

## **Отзыв официального оппонента**

Малявиной Елены Георгиевны

на диссертационную работу **Киборт Ивана Дмитриевича**

**«Развитие методов расчета и экспериментальных исследований**

**утилизации тепловой энергии удаляемого вентиляционного воздуха»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 - «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение»

### **Актуальность избранной темы диссертационного исследования**

Диссертация посвящена совершенствованию методов расчета систем утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха. Высокий уровень потребления тепловой энергии системами вентиляции и кондиционирования воздуха предъявляет особые требования к развитию вопроса внедрения энергосберегающих технологий. Совершенствование систем утилизации тепловой энергии является одним из ключевых направлений в разрезе проблемы энергоэффективности. Особое место в данном вопросе занимает исследование альтернативных способов утилизации теплоты, в том числе при помощи воздушных тепловых насосов, имеющих низкоинтенсивное, но стабильное развитие на отечественном рынке.

### **Структура и краткое содержание работы**

Основой диссертационного исследования являются результаты численных и лабораторных экспериментов, которые всесторонне характеризуют проблему для обоснования окончательных выводов. Выполнено сопоставление полученных результатов с теоретическими и экспериментальными данными других исследователей. Диссертация обладает внутренним единством.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, содержащего основные общие выводы, списка литературы, включающего 134 наименования. Общий объем диссертационной работы: 158 страниц машинописного текста, 5 приложений на 29 страницах.

Во Введении обоснована актуальность выбранной темы исследования; определена степень разработанности темы; обозначены цель и задачи исследования; изложены основные положения научной новизны, теоретической и

практической значимости работы; представлены сведения о публикациях по теме исследования, апробации и внедрении результатов работы.

В Главе 1 выполнен анализ существующих зарубежных и отечественных публикаций по вопросам расчета и проектирования энергосберегающих технологий в системах кондиционирования воздуха и использования тепловых насосов. Положительным является то, что автор не просто перечисляет выполненные на заданную тему исследования, а анализирует их с позиций необходимости учета выводов чужих работ в собственном исследовании. Таким образом, всесторонний анализ предмета исследований позволил автору сформулировать цель и определить задачи диссертационной работы.

Глава 2 посвящена совершенствованию математической модели воздушного теплового насоса на основе анализа зависимостей основных параметров теплообменников от расходов и температурного режима рабочих сред. При написании Главы 2 автор проявил хорошее понимание процессов, происходящих в отдельных аппаратах холодильной машины и теплового насоса, и умение анализировать эти процессы с помощью I-s, T-s, P-V диаграмм.

В Главе 3 разработан алгоритм расчета системы утилизации на основе воздушного теплового насоса, предложены имитационные модели воздушного теплового насоса, пластинчатого утилизатора и утилизатора с промежуточным теплоносителем. Положительным в Главе 3 является тщательный подход автора к учету факторов, влияющих на результат исследования, им не просто разработана структура алгоритма параметров работы утилизатора на основе холодильной машины, а к тому же подготовлены базы данных физических параметров хладагентов, значений единиц теплопереноса, значений типовых параметров теплообменных аппаратов.

Для верификации имитационных моделей, предложенных в Главе 3, в Главе 4 выполнены экспериментальные исследования на разработанных автором лабораторных установках. Используются современные поверенные средства измерений. Привлекает то, что автор разработал и смонтировал лабораторные установки, позволяющие более точно измерить интересующие его параметры и

провести исследования в широком диапазоне расходов воздуха, чем это могло бы быть в случае натурного эксперимента.

Исследованию энергетического баланса систем утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха посвящена Глава 5. Выявлены условия рационального использования систем утилизации теплоты на базе воздушного теплового насоса. Важным результатом исследования является то, что несмотря на более длительные сроки окупаемости утилизаторов теплоты на базе тепловых насосов по сравнению с пластинчатыми утилизаторами и с промежуточным теплообменником, первые имеют перспективу применения в местах с необходимостью использования электрокалориферов, т.к в этом случае сроки окупаемости в северных регионах РФ укладываются в 3 года.

