

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.129.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ТЕПЛОФИЗИКИ ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 15.02.2023 № 4/2023

О присуждении Мешковой Виктории Дмитриевне, гражданке Российской Федерации,
учёной степени кандидата технических наук

Диссертация «Физическое и численное моделирование аэродинамики и теплообмена в условиях городской застройки» по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника принята к защите 26.10.2022, протокол № 20-1/2022 диссертационным советом 24.1.129.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1, приказы Минобрнауки России от 11.04.2012 № 105/нк, от 03.06.2021 № 561/нк.

Соискатель Мешкова Виктория Дмитриевна, 27.05.1992 года рождения, на момент защиты диссертации работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории физико-химических технологий разработки трудноизвлекаемых запасов углеводородов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет». В 2017 году окончила магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» (СФУ) по направлению подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, а в 2021 г. окончила очную аспирантуру СФУ по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия.

Диссертация выполнена на кафедре теплофизики Института инженерной физики и радиоэлектроники в период обучения в аспирантуре СФУ. Научный руководитель – Дектерев Александр Анатольевич - кандидат технических наук, доцент, основное место работы: старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук.

Официальные оппоненты: - Половников Вячеслав Юрьевич - доктор технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего

образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», доцент Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова Инженерной школы энергетики;

- Иванов Николай Георгиевич - кандидат физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого», директор Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики - дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ), г. Пермь в своем положительном заключении, подписанном Деминым Виталием Анатольевичем – доктором физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой теоретической физики ПГНИУ и Бабушкиным Игорем Аркадьевичем – кандидатом физико-математических наук, доцентом, заведующим кафедрой общей физики ПГНИУ, указали, что «Практическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что автором разработан комплексный подход к прогнозированию уровня комфорта городской застройки с учетом множества факторов внешней среды. Отработанные экспериментальные и численные методики можно использовать при разработке проектной документации капитального строительства для обоснования тех или иных технологических решений, что позволит аргументировано подходить к планированию застраиваемых территорий».

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, опубликовано 2 работы и 9 работ, индексируемых Web of Science и/или Scopus, а также 15 тезисов докладов, индексируемых в базе РИНЦ, общим объемом 89 страниц. В опубликованных работах получены результаты исследования формирования ветрового комфорта в зоне пребывания человека в условиях городской среды, а также продемонстрированы возможности программного комплекса SigmaFlow как инструмента, который можно использовать для прогнозирования внешних условий, формируемых в жилой застройке. Представлены результаты верификации, используемых соискателем численных алгоритмов. Продemonстрированы результаты экспериментальных исследований образования различных ветровых зон при обтекании модельных объектов на аэродинамическом стенде. Выполнена оценка влияния городской застройки на формирование областей повышенной температуры и исследовано влияние различных условий теплообмена на распространение загрязняющих веществ в приземной области атмосферы.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Мешкова В.Д., Дектерев А.А., Филимонов С.А., Литвинцев К.Ю. SigmaFlow как инструмент исследования ветрового комфорта в условиях городской среды // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2022. – 15(4) – С. 490–504. DOI: 10.17516/1999-494X-0398 (входит в перечень ВАК).

2. Мешкова В.Д., Дектерев А.А., Литвинцев К.Ю., Филимонов С.А., Гаврилов А.А. Роль городской застройки в формировании «острова тепла» // Вычислительные технологии. – 2021. – 5. – 26. – С 4-14 (перечень ВАК и база цитирования Scopus).

3. Meshkova V. D., Filimonov S. A. and Shebelev A. V. (2018) Computational modeling of architectural and construction aerodynamics problems // J. of Physics: Conf. Series. – p 7, DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012079 (база цитирования Scopus и Web of Science).

4. Meshkova V., Dekterev A., Filimonov S. (2020). Investigation of the airflow conditions at the city residential areas // Journal of Physics: Conference Series. – p 7, DOI: 1565. 012090. 10.1088/1742-6596/1565/1/012090 (база цитирования Scopus).

5. Meshkova V., Dekterev A., Gavrilov A., Filimonov S. (2020). Calculation of wind flows in residential areas and assessment of their impact on pedestrian comfort // Journal of Physics: Conference Series. – p. 7, DOI: 012020. 10.1088/1742- 6596/1677/1/012020 (база цитирования Scopus).

