

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной деятельности федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Евгений Валерьевич



« 09 » июля

2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

на диссертационную работу Чуйкина Сергея Владимировича «Методология создания систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых превращений в помещении»,

представленную в диссертационный совет 24.2.286.02 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

1. Актуальность темы исследования

Диссертация посвящена оценке эффективности систем обеспечения микроклимата помещений общественных и производственных зданий, в которых возможны фазовые превращения воды во влажном воздухе и/или на поверхностях охлаждения, что требует создания и постоянного поддержания особого температурно-влажностного режима. В этой связи возрастает актуальность совершенствования общего методологического подхода к проектированию и расчету климатических систем подобных объектов и, в частности, крытых ледовых катков и арен, как наиболее распространенного примера, характеризующегося наличием таких процессов при круглогодичной эксплуатации. Кроме того, системы практически всегда являются наиболее энергоемкими, а нарушение режимов работы систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления могут приводить к образованию конденсата на ограждающих конструкциях, и как следствие нарушению их несущей способности, а так же к ухудшению эксплуатационных характеристик льда.

Целью работы является развитие методов расчета и теоретического обоснования энергоэффективных систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых превращений воды во влажном воздухе помещения на примере

крытых ледовых катков без зрителей для снижения капитальных и эксплуатационных затрат на системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

2. Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 265 наименований и 4 приложений. Общий объем работы составляет 317 страниц, включает 106 рисунков, 22 таблицы.

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследования, представлены цель и задачи исследования, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, описаны методы и методология проведения исследования, приведены степень научной разработанности проблемы, положения, выносимые на защиту, степень достоверности результатов и их апробация.

В первой главе проводится анализ современного состояния вопроса создания систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых превращений на примере крытых ледовых катков. Отмечается необходимость развития общего подхода к проектированию и обоснованию эффективных конструктивных решений систем вентиляции и кондиционирования воздуха с расчетом оптимальных параметров микроклимата, что позволит снизить стоимость строительства и эксплуатации крытых катков без зрителей. Выявлены основные недостатки существующих решений в области повышения энергоэффективности названных систем, снижения капитальных вложений и обеспечения нормированных параметров микроклимата в обслуживаемых зонах. Формулируются основные положения предлагаемой методологии.

Во второй главе разрабатываются модели тепломассообменных процессов в крытых ледовых катках для расчета полей температуры, относительной влажности и скорости воздуха в обслуживаемой зоне помещения. Верификация моделей проводится на базе результатов натурных исследований существующего крытого тренировочного катка без зрительских трибун. Рассматривается динамика изменения относительной влажности воздуха над ледовым полем при неорганизованном воздухообмене. Получены зависимости изменения площади конденсации водяного пара на внутренней поверхности перекрытия и ее температуры с течением времени под действием радиационного отбора теплоты.

В третьей главе анализируются термодинамические процессы, протекающие при тепломассообмене между массивом искусственного льда и влажным воздухом, выделяются три основных случая, имеющих место при эксплуатации крытых ледовых катков: конденсация и замерзание воды на поверхности льда, равновесный процесс и процесс таяния льда. Для последнего случая разрабатывается модель теплообмена через пленку жидкости. На численной и физической моделях доказывается наличие волнового течения на поверхности таящего льда под действием набегающего потока воздуха.

В четвертой главе моделируется температурный режим несущих и ограждающих конструкций кровли при стационарном и нестационарном ра-

диационно-конвективном теплообмене, учитывающем радиационное охлаждение от поверхности льда. Разрабатывается и верифицируется методика расчета температуры поверхности конструкций, направленная на выбор оптимальных режимов работы системы обеспечения микроклимата исходя из условий предотвращения выпадения конденсата. Приводятся результаты термографического обследования крытого катка.

В пятой главе предложен и теоретически обоснован новый подход к организации распределения воздуха с возможностью рециркуляции, способствующего повышению энергоэффективности системы кондиционирования воздуха крытых ледовых катков. Составлено математическое описание технологии обработки влажного воздуха в системе кондиционирования зоны ледового поля для определения оптимальных режимов работы оборудования приточно-вытяжной установки. Предложены конструктивные решения, позволяющие добиться снижения энергетических затрат на осушение наружного воздуха при эксплуатации системы кондиционирования в холодный период года.

В шестой главе разрабатываются и верифицируются математическая модель и алгоритм расчета обобщенного векторного критерия оптимальности проектного решения системы обеспечения микроклимата крытого ледового катка. Обосновывается выбор частных критериев оптимальности при условии ограниченного набора исходной информации о проектируемой системе.

В заключении приводятся итоги и основные результаты выполненных исследований. Выводы сформулированы четко и полностью соответствуют результатам диссертации.

