

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.02,

созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,

по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 17.07.2025 г., № 43

О присуждении Чуйкину Сергею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методология создания систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых превращений в помещении» по специальности 2.1.3. «Тепло-снабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» принята к защите 16 апреля 2025 года (протокол заседания № 42) диссертационным советом 24.2.286.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВГТУ»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, приказ о создании диссертационного совета № 378/нк от 27.04.2017 г.

Соискатель – Чуйкин Сергей Владимирович, 27 июля 1988 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Разработка систем вентиляции и кондиционирования воздуха для крытых ледовых арен» защитил в 2013 году в диссертационном совете, созданном на базе ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет».

С 2011 по 2016 гг. **работал** ассистентом и доцентом в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете. С 2016 г. по настоящее время **работает** доцентом в Воронежском государственном техническом университете.

Диссертация выполнена в Воронежском государственном техническом университете, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, на кафедрах «Теплогазоснабжение и нефтегазовое дело» и «Строительная механика».

Научный консультант – Зайцев Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет», профессор кафедры «Инфраструктурные энергетические системы».

Официальные оппоненты:

Кочев Алексей Геннадьевич, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра «Теплогазоснабжение», заведующий кафедрой;

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

Корниенко Сергей Валерьевич, советник РААСН, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», кафедра «Архитектура зданий и сооружений», заведующий кафедрой,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» **в своем положительном отзыве, подписанном** Куц Еленой Владиславовной, кандидатом технических наук, доцентом, заведующей кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», и утвержденном Королевым Евгением Валерьевичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной деятельности, указала, что 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. Исследования соответствуют требованиям паспорта научной специальности 2.1.3. «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» в пунктах 1, 2, 3 и 4. В диссертации 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 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.

Соискатель имеет 74 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликованы 34 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 16 работ (за 2023 и 2024 годы категории К1 и К2 – 8 работ; публикации до 2023 года – 5 работ; публикации за 2023 год категории 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 опубликованы в изданиях, индексируемых в базе данных «Scopus». Общий объем работ составляет 234 страницы, из них автору принадлежат 164 страницы. В опубликованных статьях полностью изложены основные научные результаты исследования. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК

1. Чуйкин, С.В. Численное моделирование тепломассообменных процессов при многослойной температурной стратификации воздуха в помещении / С.В. Чуйкин, О.Н. Зайцев, В.В. Волков, А.В. Лобода // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2024. – № 4 (76). – 33–42.

2. Чуйкин, С.В. Сложный теплообмен конструкций с учетом радиационного охлаждения в крытых катках / С.В. Чуйкин, В.В. Волков, О.А. Куцыгина // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2024. – № 1 (73). – С. 34–50.

3. Чуйкин, С.В. Теплообмен при продольном омывании покрытой пленкой конденсата горизонтальной пластины / О.Н. Зайцев, С.В. Чуйкин, В.В. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2024. – № 12. – С. 32–38.

4. Чуйкин, С.В. Теоретическое обоснование выбора технических решений систем обеспечения микроклимата крытых катков / С.В. Чуйкин, О.А. Куцыгина //

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14, № 1 (48). – С. 119–132.

5. Chuykin, S.V. Modeling of non-stationary heat transfer of floor structures of rooms with artificial ice / S.V. Chuykin, V.V. Volkov, E.A. Kopytina, D.M. Chudinov // Russian Journal of Building Construction and Architecture. – 2024. – № 1 (61). – P. 34–45.

6. Чуйкин, С.В. Разработка методики и программы расчета параметров воздуха при кондиционировании и вентиляции крытых катков / С.В. Чуйкин // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 11. – С. 1802–1812.

7. Чуйкин, С.В. Теоретическое обоснование параметров продувочного воздуха верхней зоны помещения при наличии радиационного охлаждения / С.В. Чуйкин, А.В. Лобода // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 4 (72). – С. 24–33.

8. Чуйкин, С.В. Проблемы развития методов проектирования систем обеспечения микроклимата помещений с искусственным льдом / С. В. Чуйкин, О. А. Куцыгина, О. Р. Дорняк // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2023. – № 3(71). – С. 31–41.

9. Чуйкин, С.В. Многокритериальная оптимизация проектных решений систем обеспечения микроклимата помещений с искусственным льдом / С.В. Чуйкин, О.А. Куцыгина // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2022. – Т. 26, № 2. – С. 39–52.

