

ОТЗЫВ

официального оппонента

БОДРОВА Михаила Валерьевича,

доцента, доктора технических наук, профессора кафедры «Отопление и вентиляция» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» на диссертационную работу Воронова Владимира Андреевича на тему: «Организация проектирования и производства систем эффективного теплоснабжения воздушным тепловым насосом в малоэтажном строительстве», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.22 – Организация производства (строительство)

Актуальность темы диссертационного исследования

Согласно мировой тенденции в качестве энергоэффективного источника теплоснабжения для систем внутреннего теплоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха малоэтажных строений выбирают воздушные тепловые насосы. За рубежом теплонасосная техника уже более 30 лет широко применяется для теплоснабжения жилых и офисных зданий. Причиной для развития данных источников тепла послужил энергетический кризис 70-х годов прошлого века. К 1997 г. в мире было установлено более 90 млн. тепловых насосов, из них около 5 % смонтировано в Европе, 63 % – в Японии, где тепловые насосы обеспечивают отопление жилых зданий. В США насчитывается свыше 13,5 млн. систем, в Китае – 10 млн. Высокая популярность тепловых насосов обусловлена ростом цен на ископаемое топливо, а также применение государственных программ, которые поощряют установку энергосберегающего оборудования.

Около 50% европейского рынка тепловых насосов приходится на тройку лидеров: Францию, Германию и Великобританию, хотя на долю ТН в этих странах приходится только до 5 % от общего числа локальных установок, генерирующих тепло.

Рост ресурсосбережения в РФ возможно осуществить путем внедрения воздушных тепловых насосов в системы теплоснабжения малоэтажных жилых зданий. Для этого требуется определить рациональные режимные и технологические характеристики ВТН, которые обеспечат высокую эффективность работы и короткие сроки, окупаемости системы при работе в климатических условиях России.

В связи с этим считаю, что тематика диссертационной работы В.А. Воронова является весьма своевременной, несомненно актуальной и важной.

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

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы доказывается глубоким изучением и систематизацией трудов российских и зарубежных авторов в области теплоснабжения здания воздушно-тепловыми насосами (ВТН).

В ходе исследования проектно-организационных основ по разработке систем теплоснабжения малоэтажных строений автором установлено, что существующая нормативно-техническая документация имеет ряд значительных недостатков, таких как: отсутствие методики подсчета конкретных параметров эффективной работы ВТН в условиях климата РФ, а также отсутствие характеристик работы ВТН при использовании различных отопительных приборов. Автором обосновано, что для повышения энергоэффективности малоэтажных зданий требуется актуализировать и дополнить существующую нормативно-техническую проектную базу.

Сделан вывод о том, что существующие модели ВТН в условиях эксплуатации в Ивановской области не способны эффективно функционировать и их необходимо модифицировать при помощи камеры смешения воздуха, использующей для подогрева уличного воздуха физический эффект рекуперации.

Автором, на основе проведенного анализа эффективности рабочих тел для внутренних циклов работы ВТН, предложена инфографическая модель термодинамической активности фреонов, позволяющей проводить выбор наиболее эффективных рабочих тел при эксплуатации ВТН.

Выявлены и приведены в форме номограмм оптимальные параметры для низкопотенциального источника теплоты для эффективной работы ВТН, учитывающие комфортные климатические условия для жизнедеятельности человека в отапливаемом здании. Указанные параметры следует учитывать на стадии организации производства проектных работ, что позволит повысить энергоэффективность теплоснабжения малоэтажных строительных объектов.

Доказана экономическая целесообразность применения систем теплоснабжения на основе ВТН для малоэтажных строений в условиях климата центрального региона России. Соискателем разработаны конкретные рекомендации по применению ВТН в качестве основного источника теплоснабжения при малоэтажном строительстве.

Научные положения, выводы и результаты исследований опубликованы в 20 научных работах, в том числе – в 7 статьях в рецензируемых научных изданиях по списку ВАК. Доклады по теме диссертационной работы обсуждались

на региональных, всероссийских и международных научных конференциях, форумах, семинарах и конкурсах. Получено 5 патентов на полезную модель, соответствующих специфики данной работы.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации обусловлена достаточным массивом расчетных и экспериментальных данных, использованием апробированных методов математического моделирования, а так же подтверждается анализом широкого круга работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных основам применения воздушных тепловых насосов и энергоэффективных решений на стадии проектирования и производства систем теплоснабжения малоэтажных зданий.