3. Научная новизна:

- обоснована методология создания систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых переходов воды в помещении крытого катка;
- разработана численная модель тепломассообменных процессов в крытых катках для расчета полей температуры, относительной влажности и скорости воздуха в обслуживаемой зоне при малой скорости подачи приточного воздуха;
- разработана численная модель течения пленки жидкости на горизонтальной поверхности тающего льда под действием сдвиговых усилий набегающего потока воздуха;
- получена зависимость для расчета коэффициента теплоотдачи на поверхности искусственного льда при переменной толщине слоя жидкости;
- разработана численная модель и алгоритм расчета обобщенного векторного критерия поиска рационального варианта проектного решения системы обеспечения микроклимата, базирующиеся на основе метода взвешенных сумм;
- обоснована схема воздухораспределения, созданы метод и алгоритм расчета нестационарного радиационно-конвективного теплообмена конструкций перекрытия ледового катка.

4. Научная и практическая ценность диссертации:

- обоснован методологический подход создания климатических систем в условиях фазовых превращений в помещениях;
- доказана возможность применения математической модели для адекватного описания процессов тепломассопереноса и аэродинамики при наличии фазовых переходов в помещениях;
- разработана численная модель течения пленки жидкости на горизонтальной поверхности тающего льда при взаимодействии с потоком приточного воздуха при различных начальных и граничных условиях;
- установлены зависимости для расчета коэффициентов теплоотдачи поверхности искусственного льда, в том числе при переменной толщине слоя жидкости;
- разработана компьютерная программа инженерного расчета воздухообмена и воздухораспределения;
- разработаны конструктивные решения приточно-вытяжной установки для зоны ледового поля;
- разработаны методика и программа расчета параметров микроклимата зоны ледового поля для определения рациональных режимов работы оборудования приточно-вытяжной установки.

Полученные при помощи различных методов результаты не противоречат выводам других авторов, и показывают удовлетворительную сходимость, что подтверждает достоверность результатов исследований и обоснованность сформулированных рекомендаций.

5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций не вызывает сомнений. Степень достоверности результатов обеспечена использованием фундаментальных научных положений и законов тепломассообмена и аэродинамики; использованием основных положений системного анализа, численного моделирования и теории подобия; применением современных средств измерений и прикладных программ и обусловливается удовлетворительной сходимостью результатов расчетов, моделирования и экспериментальных исследований.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Результаты исследования являются значимыми для развития указанной специальности в связи с тем, что выбранная для диссертации тема является актуальной, все теоретические и практические выводы обоснованы соискателем в научном и прикладном плане, а примененные инструменты и средства апробированы в достаточной степени. Значимость заключается в возможности применения разработанных автором методологии, моделей и алгоритмов расчета при создании систем обеспечения микроклимата в

условиях фазовых превращений в помещении для обоснования рациональных конструктивных решений и режимов работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха, позволяющих, в том числе, учитывать технологические, строительные и планировочные особенности обслуживаемых помещений.

Результаты диссертационного исследования апробированы на различных конференциях, внедрены и использовались при проектировании и обследовании систем обеспечения микроклимата в: ледовом катке «Арена Север» (г. Воронеж), МАУ ДО ООЦ «Олимпийский» (Липецкая обл., г. Усмань), ООО «ВТСК-36» (г. Воронеж), ООО «ЛИТЦ» (г. Липецк), АО «Гипрониигаз» (г. Саратов). Также результаты исследований использованы в учебном процессе по дисциплинам «Тепломассообмен», «Математическое моделирование в теплоэнергетике», «Техническая термодинамика», «Обоснование проектов систем теплогазоснабжения и вентиляции» а также при курсовом и дипломном проектировании на кафедре теплогазоснабжения и нефтегазового дела ФГБОУ ВО «ВГТУ».

По теме научных исследований опубликовано 34 работы, из них в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ по специальности защищаемой диссертации, опубликовано 16 работ (за 2023 и 2024 годы категории К1 и К2 – 8 работ; публикации до 2023 года – 5 работ; публикации за 2023 год категория К3 – 3 работы), 4 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, 2 патента на полезную модель, 1 патент на изобретение, 11 научных статей – в прочих изданиях. В том числе 3 работы опубликовано в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты исследования могут быть использованы при выполнении инженерных расчетов и математического моделирования объектов при фазовых превращениях, что подтверждается соответствующими актами внедрения. Также определенную ценность составляют результаты CFD-моделирования тепломассообменных процессов. Полученные результаты могут использоваться как теоретическая база для исследований теплового, влажностного и воздушного режимов помещений с возможным фазовым переходом воды во влажном воздухе или на поверхностях охлаждения. Разработанные модели, алгоритмы, технические решения и комплекс программ рекомендуется использовать при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха, например в крытых ледовых катках, а также в высших учебных заведениях при подготовке по направлению «Строительство».

8. Замечания по диссертации и автореферату:

1. В разделе 2 было бы целесообразно указать, какая из перечисленных в тексте моделей турбулентности принята в численном эксперименте.

Следовало четко определить начальные и граничные условия для численного моделирования, каким образом были получены исходные данные, условия проведения исследований и проверки на адекватность предлагаемой модели.