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные. В отзывах отмечено, что исследование выполнено на высоком научном уровне, тема работы является актуальной, полученные результаты обладают научной новизной и способствуют решению задач в области строительной теплофизики, экологической безопасности и комфортного развития жилой среды города посредством комплексного подхода анализа закономерностей влияния аэродинамики и тепломассообмена на формирование внешних условий.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Исаева С.А. – профессора, заведующего лабораторией фундаментальных исследований ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», содержится три замечания: «1. Отсутствует обзор работ по рассматриваемой тематике, причем как отечественных, так и зарубежных. Следует отметить наличие защищенных диссертаций по смежным специальностям, таких как, например, работа С.И. Дубинского «Численное моделирование ветровых воздействий на высотные здания и комплексы», выполненная в МГСУ в 2010 году. 2. Принципиальный вопрос численного и физического моделирования в аэродинамике и теплофизике окружающей среды – перенос результатов на натуру. Числа Рейнольдса (кстати, о них практически не говорится в работе) очень велики и составляют $10^9 - 10^{10}$, т.е. гораздо выше модельных. Как осуществляется этот переход? 3. Граничные условия на входной границе в виде функций не могут быть заданы в сочетании с дифференциальными моделями турбулентности, т.к. не согласуются с ними. Требуется

решать специальную задачу о развитии пограничного слоя, как это сделано, например, в статье Исаев С.А., Чорный А.Д., Жукова Ю.В., Фролов Д.П., Юнаков Л.П. «Согласные граничные условия на входе в расчетную область на примере моделирования ламинарного обтекания пластинки // Инженерно-физический журнал. 2020 Т. 93. №1. С. 138-142».

В отзыве на автореферат д.т.н. Стрижака П. А. – профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией теплопереноса ФГАУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» содержится три замечания: «1. При описании разработанной математической модели не все символы пояснены, не приведены размерности входящих величин. Это затрудняет понимание деталей разработанной модели. Также не обозначены границы применимости модели по диапазонам изменения входных параметров. 2. В подписях приведенных рисунков необходимо указать значения всех входных параметров. Их отсутствие снижает ценность приведенных полей и распределение искомых функций. 3. На рис. 6 целесообразно привести доверительные интервалы для данных экспериментов. Их наличие позволит более объективно оценивать отклонение результатов моделирования и физического эксперимента.

В отзыве на автореферат д.ф.-м.н. Старченко А.В. – профессора, заведующего кафедрой вычислительной математики и компьютерного моделирования, и к.ф.-м.н. Данилкина Е.А. – доцента кафедры вычислительной математики и компьютерного моделирования ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» содержится четыре замечания: «1. Автор в разделе «Основные задачи» говорит о прогнозировании пешеходного уровня комфорта, однако в разделе «Содержание работы» в пункте «введения» говорит о «пешеходной зоне, на высоте 2м от Земли» (гораздо выше среднего роста жителей планеты Земля). Известно, что вертикальное распределение скорости в уличной застройке имеет сложную зависимость [Baklanov], возможно, близкую к линейной. В используемых автором температурных и сезонных индексах не указано, на какой высоте следует рассматривать значения скорости ветра, приземной температуры и влажности. Поэтому непонятно, насколько значения индексов и выводы автора о комфортности в участке городской застройки по четвертой главе соответствуют реальным условиям. 2. «Обоснованность и достоверности результатов, полученных в ходе выполнения НИР, основана на строгом математическом описании и применяемых численных алгоритмов...» вызывает сомнения по следующим причинам: а. На странице 13 говорится: «Математическая модель основывается на ... уравнениях Навье-Стокса для несжимаемых течений с переменной плотностью...». Известно, [Лойцянский Л.Г.], что для несжимаемых течений принимаются приближение постоянной плотности. Если же необходимо учесть слабую зависимость плотности от температуры, в уравнениях движения используется