Завершая общий анализ работы, можно отметить, что по актуальности исследуемых проблем, содержанию, объему теоретических и экспериментальных исследований, достоверности полученных результатов диссертация является законченным квалификационным научным исследованием.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

В диссертационном исследовании представлена графоаналитическая методика расчета и анализа системы утилизации тепловой энергии удаляемого воздуха на основе воздушного теплового насоса, особенностью которой является визуальное представление широкого массива вариантов компоновки утилизатора с возможностью оперативного выбора наиболее рационального. В ходе работы над данной методикой автором были выполнены следующие задачи:

- разработана математическая модель системы утилизации тепловой энергии удаляемого воздуха на основе воздушного теплового насоса, а также соответствующая виртуальная модель;
- разработаны виртуальные модели пластинчатого утилизатора и утилизатора с промежуточным теплоносителем для проведения сравнительного моделирования;
- проведено имитационное моделирование работы утилизатора на основе воздушного теплового насоса, пластинчатого утилизатора и утилизатора с промежуточным теплоносителем;

- получены и проанализированы зависимости параметров работы системы утилизации на основе воздушного теплового насоса;
- созданы экспериментальные установки исследования процесса утилизации теплоты удаляемого воздуха;
- проведены экспериментальные исследования на предмет сходимости результатов имитационного моделирования и стендовых испытаний;
- определена экономическая ниша эффективного применения системы утилизации на основе воздушного теплового насоса в условиях климата Российской Федерации;
- разработан программный комплекс для формирования графоаналитической методики при различных диапазонах расхода воздуха.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций соответствует современным требованиям. Не вызывают сомнения обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций.

Научная новизна диссертационного исследования включает в себя следующие положения:

- получены зависимости коэффициента преобразования энергии от ключевых параметров работы системы утилизации на основе воздушного теплового насоса, в том числе от расхода воздуха, перепада температур удаляемого и приточного воздуха, хладагента в узловых точках цикла, аэродинамических и гидравлических сопротивлений конденсатора и испарителя;
- сформулирована и обоснована величина общего коэффициента преобразования энергии, учитывающая аэродинамические и гидравлические сопротивления системы утилизации;
- разработана графоаналитическая методика анализа и подбора конфигурации системы утилизации и соответствующий программный комплекс;
- для верификации имитационных моделей проведен сравнительный анализ результатов моделирования и экспериментальных исследований работы системы утилизации на основе воздушного теплового насоса и классических утилизаторов, выполненных на разработанных автором лабораторных стендах;

– выведены граничные условия эффективного функционирования системы утилизации на основе воздушного теплового насоса с учетом климатических и экономических особенностей Российской Федерации;

Обоснованность научных положений, достоверность выводов и рекомендаций, научная значимость диссертационной работы не вызывают сомнений.

Работа также имеет существенную практическую значимость. Результаты работы в виде графоаналитической методики расчета и анализа системы утилизации тепловой энергии на основе воздушного теплового насоса, а также программный комплекс успешно внедрены в деятельность ООО «СПБ-Гипрошахт» и ИП «Чупров С.А.», что подтверждается соответствующими актами внедрения. В число положительных эффектов от внедрения методики входят упрощение подбора комплексного теплоутилизационного оборудования, снижение трудозатрат, увеличение эффективности анализа проектных решений.

#### **Степень завершенности диссертации в целом и качество ее оформления**

Диссертация «Развитие методов расчета и экспериментальных исследований утилизации тепловой энергии удаляемого вентиляционного воздуха» Киборта И.Д. является завершенным научным исследованием. Работа хорошо логически выстроена, затрагивает большой круг вопросов в общей задаче совершенствования расчета сложных система утилизации теплоты удаляемого воздуха.

Качество исполнения диссертации можно охарактеризовать положительно. Материал изложен технически грамотным языком, структура глав логична. В целом оформление диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В число особенностей данной диссертационной работы необходимо включить подробное описание процесса работы имитационных моделей и сопутствующих мероприятий по адаптации математической модели к применению в вычислительной технике.