2. Отсутствует сопоставление результатов численного эксперимента данным натурного эксперимента, представленным в разделе 2.
3. При проведении численного эксперимента процесса тепломассообмена на поверхности льда следовало обосновать выбор исходных данных, в частности конкретных значений температуры воздушного потока. Каким образом получены схемы движения воздушных потоков и генерации водяной пленки на поверхности льда (рис. 3.4 и 3.5), распределение амплитуды волнового течения (рис 3.6)?
4. Недостаточно полно представлены информация о постановке численного эксперимента и анализ численных и лабораторных исследований процессов образования тонкой пленки на поверхности льда.
5. В диссертации четко не отражено использование результатов моделирования тонкой пленки на поверхности льда в разработанных алгоритмах и программах расчета.
6. 6 глава – какой вариант можно считать оптимальным? Получены ли результаты выбора оптимального варианта для конкретного объекта?
7. Выводы к главам и заключение содержат общие формулировки, без конкретных данных.
8. Результаты моделирования из Приложения А следовало бы перенести в соответствующие главы.
9. Используются без пояснений обозначения и термины, например, Глава 1, стр.28, рис.1.4 – кем получены данные, что обозначают кривые? Ф-ла 1.25 – что обозначено K ? Рис.2.13 – в тексте указано, что на рисунке поле скорости в объеме помещения, на рисунке двумерное. Какая плоскость представлена? Рис.2.15 и 2.16 – что такое концентрация пара? Стр.77 – что такое «изотермальная подушка»? Стр. 120 – «пакетность». В автореферате -возникающий градиент Дарси, концентрация пара; Стр.28 - любой термодинамический процесс описывается законом Фурье.
10. Имеют место грамматические ошибки и ошибочные ссылки, в частности, в диссертации:
 - Рис. 1.9 – обозначения на рисунке не соответствуют описанию в тексте; Рис.2.10 – каким схемам соответствуют кривые 1, 2 и 3? Рис. 2.16 – неверное название рисунка; Ф-ла 4.39 (ф-ла 12 автореферата) – обозначения не соответствуют формуле; Рис.5.4 – отсутствует точка 5, указанная в тексте: Ф-ла 6.30 – непонятно, почему речь идет о тепловой сети.

в автореферате:

- На рис.1 не видно, для какого способа — разработанного или существующего сделана компьютерная модель; Рисунки 2-4, также и Рис.

2.5, 2.6 и 2.10 диссертации - отсутствуют пояснения к шкалам. Влажность или влагосодержание, как указано на рис. 6? Рисунок 9.б – нет ясности в названии; Ф-ла 2 – что обозначает $r(x)$; ф-ла 3 – $S(t)$? Рисунок 14 – непонятное обозначение шкалы. Каким образом получена подобная зависимость? Стр. 24, 1-й абзац, 1 предложение – непонятна формулировка; Рисунок 16 – в каких единицах представлена шкала? Рисунок 17 – отсутствует кривая 3-й гармоники; Рис.21 – неверная ссылка на рис. 18.а.

Отмеченные недостатки не снижают в целом положительной оценки представленной на отзыв диссертационной работы.

9. Заключение

Диссертационная работа выполнена на высоком научном и методическом уровне, написана технически грамотным языком с соблюдением правил стилистики. Выводы по диссертации в полной мере соответствуют поставленным целям и задачам. Основные этапы работы, результаты и выводы представлены в автореферате. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационные исследования Чуйкина С.В. соответствуют требованиям паспорта научной специальности ВАК: 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение:

п. 1. в частях: тепломассообмен и гидроаэромеханика систем вентиляции; исследование теплового, воздушного, влажностного режимов помещений;

п. 2. в частях: технологические задачи вентиляции и кондиционирования воздуха; разработка методов энергосбережения систем и элементов вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений;

п.3. в части: разработка методов энергосбережения для систем и элементов вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений;

п. 4. в части: разработка математических моделей, методов, алгоритмов и компьютерных программ, использование численных методов, с проверкой их адекватности, для расчета, конструирования и проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений, повышения их эффективности.

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, в которой решена научная проблема развития методов расчета и теоретического обоснования энергоэффективных систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых превращений во влажном воздухе помещения на примере крытых ледовых катков, для снижения капитальных и эксплуатационных затрат на системы вентиляции и кондиционирования воздуха.

Работа «Методология создание систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых превращений в помещении» соответствует пунктам 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении учёных степеней», а ее автор Чуйкин

Сергей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры теплогазоснабжения и вентиляции (протокол 16 от «29» мая 2025 года). Присутствовало: 18 чел. Голосовали: «за» – 18 чел., «против» – 0, «воздержались» – 0.

Заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук, доцент

Куц Елена Владиславовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Юридический адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Фактический адрес: Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Телефон: +7 (812) 575-05-34.

Адрес электронной почты: rector@spbgasu.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://spbgasu.ru>

Учредитель образовательной организации – Министерство науки и высшего образования РФ.



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

E-mail: rector@spbgasu.ru.

Телефон: +7 (812) 575-05-34.

Факс: +7 (812) 316-58-72.

Куц Елена Владиславовна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Повышение эффективности очистки воды с использованием гидродинамической кавитации» защищена в 2000 году по специальности 05.17.08 – Процессы и аппараты химической технологии.

Адрес: 190005, Россия, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, каб. 332.

E-mail: kuts.e.v@lan.spbgasu.ru

Телефон: +7 (812) 575-05-31.

Согласна на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Е.В. Куц