10. Чуйкин, С.В. Теоретическое обоснование режимов работы системы кондиционирования воздуха производственных помещений с незначительными теплоизбытками / М.Н. Жерлыкина, А.И. Колосов, М.Я. Панов, С.В. Чуйкин // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2020. – № 1 (57). – С. 22–29.

11. Чуйкин, С.В. Математическое моделирование воздушных потоков в помещениях больших объемов / В.Н. Мелькумов, А.В. Лобода, С.В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2 (34). – С. 11–18.

12. Чуйкин, С.В. Определение коэффициента теплоотдачи ледовой поверхности для смешанной схемы воздухораспределения / В.Н. Мелькумов, А.В. Лобода,

С.В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1 (29). – С. 24–31.

13. Чуйкин, С.В. Организация воздухораспределения крытых многофункциональных ледовых арен / В.Н. Мелькумов, С.В. Чуйкин // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2012. – № 3 (27). – С. 28–36.

Публикации в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных «Scopus»

14. Chuykin, S.V. Multicriterion Analysis of Environmental Safety of Construction Projects / S.V. Chuykin, A.I. Kolosov // Ecology and Industry of Russia. – 2020. – Vol. 24, № 3. – P. 54–57.

15. Chuikin, S.V. A scheme and method of calculation for ventilation and air conditioning systems of ice arenas / V.N. Melkumov, S.V. Chuikin // Journal of Technology. – 2017. – Vol. 32, No. 2. – P. 139–146.

16. Chuikin, S.V. Conformal mapping in mathematical modelling of air flows in premises / V.N. Melkumov, S.V. Chuikin, K.A. Sklyarov, A.I. Kolosov // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9, № 18. – P. 1–5.

Объекты интеллектуальной собственности

17. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ 2023667082 РФ. Моделирование параметров состояния влажного воздуха при кондиционировании помещений с искусственным льдом / С.В. Чуйкин, Е.А. Копытина, Н.А. Петрикеева [и др.], ФГБОУ ВО «ВГТУ». – 2023666099, заявл. 31.07.2023; опубл. 10.08.2023.

18. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ 2022684755 РФ. Итерационное моделирование температурного режима внутренней поверхности кровли помещений с радиационным охлаждением / С.В. Чуйкин, ФГБОУ ВО «ВГТУ». – 2022683193, заявл. 29.11.2022; опубл. 16.12.2022.

19. Пат. 197928 U1 РФ, МПК G09B 23/00, F24F 7/00, A63C 19/00. Модель воздухораспределения крытой ледовой арены с многоступенчатым смешиванием в холодный период года / С.В. Чуйкин, Е.С. Аралов – 2019100371, заявл. 09.01.2019; опубл. 05.06.2020.

20. Пат. 2830029 C1 РФ, МПК F24F 7/08, F24F 11/72. Система кондиционирования воздуха крытых катков с искусственным льдом / С.В. Чуйкин, М.Н. Жер-

лыкина Е.С. Аралов [и др.], ФГБОУ ВО «ВГТУ». – 2021113682, заявл: 21.05.2024; опубл. 11.11.2024.

На автореферат поступило 13 отзывов (все отзывы положительные), в них содержатся следующие **замечания**:

1. Осипова Наталья Николаевна, д.т.н., доц., зав. каф. «Теплогазоснабжение и нефтегазовое дело», ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.». Замечания: 1. Из автореферата (глава 2) не ясно, производился ли учет конфигурации устройств (следовательно, вида струй) для подачи и удаления воздуха в помещении крытого катка при моделировании параметров микроклимата и верификации модели? 2. Из автореферата (глава 6, формула (29)) не ясно, что подразумевается под параметром «трудоемкость работ». Имеется в виду возведение систем обеспечения микроклимата или их последующее обслуживание и регулирование работы?

2. Лукьянов Александр Васильевич, д.т.н., проф., декан факультета «Инженерные и экологические системы в строительстве», ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Замечания: 1. Следовало указать тип приточных воздухораспределительных устройств, которые автор рекомендует применять для предложенных схем обработки воздуха, т.к. от этого зависит тип формируемых струй и распределение воздушных потоков в целом; 2. При построении процессов обработки воздуха на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха (рис. 23) параметры наружного воздуха могут быть такими, что точка H будет лежать в области глубоко отрицательных температур. В этом случае луч смешения может пересекать кривую $\phi=100\%$. Необходимо обосновать этот случай и дать рекомендации, для каких климатических районов Российской Федерации применимы предложенные схемы.

