

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.380.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.06.2025 № 6

О присуждении Денисихиной Дарье Михайловне, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научные основы математического моделирования воздухообмена и воздухораспределения в общественных зданиях» по специальности 2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» принята к защите 05.03.2025, протокол заседания № 2, диссертационным советом 24.2.380.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, почтовый индекс 190005, адрес организации г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, утверждён приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 09 ноября 2012 года №717/нк, приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25 мая 2016 года №590/нк, приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 декабря 2017 года №124/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 30 января 2019 года №37/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 27 января 2020 года № 35/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 18 ноября 2020 года №681/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 сентября 2021 года №968/нк, приказом Министерства науки и высшего

образования Российской Федерации от 27 ноября 2023 года №2153/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 25 сентября 2025 года № 889/нк.

Соискатель Денисихина Дарья Михайловна «22» марта 1979 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Численное моделирование автоколебательных вентиляционных течений» по научной специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы защитила в 2005 году в диссертационном совете, созданном на базе ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Ученая степень кандидата физико-математических наук утверждена Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации в 2005 г. (диплом КТ № 180936 от 12.05.2006 г.).

В 2014 г. присвоено ученое звание доцента по специальности «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» (диплом ЗДЦ № 000771 от 05.11.2014 г.).

С 01.09.2014 года по настоящее время работает в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции в должности доцента.

В период подготовки диссертации с 01.09.2015 по 31.08.2018 соискатель Денисихина Дарья Михайловна являлась докторантом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по специальности 05.23.03 - Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции.

Научный консультант – Дацюк Тамара Александровна, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры строительной физики, электроэнергетики и электротехники, доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты:

Аверкова Ольга Александровна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», кафедра теплогазоснабжения и вентиляция, профессор;

Зиганшин Арслан Маликович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра «Информационные системы и технологии в строительстве», заведующий кафедрой;

Сулин Александр Борисович, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы», ординарный профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет», г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном Костиным Владимиром Ивановичем (доктор технических наук, профессор, заместитель главного редактора журнала «Известия ВУЗов. Строительство») и Мансуровым Рустамом Шамильевичем (кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции), указала, что диссертационная работа Денисихиной Дарьи Михайловны обладает научной новизной и практической значимостью, является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполненной на высоком научном уровне. Выдвинутые на защиту положения обоснованы и доказаны. Поставленные задачи решены в полном объеме. Представлены новые научно-технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в создание эффективных и экономичных систем климатизации надземных зданий любого назначения. Работа обладает

внутренней логикой, изложена в научно-техническом стиле, оформление соответствует установленным требованиям. Автореферат соответствует содержанию и в полной мере передаёт её суть. Представленные в диссертации материалы достаточно полно отражены в 38 публикациях, в том числе 16 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и 2 в рецензируемом издании из базы данных SCOPUS. Тематика диссертационных исследований соответствует паспорту специальности «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение»: п.1 «Исследования теплового, воздушного, влажностного режимов помещений, зданий и сооружений», п.4 «Разработка математических моделей, методов, алгоритмов, использование численных методов, с проверкой адекватности, для расчёта, конструирования проектирования систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха». Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор Денисихина Дарья Михайловна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Основные результаты диссертации опубликованы в 38 научных публикациях, в том числе 16 опубликованы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ. Получен патент РФ на изобретение.

Работы, опубликованные в ведущих научных рецензируемых изданиях, перечень которых размещён на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии, и приравненные к ним:

1) Анисимов, С. М. Решение задачи турбулентного переноса импульса, тепла, примеси в объеме "чаши" Ледовой Арены / С. М. Анисимов, Д. М. Денисихина, В. И. Полушкин // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 5(34). – С. 149-155.

2) Денисихина, Д. М. Численное исследование нового способа кондиционирования помещений / Д. М. Денисихина // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 15.

3) Денисихина, Д. М. Особенности численного моделирования поведения воздушных потоков в объемах концертных и театральных залов / Д. М. Денисихина // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 3(22). – С. 98.

4) Денисихина, Д. М. Численное моделирование неизотермических турбулентных течений в помещениях плавательных бассейнов / Д. М. Денисихина // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 3(44). – С. 189-194.

5) Денисихина, Д. М. Конвективно-радиационный теплообмен человека в задачах математического моделирования распределенных параметров микроклимата в помещениях / Д. М. Денисихина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2014. – № 38(57). – С. 143-150.

6) Денисихина, Д. М. Исследование различных схем воздухораспределения ледовых арен / Д. М. Денисихина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 5(677). – С. 38-48.

7) Денисихина, Д. М. Оценка теплового комфорта в помещениях на основе анализа результатов математического моделирования / Д. М. Денисихина // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 3(50). – С. 183-193.

8) Денисихина, Д. М. Модель человека в задачах расчета распределенных параметров микроклимата в помещении / Д. М. Денисихина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 2(32). – С. 192-199.

9) Денисихина, Д. М. Непостоянство кинематического коэффициента при истечении из современных воздухораспределительных устройств / Д. М. Денисихина, К. В. Кочарьянц // Научное обозрение. – 2017. – № 10. – С. 40-47.

10) Денисихина, Д. М. Численное моделирование истечения из современных воздухораспределительных устройств / Д. М. Денисихина, Ю. В. Иванова, В. В. Мокров // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2(49). – С. 200.

11) Денисихина, Д. М. Изменение параметров микроклимата в течение хоккейного матча в зале крытой ледовой арены / Д. М. Денисихина, С. В. Русаков // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2019. – № 6. – С. 26-37.