Научная новизна

Научная новизна результатов исследования заключается в совершенствовании организации системы теплоснабжения объектов малоэтажного строительства на стадии проектирования на основе теплогенерации воздушным тепловым насосом. В итоге самостоятельно получены следующие авторские результаты, обладающие элементами научной новизны:

1. Предложена схема организации проектирования и производства ресурсосберегающей системы теплоснабжения на основе ВТН в малоэтажном строительстве, отличающаяся от существующих тем, что применялась авторская разработка в виде технологического устройства камеры смешения воздуха (разработка средства для смешения газовых потоков – патент № 185689).

2. Предложен новый подход в организации условий выбора рабочего тела ВТН на стадии проектирования малоэтажных зданий с использованием коэффициента трансформации тепла. Согласно данному подходу разработана инфографическая модель уровня термодинамической активности хладонов, позволяющая качественно повысить эффективность теплоснабжения объектов малоэтажного строительства.

3. С целью повышения качества и эффективности организации процессов проектирования систем теплоснабжения на основе ВТН в малоэтажном строительстве построена номограмма для определения пропорций смешения воздуха. Сформирован контрольный диапазон параметров технологического процесса теплоснабжения, отличающихся от существующих тем, что использовались конкретные климатические условия, которые в перспективе могут быть использованы в любом регионе РФ.

4. Разработана оптимизационная модель выбора системы организации теплоснабжения малоэтажных зданий в процессе проектирования, являющаяся эффективным инструментом выбора системы ресурсосберегающего и экономически выгодного теплогенератора на основе ВТН с учетом климатических особенностей регионов строительства.

Считаю, что указанные элементы научной новизны диссертационного исследования Воронова В.А. соответствуют пунктам Паспорта специальности ВАК 05.02.22 – Организации производства (строительство):

- п. 4 моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств;

- п. 7 организация ресурсосберегающих и экологических производственных систем).

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования для развития науки и производства

Теоретическая значимость работы заключается в следующем: построение инфографической модели уровня термодинамической активности хладагентов, создающей условия выбора эффективного хладагента при проектировании и организации строительства систем теплоснабжения ВТН; формирование основ организации производства экологичных систем теплоснабжения на базе ВТН, пригодных для эффективного функционирования в климатических условиях ЦФО России; определение зависимостей для дальнейшей оценки экономического эффекта применения систем теплоснабжения на основе ВТН в сравнении с аналоговыми системами в климатических условиях ЦФО России; создание оптимизационной модели для выбора энергоэффективной экологичной системы теплоснабжения малоэтажных строений.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что теоретические выводы и разработанные положения доведены до внедрения и обоснованы как экономически эффективные. С учетом проведенного исследования спроектирована и построена система теплоснабжения жилого двухэтажного здания в Ивановской области и произведена оценка её эффективности по предложенным оценочными показателям: термодинамическим, экономическим и критериям энергоэффективности, которые показала высокую эффективность по сравнению с традиционными системами теплоснабжения.

Таким образом, полученные результаты имеют несомненную практическую значимость для проектных и эксплуатирующих организаций, так их использование при конструировании, проектировании и эксплуатации систем

теплоснабжения малоэтажных зданий и сооружений сокращает потребление традиционных невозобновляемых ресурсов и повышает энергоэффективность зданий и сооружений.

Оценка структуры и содержания диссертации, ее завершенность

Диссертационная работа изложена на 144 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Список использованной литературы включает 151 источник, иллюстрационный материал содержит 52 рисунка, в тексте имеются 30 таблиц.

Структура работы согласуется с целями и задачами диссертационного исследования.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, показана степень ее разработанности в научных трудах отечественных и зарубежных ученых, определены цель, задачи, объект и предмет исследования, охарактеризованы исходная теоретико-методологическая и информационно-эмпирическая базы исследования, обозначены элементы научной новизны, отражены теоретическая и практическая значимость полученных результатов и направления их апробации.

