

## **ОТЗЫВ** **на автореферат диссертации**

Петрова Михаила Михайловича на тему:  
«Оценка эффективности утилизации теплоты в системах  
вентиляции с использованием тепловых насосов»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата  
технических наук по специальности  
2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение»

В диссертационной работе М. М. Петрова решается актуальная научно-техническая задача повышения энергетической эффективности приточно-вытяжных вентиляционных установок и центральных кондиционеров посредством использования встроенных воздушных парокомпрессионных тепловых насосов.

Актуальность темы очевидна, т.к.. обеспечение нормативных параметров воздушной среды в зданиях связано со значительными затратами тепловой и электрической энергии на обработку наружного воздуха, а одним из наиболее перспективных путей снижения этих затрат выступает утилизация теплоты удаляемого воздуха. Вместе с тем внедрение тепловых насосов в вентиляционные установки сдерживается высокой стоимостью оборудования, недостаточной разработанностью инженерных методик совместного расчёта вентиляционного оборудования, теплообменников и холодильного контура, а также необходимостью учитывать эксплуатационные ограничения, включая риск обмерзания испарителей. Поэтому разработка математической модели, экспериментальная проверка её адекватности, оценка влияния компоновочных решений и выбор рациональных хладагентов имеют как научное, так и практическое значение.

Цель исследования сформулирована чётко и заключается в оценке и повышении эффективности систем утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха путём применения парокомпрессионных тепловых насосов в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Поставленные задачи вытекают из цели и охватывают аналитический обзор, создание математической модели, экспериментальное исследование, оценку различных компоновок и разработку подходов к повышению энергетической эффективности систем. Объект, предмет и гипотеза исследования согласованы между собой и соответствуют содержанию работы.

### **Научная значимость**

К числу наиболее существенных результатов, обладающих признаками научной новизны, можно отнести следующее:

- Разработана математическая модель совместной работы приточно-вытяжной установки, утилизатора типа «воздух-воздух» и встроенного воздушного теплового насоса. Модель предусматривает учёт компоновки

оборудования, параметров наружного и вытяжного воздуха, характеристик теплообменных аппаратов и свойств используемого хладагента.

- Получена критериальная зависимость действительного коэффициента преобразования энергии одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса от модифицированного показателя качества хладагента.

- Обоснован модифицированный показатель качества хладагента, учитывающий наряду с критерием Клаузиуса температурный симплекс, связанный с критической температурой рабочего тела. Это представляет интерес, поскольку позволяет перейти от формального сравнения теплофизических свойств хладагентов к предварительной оценке их влияния на энергетическую эффективность цикла.

- Разработан программный комплекс HeatPumpАН, зарегистрированный как программа для ЭВМ № 2025689712. Программа предназначена для расчёта совместной работы вентиляционной установки, утилизатора и теплового насоса, а также для графического представления процессов на  $I-d$ -диаграмме влажного воздуха и  $\lg P-h$ -диаграмме холодильного цикла.

Следует отметить, что в автореферате приведены основные расчётные зависимости, раскрыта логика моделирования теплообменных процессов, представлены экспериментальная установка и результаты сопоставления вычислительных и экспериментальных данных. Это позволяет судить о содержательности выполненной работы и наличии взаимосвязи между теоретической, экспериментальной и прикладной её частями.

### **Достоверность и практичность**

Достоверность результатов обеспечивается использованием общепринятых положений термодинамики, теплопередачи и теории холодильных машин, применением экспериментальных исследований, а также сравнением результатов математического моделирования с данными натурного стендового эксперимента. В автореферате указано, что отклонение результатов расчёта коэффициента преобразования энергии от экспериментальных значений не превышало 1% в рассматриваемом диапазоне критерия Клаузиуса.

Практическая значимость диссертации заключается в возможности использовать её результаты на стадии проектного обоснования технических решений по утилизации теплоты в системах вентиляции. Особый интерес представляют:

- рекомендации по проектированию приточно-вытяжных установок с тепловыми насосами;
- алгоритм сравнительной оценки нескольких компоновок вентиляционных установок;
- учёт энергопотребления не только компрессора, но и вентиляторов, что важно при возрастании аэродинамического сопротивления системы;
- оценка рисков обмерзания теплообменного оборудования;

- определение условий экономически оправданного применения различных вариантов оборудования с учётом климатических условий регионов Российской Федерации;

- оценка средних сроков окупаемости, приведённых автором в диапазоне от 4,5 до 10 лет.

Практически важным является результат, согласно которому размещение охладителя в вытяжном канале перед пластинчатым утилизатором позволяет исключить риск его обмерзания и сократить энергозатраты компрессора в 2,5 раза, хотя одновременно уменьшается количество теплоты, передаваемой пластинчатым теплообменником, на 14,6%. Этот результат демонстрирует правильный системный подход автора: эффективность оценивается не только по теплопроизводительности отдельного аппарата, но и по совокупности энергетических и эксплуатационных последствий принятой компоновки.

Результаты работы апробированы на научных конференциях в 2022 – 2026 годах. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, из них 5 – в рецензируемых изданиях из перечня ВАК; также имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Отдельно отмечено внедрение результатов в проектную практику ООО «ЭКСПЕРТ-ПРОЕКТ» и в образовательный процесс СПбГАСУ.

### **Замечания**

При общей положительной оценке автореферата, существует ряд замечаний и вопросов, не снижающих общей научной и практической ценности выполненной работы:

- 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 цены на оборудование, тарифные предпосылки, горизонт расчёта, состав учитываемых эксплуатационных затрат, порядок учёта стоимости обслуживания, ремонта, замены оборудования и влияние климатических данных на годовую экономию.

Высказанные замечания носят преимущественно уточняющий и рекомендательный характер. Они не ставят под сомнение основные результаты исследования, а скорее определяют направления их дальнейшего развития и расширения области инженерного применения.

### **Заключение**

Автореферат диссертации М. М. Петрова выполнен на актуальную тему, содержит новые научно обоснованные решения в области утилизации теплоты вытяжного воздуха и повышения энергоэффективности вентиляционных систем. Работа характеризуется логичной структурой, достаточной степенью проработки методических вопросов, наличием экспериментальной проверки, практической реализацией результатов в виде программного комплекса HeatPumpАН и внедрением в проектную и образовательную деятельность.

Диссертационная работа на тему «Оценка эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции с использованием тепловых насосов» является завершённой научно-исследовательской работой. По структуре, содержанию и объёму диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней ВАК РФ, а её автор, Петров Михаил Михайлович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.3 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

*Даю свое согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело Петрова Михаила Михайловича.*

Зав. кафедрой теплогазоснабжения,  
водоотведения и вентиляции СибГИУ,  
доктор физ.-мат.н.,  
канд. техн. наук, 05.23.03 – теплоснабжение,  
вентиляция, кондиционирование воздуха,  
газоснабжение и освещение, доцент

 И.В. Зоря

Подпись сотрудника (Зоря Ирина Васильевна) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» (адрес: 654007, Россия, Кемеровская обл.-Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, дом 42, СибГИУ; раб. тел. кафедры: 8(3843)74-86-29; e-mail кафедры: kafedra\_tv@sibsiu.ru ) заверяю.

Начальник отдела кадров СибГИУ



  
Т.А. Миронова  
02 сентября 2026г.