12) Денисихина, Д. М. Численное исследование закономерностей распределения CO₂ в общественных зданиях / Д. М. Денисихина // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 5. – С. 368-372.

13) Денисихина, Д. М. Расчет коэффициента воздухообмена методами математического моделирования параметров микроклимата / Д. М. Денисихина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – № 4(66). – С. 337-345.

14) Денисихина, Д. М. Расчет воздухообмена и воздухораспределения в объеме зрительных залов театров / Д. М. Денисихина, В. К. Аверьянов, А. В. Цыганков // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 3. – С. 23-28.

15) Денисихина, Д. М. Разработка математических моделей для численного моделирования приточной струи из низкоскоростных воздухораспределителей / Д. М. Денисихина, К. А. Копылов, К. В. Кочарьянц // Инновации и инвестиции. – 2024. – № 9. – С. 515-518.

16) Денисихина, Д. М. Численное исследование работы системы напольного водяного охлаждения / Д. М. Денисихина // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16, № 3. – С. 52.

Патент:

17) Патент № 2495333 С2 Российская Федерация, МПК F24F 7/02. Отопительно-охлаждающее потолочное устройство: № 2011152436/12 : заявл.

21.12.2011: опублик. 10.10.2013 / В. С. Бурцева, Д. М. Денисихина, Д. В. Королев; заявитель Закрытое Акционерное Общество "БЮРО ТЕХНИКИ".

Монографии:

18) Гримитлин, А. М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования: монография / А. М. Гримитлин, Т. А. Дацюк, Д. М. Денисихина. – Санкт-Петербург: Изд-во «АВОК Северо-Запад», 2013. – 190 с. - ISBN 978-5-902146-33-9

Работы, опубликованные в других изданиях:

19) Денисихина Д.М. Численное исследование процесса вентиляции частично открытой прямоугольной полости воздушной струей // Проблемы газодинамики и теплообмена в энергетических установках: Труды XV Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева, Калуга, 23–27 мая 2005 года. – Москва: МЭИ, 2005. – С. 59-62.

20) Денисихина Д. М. Эффективные воздухораспределители и методы исследований / Д. М. Денисихина, С. И. Бурцев // Вентиляция, отопление, тепло-, газо-, водоснабжение жилых, промышленных и общественных зданий – пути повышения эффективности, экологической безопасности и энергосбережения: сборник статей. – Санкт-Петербург: АВОК Северо-Запад, 2005. – С. 6-8.

21) Денисихина Д.М. Ячейка со встречно направленными потоками, как элемент новых эффективных воздухораспределителей / Д. М. Денисихина, М. Л. Соколенко // Повышение эффективности работы систем тепло-, газо-, водоснабжения, отопления и вентиляции: Сборник материалов международного форума молодых специалистов. – Москва: МГСУ, 2005. – С. 47-49.

22) Бурцев С. И. Математическое моделирование процессов турбулентного переноса в профессиональной практике техники вентиляции и кондиционирования воздуха / С. И. Бурцев, Д. М. Денисихина. – АВОК:

Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2006. - №5. - С. 40-49.

23) Баль С.В. Опыт применения пакета STAR-CD к задаче вентиляции офисов Бизнес-Центра / С. В. Баль, Д. М. Денисихина, О. С. Хрустова // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. – 2006. - №2(22). – С. 32.

24) Денисихина Д.М. Математическое моделирование турбулентных течений в проекте реконструкции Национального академического Большого театра оперы и балета Республики Беларусь / Д. М. Денисихина, А. В. Худов. – Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. – 2007. - № 2(28). – С. 32-38.

25) Эффективное распределение воздуха с помощью “генератора комфорта” / Л. Я. Баландина, С. И. Бурцев, Д. М. Денисихина и др. - Инженерные системы. АВОК–Северо-Запад. – 2007. - №4(31). - С. 68-71.

26) Денисихина Д. М. Численное моделирование вытесняющей вентиляции // Качество воздушной среды: V Международная конференция "Воздух 2007": материалы конференции, Санкт-Петербург, 05–07 июня 2007 года. – Санкт-Петербург: Инфо-да, 2007. – С. 214-216.

27) Гримитлин, А. М. Математическое моделирование течения в объеме чаши стадиона для холодного периода года / А. М. Гримитлин, Д. М. Денисихина, А. В. Зузо // Актуальные проблемы современного строительства: сборник научных трудов. Ч. 3. - СПб.: [б. и.], 2008. – С. 70-74.

28) Математическое моделирование в технике вентиляции и кондиционирования воздуха / Денисихина Д. М., Бурцев С. И., Полушкин В.И. // Вестник МАНЭБ. – 2008. - Том13, №1. - С. 38-46.

29) Денисихина Д. М. Численное решение задач вентиляции пористых сред с источником теплоты / В. Р. Таурит, Д. М. Денисихина // Доклады 66-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. В 5 ч. Ч II. / Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2009. - С. 124-126.

30) Денисихина, Д. М. Повышение качества воздушной среды. Использование методов математического моделирования / Д. М. Денисихина,

М.В. Самолетов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2010. – № 6. – С. 68-73.

31) Денисихина Д. М. Методология построения математических моделей для задач вентиляции и кондиционирования воздуха / Д. М. Денисихина // Денисихина Д. М. Методология построения математических моделей для задач вентиляции и кондиционирования воздуха / Д. М. Денисихина // Качество воздушной среды - потребление, здоровье, экономика: VI Международная конференция "Воздух-2010", 9-11 июня 2010 года: материалы конференции / ред. Битколов Н. З. и др. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2010. – 220 с. – С. 98-112.

