

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Зиганшина Арслана Маликовича на диссертационную работу Петрова Михаила Михайловича на тему: «Оценка эффективности утилизации теплоты в системах вентиляции с использованием тепловых насосов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.1.3. Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение

Актуальность темы диссертации

Важным направлением при строительстве внутренних инженерных систем является повышение энергоэффективности одновременно с ограничением объема потребляемых ресурсов и снижением углеродного следа. В современных объектах капитального строительства основная доля затрат энергии приходится на системы вентиляции. В ряде случаев для общественных и промышленных зданий этот показатель выше 60%. В основном энергия затрачивается на подогрев наружного воздуха и преодоление аэродинамического сопротивления, как сети, так и элементов вентиляционных установок.

На практике большая доля теплоты выбрасывается в окружающую среду, а процесс утилизации чаще всего ограничивается применением пластинчатых теплообменников «воздух-воздух». Перспективным способом решения проблемы повышения энергоэффективности систем вентиляции и кондиционирования воздуха является применение воздушных тепловых насосов, интегрированных в приточно-вытяжные установки и центральные кондиционеры.

В связи с этим исследования, направленные на разработку математических моделей, методик расчета, которые позволят выполнять прогнозирование работы приточно-вытяжных установок со встраиваемым тепловым насосом, определять границы рационального применения различных компоновок являются актуальными.

Структура и содержание диссертации

Представленная диссертационная работа содержит 158 страниц основного текста и состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы из 124 источников, содержит 115 рисунков, 33 таблицы, 4 страницы приложений.

Во введении автором представлена решаемая проблема, дана общая характеристика работы, оценивается ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, обосновывается достоверность результатов проведенных

исследований, личный вклад автора, перечисляются положения, выносимые на защиту, приводятся данные об апробации результатов, публикациях соискателя и о структуре работы.

В главе 1 «Применение тепловых насосов в системах вентиляции и кондиционирования воздуха» представлен обзор литературных источников отечественных и зарубежных авторов о системах утилизации теплоты на базе воздушных тепловых насосов, применяемых в системах вентиляции.

Рассмотрены различные методики расчета тепловых насосов, выявлено существенное влияние расположения испарителя в приточно-вытяжной установке и выбора хладагента на энергетическую эффективность холодильной машины. Установлено, что требуется разработка методик и программных комплексов для расчета воздушных встраиваемых тепловых насосов.

Во 2 главе «Математическая модель парокомпрессионного теплового насоса в приточно-вытяжных вентиляционных установках» автором представлена предлагаемая математическая модель расчета встраиваемого воздушного теплового насоса. Особенностью модели можно назвать исключение графоаналитического метода расчета. В частности, параметры хладагента в зоне перегретого пара предлагается определять по выведенным зависимостям свойств. Расчет испарителя сводится к решению зависимостей математической модели интегральным методом; расчет учитывает наличие зон пузырькового кипения и конвективного теплообмена, что позволяет выполнять расчет с различными хладагентами.

Для реализации предлагаемой математической модели, автором был разработан программный комплекс «HeatPumpАН», позволяющий выполнять расчет приточно-вытяжной установки с воздушным тепловым насосом при различной ее компоновке для различных хладагентов. Представлены базы данных, вошедшие в основу разработанной программы. Автором получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Глава 3 «Результаты моделирования тепловых насосов в приточно-вытяжных вентиляционных установках и центральных кондиционерах» посвящена результатам моделирования приточно-вытяжных установок со встраиваемым тепловым насосом различной компоновки. Рассматривается влияние температуры наружного и вытяжного воздуха, его расхода, компоновки вентиляционной установки, а также выбора рабочего тела на энергетическую эффективность как теплового насоса, так и вентиляционной установки в целом. Автором выявлено, что применение встраиваемого воздушного теплового насоса в системе вентиляции позволяет повысить эффективность установки на 15-30%, а совместное применение с утилизатором «воздух-воздух» позволяет снизить энергозатраты на 25-60%. Продемонстрировано существенное влияние расположения испарителя в канале вытяжного воздуха в приточно-

вытяжной установки на коэффициент преобразования холодильной машины. Рассмотрены способы определения граничных условий применимости той или иной компоновки в зависимости от скорости воздуха в канале приточно-вытяжной установки и температуры наружного воздуха. Определен перечень наиболее благоприятных рабочих тел для применения в воздушных тепловых насосах. Сформулированы способы повышения эффективности утилизации теплоты на базе встраиваемых воздушных тепловых насосов.

Глава 4 «Исследование работы теплового насоса» посвящена результатам экспериментального исследования автора с использованием лабораторной установки, а также обработке полученных результатов.

Результаты экспериментального исследования на лабораторной установке позволили сделать выводы о существенном влиянии критической температуры хладагента на эффективность цикла теплового насоса, что делает необходимым ее учет наравне с такими параметрами как удельная теплоемкость и удельная теплота парообразования. Показано, что одной из ключевых мер повышения эффективности теплового насоса является снижение величины повышения давления. Получена обобщенная критериальная зависимость для действительного коэффициента преобразования энергии; введен модифицированный показатель качества, равный произведению критерия Клаузиуса на предлагаемый температурный симплекс, учитывающий критическую температуру хладагента.

