

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и инновациям

ФГАОУ ВО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»

д.т.н. профессор Пьянков Сергей Васильевич

«12» января 2023 г.



О Т З Ы В

Ведущей организации – Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «**Пермский государственный национальный исследовательский университет**» на диссертацию Мешковой Виктории Дмитриевны на тему «Физическое и численное моделирование аэродинамики и тепломассообмена в условиях городской застройки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника.

В настоящее время методы численного моделирования активно проникают во все научные области, включая направления, которые по классификации представляют собой науки о Земле. Необходимость объективизации данных приводит к тому, что эти науки становятся все более “количественными” и уже в меньшей степени носят просто описательный характер. Таким образом, диссертационное исследование Мешковой Виктории Дмитриевны «Физическое и численное моделирование аэродинамики и тепломассообмена в условиях городской застройки», которое посвящено комплексному анализу формирования максимально комфортных условий при планировании городской инфраструктуры через систему биоклиматических индексов в результате взаимодействия аэродинамических и теплофизических характеристик внешней среды, представляется в определенном смысле междисциплинарным. Однако, строгое с математической точки зрения количественное сплошное описание, применение передовых вычислительных технологий и современных экспериментальных методов указывает на то, что методически и по

содержанию эта работа более относится к гидромеханике и теплофизике крупномасштабных аэродинамических потоков в городской застройке, нежели к географии микроклимата и ландшафтным проблемам урбанистики. Следует заметить, что применение языка дифференциальных уравнений и законов механики сплошных сред оказывается продуктивным применительно к данным задачам и требует адекватной оценки прежде всего со стороны специалистов именно из области гидромеханики и теплофизики. В диссертации на основе строгого физико-математического подхода разработана комплексная методика и представлено ее исполнение вплоть до получения завершенных результатов виде описания динамики атмосферы, режимов переноса загрязняющих газовых и дисперсных примесей в атмосфере города с учетом особенностей метеорологических режимов, воздействия солнечного и теплового излучения, включая сопряжённый теплообмен с элементами городской инфраструктуры. Тем не менее, возможные приложения результатов диссертационного исследования социального характера являются при оценке микроклиматических условий городской среды паритетными по сравнению с физической стороной данной работы.

В первой главе проведен обзор состояния аэродинамической и экологической обстановки в современных городах, и на примере г. Красноярск проанализирована проблема отсутствия достаточного уровня уличного комфорта в условиях городской застройки. Рассмотрены общепринятые критерии оценки влияния внешней городской среды на организм человека, а также приведён обзор современных методов исследования аэродинамики и процессов тепломассообмена в условиях городской среды.

Вторая глава посвящена описанию методологической основы для анализа совокупного микроклиматического состояния в условиях сложившейся городской планировки. Показано, что такие объективные физические показатели как атмосферное давление, скорость и направление ветра, влажность, температура, солнечная освещенность и радиационный теплообмен позволяют в целом охарактеризовать воздействие внешней среды на человека. Эти параметры могут служить данными в качестве начальных и граничных условий для численных моделей при прогнозировании атмосферных процессов на разных масштабах в лабораторных моделях и реальных городских условиях. Выполнено экспериментальное исследование взаимодействия ветрового потока с модельными малоразмерными объектами

городской застройки. Подобного рода исследование оказалось необходимым для получения интегральных характеристик, которые в дальнейшем были использованы для верификации численной модели. В ходе изучения аэродинамического обтекания моделей домов были проведены физические эксперименты, основанные на оптических методах визуализации течений, в том числе реализован PIV-метод. Задача заключалась в том, чтобы определить характерные ветровые зоны, формируемые в результате обтекания потоком воздуха модельных прямоугольных объектов, имитирующих здания разной высоты с плоской кровлей. Описанная в диссертации картина течений, включающая в себя осредненные поля скорости и распределения кинетической энергии турбулентных пульсаций, представляется весьма достоверной.

В главе 3 построена математическая микромасштабная аэродинамическая модель, которая в дальнейшем используется для теоретического изучения процессов, протекающих в атмосфере города. Математическая модель основывается на нестационарных, неизотермических, осреднённых по Рейнольдсу уравнениях Навье-Стокса с учетом переменной плотности. Проведена успешная верификация результатов расчета при их количественном сравнении с экспериментальными данными аэрофизического моделирования нестационарного трехмерного обтекания равномерным воздушным потоком прямоугольной призмы, установленной на горизонтальном поворотном столе в рабочей части аэродинамической трубы А-6, принадлежащей НИИ механики МГУ.

