

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

аттестационное дело № ____

решение диссертационного совета от 29.09.2026 № 9

О присуждении Петрову Михаилу Михайловичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Оценка эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции с использованием тепловых насосов» по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение принята к защите 06.07.2026, протокол заседания № 6, диссертационным советом 24.2.380.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, почтовый индекс 190005, адрес организации г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, утверждён приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 09 ноября 2012 года №717/нк, приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25 мая 2016 года №590/нк, приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 декабря 2017 года №124/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 30 января 2019 года №37/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 27 января 2020 года № 35/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 18 ноября 2020 года №681/нк,

приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 сентября 2021 года №968/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 27 ноября 2023 года №2153/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 25 сентября 2025 года № 889/нк, приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 15 июля 2026 года № 607/нк.

Соискатель Петров Михаил Михайлович, «01» марта 1998 года рождения.

В 2026 году окончил аспирантуру ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по научной специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Работает инженером-проектировщиком ООО «ЭКСПЕРТ-ПРОЕКТ» с 01 марта 2023 года по настоящее время.

Диссертация выполнена на кафедре теплогазоснабжения и вентиляции в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, Пухкал Виктор Алексеевич, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», кафедра теплогазоснабжения и вентиляции, доцент.

Официальные оппоненты:

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

Киборг Иван Дмитриевич, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», кафедра архитектуры и строительства, заведующий кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном Барановым Игорем Владимировичем (доктор технических наук, профессор, образовательный центр «Энергоэффективные инженерные системы», руководитель), указала, что диссертационная работа является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Текст диссертации и автореферата составлен логично и грамотно с учетом предъявляемых к научным работам требований. Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание диссертации. Диссертация отвечает критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.), для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Петров Михаил Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ.

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

1. Петров М.М. Экспериментальное исследование теплового насоса / В. А. Пухал, М. М. Петров, С. М. Анисимов, А. В. Цыганков // Вестник гражданских инженеров. – 2025. – №1(108). – С. 92–100. (1,13 п.л., авторский вклад 60%).

2. Петров М.М. Критериальная зависимость для определения действительного коэффициента преобразования одноступенчатого теплового насоса / В. А. Пухкал, М. М. Петров, С. М. Анисимов, А. В. Цыганков // Вестник гражданских инженеров. – 2025. – №3(110). – С. 143–149. (0,88 п.л., авторский вклад 50%).

3. Петров М.М. Комплексное моделирование приточно-вытяжной установки со встраиваемым тепловым насосом / М. М. Петров // Вестник гражданских инженеров. – 2025. – № 5(112). – С. 77–89. (1,63 п.л., авторский вклад 100%).

4. Петров М.М. Определение коэффициента преобразования энергии одноступенчатых тепловых насосов, встраиваемых в приточно-вытяжные вентиляционные установки / М. М. Петров // Инновации и инвестиции. – 2026. – №3. – С. 625–627. (0,38 п.л., авторский вклад 100%)

5. Петров, М.М. Влияние хладагента на эксплуатационные показатели воздушного теплового насоса приточно-вытяжной вентиляционной установки / М. М. Петров // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2026. – № 5. – С. 32–43. (1,5 п.л., авторский вклад 100%)

Работы, опубликованные в других изданиях:

6. Петров М.М. Утилизация теплоты в приточно-вытяжных установках с тепловым насосом // Эффективность инженерных систем и энергосбережение: сборник статей международной научно-практической конференции, 19–20 октября 2023 г. / В. А. Пухкал, М. М. Петров // Брестский государственный технический университет; под ред. В. Г. Новосельцева [и др.]. – Брест: Издательство БрГТУ, 2023. С. 92–100 (0,52 п.л., авторский вклад 50%)

7. Петров М.М. Энергоэффективность приточно-вытяжных установок со встроенным тепловым насосом / В. А. Пухкал, М. М. Петров // Строительство и техногенная безопасность. – 2023. – № 1 S1. – С. 294–299 (0,52 п.л., авторский вклад 50%)

8. Петров М.М. Обмерзание испарителя тепловых насосов в приточно-вытяжных установках систем вентиляции / В. А. Пухкал, М. М. Петров // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Брест, 16 апреля 2024 г. / под ред. В. Г. Новосельцева, П.В. Северянина. – Брест: УП «Брестоблгаз». – 2024. – С. 66–70 (0,5 п.л., авторский вклад 50%)

9. Петров М.М. Анализ результатов моделирования приточно-вытяжной установки со встроенным тепловым насосом / М. М. Петров // Сборник тезисов Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (23–24 апреля 2026 г.) / Могилев: Изд-во БРУ, – 2026. С.232–233 (0,25 п.л., авторский вклад 100%).