В первой главе автор рассматривает основные аспекты реализации воздушных тепловых насосов в качестве теплогенератора для малоэтажной жилой застройки в климатических условиях РФ. В данной главе проведен анализ развития малоэтажного строительства в РФ, были выявлены основные проблемы в сфере теплоснабжения малоэтажной жилой застройки, определены основные проектные решения выбора источника теплоснабжения малоэтажных строений и исследованы программы государственной поддержки организационно-технических схем энергоэффективного теплоснабжения малоэтажного строительства РФ. В завершении данной главы автор анализирует возможность применения воздушного теплового насоса в качестве основного источника тепловой энергии на стадии организации энергоэффективной системы теплоснабжения малоэтажного строения.

Во второй главе проанализированы современные хладоны, используемые в качестве теплоносителя внутреннего контура воздушного теплового насоса. Автор также исследует возможности и свойства данных хладонов, была произведена оценка влияния характеристик хладона на конструктивные элементы воздушного теплового насоса и исследованы технологии переноса низкопотенциального тепла для теплоснабжения малоэтажных строений. В завершении данной главы была определена эффективность хладонов воздушного теплового

насоса в режиме проектирования теплоснабжения малоэтажного строения и построена инфографическая модель уровня термодинамической активности фреонов на основе оценки эффективности теплоснабжения тепловых насосом при проектировании малоэтажных строений.

В третьей главе содержится описание технологической модернизации воздушного теплового насоса в виде камеры смешения воздуха. Автором были исследованы виды извлечения энергии из воздуха, проведен анализ конфигурации эффективности и тепловой мощности воздушного теплового насоса при теплоснабжении малоэтажных строений, исследована специфика климата ЦФО и его влияния на производительность воздушного теплового насоса при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий. Предложены схема организации функциональной системы теплообмена малоэтажных строений воздушным тепловым насосом и описана методика расчета наилучших параметров воздушной смеси для камеры смешения воздуха. В завершении данной главы автор рассматривает организацию экономически эффективного воздухообмена в системе теплоснабжения воздушным тепловым насосом при проектировании строительства малоэтажных зданий и исследует специфику организации строительно-монтажных работ по устройству воздушного теплового насоса для создания эффективной системы теплоснабжения малоэтажных зданий.

Четвертая глава содержит разработку оптимизационной модели организации системы теплоснабжения малоэтажных зданий. Выявлены проблемы в существующей системе организации проектных работ при теплоснабжении малоэтажных зданий, обоснована целесообразность использования оптимизационной модели, разработана оптимизационная модель системы организации теплоснабжения малоэтажных зданий на основе применения воздушного теплового насоса, сформирована математическая модель выбора энергоэффективной системы теплоснабжения малоэтажного здания. В завершении данной главы автор рассматривает методику реализации оптимизационной модели в существующей системе проектирования теплоснабжения малоэтажных строений.

Все главы диссертационной работы логически выстроены и системно взаимосвязаны, дают полное представление о предмете и объекте научного исследования, а также о его результатах. *В заключении* представлены основные выводы по результатам исследования.

В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и используемые материалы. Содержащиеся в диссертационной работе графики, таблицы, аналитические выражения позволяют оценить обоснованность выводов и полученных результатов.

В целом результаты исследований достоверны, а диссертация является законченным научным исследованием.

Замечания по диссертационной работе

1. Некоторые фрагменты работы являются недостаточно обоснованными. Так, например, представлены результаты расчета пропорций воздушных потоков в камере смешения воздуха теплового насоса, дана формула, по которой велся данный расчет, но сам расчет отсутствует.

2. На наш взгляд, в будущих исследованиях автору следует обратиться к анализу отопительных приборов и эффективность при условии генерации тепловой энергии воздушными тепловыми насосами. Ценность работы могла бы возрасти, если бы автор рассмотрел наряду со спецификой климатических особенностей регионов, а также отопительные приборы и конкретные теплоизоляционные конструкции малоэтажных строений.