32) Математическое и физическое моделирование подачи воздуха в чистую зону / А. М. Гримитлин, Р. Б. Знаменский, Д. М. Денисихина и др. // Качество воздушной среды - потребление, здоровье, экономика: VI Международная конференция "Воздух-2010", 9-11 июня 2010 года: материалы конференции / ред. Битколов Н. З. и др. – Санкт-Петербург: [б. и.], 2010. – 220 с. – С. 132-136.

33) Justification of air change reduction using numerical simulation methods / Denisikhina D., Lukanina M., Samoletov M., Zuzo A, and others // Roomvent: proceeding of The 12th International Conference on Air Distribution. – Trondheim, Norway: Tapir Academic Press, 2011. - p. 103.

34) Денисихина, Д. М. Математическое моделирование микроклимата в помещениях серверных / Д. М. Денисихина, М. В. Самолетов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2011. – № 8. – С. 78-85.

35) Денисихина, Д. М. Математическое моделирование микроклимата в помещении бассейна / Д. М. Денисихина, М. А. Луканина, М. В. Самолетов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2012. – № 6. – С. 56-61.

36) Денисихина, Д. М. Анализ проектного решения систем вентиляции и кондиционирования воздуха ледовой арены г. Сочи методами математического моделирования // Инженерно-экологические системы: материалы международной научно-практической конференции 10–12 октября 2012 г. / Под общ. ред. Т. А. Дацюк. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2012. – С. 107–111.

37) Денисихина Д. М. Численные исследования воздушораспределения стеснёнными струями / Д. М. Денисихина, К. В Кочарьянц // Актуальные проблемы строительства: материалы 69-й Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов "Актуальные проблемы современного строительства" 6-8 апреля 2016 года: в 3 ч. Ч. 3 / М-во образования и науки Рос. Федерации, С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т. - СПб.: [б. и.], 2016. – С. 181–188.

38) Datciuk, T. A. Predicting air quality in underground structures / T. A. Datciuk, D. M. Denisikhina, E. A. Anshukova // Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations: Proceedings of the International Conference on Geotechnics Fundamentals and Applications in Construction: New Materials, Structures, Technologies and Calculations, GFAC 2019. – Saint Petersburg: Taylor & Francis Group, 2019. – P. 54-58.

39) Datciuk, T. A. Results of studying chilled ceiling unit operation / T. A. Datciuk, D. M. Denisikhina // Proceedings of the 12th International Conference on Contemporary Problems of Architecture and Construction, ICCPAC 2020. – Saint Petersburg, Russia. Netherlands: Taylor and Francis Group, 2021. – P. 335-338.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1) ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и инженерные системы в строительстве», доктор технических наук по специальности 05.23.08 – Технология и организация строительства, профессор **Цветков Николай Александрович** и доцент кафедры «Теплогазоснабжение и

инженерные системы в строительстве», кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и молекулярная физика, доцент **Толстых Александр Витальевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– на стр. 16 автореферата диссертации указано, что полуэмпирические модели турбулентности позволяют получать характеристики вентиляционных течений в больших объемах общественных зданий, с точностью 5-15%. Не ясно относительно каких эталонных значений сделана эта оценка точности. Возможно производилось сравнение только с результатами численного моделирования на основе LES- подхода. Если использовались еще какие-либо данные, необходимо сделать уточнение и указать их источник;

– на стр. 11 автореферата диссертации сообщается, что доказана достоверность расчетов с использованием разработанных моделей на основе сопоставления с результатами натурных и лабораторных экспериментов. Однако в автореферате представлен лишь достаточно частный случай, отражающий сопоставление результатов лабораторных экспериментов на сопловом воздухораспределителе SMK 200 и результатов моделирования истечения воздуха (на стр. 14 автореферата). Результаты сопоставления расчетных параметров микроклимата в помещениях больших объемов и соответствующих данных, полученных в натурных экспериментах, не представлены в автореферате диссертации.

2) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории рудничной аэродинамики, доктор технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», доцент по кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» **Лугин Иван Владимирович** и научный сотрудник лаборатории рудничной аэродинамики, кандидат технических наук по специальности 25.00.20 –

Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» **Кияница Лаврентий Александрович.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

– автор путает понятия «математическая модель» «расчетная модель для численного метода». Математическая модель – это система уравнений, которая решается тем или иным методом с использованием краевых условий, заданных в расчетной модели. В данной работе автор не разрабатывает новые математические модели (по крайней мере, в автореферате они не представлены), автором разработана достаточно полная методологическая база, позволяющая создавать адекватные расчетные модели для процессов теплообмена в помещениях, оборудованных системами ОВиК, с применением методов вычислительной аэрогазодинамики;

– сравнению различных подходов учета турбулентности в CFD, и, в частности, сравнению и обоснованию применимости LES и RANS, в системах ОВиК, посвящено достаточно большое количество работ. Из этих работ известно, что условиях ТГиВ, ОВиК, при отсутствии необходимости решения воздухо- и теплораспределения в помещениях, сопряженных с узкоспецифичными задачами (например, с задачей акустики или резонансно-вихревого возбуждения конструкции), RANS подход дает достаточную точность, и применять LES нет необходимости. Поэтому непонятно, зачем автор проводит обоснование применимости в таких задачах RANS подхода по сравнению с LES - это общеизвестный, и, в настоящее время, тривиальный факт;

– в разделе 3 автореферата автором обоснована необходимость учета лучистого теплообмена при численном моделировании процессов в помещении, однако, судя по автореферату, этот достаточно широкий и общий вывод сделан по результатам нескольких конкретных расчетов, с конкретными условиями теплообмена. Почему автор не использует для обоснования необходимости учета лучистой составляющей какие-то общепринятые количественные критерии, например, число Больцмана?