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

10. Петров М.М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689712. Российская Федерация. HeatPumpАН: № 2025689712; заявл. 28.08.2025; зарегистр. 30.10.2025; опубл. 30.10.2025 / Петров М.М., Пухкал В.А.; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1) ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», доцент кафедры «Проектирование и технологии строительства», кандидат технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение **Малыгина Оксана Александровна.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в автореферате недостаточно понятно, как рассчитывался средний срок окупаемости рассмотренных вентиляционных установок.

– соискателем недостаточно полно описаны разработанные рекомендации по проектированию приточно-вытяжных установок систем

вентиляции и кондиционирования при встраивании в них воздушных тепловых насосов.

2) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», заведующий кафедрой теплогазоснабжения, доктор технических наук по специальности 05.23.03. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, профессор, член-корреспондент РААСН **Кочев Алексей Геннадьевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– применима ли зависимость (33) модифицированного показателя качества хладагента FOM^* для неазеотропных хладагентов?

– на стр. 23 для вывода 4 следовало указать исследованный диапазон параметров, влияющих на эксплуатационные характеристики приточно-вытяжных установок.

3) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск, и.о. заведующего кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение **Слободчиков Егор Гаврильевич**, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук по специальности 2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение **Козлов Тимур Алексеевич**.

Отзыв положительный, имеется замечание:

– в автореферате отсутствуют конкретные значения экономии тепловой энергии и не указаны температурные условия проведения эксперимента, что затрудняет количественную оценку энергосберегающего эффекта.

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

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в описании процесса получения зависимости $K_{mn}-CL$ (Рисунок 3) не указано как были получены данные математического моделирования, т.е. какой использовался расчетный код, как визуализировались результаты и т.п.

– в зависимости (33), описывающей «модифицированный показатель хладагента FOM^* », вероятно, у показателя n пропущен знак (-), т.к. показатели Cl и Ja связаны обратной зависимостью, т.о. смысл формулы теряется.

– при анализе схем компоновки теплового насоса в вентиляционных установках получены зависимости КПЭ от t_n только для теплового насоса. Отсутствует оценка суммарного КПЭ при совместной работе пластинчатого теплоутилизатора и теплового насоса, что не дает возможность получить объективный вывод об эффективности той или иной схемы.

5) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Республика Крым, г. Симферополь, заведующий кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения им. академика Б.И. Боровского, доктор технических наук по специальности 05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения, профессор **Федюшко Юрий Михайлович**; доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения им. академика Б.И. Боровского, кандидат технических наук по специальности 05.23.03. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение **Ангелюк Илья Павлович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– соискатель в автореферате приводит показатели совпадений расчетных и экспериментальных данных, однако не раскрывает погрешности средств измерений, число повторных опытов и доверительные интервалы. Это не позволяет в полной мере оценить воспроизводимость результатов;

– в автореферате приведены состав исследованных хладагентов и значение показателя степени, однако недостаточно четко обозначены

диапазоны температур испарения и конденсации, давлений и значений FOM*, в пределах которых рекомендуется применять зависимость (34);

– экспериментальная зависимость от критерия Клаузиуса получена на установке с хладагентом R134a. Представляет интерес уточнить, проводилась ли самостоятельная экспериментальная проверка ее применимости к R407C, R404A и R410A либо перенос основан на критериальном обобщении.

6) ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляции», кандидат технических наук по специальности 05.23.03. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение **Морозов Антон Юрьевич**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– рассматривался ли автором параметр тепловой эффективности (%) ТН и его взаимосвязь с другими параметрами рабочего процесса?

– на рис.8,9 автореферата показаны исследуемые данные в диапазоне температур наружного воздуха от минус 16 °С до плюс 6 °С. При какой минимальной величине температуры наружного воздуха возможно применение установки ТН в сочетании с пластинчатым рекуператором? Чем обусловлена эта граница?

– исследовался ли автором вопрос изменения коэффициента теплопередачи вследствие образования пленки конденсата на внешней поверхности трубок испарителя ТН?

7) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, профессор Департамента энергетических систем Политехнического института (Школы), доктор технических наук, доцент **Штым Константин Анатольевич**; профессор Департамента энергетических систем Политехнического института (Школы), кандидат технических наук, доцент **Черненко Владимир Петрович**.

Отзыв положительный, имеется замечание:

– в автореферате не приведены меры борьбы с инееобразованием на поверхности утилизаторов теплоты при низких температурах воздуха на входе в теплообменник и на поверхности испарителя теплового насоса.

8) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», заведующая кафедрой теплогазоснабжения, водоотведения и вентиляции, доктор физико-математических наук, доцент **Зоря Ирина Васильевна**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в автореферате недостаточно подробно представлены характеристики экспериментального стенда: номинальная теплопроизводительность и холодопроизводительность теплового насоса, диапазоны расходов теплоносителей и воздуха, тип и мощность компрессора, средства измерений, их классы точности и оценка погрешностей эксперимента. Для более полной оценки достоверности полученных корреляций желательно привести эти сведения в диссертации;

– утверждение о повышении эффективности утилизации при внедрении теплового насоса «до 30%» требует более точного пояснения: относительно какого базового варианта определяется данный прирост, какой именно показатель эффективности используется и при каких исходных климатических, расходных и температурно-влажностных условиях получен результат;

– экономическая часть представлена в автореферате преимущественно итоговыми сроками окупаемости. Для усиления практической ценности результатов было бы желательно в диссертации подробнее раскрыть исходные данные цены на оборудование, тарифные предпосылки, горизонт расчета, состав учитываемых эксплуатационных затрат, порядок учета стоимости обслуживания, ремонта, замены оборудования и влияние климатических данных на годовую экономию.

9) ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и

вентиляция», доктор технических наук по специальности 05.23.03. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, профессор **Еремкин Александр Иванович**; доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук по специальности 05.23.05. Строительные материалы и изделия **Фролов Михаил Владимирович**.

Отзыв положительный, имеются замечания:

– на стр.10 описывается сравнение используемой методики по определению среднего коэффициента кипения хладагента с уравнением С.Н. Богданова. В автореферате стоило кратко представить результаты сравнения;

– не указаны граничные условия применимости зависимостей (26) и (27) (стр. 10).

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

Отзыв положительный, имеются замечания:

– является ли необходимым наличие в работе двух формул (29 и 34) для определения коэффициента преобразования энергии, с учетом того, что предлагаемые «показать качества хладагента» FOM*, используемый в формуле (34), также зависит от критерия Клаузиуса, как и коэффициент преобразования энергии в формуле (29);

– на стр. 12 показано отклонение расчетного коэффициента преобразования энергии по формуле (29) от экспериментального, но нет аналогичного сравнения со значениями, полученными по формуле (34).

11) УО «Брестский государственный технический университет», Республика Беларусь, г. Брест, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, кандидат технических наук по специальности 05.14.04.

Промышленная теплоэнергетика, доцент **Новосельцев Владимир Геннадьевич**.

Отзыв положительный, имеется замечание:

– по автореферату имеются незначительные замечания редакционного характера.

12) ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», доцент кафедры теплогазоводоснабжения, кандидат технических наук по специальности 05.23.03. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, доцент **Монаркин Николай Николаевич**.

Отзыв положительный, имеется замечание:

– в автореферате на рисунке 6 представлены приточно-вытяжные установки с пластинчатым перекрестноточным утилизатором. Необходимо также рассмотреть, как меняются энергетические характеристики теплового насоса при применении роторных регенеративных утилизаторов.

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

Отзыв положительный, имеются замечания:

– в перечне исследователей, занимавшихся ранее данной проблемой, целесообразно было бы указать также проф. О.Я. Кокорина, который предложил систему утилизации теплоты с использованием теплонасосной установки с водяным охлаждением конденсатора;

– в формуле (1) по смыслу должно быть обозначение q_0 , а не Q_0 ;

– в формуле (11) не ясно, что обозначает параметр S_p , в то же время отсутствует приведенная в расшифровке величина S_g ;

– не все параметры в формулах, начиная с (13), расшифрованы.

14) ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры «Теплогазоснабжение и инженерные системы в строительстве», доктор технических наук по специальности 01.02.05 - Механика жидкости, газа и плазмы, старший научный сотрудник **Немова Татьяна Николаевна.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

– апробация математической модели приведена автором на примере хладагентов R22 и R12. Однако эти хладагенты использовались на первых моделях кондиционеров, к настоящему времени они устарели и не применяются. Автор не обосновывает утверждение, что представленная математическая модель может быть использована и для других хладагентов (с. 10);

– автором получены аппроксимационные зависимости расчета энтальпии и энтропии для некоторых хладагентов (с. 10), однако не указан алгоритм получения этих зависимостей;

– целесообразно по результатам работы сделать выводы о применимости полученных результатов для хладагентов различного типа (R410 и выше).

15) ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», кандидат технических наук, доцент, **Мансуров Рустам Шамильевич.**

Отзыв положительный, имеются замечания:

– автору необходимо обратить внимание на единицы измерения в приведенных уравнениях. Так, в уравнениях 1, 2, 3 q_m и q_0 представлены в кДж, хотя по тем параметрам, которые входят в уравнение 2 для определения q_0 получается в кДж/ч (стр.8);

– в автореферате следовало бы более подробно привести рекомендации по проектированию систем вентиляции с применением встраиваемых воздушных тепловых насосов;

- в автореферате следовало бы указать, как именно в результате математического моделирования определена степень n для зависимости (33);
- автором для экспериментальных исследований используется учебный стенд, предназначенный для учебных целей, а не для исследовательских. Так, например, в представленной в автореферате схеме (рис.2) теплообменники ПТ1 и ПТ2 являются промежуточными фреоно-водяными, а не фреоно-воздушными, непосредственно устанавливаемыми в практике применения в поток приточного и вытяжного воздуха. Это в свою очередь снижает эффективность теплоутилизации из-за снижения температурного напора между воздухом и промежуточным теплоносителем, т.е. водой, а не посредственно фреоном.

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

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны научно обоснованные решения, способствующие повышению эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции с использованием воздушных тепловых насосов;

предложена гипотеза: применение теплового насоса в приточно-вытяжных установках систем вентиляции и центральных кондиционерах совместно с пластинчатыми и другими утилизаторами теплоты позволит повысить эффективность систем утилизации теплоты и снизить энергопотребление;

доказана адекватность разработанной математической модели встраиваемого воздушного теплового насоса путем сравнения результатов численного моделирования и лабораторного эксперимента;

введены: критериальная зависимость действительного коэффициента преобразования одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса от критерия Клаузиуса; модифицированный показатель качества хладагента; температурный симплекс, учитывающий критическую температуру хладагента; критериальная зависимость действительного коэффициента преобразования одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса от модифицированного показателя качества хладагента.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, устанавливающие зависимости, описывающие рабочий цикл одноступенчатых парокомпрессионных тепловых насосов, устанавливаемых в приточно-вытяжных установках и центральных кондиционерах;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов исследования и стандартных методик, который позволил определить особенности работы парокомпрессионных тепловых насосов и установить эффективность их применения в системах вентиляции как встраиваемого оборудования в приточно-вытяжные установки систем вентиляции и кондиционирования воздуха;

изложены: математическая модель совместной работы приточно-вытяжной установки и встраиваемого воздушного теплового насоса; зависимости коэффициента преобразования энергии воздушного теплового насоса при различных компоновках приточно-вытяжных установок и хладагентах;

раскрыто влияние выбора компоновки приточно-вытяжной установки и выбора хладагента на энергетические и эксплуатационные показатели встраиваемого воздушного теплового насоса;

изучены принципы моделирования процесса утилизации теплоты в приточно-вытяжных установках с утилизатором «воздух-воздух» и встраиваемым воздушным тепловым насосом, закономерности влияния компоновки приточно-вытяжной установки на коэффициент преобразования энергии

воздушного теплового насоса и количество утилизированной теплоты установкой в целом;

проведена модернизация и совершенствование методов оценки эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с использованием воздушных тепловых насосов, встраиваемых в приточно-вытяжные установки.

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

разработана и внедрена методика расчета приточно-вытяжной установки с утилизатором «воздух-воздух» со встраиваемым воздушным тепловым насосом и программный комплекс HeatPumpАН в практику проектирования ООО «ЭКСПЕРТ-ПРОЕКТ», что подтверждается справкой о внедрении. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе обучающихся по основной образовательной программе ФГБОУ ВО «СПбГАСУ» 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»;

определены энергетические и эксплуатационные характеристики приточно-вытяжных установок со встраиваемым воздушным тепловым насосом в зависимости от региона применения оборудования и компоновки установок;

создан программный комплекс HeatPumpАН, позволяющий выполнять прогнозирование работы вентиляционных установок с воздушным тепловым насосом, определять эксплуатационные и энергетические показатели установок со встраиваемыми тепловыми насосами, осуществлять технико-экономическое обоснование применения тепловых насосов. Получена государственная регистрация программы для ЭВМ HeatPumpАН № 2025689712;

представлены рекомендации по проектированию систем вентиляции с использованием воздушных тепловых насосов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовались современные высокотехнологические установки, методы исследований и испытаний, регламентированные отечественными нормативными документами, с применением современных поверенных средств измерений; численные методы с применением программных комплексов, позволившие получить обоснованные и достоверные результаты;

теория основана на применении общепринятых научных подходов физико-математического описания процесса утилизации в перекрестно-точных пластинчатых воздуховоздушных утилизаторах и поверхностных теплообменниках с изменением фазового состояния теплоносителя; результаты согласуются с опубликованными данными экспериментальных исследований, полученными другими авторами;