приближение Буссинеска. Автор же использует в уравнении зависимость плотности от времени и координат (как для сжимаемых течений), а в записи уравнений движения использует приближение Буссинеска (зависимость плотности только от температуры) и пропускает величину плотности в левой части (стр. 13). Требуется пояснение. b. В записи граничных условий на входе имеется неоднозначность в определении профиля скорости, что опять же ставит под сомнение «строгое математическое описание...». Кроме того, автор использует k-w модель турбулентности, но задаёт граничные условия для диссипации кинетической энергии турбулентности. Требуется пояснение. c. При проведении экспериментальных исследований PIV-методом (стр. 10) автор в тексте перепутал метры с миллиметрами, также на рисунке 3 для скалярной величины кинетической энергии турбулентных пульсаций смог изобразить поперечную продольную компоненты без соответствующего пояснения. d. При тестировании численной модели (Рис. 4) автор утверждает, что при выборе ближайшего узла сетки для нижней стенки $y^+ < 10-30$ позволяет разрешить турбулентные характеристики вблизи стенки с использованием метода пристеночных функций. Однако известно [Сполдинг, Лаундер], что метод пристеночных функций с логарифмическим профилем скорости работает в диапазоне безразмерных расстояний $30 < y^+ < 300$. e. При сравнении численных расчетов с собственными измерениями на рис. 7 не указано, для какой характеристики численные расчеты сравниваются с наблюдениями. f. На странице 19 автор в качестве источника антропогенного воздействия рассматривает диоксид углерода, хотя из литературы [ГОСТ Р 56162-2014] известно, что большую опасность в выбросах автотранспорта представляет оксид углерода. 3. Из текста автореферата неясно проведено ли исследование влияния качества используемой сетки на результаты расчетов при решении задач раздела четыре. 4. Из текста автореферата сложно оценить вклад автора в разработку специализированного модуля «SigmaEco», построенного на базе программного комплекса «SigmaFlow».

В отзыве на автореферат к.ф.-м.н. Якубайлика О.Э. – доцента, заместителя директора по научной работе Института вычислительного моделирования СО РАН – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН» содержится два замечания: «1. В тексте автореферата содержится ряд опечаток и неточностей. 2. Насколько можно понять по автореферату - работа акцентирована на исследовании г. Красноярска - именно для Красноярска сформирована база данных, анализируются модели микрорайона, изучаются ветровые потоки в городской застройке и проч. В этом контексте стоит обратить внимание на то, что за рамками диссертационного исследования остались значимые особенности города, связанные с его рельефом.

В отзыве д.т.н. Москвичева В.В. – доцента, директора Красноярского филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий» (ФИЦ ИВТ) и к.ф.-м.н. Тасейко О.В. – доцента, старшего научного сотрудника лаборатории мониторинга и природно-техногенной безопасности Красноярского филиала ФИЦ ИВТ содержится одно замечание: «К замечаниям работы можно отнести отсутствие параметра влажности в предлагаемой микромасштабной математической модели для изучения процессов, протекающих в атмосфере города, что может сказаться на точности выполняемых расчетов. Спорным является утверждение автора, что колебание температуры в разных точках города составляет 2-4°C, поскольку многими исследователями показано, что средняя интенсивность острова тепла в г. Красноярске составляет 5-7°C, а при определенных условиях может превышать 10°C».

В отзыве на автореферат к.т.н. Поддаевой О.И – доцента, заведующей Учебно-научно-производственной лабораторией по аэродинамическим и акустическим испытаниям строительных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» содержится три замечания: «1. В работе при решении численных исследований мало уделено внимание подробному описанию дискретизации расчетных сеток и не представлена информация по средней продолжительности расчета поставленных задач и какие вычислительные мощности были использованы. 2. Из работы не понятно, были ли выполнены оценки влияния конструктивных особенностей здания (фасады, остекление и т.д.). Хотя в работе отмечается, что при численном исследовании варьировались значения теплофизических характеристик моделируемых объектов и веществ. 3. При сопоставлении результатов численного моделирования с экспериментальными значениями для большей убедительности целесообразно было бы привести доверительный интервал».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой квалификацией в областях науки, непосредственно связанных с темой диссертации. Ведущая организация (ПГНИУ) является одним из лидеров в области исследования процессов тепломассопереноса, в ней работают специалисты, которые могут дать полноценную экспертную оценку научной и практической значимости результатов работы (д.ф.-м.н. Демин В.А., д.г.н. Калинин Н.А., к.ф.-м.н. Бабушкин И. А. и др.). Официальные оппоненты д.т.н. Половников В.Ю. и к.ф.-м.н. Иванов Н.Г. являются признанными специалистами в области механики жидкости и газа и тепломассопереноса. Оппоненты имеют научные работы в области, изучению которой посвящена диссертационная работа.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований была впервые разработана программа по сбору метеоданных с федеральной сети наблюдения г. Красноярска и разработана организационная структура (база данных)

метеорологических параметров с федеральных и региональных постов наблюдения. Разработана комплексная методика многоэтапного расчета условий комфорта через систему температурных и сезонных биоклиматических индексов. Впервые выполнена диагностика состояния комфорта/дискомфорта приземного слоя атмосферы города через рассматриваемые критерии. Также впервые проведено физическое моделирование обтекания ветровым потоком модели реального микрорайона г. Красноярска, на основании которого выполнен анализ аэродинамики обтекания рассматриваемого района и выявлены характерные ветровые зоны, определены области комфорта/дискомфорта.