3. В диссертационной работе и автореферате автор ссылается на реализованную систему эффективного теплоснабжения в качестве реального объекта, расположенного в Ивановской области, однако конкретные результаты исследования по данному объекту в работе не предоставляются.

4. В таблице 22 (стр. 111) автором ошибочно посчитаны значения градусо-суток отопительного периода D_d , которые по правильно приведенной формуле (32) никак не может составлять, например, 40453,25 (°С·сут)/год.

6. Не рассмотрено влияние относительной влажности наружного и внутреннего воздуха на процессы теплообмена при рекуперации (данные процессы традиционно рассматриваются при помощи $I-d$ -диаграммы наружного воздуха).

7. Диссертационное исследование выиграло если бы автор добавил в свою оптимизационную модель теплогенераторы на основе традиционных невозобновляемых источников энергии.

8. Имеется ряд следующих редакционных замечаний.

8.1. Отсутствие алфавитной упорядоченности или сквозной нумерации списка использованной литературы затрудняет чтение и анализ диссертации.

8.2. Для сокращения объема представленной работы, вычисления на стр. 64-65, а также рисунки 25-30 (стр. 70-72) следовало бы привести в форме приложений.

8.3. Данные таблицы 27 « Капитальные затраты на приобретение рассматриваемых систем теплоснабжения в расчете на цены 2018 года» невозможно корректно проанализировать, т.к. не указаны марки оборудования и применяемых материалов.

8.4. На рисунке 35 (стр. 80) ошибочно указаны направления движения потоков воздуха.

8.5. Автор несколько раз подменяет понятия «инфильтрации» и «системы естественной приточной вентиляции», имеющих разную физическую сущность.

Конкретные рекомендации по практическому использованию результатов и выводов диссертационной работы

Предлагаемая оптимизационная модель выбора системы теплоснабжения малоэтажных строений на стадии их проектирования может быть использована также при разработке дорожных карт и стратегий развития ТЭК, так как она позволит увидеть динамику энергопотребления строений в масштабах как отдельного здания, так и всей страны. Автор считает целесообразным внедрять построение предлагаемой модели при выборе проектных решений в разделе «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», как для вновь проектируемых, так и для реконструируемых, существующих зданий и сооружений.

Заключение о соответствии диссертации требованиям ВАК

Диссертация Воронова Владимира Андреевича на тему «Организация проектирования и производства систем эффективного теплоснабжения воздушным тепловым насосом в малоэтажном строительстве», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.22 – Организация производства (строительство), выполнена на высоком научном уровне, является значимой работой, имеющей теоретическое и практическое значение для развития системы организации проектирования и производства эффективной системы теплоснабжения в малоэтажном строительстве.

Диссертация Воронова В.А. на тему «Организация проектирования и производства систем эффективного теплоснабжения воздушным тепловым насосом в малоэтажном строительстве», является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей научно обоснованные технические решения, выводы и рекомендации, обладающие научной новизной.

Диссертационная работа Воронова Владимира Андреевича **полностью соответствует критериям**, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842.

Считаю, что Воронов Владимир Андреевич **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.22 – Организация производства (строительство).

Официальный оппонент, доцент, доктор технических наук,
научная специальность 05.23.03 – Теплоснабжение,
вентиляция, кондиционирование воздуха,
газоснабжение и освещение,
профессор кафедры «Отопление и вентиляция»
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет»



Бодров Михаил Валерьевич

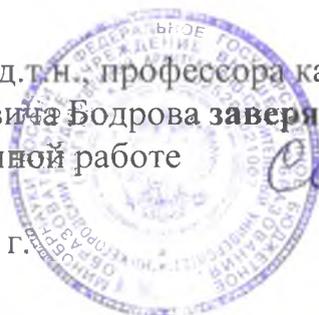
Адрес: 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Ильинская, 65, тел.: 8 (831) 430-54-85,
e-mail: tes84@inbox.ru
«04» декабря 2019 г.

Подпись доцента, д.т.н., профессора кафедры «Отопление и вентиляция»
Михаила Валерьевича Бодрова **заверяю**.

Проректор по научной работе

д.т.н., доцент

«04» декабря 2019 г.



Соболь Илья Станиславович