В четвертой главе изложены результаты апробации разработанной физико-математической модели на реальных микрорайонах г. Красноярск. С целью детального количественного описания был выбран микрорайон смешанного морфотипа, состоящий из зданий различной формы и высоты. В качестве источника антропогенного воздействия была рассмотрена автомобильная дорога. Проведено моделирование динамики распространения диоксида углерода (CO_2) и твердой дисперсной фазы – взвешенных частиц размером 2.5 мкм. Также учитывались источники антропогенного тепла от автомобильной дороги и зданий. Оценка комфортности среды выполнена для разных метеорологических условий. Диагностика внешней среды выбранного микрорайона по температурным и сезонным биоклиматическим индексам позволила определить теплоощущение и нагрузку, которые испытывает человек. Проанализирован уровень комфорта, формируемый в летний и

зимний период времени. Оценки выполнялись согласно известным шкалам комфортности для каждого рассматриваемого параметра.

В заключении подчеркивается все более возрастающее значение необходимости предварительного численного моделирования теплофизической и аэродинамической обстановки при застройке городских площадей. Делается вывод о том, что комплексное численное моделирование позволяет адекватно оценивать складывающиеся условия с учётом топологии, морфотипа застройки, внешних природных факторов, а также дает возможность выполнить оценку теплового баланса через учёт теплофизических свойств материалов и солнечной радиации. Утверждается, что реализация биоклиматических критериев позволяет определять условия внешней среды для выявления различных зон комфорта и дискомфорта. Указывается, что предлагаемый комплексный подход можно применять в градостроительстве на этапе разработки проектной документации для обоснования тех или иных технических решений.

Работа прошла всестороннюю апробацию на профильных конференциях по аэродинамике и теплофизике, в том числе соискатель была заслушана на расширенном научном семинаре в Пермском государственном национальном исследовательском университете с участием специалистов в области вычислительной математики и гидромеханики. Также в работе семинара принимали участие коллеги с географического факультета, занимающиеся проблемами метеорологии и экологии атмосферы. Диссертационное исследование В.Д. Мешковой получило полную поддержку всех сторон, задействованных в обсуждении.

По результатам заслушивания диссертации В.Д. Мешковой сделано заключение, что в работе выполнен большой объем комплексных исследований, включающий физический эксперимент и прямое численное моделирование. Не менее значимым является обобщение полученных данных на основе биоклиматических критериев, выходящее за рамки чисто физико-математического описания, что позволяет обсуждать возможность прямого выхода на практическое приложение полученных результатов.

В качестве замечаний отметим следующее:

1) При том, что в целом результаты работы выглядят внушительно, зачастую в тексте плохо прописаны детали исследования, что затрудняет оценку личного вклада соискателя. Так на стр. 40 диссертации раздел “Натурные измерения” начинается со слов:

“Были выполнены натурные наблюдения по замеру концентраций по приоритетным загрязняющим веществам для городской среды (оксид

углерода, диоксид азота, взвешенные вещества, неорганическая пыль SiO_2), а также метеорологическим параметрам, которые определяют микроклимат рассматриваемых территорий – скорость и направление ветра, влажность и температуру. Исследования осуществлялись с помощью портативного газоанализатора «Тест 1»».

А далее идут многочисленные малоинформативные карты-схемы расположения контрольных точек, тогда как экспертам, оценивающим степень достоверности результатов, самостоятельности и личного вклада соискателя, хотелось бы видеть дополнительную важную информацию, которой нет. Кто конкретно выполнял замеры? Как долго производились замеры? В какое время года проводились измерения? Каковы характеристики газоанализатора? Сертифицирован ли этот прибор? Какова ошибка измерений? Какие конкретно количественные данные использовались для нахождения средних величин? Где таблицы исходных данных? Иначе как убедиться в справедливости представляемых результатов? Собственно, поэтому и существуют диссертации, чтобы любой независимый специалист имел возможность проверить результаты исследований. В итоге три страницы диссертации с графиками по максимальным и средним значениям концентрации диоксида азота и неорганической пыли (рис. 2.11 – 2.14) теряют всякую информативность. О чем они? Единственно, какой вывод можно сделать, глядя на эти графики, так это то, что группа исследователей, в которую входит соискатель, заявляет, что может выполнять подобного рода измерения. Но защищаемые результаты не могут представляться в таком виде. Хотелось бы, чтобы на защите соискатель четко прокомментировала бы, “кто”, “что” и “как” делал при получении рис. 2.11 – 2.14.

2) На стр. 62 при обсуждении результатов визуализации, представленных на рис. 2.25 – 2.28, утверждается что

“Используемый подход для визуализации течения, позволяет отследить динамику изменения турбулентного потока, ...”

Однако представляется, что без анализа пульсационных полей утверждать является течение турбулентным или нет, не имеет смысла. На каком основании сделано заключение, что течение является турбулентным? Ведь число Рейнольдса не так уж и велико (около 10^4) – это где-то на границе ламинарно-турбулентного перехода. На представленных рис. 2.25 – 2.28 имеем визуальную какую-то мгновенную, вполне регулярную структуру течения, которая может кому-то показаться ламинарной. Как изменится структура осредненного течения, если скорость набегающего потока

постепенно устремлять к нулю? Ведь все равно когда-то течение должно стать ламинарным. При какой скорости продува имеет место этот переход?