В 5 главе «Технико-экономические показатели внедрения теплового насоса в приточно-вытяжную установку» выполнена оценка экономической целесообразности внедрения воздушного теплового насоса в приточно-вытяжную установку в зависимости от географического расположения объекта капитального строительства. Выполнен расчет срока окупаемости различных компоновок приточно-вытяжных установок. В зависимости от климатических условий срок окупаемости варьируется от 4,5 до 10 лет.

В заключении приведены основные итоги диссертационной работы. Обозначены перспективные направления дальнейших исследований применения воздушных тепловых насосов в приточно-вытяжных установках систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки задачи, применением современных средств научных исследований, использованием фундаментальных положений процессов тепломассообмена, отсутствием в полученных результатах противоречий с общепризнанными научными положениями, удовлетворительной сходимостью результатов аналитических расчетов с результатами экспериментальных исследований.

Научная новизна диссертационного исследования

Научная новизна работы заключается: в разработке математической модели совместной работы приточно-вытяжной установки и встраиваемого воздушного теплового насоса в зависимости от компоновки при различных хладагентах; выявлении критериальной зависимости действительного коэффициента преобразования одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса от критерия Клаузиуса; обосновании модифицированного показателя качества хладагента; получении критериальной зависимости действительного коэффициента преобразования одноступенчатого парокомпрессионного теплового насоса от модифицированного показателя качества хладагента.

Значимость результатов, полученных автором, для науки и практики

Теоретическая значимость работы состоит в установлении закономерностей, описывающих рабочий цикл одноступенчатых парокомпрессионных тепловых насосов, устанавливаемых в приточно-вытяжных установках и центральных кондиционерах.

Практическая значимость работы: сформулированы рекомендации по проектированию систем вентиляции и кондиционирования воздуха с применением тепловых насосов; разработан программный комплекс HeatPumpАН для расчета приточно-вытяжных установок со встраиваемыми воздушными тепловыми насосами различной компоновки, работающих на разных хладагентах; определены условия экономически целесообразного применения различных компоновок приточно-вытяжных установок со встраиваемым воздушным тепловым насосом на территории Российской Федерации; результаты внедрены в практику компании и учебный процесс.

Степень завершенности диссертации в целом и качество ее оформления

Диссертация Петрова Михаила Михайловича является завершенным научно-исследовательским трудом, направленным на решение вопросов по оценке эффективности систем вентиляции с применением встраиваемых воздушных тепловых насосов. В работе последовательно изложен подход к достижению поставленной цели исследования, который в полном объеме дает представление о результатах положений, выносимых на защиту.

Диссертация написана технически грамотным языком, обладает понятной логической последовательностью изложения.

Соответствие содержания автореферата диссертации

Содержание автореферата в целом соответствует содержанию кандидатской диссертации и является кратким ее изложением. Автореферат включает в себя краткое описание всех основных этапов исследования:

актуальность темы исследования, цели и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, методологию и методы проведения исследования, степень достоверности, апробацию результатов, а также результаты внедрения, заключение и список основных трудов автора по теме диссертационной работы.

Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы

Личный вклад соискателя в решение исследуемых задач заключается в обобщении и анализе ранее проведенных исследований отечественных и зарубежных ученых в области применения воздушных тепловых насосов в системах вентиляции и кондиционирования воздуха с целью утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха, в постановке цели и задач исследования, в выборе методов исследования, в разработке основных положений, определяющих научную новизну и практическую значимость работы, в проведении значительного объема экспериментальных исследований с использованием лабораторной установки и обобщении результатов, в разработке математической модели программного комплекса «HeatPumpАН» для проектирования тепловых насосов в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Полнота опубликованных основных результатов диссертации

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 9 печатных работах (7,31 п.л.), из которых 5 статей в научных журналах (5,52 п.л.), рекомендованных ВАК. Также по результатам исследования получено 1 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертации

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

Редакционного характера: опечатки, например, автореферат - с.3 «исключением»; диссертация – с. 4 «являются», с.101 «насоса», с.103 «насосах», с.119 «удовлетворительная», с.140 «обобщенная».

1. Литобзор стоило провести более широко, с включением современных зарубежных исследователей
2. С.35 Утверждение об отсутствии стандартизированных подходов сформулировано чрезмерно категорично. В мировой практике ЕАНР/АНУ-интегрированные ТН активно исследуются. Скорее можно уточнить, что отсутствует адаптированная отечественная методика для компоновок «рекуператор + встраиваемый ТН» для условий РФ.

3. Для чего автор проводил исследования с использованием устаревших и запрещенных или ограниченных к использованию в строительстве фреонов R12, R22, R404a?
4. С.119 как обосновывается вывод о применимости данных стенда «вода–вода» для верификации других типов ТН и других типов обменивающихся теплом сред?
5. С.68 Валидация модели опирается на сравнение с ПО, а физическая верификация — на стенде «вода–вода». Недостаёт проверки воздушной части
6. с. 101, Описание методики эксперимента неполно для воспроизведения: нет класса точности каналов, числа повторов измерений и повторяемости их результатов.
7. С.109 неясно о каком коэффициенте детерминации идет речь и как он может свидетельствовать об уровне соответствия экспериментов и расчетов.

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

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

Рассматриваемая диссертация является законченной работой, выполненной автором на достаточном научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Тема диссертации Петрова Михаила Михайловича и содержание диссертации соответствует 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» и 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.

Собственноручную подписью
Игнаткина И.И.
удостоверяю
Начальник Отдела кадров
И.И. Игнаткин
« 01 сентября » 2016 г.