– в разделе 4 указывается, что автором разработаны упрощенные математические модели теплотехнического оборудования, основанные на замене сплошными или пористыми телами с применением эффективных свойств. Однако такие подходы известны и широко применяются на практике в научно- инженерной среде при расчете теплообменных аппаратов, радиаторов, ребристых элементов и т.д., а также содержатся в учебных пособиях производителей программного обеспечения для численного моделирования (например, FlowVision, CadFlo, Ansys, Comsol и т.д.). Что составляет научную новизну результатов автора для этого раздела диссертации?

3) ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», заведующий кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», доктор технических наук по специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, профессор **Ерёмкин Александр Иванович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в работе отсутствуют исследования системы вытесняющей вентиляции с использованием математического моделирования параметров внутреннего микроклимата в зоне стратификации помещения здания и на этой основе сравнительная оценка эффективности вытесняющей вентиляции в сравнении с системами перемешивающего типа;

– недостаточно полно приведены исследования на основе математического моделирования влияние приточных струй на формирование микроклимата в помещении при применении различных конструкций воздухораспределительных устройств, в том числе, воздухораспределителя с активным затуханием приточной струи из оппозитных щелей.

4) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры «Теплогазоснабжение и нефтегазовое дело», доктор технических наук по специальности 20.02.06 – Военно-строительные комплексы и конструкции, доцент **Куцыгина Ольга**

Александровна и доцент кафедры «Строительная механика», кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, газоснабжение и освещение, доцент **Чуйкин Сергей Владимирович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– из содержания автореферата не ясно, каким образом решалась трехмерная нестационарная задача оценки пространственно-временного распределения параметров микроклимата с массовым пребыванием людей, какие допущения и граничные условия использовались при численном моделировании;

– из текста автореферата не понятно, что подразумевается под смешанно-конвективными вентиляционными течениями, указанными в цели диссертации и связано ли это понятие с вынужденным радиационно-конвективным теплообменом;

– требуется пояснение, чем объясняется разная размерность параметров Q_k и Q_ϵ приведенных в п.5 на стр.23;

– в выводе 4 более корректным могло быть выражение «...учитывающая параметры воздействия».

5) ФГБОУ ВО «Московский архитектурный институт», профессор кафедры «Инженерное оборудование зданий», доктор технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, член-корреспондент РААСН, профессор **Табунщиков Юрий Андреевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в автореферате недостаточно информации об представленных в таблице 5 критериях подобия;

– на рисунке 10 сложно определить значения температуры на поверхности теплообменника;

– следовало рассмотреть возможность использования систем с переменным расходом воздуха для ледовых арен.

б) ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук по специальности 05.23.04 «Водоснабжения, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов», доцент **Зеленцов Данила Владимирович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– на рисунке 1 стр. 13, в структурной схеме постановки решения задач воздухообмена и воздухораспределения представлены частные элементы общей математической модели, при этом в граничных условиях в части ограждающих конструкций отсутствует такой элемент как «покрытие», в части источников тепло-, влаго-, газовыделений - «оборудование». С чем связано отсутствие данных пунктов в структурной схеме, особенно такого элемента как «покрытие» (с учетом назначения рассматриваемых в работе помещений, поставленных задач радиационного теплообмена), неясно;

– на стр.18 констатируется, что «отсутствие учета радиационного теплообмена приводит к занижению температуры внутренней поверхности фасадной конструкции», и делается вывод, что при этом будет завышена требуемая производительность системы отопления. При этом ниже говорится, что несмотря на более низкую температуру конструкции, теплотери помещения не увеличились. Если теплотери не увеличились, то каким образом производительность системы отопления может быть завышена?

7) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение», доктор технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, член-корреспондент РААСН, профессор **Кочев Алексей Геннадьевич** и кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент кафедры «Теплогазоснабжение», доцент **Соколов Михаил Михайлович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в автореферате не представлена информация по выбору контрольных точек при оценке достоверности выполненного LES расчёта;

– на странице 29 нет сведений, какой именно интегральный подход имеется в виду на рисунке 16?

8) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», профессор кафедры «Безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве», доктор технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, профессор **Боровков Дмитрий Павлович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в автореферате указано, что результаты, полученные в ходе численного расчета, сопоставлялись с результатами лабораторного эксперимента. Однако описанию последнего уделено недостаточно внимания, что затрудняет оценку сходимости полученных различными методами результатов;

– из автореферата не вполне понятно, почему в ходе расчета теплового баланса помещения без учета радиационного теплообмена, получены повышенные значения температуры воздуха (рис. 7). Возможно, имеет место неточная формулировка.

9) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент **Белова Елена Михайловна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в автореферате отсутствует упоминание о начальных и граничных условиях к системе дифференциальных уравнений 1;

– не совсем корректная фраза: «параметры в зоне ледового поля, в том числе на отметке 1,5 м (таблица 7), определяются не только работой систем

кондиционирования воздуха (СКВ), обеспечивающих подачу воздуха в направлении поверхности льда, но зависят также от средних по объему значений температуры и влагосодержания, формирующихся в объеме чаши арены» для вывода о взаимном влиянии потоков воздуха в зоне зрителей и ледового поля.

10) ФГБОУ ВО «Юго-Западный Государственный Университет», г. Курск, профессор кафедры инфраструктурных теплоэнергетических систем, доктор технических наук по специальности 03.00.13 – Экология, профессор **Ежов Владимир Сергеевич** и доцент кафедры инфраструктурных теплоэнергетических систем, кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент **Семичева Наталья Евгеньевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– поля скорости на рисунке 2 в автореферате следовало представить в безразмерном виде;

– не объяснен немонотонный характер распределения CO_2 по высоте зрительного зала №3 на рисунке 18 б.

11) ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» (МГТУ им. Г.И. Носова), доцент кафедры Урбанистика и инженерные системы, кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент **Старкова Лариса Геннадьевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в п.9 автореферата, на основе рисунка 16, сделан вывод от том, что при расчете нестационарной задачи в ледовой арене «для вытесняющей вентиляции воздухообмен может быть уменьшен на 25% от величины, рассчитанной с помощью балансового метода». В связи с тем, что данный вывод очень важен для процесса проектирования подобных объектов, хотелось бы увидеть более четкое доказательство данного вывода, например сопоставлением интегральных величин и указанием на рисунке 16

скорректированного уровня балансовых линий, а также более четкую формулировку: «может» или «должен» воздухообмен быть уменьшен на 25%.

12) ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ, декан Строительного факультета, доктор технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, профессор **Калашников Михаил Петрович** и заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение, вентиляция и управление недвижимостью», кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент **Аюрова Оюна Бадмацыреновна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– из автореферата не ясно, при каких условиях проводилось численное моделирование для объема ледовой арены при сравнении с данными натурального эксперимента;

– на рисунке 8 отсутствуют геометрические характеристики светопрозрачной конструкции;

– на рисунке 4 плохо читаемая шкала оси ординат.

13) УО «Брестский государственный технический университет», заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, кандидат технических наук по специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика», доцент **Новосельцев Владимир Геннадьевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

- по автореферату имеются незначительные замечания редакционного характера.

14) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», г. Симферополь, заведующий кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения им. академика Б.И. Боровского Института «Академия строительства и архитектуры», доктор технических наук по специальности 05.11.17 — Приборы, системы и изделия медицинского

назначения, профессор **Федюшко Юрий Михайлович** и старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения им. академика Б.И. Боровского Института «Академия строительства и архитектуры», кандидат технических наук по специальности 05.26.01 — Охрана труда, **Голышев Андрей Александрович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в автореферате (таблица 5) применяются термины: существенные теплопоступления, существенные влагопоступления, и т.д. Целесообразно было бы количественно конкретизировать границы этих понятий;

– при расчете нестационарной задачи для схемы вытесняющей вентиляции необходимо подтвердить вывод, о допустимости уменьшения воздухообмена на 25% от величины, полученной с помощью балансового метода, соответствующими вычислениями;

– автор рассматривает четыре схемы циркуляции потоков воздуха в помещении плавательного бассейна (рисунок 19) при одинаковых исходных данных. По нашему мнению, в автореферате не в полной мере приведена информация о том, какая схема воздухораспределения является оптимальной.

15) ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», доцент кафедры теплогазоснабжения, кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент **Павлов Михаил Васильевич**

Отзыв положительный, имеются замечания:

– несмотря на обширный теоретический анализ и применение численного моделирования, в диссертационной работе не представлено достаточного количества натуральных экспериментов для широкого спектра зданий различного функционального назначения, что сужает сферу подтвержденной применимости разработанных моделей;

– в исследовании отсутствует детальное обоснование выбора конкретных граничных условий и параметров моделирования, используемых

при численном решении уравнений Навье-Стокса, что может повлиять на интерпретацию полученных расчетных данных и их универсальность.

16) ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», заведующий лабораторией «Вычислительная гидроаэроакустика и турбулентность», доктор физико-математических наук по специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы, профессор **Стрелец Михаил Хаимович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– наличие в тексте ряда стилистических шероховатостей, чрезмерная лаконичность подписей к рисункам и некоторые терминологические неточности (например, в качестве основы моделирования автор иногда называет уравнения Навье-Стокса, а иногда — уравнения Рейнольдса, что далеко не одно и то же);

– вывод о применимости двухпараметрических моделей турбулентности, в частности, нелинейной k-ε модели к расчету вентиляционных течений следовало бы сформулировать более осторожно: хорошо известно, что полуэмпирические модели турбулентности не универсальны, и область применимости любой из них ограничена течениями, на которых проводилась калибровка эмпирических констант и валидация путем сравнения с экспериментом.

17) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, доцент **Ширяева Нина Павловна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– каким образом в разработанных моделях учитывался теплообмен с наружными ограждениями? Какое влияние будет иметь изменение наружных климатических условий на Формирование полей температуры, влажности, газов внутри помещения?

– просьба более подробно изложить информацию о натурном эксперименте, проведенном для обоснования влияния движущихся людей (стр.23 автореферата): методика и условия проведения, измеряемые величины, применяемый инструментарий;

– проводился ли натурный эксперимент по уточнению формирования полей концентраций углекислого газа, в том числе, для проверки полученных значений коэффициента воздухообмена K_{CO_2} ? Какой инструментарий при этом использовался?

– исследовался ли вопрос взаимодействия восходящей конвективной струи от отопительного прибора (конвектора) с потоком нисходящей конвективной струи у холодной поверхности наружного остекления (раздел 4 автореферата)? Сопоставлялись ли результаты моделирования с результатами других автором (например, В.Н. Богословского)?

– учитывались ли показатели теплоусвоения и теплопоглощения помещения при моделировании формирования нестационарных полей температуры?

– в связи с применением автором в моделях сложного лучисто-конвективного теплообмена в помещениях учитывалось ли взаимное излучение между телами в помещении, имеющими различную температуру поверхности?

– чем обусловлена величина экономии 6 млн. руб., связанная с корректировкой работы системы воздухораспределения (состав затрат)? Для какого объекта выполнялся расчет?

18) ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», и.о. заведующего кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», директор НОЦ «ТГВ», кандидат технических наук по специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент **Саргсян Самвел Володяевич.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

– приведенные результаты, представленные на рисунках № 6, 7 и 8, следовало сравнивать с данными зарубежных авторов;

– для более полного описания вентиляционных процессов в объеме помещений, где доминируют избытки углекислого газа, следовало привести формулу, определяющую коэффициент воздухообмена для CO_2 .

19) ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, заместитель директора по науке, доктор технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения, доцент **Умнякова Нина Павловна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– не представлена информация о характере изменения влагосодержания по высоте ледовой арены на стр. 19. Не понятно о каком искажении идет речь;

– на рисунке 3, где автор приводит результаты влияния моделей турбулентности на характеристики струи из современных воздухораспределителей, затруднен анализ полей скорости вследствие нечеткой количественной информации;

– из автореферата не ясно, каким образом влияет положение светильников на распределение CO_2 на стр.28;

– на рис. 8, где автор приводит поля температуры на поверхности фасадных конструкций, не обоснован указанный температурный диапазон, который должен зависеть от теплотехнических характеристик КФС.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью в научной и образовательной средах, в исследуемой предметной области, наличием опубликованных статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также способностью определить научную и практическую значимость исследования, спецификой и актуальностью их основных научных работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научные основы реализации дифференциального подхода для решения задач вентиляции применительно к общественным зданиям с массовым пребыванием людей на основе численного решения уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу; классификация условий формирования параметров микроклимата в помещениях большого объема при совместном действии приточной вентиляции и конвективных потоков; комплекс математических моделей, для определения рациональных воздухообменов и прогнозирования распределения параметров микроклимата и концентрации углекислого газа;

предложена гипотеза – применение 3D моделирования при проектировании объектов строительства для прогнозирования распределения параметров микроклимата в помещениях большого объема с источниками тепло-, массо- и газовыделений для обоснования рациональных решений по системам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВиК) и энергопотреблению;

обоснована применимость и достоверность результатов численных расчетов воздухообмена и воздухораспределения при сравнении с данными натурного эксперимента, выполненного в чаше ледовой арены г. Сочи, расхождение результатов не превышает 10 %; необходимость учета радиационной составляющей для объектов с тепловыделениями, особенно при наличии светопрозрачных фасадов, неучёт радиационного теплообмена приводит к существенным ошибкам в определении параметров микроклимата;

создана на базе многочисленных численных исследований классификация условий формирования параметров микроклимата в помещениях общественных зданий, реализованная в комплексе математических моделей, которая позволяет на стадии проектных решений прогнозировать характер 3D распределений параметров микроклимата и концентраций CO_2 , корректировать нагрузку на системы ОВиК, обеспечив рациональное использование энергоресурсов;

показана возможность получения достоверных результатов численных расчетов воздухообменов и пространственного распределения параметров микроклимата и CO₂ для общественных зданий большого объема: крытых ледовых арен, зрительных залов, бассейнов и др. при использовании упрощенных моделей оборудования систем вентиляции и кондиционирования воздуха на приемлемых для практики расчетных сетках.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

обосновано применение полуэмпирических моделей турбулентности, необходимых для замыкания уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу при решении задач ОВиК для помещений большого объема при совместном действии источников тепло-, влаго- и газовыделений; доказана необходимость учета радиационного теплообмена, особенно при наличии больших площадей светопрозрачных конструкций; разработаны научные основы математических моделей воздухообмена и воздухораспределения при решении задач ОВиК, обеспечивающие достоверность численных расчетов для помещений большого объема общественных зданий с массовым пребыванием людей;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования – сертифицированный программный комплекс ССМ+, применение которого для решения задач ОВиК на стадии проектирования позволяет выбрать рациональные варианты организации воздухообмена и воздухораспределения;

изложены основные положения построения математических моделей для различных задач воздухораспределения в помещениях большого объема с массовым пребыванием людей;

раскрыто влияние степени детализации расчетной сетки и источников тепло-массовыделений на точность решения используемых уравнений аэродинамики и достоверность результатов;

изучены на основе выполненных численных расчетов 5 ледовых арен, 4 зрительных залов и помещений бассейнов особенности формирования

воздушного режима, которые использовались для уточнения коэффициентов воздухообмена, выбора оборудования систем вентиляции и кондиционирования воздуха и мест его размещения;

проведена модернизация расчетных моделей с учетом радиационного теплообмена, обоснованной степени детализации оборудования систем ОВиК и расчетных сеток для объектов с тепловыделениями, особенно при наличии светопрозрачных фасадов большой площади с целью повышения точности результатов.

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

разработан и внедрен комплекс математических моделей для расчета на стадии проектирования особенностей воздухообмена и 3D распределения параметров микроклимата и оценки качества воздушной среды 11 объектов, что подтверждается актами о внедрении:

- 1) актом о внедрении в АО «ГОРПРОЕКТ» (г. Москва) от 06.02.2025;
- 2) актом о внедрении в ООО «АТП ТЛП архитекторы и инженеры» (г. Москва) от 13.02.2025;
- 3) актом о внедрении в ООО «Метрополис» (г. Москва) от 10.02.2025;
- 4) актом о внедрении в ООО ТПО «ПРАЙД» (г. Москва) от 07.02.2025;
- 5) актом о внедрении в ООО «ММ-Технологии» (г. Санкт-Петербург) от 05.02.2025;
- 6) актом о внедрении в ООО «РУСЬЭНЕРГОМОНТАЖ» (г. Санкт-Петербург) от 06.02.2025;
- 7) актом о внедрении в ООО «Центр ОПСН» (г. Москва) от 07.02.2025;
- 8) актом о внедрении в ООО «ВЕНТКРАФТ» (г. Москва) от 05.02.2025;