3) В ходе экспериментов для визуализации течения использовался тальк. Но, как известно, плотность талька лежит в интервале $2.6 - 2.8 \text{ г/см}^3$, что практически не отличается от плотности алюминия (2.7 г/см^3), что приблизительно в 2200 раз больше плотности воздуха ($1.2 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$). Частицы талька обладают значительно большей инерцией, нежели такие же по объему частицы флюида, в роли которого выступает воздух. Люди, занимающиеся конвективным экспериментом, не используют алюминиевую пудру даже при визуализации течений в воде, не говоря уже о воздухе. Таким образом, как можно при средней скорости потока 5 м/с судить о линиях тока воздушного потока по траекториям движения частиц талька? Отметим, что в диссертации не указывается размер частиц. Однако, если принять радиус частицы порядка 1 мкм, то скорость оседания в воздухе будет равна порядка 1 см/с. Возникает вопрос насколько точными в относительных единицах будут показания трассеров в сравнении с препятствием размером 5 см (и это без учета возможности образования частицами талька конгломератов).

Представляется, что выбор визуализатора течения в данных условиях не вполне удачен. По трекам частиц можно только качественно судить о структуре движения и поле скорости воздушного потока. Во всяком случае, нужны оценки.

4) К сожалению, в диссертации очень много орфографических ошибок и весьма болезненных для понимания опечаток, которые просто ломают логику понимания содержания текста. Чего стоит фраза на странице 54:

“Если рассматривать ЭЭТ по выборочным дням, когда средние значения в холодный период выше $-30...-35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, высокий уровень влажности и при средней скорости ветра около 2,5 м/с, складываются «крайне дискомфортные» условия пребывания на открытом пространстве, возникает вероятность угрозы обморожения”.

Возникает вопрос: температура $+ 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – это выше, чем $- 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$? Как при температуре $+ 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ возможно обморожение?

Ведущая организация по своему замыслу оценивает интегрально содержательную сторону диссертации. В отзыве мы не можем себе позволить перечислить все орфографические ошибки, а оцениваем лишь общие достоинства и недостатки работы. Поэтому в качестве общего замечания необходимо отметить наличие в работе большого числа опечаток, что явно не может служить украшением такого важного документа, как диссертация.

Автореферат по существу правильно и полно отражает содержание диссертации. Правда, в тексте автореферата присутствует весьма чувствительная опечатка на 10-ой странице: “высота, ширина и длина модели в эксперименте равны 50 м”. Что, конечно же, не может соответствовать действительности. В тексте диссертации этой опечатки нет.

Тем не менее, отмеченные недостатки носят несущественный характер и не снижают общего благоприятного впечатления от работы.

Результаты исследований автора достаточно полно отражены в работах, которые опубликованы в журналах, входящих в общепризнанные международные базы данных и перечень ВАК.

Практическая значимость результатов 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 аргументированно подходить к планированию застраиваемых территорий.

Заинтересованность в проведении данного исследования подтверждается актом внедрения результатов научно-исследовательской деятельности в практическую сферу. А именно, акционерным обществом “Гражданпроект” была выполнена апробация программного модуля «SigmaEco» на примере микрорайона г. Норильск, и была сделана оценка влияния застройки на комфортные/дискомфортные условия в городской зоне в рамках работы “Разработка архитектурно-планировочной концепции реновации города Норильска до 2035 года”. Также основные результаты диссертационного исследования вошли в научно-исследовательские отчеты по проектам Российского фонда фундаментальных исследований и гранта краевого фонда науки “Целевой конкурс прикладных научных исследований, направленных на решение проблем городского развития”.

Результаты, полученные в диссертации, рекомендуется использовать в научных организациях и учреждениях высшего образования РФ для моделирования и мониторинга условий городской инфраструктуры. Среди организаций, принимающих участие в этой деятельности, можно упомянуть Томский государственный университет (Томск), Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева (Новосибирск), Институт механики сплошных сред

УрО РАН (Пермь), Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань), Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь), Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону) и др.

Диссертация Мешковой Виктории Дмитриевны, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме: «Физическое и численное моделирование аэродинамики и тепломассообмена в условиях городской застройки» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842) и может служить достаточным основанием для присуждения Мешковой Виктории Дмитриевне ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры теоретической физики Пермского государственного национального исследовательского университета «12» января 2023 г.

Протокол заседания № 3.

Заведующий кафедрой теоретической физики
ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный
исследовательский университет», д.ф.-м.н., доцент



Демин Виталий Анатольевич

Заведующий кафедрой общей физики ФГАОУ ВО
«Пермский государственный национальный
исследовательский университет», к.ф.-м.н., доцент



Бабушкин Игорь Аркадьевич

614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.

ФГАОУ ВО «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»,
кафедра теоретической физики.

Тел. 8 (342)2396227, 8 (342)2396208

e-mail: demin@psu.ru, lapans@yandex.ru