3. Дорняк Ольга Роальдовна, д.т.н., доц., проф. каф. «Электротехника, теплотехника и гидравлика», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет». Замечания: 1. Из материалов автореферата и диссертации не ясно, почему для поверхностных волн получено решение только гидродинамической задачи в стандартной постановке. Тепловая задача при этом не решалась, т. е. влияние фазовых переходов, в частности фазового перехода «вода – лёд», ко-

торый способствует изменению толщины жидкого слоя и влияет на параметры поверхностной волны, не исследованы; 2. В материалах автореферата, относящихся к главе 3, имеется ряд, по-видимому, неточных и неверных формулировок. Например, на стр. 21 имеется абзац со следующими предложениями: а) «Движение жидкости вдоль поверхности неравномерно по толщине, и в случаях с вертикально движущимся потоком, в котором гравитационные силы действуют на весь объем, геометрия волны сильно не изменяется». Здесь трудно понять, что хотел сказать автор. Во всяком случае в первой части предложения, вероятно, надо говорить о неоднородном распределении вектора скорости, а не о неравномерности движения жидкости; б) «Появление второй гармоники и последующее увеличение амплитуды при горизонтально расположенном потоке свидетельствует о градиенте скорости вдоль траектории волнообразования». «Траектория волнообразования» не является научным термином; в) «Наличие горизонтального градиента вдоль толщины пленки свидетельствует об анизотропном действии кинематического коэффициента вязкости $\nu(h) = \partial \nu / \partial h$, который не равен нулю и направлен вдоль поверхности трения». Здесь: 1. Записано, что функция равна своей производной $\nu(h) = \partial \nu / \partial h$, что не представляется обоснованным; 2. «Анизотропное действие» также не научный термин; 3. Вектор градиента кинематической вязкости, равный по величине $\partial \nu / \partial h$, направлен не горизонтально, а вертикально, т.е. не вдоль, а перпендикулярно поверхности льда.

4. Федюшко Юрий Михайлович, д.т.н., проф., зав. каф. «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение им. акад. Б.И. Боровского», Ангелюк Илья Павлович, к.т.н., доц. каф. «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение им. акад. Б.И. Боровского», ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского». Замечания: 1. Из краткого описания содержания 2-й главы диссертации невозможно оценить достоверность полученных графиков и распределений (рис. 1-9), т.к. не приводятся данные о примененных методах (солвер, модели турбулентности) численного моделирования; 2. Также из краткого описания содержания 2-й главы не ясно, применял ли автор какую-либо методологию (или, возможно, сформировал ее), позволяющую распространять полученные результаты на крытые катки других конфигураций (вы-

сота, площадь, конструкция кровли и др.); 3. Из описания содержания 3-й главы диссертации не ясно, совпадают ли полученные экспериментально период и высота волны с результатами моделирования, на основании которых получены выражения (13)-(15).

5. Гулевский Вячеслав Анатольевич, д.т.н., проф. каф. «Математика и физика», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I». Замечания: 1. Из автореферата не понятно, каким образом получены значения коэффициентов a , b и c в табл. 1, стр. 15; 2. В автореферате следовало уделить больше внимания описанию планирования и проведения экспериментальной части диссертации: не ясно, какие режимы теплообмена исследуются и почему; 3. Последовательность изложения результатов исследования стационарного и нестационарного режимов теплообмена в четвертой главе автореферата и диссертации отличается.

6. Лугин Иван Владимирович, д.т.н., доц., вед. науч. сотр. лаб. «Рудничная аэродинамики», Кияница Лаврентий Александрович, к.т.н., науч. сотр. лаб. «Рудничная аэродинамики», ФГБУН «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН». Замечания: 1. Автор утверждает, что на рис. 1, 2, 3 и 5 представлены модели потоков воздуха, результаты расчета процесса воздухораспределения в объеме помещения в виде траекторий потоков и полей параметров влажного воздуха. Для корректного описания численных математических моделей нужно как минимум дополнить эти рисунки заданием краевых условий и постановкой, в которой проводится решение; 2. Автор в автореферате оперирует термином «радиационное охлаждение», однако корректность применения такого термина сомнительна, т.к. четкие критерии, определяющие преобладающий механизм теплообмена (число Больцмана, Релея), в автореферате не приведены; 3. Для уравнений (7) и (8) требуется пояснение термина «энтропия влажного воздуха». Судя по записи уравнений, это обычные градиенты по координатам и производная по времени; 4. Из автореферата не понятно, как уравнения (1)-(8) учтены в модели физических процессов, реализованной в «Comsol». Как учитывается поверхностное натяжение пленки, какие силы действуют на пленку и как они описаны в численной модели? Какой тип течения пленки принят, учтены ли какие-либо

