



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,
д.техн.н., профессор
Никифоров В.О.

«09» сентября 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (НИУ ИТМО) на диссертационную работу Петрова Михаила Михайловича на тему «Оценка эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции с использованием тепловых насосов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

1. Актуальность темы исследования

Исследование, выполненное М.М. Петровым в рамках диссертационной работы, связано с актуальной проблемой разработки энергоэффективных решений систем вентиляции и кондиционирования воздуха современных зданий. Соискателем отмечена тенденция применения систем утилизации теплоты в оборудовании систем вентиляции и для повышения их эффективности предложено использовать встроенные тепловые насосы.

Интеграция тепловых насосов в приточно-вытяжные установки требует комплексного анализа работы встраиваемого теплового насоса и вентиляционной установки при различных вариантах компоновки оборудования. Для достоверной оценки необходимо учитывать не только термодинамические процессы в контуре теплового насоса, но и температур и потоков в элементах приточно-вытяжной установки, что требует создания современных методик расчета и рекомендаций по проектированию такого вентиляционного оборудования. Ввиду вышеизложенного данная тема диссертационного исследования является актуальной.

2. Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами по каждой из них, общих выводов, списка литературы и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, поставлены цель и определены задачи для ее достижения, представлена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен анализ опыта применения тепловых насосов в системах вентиляции и кондиционирования воздуха; рассмотрены методики расчета парокомпрессионных тепловых насосов.

Во второй главе представлены: объекты математической модели и зависимости, связывающие их; зависимости описывающие связь энтальпии, энтропии и давления рабочего тела в зоне перегретого пара для различных хладагентов; метод расчета коэффициентов теплоотдачи для кипящего и конденсирующего хладагентов; базовые зависимости, описывающие утилизацию теплоты с помощью теплового насоса и утилизатора «воздух-воздух»; описание разработанного программного комплекса; базы данных, лежащие в основе программы.

В третьей главе представлены результаты математического моделирования работы приточно-вытяжных установок различной компоновки со встраиваемым воздушным тепловым насосом, а именно, зависимости энергетических и эксплуатационных показателей от расхода воздуха, температур приточного и удаляемого воздуха, и выбор хладагента.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования работы теплового насоса; выявлена критериальная зависимость действительного коэффициента преобразования энергии; предложен модифицированный «показатель качества» хладагента, позволяющий проводить предварительную оценку эффективности холодильной машины, работающей на различных хладагентах.

В пятой главе представлены технико-экономические показатели внедрения теплового насоса в приточно-вытяжной установки в зависимости от климатических условий для Российской Федерации; определены сроки окупаемости приточно-вытяжных установок со встраиваемыми тепловыми насосами.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность результатов исследования, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается современными средствами научных исследований, использованием фундаментальных положений процессов тепломассообмена, применением математических методов планирования эксперимента и статистической обработки результатов, использованием теории математического моделирования, отсутствием в полученных результатах противоречий с общепризнанными научными положениями, удовлетворительной сходимостью результатов аналитических расчетов с результатами экспериментальных исследований.

4. Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработана математическая модель совместной работы приточно-вытяжной установки и встраиваемого воздушного теплового насоса в зависимости от компоновки при использовании различных хладагентов;
2. Выявлена критериальная зависимость действительного коэффициента преобразования одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса от критерия Клаузиуса;
3. Обоснован модифицированный показатель качества хладагента, равный произведению критерия Клаузиуса и предлагаемого температурного симплекса, учитывающего критическую температуру хладагента.
4. Получена критериальная зависимость действительного коэффициента преобразования одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса от модифицированного показателя качества хладагента.

5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования М.М. Петрова состоит в установлении закономерностей, описывающих рабочий цикл одноступенчатых парокомпрессионных тепловых насосов, встраиваемых в приточно-вытяжные установки и центральные кондиционеры.

Практическая значимость работы состоит: в рекомендациях по проектированию систем вентиляции и кондиционирования воздуха с применением тепловых насосов; в разработанном программном комплексе HeatPumpАН; определенных условиях экономически целесообразного применения различных компоновок приточно-вытяжных установок со встраиваемым воздушным тепловым насосом; во внедрении результатов работы в практику проектирования и учебный процесс и учебный процесс.

6 Публикации и апробация

Основные результаты, полученные М.М. Петровым в рамках диссертационного исследования, достаточно полно опубликованы в рецензируемых научных изданиях: 5 статей в журналах Перечня ВАК. По результатам исследований сделано 6 докладов на международных, всероссийских и региональных научных конференциях. Получена государственная регистрация программы HeatPumpАН.

7 Замечания

По диссертационной работе имеются следующие пожелания и замечания:

1. В главе 3 для рисунков 3.23-3.32 следовало бы указать для каких ключевых температур удаляемого воздуха проводилось моделирование.

2. На стр. 35 дана расшифровка не всех условных обозначений элементов установки, представленных на рисунке 1.14.

3. На рисунке 2.19 отсутствует наименование линий энтальпий.

4. Встречаются не унифицированные термины, например, по тексту диссертации встречается как «число Якобса», так и «критерий Якобса» в отношении одного и того же отношения.

5. В зависимостях (3.2), (3.5) и (3.7) и на рисунках 4.5 и 4.7 электрическая мощность, затрачиваемая на работу теплового насоса, имеет разное обозначение, согласно списку сокращений ее следовало бы обозначать как $N_{\text{тн}}$.

Указанные замечания, не снижают новизну, теоретическую и практическую значимость проведенных автором исследований, а также общего положительного впечатления от работы.

Текст диссертации и автореферата составлен логично и грамотно с учетом предъявляемых к научным работам требований. Автореферат диссертации в полной мере отражает содержание диссертации.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Рассматриваемая диссертация является законченной работой, выполненной автором на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. По каждой главе и в целом по работе сделаны четкие выводы.

Тема диссертации Петрова Михаила Михайловича и содержание диссертации соответствуют п.3 «Разработка и совершенствование систем теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, разработка методов энергосбережения систем и элементов теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, аспирации и пневмотранспорта, включая использование альтернативных, вторичных и возобновляемых источников энергии; развитие методов моделирования многофазных потоков и динамических процессов в аэродисперсных системах», п.4 «Разработка математических моделей, методов, алгоритмов и компьютерных программ, использование численных методов, с проверкой их адекватности, для расчета, конструирования и проектирования систем теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения и освещения, охраны воздушного бассейна, защиты от шума зданий и сооружений, повышения их надежности и эффективности», паспорта специальности 2.1.3 – Теплоснабжение,

вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Диссертационная работа Петрова Михаила Михайловича является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Диссертация на тему: «Оценка эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции с использованием тепловых насосов» отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Петров Михаил Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании Учёного совета образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы» ФГАОУ «Национальный исследовательский университет ИТМО», протокол № 18 от 08.09. 2026 г. Результаты голосования: за - 14, против - 0. воздержались - 0.

Руководитель ОЦ «Энергоэффективные инженерные системы»
ФГАОУ «Национальный исследовательский Университет ИТМО»,
д.техн.н., профессор,
телефон: +7 (812) 480-06-55
e-mail: ivbaranov@itmo.ru

Баранов Игорь Владимирович

«08» сентября 2026 г.

Учёный секретарь Учёного Совета образовательного центра
«Энергоэффективные инженерные системы»

Иконникова Анастасия Юрьевна

«08» сентября 2026 г.

Наименование организации, предоставившей отзыв:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Российская Федерация, 197198, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д. 49, лит. А.

Телефон: +7 (812) 480-00-00

Адрес электронной почты: od@itmo.ru

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