9) актом о внедрении в ООО «Команда Аспект» (г. Москва) от 06.02.2025;

10) актом о внедрении в ООО «Арктос» (г. Санкт-Петербург) от 10.02.2025;

11) актом о внедрении в ООО ППФ «Александр Колубков» (г. Москва) от 14.02.2025.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции СПбГАСУ при подготовке обучающихся по направлениям подготовки «Строительство» (08.03.01, 08.04.01), «Теплоэнергетика и теплотехника» (13.04.01);

определены по результатам расчетов на примере ледовых арен и зрительных залов коэффициенты воздухообмена по температуре k_t , концентрации CO_2 k_{CO_2} , влагосодержанию k_d и получены обобщенные зависимости в безразмерных величинах для вертикальных распределений температуры;

создана методическая база применения математического моделирования для решения задач ОВиК при проектировании сложных объектов;

представлены практические рекомендации по использованию разработанных моделей для численных расчетов задач определения воздушного режима различных объектов, пространственных распределений параметров микроклимата и концентраций CO_2 .

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовался современный сертифицированный программный комплекс, современные приборы и методы исследований, регламентированные отечественными нормативными документами, с применением современных поверенных средств измерений; численные методы с применением программных комплексов и с учетом известных классических работ по вентиляции, струйным течениям и аэродинамике, позволившие получить обоснованные и достоверные результаты;

теория основана на применении общепринятых научных подходов физико-математического описания процессов тепломассообмена и аэродинамики,

методов численного моделирования; результаты согласуются с опубликованными данными экспериментальных исследований, полученными соискателем и другими авторами;

идея базируется на проведенном аналитическом обзоре научно-технической литературы, обобщающем фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых в области тепломассообмена и аэродинамики, способов расчета струйных течений, воздухообмена и воздухораспределения;

использованы данные лабораторных экспериментов, результаты научных исследований, полученные российскими и зарубежными учеными;

установлена согласованность результатов лабораторных и натурных исследований, математического моделирования и инженерного расчета;

использованы современные методики проведения исследований с применением поверенных средств измерений, сбора и статистической обработки данных при экспериментальных исследованиях струйных течений и воздухораспределения в помещениях большого объема.

Личный вклад соискателя состоит в выборе направления исследований; сборе, систематизации и анализе научных источников по теме исследования; непосредственном участии на всех этапах исследования; разработке математических моделей; в исследовании и обобщении теоретических и экспериментальных материалов по теме; постановке и проведении численных исследований; в проведении экспериментальных лабораторных и натурных исследований с обработкой полученных данных; формулировании выводов и рекомендаций, подготовке научных публикаций по результатам исследований.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания:

1. Какой социальный и экономический эффект проделанной работы?
2. Уточните, в чем состоит рабочая гипотеза?
3. Какое воздействие человека на формирование воздушного режима?

Вы учитывали дыхание человека?

4. Какая ваша главная научная новизна и какое влияние окажет ваш научный результат на дальнейшее развитие предметной области ТГВ?

5. Какие дальнейшие перспективы развития численных методов для решения задач аэродинамики и вентиляции?

6. В чем различие математической модели и численной модели? В автореферате, п. 4, также указано – «разработаны математические модели элементов системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха», но в тексте автореферата нет ни одной формулы.

7. Совокупность каких научных результатов можно квалифицировать как научные основы?

8. На слайде 22 представлены модели человека. Почему выбрана модель №4 и что являлось критерием ее выбора? Обоснован ли выбор модели человека №4 натурными экспериментами?

9. Цель вашей работы – уточнение коэффициентов воздухообмена в зданиях больших размеров, ваша работа позволяет сделать это уточнение?

10. Ваши результаты по коэффициентам воздухообмена для помещений больших объемов согласуются данными, полученными классическими методами и приведенными в справочниках? Они подверглись корректировке?

11. Какой машинный комплекс вы использовали? 32 ядра вам хватало?

12. Использовалась ли LES модель при моделировании ледовой арены?

13. Использовался ли Лагранжев подход при рассмотрении нестационарной задачи?

14. При рассмотрении радиационного теплообмена используется модель серого тела и широкополосного излучения. Какая разница между ними, по времени счета?

15. Какой диапазон частот для широкополосных моделей?

Соискатель Денисихина Д.М. ответила на задаваемые в ходе заседания вопросы и привела следующую аргументацию:

1. Экономический эффект от внедрения разработанного комплекса математических моделей для расчетов на стадии проектирования по всем исследуемым объектам ориентировочно не менее 70 млн. рублей. Социальный эффект от внедрения результатов – обеспечение нормативных (комфортных) условий в помещениях большого объема с массовым присутствием людей за счет анализ и корректировки проектных решений по организации воздухообмена, полученных традиционными методами.

2. Гипотеза состоит в том, чтобы использовать методы численного моделирования для улучшения качества воздушной среды и гарантированного распределения параметров микроклимата в помещениях большого объема с массовым пребыванием людей.

3. Да. При моделировании человека задавалось выделение углекислого газа в соответствии с данными, известными в литературе. Принималось, что воздух, выдыхаемый человеком, содержит 4% углекислого газа. В работе выполнены исследования влияния конвективных потоков от человека на распространение углекислого газа, а также вариант распределения CO_2 , выдыхаемого человеком, в отсутствие конвективных потоков. Показано, что и выдыхаемый теплый воздух, содержащий углекислый газ и конвективные потоки от человека влияют на формирование воздушных течений, что особенно заметно при вытесняющей схеме вентиляции, когда в обслуживаемой зоне низкие скорости воздуха и эти эффекты выражены более ярко.