модели турбулентности? Какие модели из реализованных в «Comsol» использованы в расчетах турбулентного течения, ламинарного или частного случая вязкостного течения (creeping flow)? 5. Непонятен рис. 19: изображена сеточная модель балки или воздушного пространства между поверхностью катка и балками перекрытия? Если это воздух, то проводилась ли исследование на сеточную сходимость и как разрешался скоростной и температурный градиент у стенок при отсутствии тонкого призматического пристеночного слоя в сетке? 6. Фраза после формулы (25) непонятна: «Учет конвективной составляющей при этом осуществляется за счет суммарной приведенной степени черноты системы». Как конвективный теплообмен связан физически со степенью черноты?

7. Литвинова Наталья Анатольевна, д.т.н., доц., проф. каф. «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». Замечания: 1. В автореферате уделяется недостаточно внимания описанию совместной работы систем воздушного отопления и вентиляции ледового катка; 2. Из автореферата не ясно, какие модели турбулентности использовались при численном моделировании воздушных потоков в помещении ледового катка.

8. Павлов Михаил Васильевич, к.т.н., доц., доц. каф. «Теплогазоводоснабжения», ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет». Замечания: 1. В работе не представлена детальная методика экспериментальной верификации численных моделей, в том числе объем и характер натурных исследований, что затрудняет независимую воспроизводимость результатов и их верификацию в практических условиях; 2. Представленные в работе экономические расчеты и область экономической целесообразности проектных решений не сопровождаются подробной методикой расчета стоимости жизненного цикла инженерных систем, что снижает достоверность сформулированных выводов о снижении капитальных и эксплуатационных затрат.

9. Ильин Роман Альбертович, к.т.н., доц., зав. каф. «Теплоэнергетика и холодильные машины», Атдаев Динамутдин Ибрагимович, к.т.н., доц., доц. каф. «Теплоэнергетика и холодильные машины», ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Указывается, что существенных замечаний по работе не имеется.

10. Пешков Виталий Владимирович, д.э.н., проф., директор института «Архитектура, строительство и дизайн», зав. каф. «Экспертиза и управление недвижимостью», ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Замечания: 1. Нет пояснения к схемам на рис. 23 автореферата; 2. Плохо различимы формулы, приведенные на блок-схеме (рис. 24); 3. В формулах (12) и (15) автореферата не ясно, зачем вводится параметр заглубления поверхности пленки;

11. Ширяева Нина Павловна, к.т.н., зав. каф. «Теплогазоснабжение и вентиляция», Королев Владимир Николаевич, д.т.н., проф., проф. каф. «Теплоэнергетика и теплотехника», ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Замечания: В чем заключается «модифицированная модель» расчета коэффициента теплоотдачи (локального или среднего) от поверхности льда при наличии на ней пленки конденсата переменной толщины?

12. Якимович Борис Анатольевич, д.т.н., проф., проф. каф. «Энергетические системы и комплексы традиционных и возобновляемых источников», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». Замечания: 1. Рис. 23 требует более полного пояснения, не ясна последовательность технологического цикла обработки приточного воздуха в разработанной установке при организации воздухораспределения по третьей схеме; 2. Шкалы на рис. 2-7, 11, 14 и 15 не подписаны, что затрудняет анализ приведенных данных.

13. Андрийчук Николай Данилович, д.т.н., проф., директор института «Строительство, архитектура и жилищно-коммунальное хозяйство», ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». Замечания: 1. Не ясно, какая величина обозначена символом h (ось y) на рис. 13 автореферата. Это толщина пленки воды? 2. Встречаются орфографические ошибки и опечатка, например, на стр. 26 автореферата говорится, что «...график верификации методики и модели расчета соответствует точке A рис. 18а...». Вероятно, имеется в виду рис. 20а, или на стр. 123 диссертации в конце второго абзаца в формуле пропущено du .

Выбор официальных оппонентов обоснован их высокой компетентностью в области создания энергоэффективных систем обеспечения микроклимата в об-

публичных, жилых и промышленных помещениях, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования, а также их согласием.

Выбор ведущей организации обоснован ее широкой известностью своими достижениями в области моделирования, проектирования, обследования, испытания и совершенствования систем вентиляции и кондиционирования воздуха помещений различного назначения и способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также её согласием. Специальность 2.1.3. «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» соответствует научно-исследовательской деятельности структурного подразделения ведущей организации (кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»).

