задачи математического моделирования многофакторных тепломассообменных процессов, а вычислительные алгоритмы на его основе значительно упрощают программную реализацию и уменьшает затраты ресурсов;**

**изложены принципы геометрического и компьютерного моделирования многофакторных тепломассообменных процессов с помощью многомерных интерполяции и аппроксимации, что эффективно используется для решения задач технической термодинамики и теплопередачи с большим количеством экспериментально-статистической информации;**

**раскрыты новые возможности многомерной интерполяции для моделирования многофакторных тепломассообменных процессов в виде мультипараметрических геометрических интерполянтов многомерного аффинного пространства;**

**изучены принципы формирования геометрических интерполянтов на основе исходных экспериментально-статистических данных и их применение для разработки вычислительных алгоритмов моделирования многофакторных тепломассообменных процессов;**

**проведена модернизация методов многомерной интерполяции и аппроксимации на примере численного решения задач моделирования физического состояния теплоносителя различного технического назначения с различной реологией, а также моделирования и оптимизации конструктивных и эксплуатационных характеристик жаротрубных котлоагрегатов, что позволяет автоматизировать и компьютеризировать процессы их проектирования и расчета.**

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

**разработаны и внедрены:**

– вычислительные алгоритмы геометрического моделирования дискретизированных двухфакторных тепломассообменных процессов на примере моделирования физического состояния теплоносителя различного технического назначения в практику проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха жилых и общественных зданий (справка о внедрении № 25 от 21.05.19 г. выдана ЧП «Гасикспецстрой», г. Донецк);

– методика численного решения дифференциальных уравнений с большим количеством переменных с помощью многопараметрических геометрических объектов многомерного аффинного пространства при разработке кафедральной научно-исследовательской темы К-2-09-16 «Геометрическое и компьютерное



моделирование факторов влияния на напряженно-деформированное состояние инженерных сооружений» ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ» (справка б/н от 10.04.19 г. ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»);

– геометрическая теория многомерной интерполяции при проведении практических занятий по дисциплине «Геометрическое моделирование многофакторных процессов и явлений» для подготовки аспирантов по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ» (справка № 02 от 16.04.19 г. ГОУ ВПО «ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ»).

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что высокая степень достоверности результатов моделирования многофакторных тепломассообменных процессов обеспечивается корректным использованием методов многомерной интерполяции и аппроксимации, для которых все необходимые свойства закладываются заранее на стадии формирования модели процесса;

**идея базируется** на обобщении передового опыта геометрического и компьютерного моделирования многофакторных тепломассообменных процессов и явлений с помощью многомерной интерполяции и аппроксимации;

**использованы** методы научной визуализации для сравнения результатов аппроксимации неоднородного уравнения теплопроводности однородного стержня, с результатами полученными на основе метода разделения переменных;

**установлено** совпадение авторских результатов аппроксимации неоднородного уравнения теплопроводности однородного стержня, с результатами полученными на основе метода разделения переменных.

**Личный вклад соискателя состоит** в реализации поставленных задач данного исследования; формулировке и разработке основных положений, определяющих научную новизну и практическую ценность работы; основные научные результаты диссертации, полученные лично автором, которые включают:

– обоснование вычислительных алгоритмов геометрического моделирования дискретизированных двухфакторных тепломассообменных процессов на примере моделирования физического состояния теплоносителя различного технического назначения;

– разработку алгоритмов и проведение вычислительных экспериментов по моделированию и оптимизации конструктивных и эксплуатационных характеристик жаротрубных котлоагрегатов;

– разработку способа аппроксимации решения неоднородного уравнения теплопроводности однородного стержня с помощью геометрических интерполянтов;

– создание комплекса программ по реализации предложенных вычислительных алгоритмов в программном пакете Maple.



На заседании от «24» марта 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Вороновой О.С. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 8 докторов наук, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 16, против 2, недействительных бюллетеней 1.

Председатель  
диссертационного совета Д 01.024.04  
д-р техн. наук, профессор

  
(подпись)

В.Н. Павлыш

Учёный секретарь  
диссертационного совета Д 01.024.04  
канд. техн. наук

  
(подпись)

Т.В. Завадская