идея базируется на проведенном аналитическом обзоре научно-технической литературы, обобщающем фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых в области утилизации теплоты, посвященных способам повышения эффективности систем вентиляции с применением холодильных машин;

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

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

использованы современные методики проведения исследований с применением поверенных средств измерений, сбора и статистической обработки данных при экспериментальных исследованиях работы теплового насоса.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии автора на всех этапах исследования; в постановке задач диссертационного исследования и их решении; в исследовании и обобщении теоретических и экспериментальных материалов по теме; в и проведении экспериментальных исследований на лабораторной установке с обработкой полученных данных;

разработке математических моделей; формулировании выводов и методик, подготовке научных публикаций.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1) Работа называется «Оценка эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции с использованием тепловых насосов. Вы в докладе подходили к этому, но такой оценки не приведено. Эффективность оценивается в каких-нибудь количественных показателях.

2) В выводах, 8 пункт: «определены критерии оптимального внедрения системы утилизации на основе воздушного теплового насоса в приточно-вытяжную установку». Но вы ни одного слова не сказали об экономической оценке. Что сегодня сдерживает внедрение в России таких установок, которые массово применены за рубежом?

3) На сегодняшний день оборудование, необходимое для реализации таких установок, производится в России или приходит через параллельный импорт?

4) Чем обусловлен выбор фреонов – безопасностью, качеством, распространенностью?

5) Какова точность совпадения расчетов с экспериментальными данными? Для других фреонов вы оценивали такую диаграмму, как на слайде 14?

6) Назовите хотя бы приблизительно срок окупаемости для Санкт-Петербурга.

7) Вы сказали, что оборудование «ВЕЗА» в холодный период года не используются, а как же бассейны?

Соискатель Петров М.М. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1) В тексте диссертации рассматривается вопрос об оценке эффективности приточно-вытяжных установок с встраиваемыми воздушными тепловыми насосами. В исследовании вводится такой показатель, как

коэффициент утилизации для всей установки в целом, равный отношению утилизированной теплоты к сумме электрических мощностей, о которых шла речь в докладе. Также в 5-й главе диссертационного исследования приведено экономическое сравнение, получены стоимости эксплуатации, срок окупаемости, в зависимости от климатологии Российской Федерации.

2) Перечень заводов на территории Российской Федерации, производящие компрессоры, сжат. Второй момент: особенности климатологии Российской Федерации. Для рассматриваемой компоновки «а» в России на широком диапазоне отопительного периода возникает риск обмерзания испарителя. Также сегодня недостаточна аргументация внедрения дорогостоящего оборудования, отсутствуют рекомендации; в современной нормативной документации не упоминается, что при высоких расходах воздуха утилизации теплоты можно добиваться не только применением пассивных утилизаторов, но и можно с помощью холодильного оборудования, такого как тепловой насос. Сдерживающим фактором внедрения также является относительно дешевая стоимость энергии в России, достаточно сложно таким системам конкурировать с газом.

3) До 2022 года основным поставщиком такого оборудования являлся Dantherm, сегодня на территории Российской Федерации среди заводов, которые занимаются таким оборудованием, можно выделить: NED, «ВЕЗА». Но конкретно, если смотреть серийное оборудование, то встраиваются холодильные машины как климатического оборудование для работы в теплый период года, но для отопительного периода не используются.

4) Выбор выполнялся с точки зрения популярности и изученности. Здесь присутствует, например, фреон R22. Он запрещен, но имеет хорошую изученность, что позволяет такие фреоны использовать как реперные точки для валидации результатов расчетов. Здесь также присутствует такой фреон как R410a, достаточно популярный фреон. Также есть R32, который считаю перспективным для замены R410a.

5) Среднее отклонение составило около 1%. Другие хладагенты на экспериментальном стенде не рассматривались.

6) В 5-й главе рассматривается окупаемость именно внедрения теплового насоса в существующую установку. Для Санкт-Петербурга составил чуть больше 4 лет.

7) Да, используются с выносными компрессорно-конденсаторными блоками, испарители встраиваются в приточно-вытяжную установку для осушения, например в спа-центрах.

На заседании 29 сентября 2026 года диссертационный совет принял решение – за решение научной задачи по оценке эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с использованием тепловых насосов, имеющей значение для развития отрасли знаний по специальности 2.1.3. «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение», присудить Петрову Михаилу Михайловичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дацюк Тамара Александровна

Пухкал Виктор Алексеевич

«29» сентября 2026 года