Для описания процессов, протекающих в приземной атмосфере, была разработана микромасштабная численная модель, которая основывается на нестационарных осреднённых по Рейнольдсу уравнениях Навье-Стокса для несжимаемых течений с переменной плотностью. Для корректного расчёта температуры на поверхности реализована модель сопряжённого теплообмена, включающая одномерное уравнение теплопроводности для почвы и стен зданий. Реализована модель теплопереноса излучением. Для моделирования переноса твердых частиц в виду их малого размера используется диффузионно-инерционная модель движения малоинерционных частиц. Для замыкания турбулентных характеристик используется двухслойная $k-\omega$ SST модель Ментера. Для прогнозирования биоклиматического комфорта среды в математическую модель были интегрированы температурные и сезонные индексы. Представленная микромасштабная модель была впервые разработана, верифицирована и апробирована. Впервые выполнен прогноз уровня комфорта и экологической обстановки в реальных застройках г. Красноярска, а также определена степень влияния аэродинамических и теплофизических характеристик на изменения внешней среды на рассматриваемых территориях.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что предложенные методы, подходы и инструменты расчета позволяют выявлять важные закономерности между аэродинамическими и теплофизическими характеристиками внешней городской среды и определить их взаимовлияние на формирование условий комфорта/дискомфорта в пешеходной зоне.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключается в том, что разработан комплексный подход исследования и прогнозирования пешеходного уровня комфорта городской застройки с учётом множества факторов внешней среды. Отработанные экспериментально-численные исследования возможно использовать при разработке проектной документации капитального строительства для обоснования тех или иных технологических решений, что позволит аргументировано подойти к планированию застраиваемых территорий. Рассмотренные методологические подходы возможно использовать при разработке нормативно-правовой документации в

виде градостроительных норм, правил, регламентов и рекомендаций по обеспечению, должного уровня безопасного и эффективного застраивания земельных участков. Представленные в диссертационной работе результаты могут найти применение в научных и образовательных учреждениях, выполняющих исследования по данной теме, таких как Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» и других организациях. Основные результаты диссертационной работы были внедрены в научно-исследовательскую и образовательную деятельность в учебных программах бакалавриата 16.03.01 «Техническая физика», магистратуры 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» и аспирантуры 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника». Результаты внедрены также в практическую деятельность АО «Гражданпроект», где была выполнена апробация программного модуля «SigmaEco» на микрорайоне г. Норильска, и получены результаты оценки влияния застройки на комфортные/дискомфортные условия в пешеходной зоне в рамках работы «Разработка архитектурного-планировочной концепции реновации города Норильска до 2035 года».

Оценка достоверности результатов исследования, полученных в ходе выполнения научно-исследовательских работ, основана на строгом математическом описании и проверенных применяемых численных алгоритмов, которые неоднократно были верифицированы на данных физических экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в разработке плана исследования и постановке задач на всех этапах работы. Участие в проведении натурных измерений, физического эксперимент и интерпретация, полученных результатов. Сбор метео данных, их анализ, а также разработка многоэтапной методики. Верификация, апробирование численной модели выполнена непосредственно соискателем. Задачи и планы исследования корректировались научным руководителем. Анализ полученных результатов, подготовка публикаций по теме диссертации выполнялись совместно с научным руководителем и соавторами.

Диссертационным советом 24.1.129.01 сделан вывод о том, что диссертация Мешковой Виктории Дмитриевной представляет собой научно-квалификационную работу, в которой решена научная задача, имеющая существенное значение для решения теплофизических, экологических задач в области градостроительства.

Вычислительная методика может быть применена для оценок влияния городской застройки на уровень комфорта в пешеходных зонах микрорайонов и позволит выполнять экологически безопасное и комфортное планирование городской среды. Представленная диссертационная работа соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013.

На заседании 15 февраля 2023 года диссертационный совет 24.1.129.01 принял решение присудить Мешковой Виктории Дмитриевне ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по профилю специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника (технические науки), участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали за присуждение ученой степени – 17, против – 1, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета
д.ф.-м.н., академик РАН



Алексеев Сергей Владимирович

Ученый секретарь
д.ф.-м.н., профессор РАН

Терехов Владимир Викторович

16.02.2023