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методология создания системы обеспечения микроклимата, позволяющая выявить новые закономерности распределения температуры, влажности и скорости воздуха обслуживаемой зоны в условиях фазовых превращений в помещениях крытых катков. Методология базируется на применении комбинированного аналитико-имитационного моделирования, включающего следующие разработанные модели: модель тепломассообменных процессов в помещении, учитывающую наличие течения Стефана; модель волнового течения тонкой пленки конденсата на горизонтальной пластине тающего льда; модель конвективного теплообмена на поверхности льда с влажным воздухом при переменной тепловой проводимости тонкой пленки; модель коэффициента массоотдачи при волновом течении тонкой пленки жидкости на базе тройной аналогии тепломассообменных процессов; модель аддитивного векторного критерия оптимальности конструктивных решений для систем вентиляции и кондиционирования воздуха крытых катков;

предложена научная гипотеза возникновения течения Стефана над поверхностью льда в крытых ледовых катках и его влияния на выбор рациональных конструктивных решений и режимов работы систем обеспечения микроклимата в условиях фазовых превращений в помещении;

доказано, что при наличии пленки воды на поверхности тающего льда возникающий градиент влагосодержания приводит к формированию объемного воздушного

потока. В результате при неорганизованном воздухообмене наблюдается постоянное движение воздуха над поверхностью льда, которое необходимо учитывать при моделировании распределения термодинамических параметров обслуживаемой зоны;

разработана модель вентиляционных потоков, позволяющая получить распределение скорости, температуры и влагосодержания воздуха в помещении крытого ледового катка без зрителей для различных принципов организации распределения воздуха и учитывающая процессы испарения, конденсации и кристаллизации на поверхности ледового поля;

получено распределение влагосодержания воздуха в помещении крытого ледового катка при неорганизованном воздухообмене, возникающем под действием течения Стефана;

предложена научная гипотеза о допустимости применения системы уравнений волн на поверхности мелкой воды для численного моделирования развития течения тонкой пленки на обширной поверхности льда, что позволило повысить точность расчета коэффициента теплоотдачи ледового поля с внутренним воздухом;

доказано формирование волнового течения пленки воды даже при малых скоростях набегающего потока воздуха;

разработана модель для технико-экономического сравнения конструктивных вариантов системы вентиляции зоны ледового поля крытого катка на базе укрупненных параметров, описывающих изменение расходов теплоты, холода, электроэнергии, трудоемкости производимых работ, степени осушения воздуха и коэффициента эффективности воздухообмена;

введен новый подход к организации воздухораспределения в помещении крытого катка, отличающийся от существующих возможностью двухступенчатого смешения наружного и рециркуляционного воздуха, отбираемого из верхней и нижней частей обслуживаемой зоны и направленного на регулирование влагосодержания приточного воздуха путем использования градиентов температуры и влажности.

Все научные результаты диссертации обладают новизной.

Теоретическая значимость результатов исследования обоснована тем, что: изложены основные положения построения математических моделей тепломассообменных процессов систем вентиляции крытых катков, отличающиеся учетом

влияния термодинамического фазового перехода воды за счет уравнивания сохранения массы через энтропию и возникающего течения Стефана над поверхностью льда при малой скорости подачи притока в обслуживаемую зону;

раскрыто влияние течения Стефана на распределение скорости воздуха в объеме помещения при неорганизованном воздухообмене в крытом катке;

раскрыто влияние первой и второй гармоник течения тонкой пленки на динамическое изменение продольного профиля генерируемой волны на поверхности льда;

изучено влияние высоты помещения на температуру строительных и ограждающих конструкций кровли помещения, определяющей площадь возможной конденсации на охлаждаемых поверхностях;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован теневой метод исследования для верификации модели течения пленки жидкости на поверхности льда, реализованный в разработанной экспериментальной установке и дополненный специальной цифровой обработкой данных для увеличения точности вычислений;

использован комплекс современных численных исследований, позволяющий осуществлять совместное решение системы уравнений теплопроводности, Фурье, Стефана – Больцмана и Бугера – Бэра, для определения времени охлаждения конструкции перекрытия ледового катка до температуры точки росы, необходимого для регулирования режима работы системы обеспечения микроклимата;

проведена модификация модели теплообмена на горизонтальной поверхности льда, в которой учитывается переменная толщина слоя жидкости, наблюдаемая при волнообразном пленочном течении под действием сдвиговых усилий;

разработаны аналитические зависимости расчета тепломассообменных процессов влажного воздуха с внутренними поверхностями помещения; зависимости скорости и площади конденсации водяного пара от вертикальной координаты под действием радиационного охлаждения конструкции;

доказана возможность применения разработанного обобщенного векторного критерия оптимальности проектного решения системы обеспечения микроклимата крытого катка при ее теоретическом обосновании, базирующегося на осно-

ве метода взвешенных сумм.