4. Я считаю, что основная научная новизна – это разработка научных основ для постановки и решения задач для области вентиляции и кондиционирования воздуха. Комплекс разработанных расчетных моделей позволит при анализе проектных решений грамотно ставить задачи и использовать численные методы с целью выбора рациональных вариантов

организации воздухообменов, что невозможно, используя классические методы расчета.

5. Продолжать развивать численные методы, повышать точность расчетов, применять их для различных областей, включая промышленность, внедрять в практику проектирования. С применением разработанных моделей совершенствовать способы организации воздухообменов и расчетные методы.

6. В работах по вычислительному моделированию практически сложно провести границу между математическим и численным моделированием. Термин математическое моделирование используют для обозначения той части работы, которая связана с анализом используемых уравнений, приведенных на слайде №4, для решения конкретной задачи. Численное моделирование (программные коды) включают: выбор исходных уравнений, описание граничных условий, выбор расчетной сетки, степени детализации элементов и источников тепло-массовыделений. Для применения подробных моделей, где учитываются все геометрические и теплотехнические характеристики оборудования систем отопления и вентиляции, требуются расчетные сетки, содержащие десятки миллионов ячеек, что для практических расчетов не приемлемо.

7. Обоснована применимость полуэмпирических моделей турбулентности применительно к вентиляционным течениям. Разработана научно обоснованная структурная схема решения задач вентиляции и кондиционирования, даны обоснования применимости тех или иных уравнений, разработаны условия формирования воздушных течений и комплекс моделей, которые рекомендовано применять для решения конкретных задач вентиляции. Система уравнений, которая известна как уравнения Навье-Стокса, может успешно применяться в различных областях техники (обтекание самолета, течение в компрессоре и др.). Но, чтобы сделать их пригодными для решения вопросов вентиляции и повышения качества проектных решений, нужна разработка основ научных, то есть какие выбрать

уравнения, как сформулировать граничные условия, какую модель турбулентности выбрать и как применять.

8. Самая подробная модель была взята из литературных источников, а далее разрабатывались 3-D модели упрощенных вариантов. Определялась допустимая степень детализации описания геометрии человека, необходимая для сохранения точности расчетов при сравнении с моделью №1. Показано, что использование наиболее простой геометрии человека не влияет на расчётные параметры микроклимата в помещениях большого объема. Натурные сравнения не проводились. На слайде №22 приведены не все сведения. В работе сравнение проводилось также для полей температуры, скорости воздуха, распределения углекислого газа, т.е. оценивалось влияние изменения формы человека на распределение параметров микроклимата вблизи человека и в объеме помещений больших размеров.

9. Цель работы была – разработать методы, а это уже применение разработанных методов, для получения подробной картины распределения параметров микроклимата. Проведенные численные расчеты позволили уточнить коэффициенты воздухообмена, например, для ледовых арен и зрительных залов.

10. Да, я сравнивала значения. Например, для помещений, условно, простых, при сохранении схемы циркуляции значения совпадают. А для помещений большого объема значения коэффициентов воздухообмена по температуре, которые приведены в справочниках, для каких-то вариантов совпадают, а для каких-то существенно отличаются. В диссертационной работе есть такое сравнение. Это связано с тем, что при численном моделировании учитываются дополнительные факторы: схемы воздухообмена, расположение источников тепловыделений и их характеристики, температура ограждающих поверхностей и др., которые невозможно учесть при интегральных методах расчета. Например, в условиях смешанных течений применение интегральных методов расчета не позволяет с достаточной степенью точности определить коэффициенты воздухообмена.

11. 32 ядра, оперативная память около 200 Гб. При использовании STAR-CCM расчет распределения параметров микроклимата в зрительном зале при применении разработанных упрощенных моделей проводился в течение 2 суток.

12. Нет, не использовался. С развитием вычислительной техники модели постепенно усложняются.

13. LES модель использовалась для зрительного зала. Расчеты проводились в течение 4 месяцев. То есть LES-метод пока невозможно использовать для практических задач.

14. Нет, в такой постановке не использовался. Такой подход в программном комплексе есть, но его применение для решения практических задач микроклимата в больших объемах потребует больших вычислительных ресурсов.

15. Различие в результатах расчета около 30%, но по точности зависит от задачи. Широкополосная модель включает излучаемую энергию на длинах волн $\lambda=10^{-7} - 3 \cdot 10^{-6}$ м, так и поглощаемую стеклом длинноволновую часть инфракрасного излучения при $\lambda > 3 \cdot 10^{-6}$ м. В работе показано, что применение модели серого тела, например, для остекленных атриумов приводит к существенно заниженным значениям температуры воздуха, что сказывается на распределении параметров микроклимата.

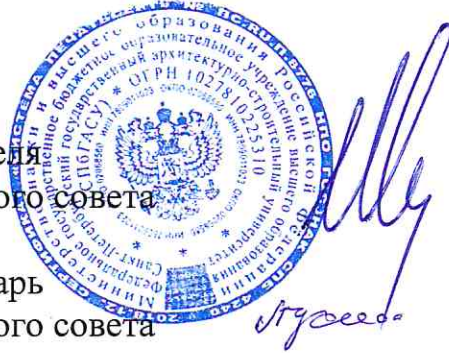
На заседании 17 июня 2025 года диссертационный совет принял решение - за разработку научных основ математического моделирования воздухообмена и воздухораспределения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, присудить Денисихиной Дарье Михайловне ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав

совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали:
за – 13, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Ульрих Дмитрий
Владимирович

Пухкал Виктор Алексеевич

«17» июня 2025 года