Стоит упомянуть о способе систематизации многомерной зависимости параметров системы утилизации на основе воздушного теплового насоса,

позволившим охватить значительное количество переменных в единую табличную структуру.

### **Соответствие содержания автореферата диссертации**

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Авторефератом охвачены все основные блоки исследования: актуальность, цели и задачи, новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, степень достоверности, апробация результатов, реализация результатов работы, выводы. Структурно автореферат диссертационного исследования соответствует современным требованиям.

### **Личный вклад соискателя в разработку научной проблемы**

Личный вклад автора состоит в:

- непосредственном участии в исследованиях функционирования системы утилизации тепловой энергии на основе воздушного теплового насоса;
- разработке математических и имитационных моделей, а также соответствующего программного комплекса;
- разработке экспериментальных стендов для исследования теплофизических параметров утилизаторов различного типа;
- проведении имитационного моделирования и экспериментальных исследований, проведении сравнительного анализа результатов;
- апробации результатов исследования;
- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

### **Полнота опубликованных основных результатов диссертации**

Основные результаты исследований по теме диссертации представлены в 13 работах, в числе которых 5 статей, опубликованы в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ.

### **Замечания по диссертации**

1. В работе неоднократно вместо мощности аппарата или системы речь идет о количестве энергии, но в кВт. В случае же упоминания о собственно количестве энергии, она также измеряется в кВт, а не кВт·ч.
2. Было бы намного наглядней, если бы часовая стоимость эксплуатации утилизаторов была приведена к 1 кВт·ч утилизированной теплоты, т.к. это

позволило бы привести к одинаковым условиям разные возможности утилизаторов.

3. Ничего не сказано об учете энергозатрат на борьбу с обмерзанием аппаратов теплоутилизации. Это важно, т.к. часто обмерзание является причиной отказа от утилизатора.

4. В первом абзаце автореферата говорится, что современные системы кондиционирования воздуха (СКВ) применяются для создания оптимальных условий в помещениях. Однако в настоящее время СКВ поддерживают и допустимые параметры, например, в офисных зданиях.

5. Редакционные замечания:

На Рис. 1.2 нет размерности на вертикальной шкале; на стр.18 перечислены фамилии авторов трудов без ссылок на труды; ф-ла (5.4) обозначена как (4.4), отсутствует формула (5.5), в выражениях (4), (5), (6) автореферата и в формулах (2.34) – (2.36) диссертации – вместо  $t$  стоят  $i$ ; имеют место грамматические и пунктуационные ошибки.

### **Заключение**

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления от диссертационной работы, теоретической и практической значимости выполненных исследований. Полученные автором результаты достоверны, а выводы обоснованы. Диссертационная работа является самостоятельно выполненной, законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи по совершенствованию методики расчета систем утилизации теплоты удаляемого вентиляционного воздуха, имеющей значение для развития строительной отрасли Российской Федерации.

Считаю, что разработанные автором теоретические положения и сформулированные практические выводы полностью соответствуют специальности 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение», а именно п.3 «Создание и развитие эффективных методов расчета и экспериментальных исследований систем

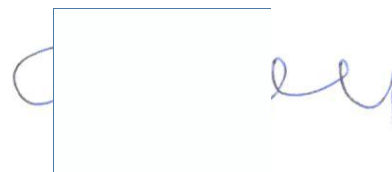
теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха, газоснабжения, освещения, защиты от шума».

Диссертационная работа соответствует требованиям, изложенным в п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Киборт Иван Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 - «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

Официальный оппонент:

профессор, кандидат технических наук по научной специальности 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВО НИУ МГСУ).

Малявина Елена Георгиевна



129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, НИУ МГСУ,  
Институт инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ МГСУ), кафедра теплогазоснабжения и вентиляции  
тел. +7 (499) 188-36-07.  
E-mail: [amal@list.ru](mailto:amal@list.ru).

Подпись Е.Г. Малявиной заверяю  
Ученый секретарь ученого совета  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Национальный исследовательский Московский  
государственный строительный университет» (ФГБОУ ВО НИУ МГСУ)

«28»

ПОДПИСЬ  
Малявина  
ЗАВЕРЯЮ