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

разработаны и внедрены алгоритмы и комплекс программ расчета температуры, влажности, подвижности воздуха зоны ледового поля; методика нестационарного радиационно-конвективного теплообмена конструкций перекрытия;

определена область применимости разработанной модели векторного критерия оптимальности проектного решения системы обеспечения микроклимата путем ее верификации по сумме дисконтированных затрат на этапах строительства и эксплуатации;

разработана и запатентована конструкция приточно-вытяжной установки для крытых катков, отличающаяся от существующих возможностью двухступенчатого смешения наружного и рециркуляционного воздуха, отбираемого из верхней и нижней частей обслуживаемой зоны, что позволяет добиться снижения энергетических затрат на осушение наружного воздуха при эксплуатации системы кондиционирования в холодный период года;

разработаны методика и программный комплекс для расчета параметров микроклимата зоны ледового поля для автоматизированного определения оптимального соотношения расходов подаваемого воздуха на первую и вторую ступени рециркуляции, учитывающие интенсивность массообмена между воздухом и пленкой конденсата на поверхности льда;

создан комплекс практических рекомендаций, позволяющий определить наиболее рациональный режим работы оборудования систем кондиционирования, исходя из минимума энергозатрат в зависимости от изменяющихся температуры и влажности наружного воздуха;

представлены рекомендации по организации воздухораспределения зоны ледового поля по разработанной и запатентованной схеме двухступенчатого смешивания наружного и рециркуляционного воздуха с отличающимися параметрами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:
теория базируется на основополагающих принципах и законах гидродинамики, тепломассообмена, системного анализа, численного моделирования и теории по-

добия, адекватность математических моделей и методов оценивается путем анализа соответствия результатов численных, экспериментальных и натурных исследований. Основные допущения, принятые при разработке моделей, методик и алгоритмов, не противоречат работам других авторов по смежным отраслям;

идея базируется на проведенном анализе отечественных и мировых подходов к моделированию процессов тепломассообмена систем вентиляции с учетом возможных фазовых превращений во влажном воздухе и на поверхностях охлаждения; **для экспериментальных работ** использовалось современное измерительное оборудование, прошедшее поверку, применялись современные методы испытания с допустимой степенью точности, использовались современные программные комплексы, воспроизводимость результатов лабораторных исследований подтверждена большим объемом экспериментальных и натурных данных;

использованы результаты натурных, лабораторных и численных исследований, а также данные инженерных расчетов при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха систем обеспечения микроклимата;

установлена адекватность данных, полученных автором, результатам, представленным в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные сертифицированные вычислительные комплексы и программы, разработанные автором.

В диссертации отсутствуют некорректные научные положения.

Личный вклад соискателя состоит в: выборе объекта, цели, задач, методов исследования; проведении обзора и анализа передового отечественного и зарубежного опыта проектирования систем обеспечения микроклимата помещений в условиях фазовых превращений; непосредственном участии в исследованиях на всех его этапах; разработке моделей; проведении численных и натурных исследований распределения температуры и влажности воздуха в обслуживаемой зоне объекта, проведении численных и натурных исследований радиационно-конвективного теплообмена конструкций перекрытия ледового катка с воздухом верхней зоны, их анализе и обобщении; апробации и подготовке к публикациям основных материалов диссертационной работы, формулировке выводов и рекомендаций.

Критических замечаний в ходе защиты диссертации высказано не было.

Соискатель Чуйкин С.В. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию значимости и новизны проведенных исследований, а также обоснованности и достоверности полученных результатов.

На заседании 17.07.2025 г. диссертационный совет принял решение: за решение проблемы совершенствования методов расчета и теоретического обоснования систем вентиляции и кондиционирования воздуха в условиях фазовых превращений, которое вносит значительный вклад в развитие отраслей строительства и энергетики в части снижения энергозатрат на обеспечение заданных параметров микроклимата и поддержание требуемых условий эксплуатации помещений, присудить Чуйкину Сергею Владимировичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 9 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 9, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета
И.о. ученого секретаря
диссертационного совета



Козлов В.А.

Куцыгина О.А.

17 июля 2025 г.