

# ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

**Харитонову Антона Юрьевича**

на тему: «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА

ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

ОТОПЛЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ»,

представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

по специальности 05.23.03 – *Теплоснабжение, вентиляция,*

*кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение.*

## **Актуальность избранной темы**

Расход энергии на отопление зданий в Европе составляет от 10 до 20% от общего потребления ТЭР, при этом значительной экономит возможно достичь не только техническими мероприятиями, но и организационным, включая оптимальное управление системой отопления. Здание является системой с большой инерцией, на тепловой режим которого влияет большое количество факторов, и качество управления во многом зависит от правильной оценки текущего состояния и качественного прогнозирования изменения режимов. Поэтому рассматриваемая работа, посвящённая повышению энергоэффективности систем отопления общественных зданий на основании оперативного анализа потребления теплоты, является актуальной.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Степень обоснованности научных положений и выводов подтверждается адекватностью принятых в работе допущений, строгостью формальных преобразований, использованием фундаментальных законов и уравнений теплообмена, применением современных проверенных математических методов, а также согласованием результатов расчёта с данными экспериментальных исследований и с данными литературных научно-

технических источников. Следовательно, научные положения, выводы и рекомендации, полученные соискателем в работе, являются в достаточной мере обоснованными.

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций основана на использовании поверенных контрольно-измерительных приборов и оборудования, верифицированных и сертифицированных компьютерных программ, а также на сопоставлении и анализе полученных результатов с экспериментом.

Автором впервые разработан способ сравнения показателей энергоэффективности зданий в сопоставимых условиях, основанный на системе уравнений теплового баланса здания и теплообмена через его ограждающие конструкции, описывающих изменение температуры воздуха внутри помещений и процесс теплопередачи через ограждающие конструкции, который в отличие от известных, использует для идентификации модели параметры разработанной системы сбора экспериментальных данных с датчиков температуры и теплосчетчиков.

Предложено для идентификации математической модели нестационарных тепловых процессов в здании при использовать параметр полной теплоемкости здания. Произведена апробация предложенного метода для оценки энергоэффективности школ г. Донецка и в разработанной методике выбора теплоизоляционных материалов для утепления зданий.

Практическое использование результатов произведено в системе энергоменеджмента городского управления и в учебном процессе.

Задачи, поставленные автором в работе, с точки зрения научной и практической ценности соответствуют уровню кандидатской диссертации.

### **Основное содержание работы**

Во *введении* сформулированы основные положения работы – актуальность, степень разработанности темы, цели и задачи, научная новизна

полученных результатов, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования личный вклад соискателя, основные положения, выносимые на защиту, связь работы с научными программами, планами, темами, степень достоверности и апробация результатов диссертации.

В *первом разделе* (литературном обзоре) рассмотрены подходы к отоплению общественных зданий, способы определения требуемого расхода теплоты на отопление, определение уровня энергоэффективности отопления в зданиях по европейским и отечественным нормам, используемые критерии анализа энергоэффективности общественных зданий, существующие подходы к повышению уровня энергоэффективности зданий. Обосновано, что для объективного анализа необходимо проводить определение значений критериев энергоэффективности в режиме реального времени. В качестве основных критериев энергоэффективности выбраны функция валового отпуска теплоты в зависимости от температуры наружного воздуха; удельная отопительная характеристика; параметр теплообменной системы. Обосновано, что в дополнительном исследовании нуждается режим наладки работы систем отопления с циклически изменяющимся уровнем тепловой нагрузки.

Во *втором разделе* разработана методика оперативного анализа потребления теплоты общественными зданиями. Для моделей анализа потребления тепловой энергии зданием выбраны статические и динамические параметры. Разработана система сбора данных динамических параметров. Разработаны методы определения и исследовано изменение выбранных в первой главе основных критериев энергоэффективности. Разработана сопряженная модель в виде системы дифференциальных уравнений теплового баланса и теплопередачи через ограждающие конструкции и численный метод решения системы. Предлагается метод определения индивидуального теплового графика системы отопления для каждого здания и применение

модели для оценки экономии теплоты при снижении температуры в здании в нерабочее время.

В *третьем разделе* на основании предложенных моделей и способов анализа проведен анализ энергоэффективности школ г. Донецка, для которых построены графики действительной и расчетной тепловой характеристик, что позволило получить базовую линию энергопотребления, проанализировать поведение системы отопления в разные годы и сделать выводы о ее состоянии, оценить эффективность энергосберегающих мероприятий. Показано, что более верным является не выбор справочной, а расчет удельной отопительной характеристики здания. Проведен анализ, позволивший ранжировать школы по показателю энергоэффективности, выявить отклонения в отопительной системе и выбрать школы, в которых необходимо провести аудит отопительной системы.

В *четвертом разделе* разработана автоматизированной системы учета и анализа потребления энергоресурсов бюджетной сферы г. Донецка. Выделены основные функции системы, разработана принципиальная схема и обобщенная структура аппаратных средств системы, информационная модель автоматизации передачи данных, разработан интерфейс программного обеспечения. Произведена оценка экономического эффекта от внедрения системы в отделе энергоменеджмента Донецкого горисполкома.

### **Общие замечания**

1. Имеется ряд замечаний по учету влияния различных теплотехнических параметров на оперативный анализ уровня энергоэффективности отопления общественных зданий

1.1. На графиках отопительной нагрузки (рис. 2.5, 3.1, 3.2 и др.) приводится зависимость расхода теплоты от температур наружного воздуха. Но при наличии фактических данных от внутренней температуре воздуха, более точно было бы использовать разность температур внутри и снаружи, входящую в уравнение теплопередачи.

1.2. На с. 41 указано, что внутренними тепловыделениями при расчете отопительной нагрузки можно пренебречь, хотя как нормативная документация, так и опыт энергетических обследований говорит о необходимости учета этой величины, особенно для общественных зданий, где находится большое количество людей и работающей оргтехники. Приводимое далее выражение для определения внутренних тепловыделений, практически малоприменимо, так как по сути использует предложенный В. И. Манюк с коллегами способ расчета удельной тепловой характеристика для отопления, но из выражения исключена температура наружного воздуха. Кроме того параметр « $t_{вн}'$  – средняя температура в здании, которую создает система отопления без учета внутренних источников тепла» инструментальными замерами определен быть не может.

1.3. Так же в работе не учитывается поступление теплоты в здание от инсоляции.

2. Имеются замечания по используемой нормативной базе. На с. 12 и далее в ряде мест указано, что требуемый расход теплоты определяется по СНиП 2.04.05-91 (СНиП 41-01–2003) «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», тогда как этот документ не содержит методики расчетов в области строительной теплофизики, а включает только технические требования к проектированию инженерных систем.

3. Методика определения рациональных параметров утепления стен здания на основании экспериментальных данных с использованием «добавленных сопротивлений» (разд. 2.3) не доработана до конца, так как определено только изменение теплового потока (Вт), тогда как для проведения оптимизационного расчета необходимо значение затрат теплоты (Дж). Кроме того для корректного расчета необходимо определение стоимости утепления, складывающееся из мало изменяющейся стоимости работ и стоимости утеплителя. Так же в разделе не упоминаются экспериментальные данные, используемые в методике.

4. На с. 58 используется величина «коэффициент поверхности новых окон», по сути являющейся коэффициентом комбинированной теплоотдачи, учитывающий конвекцию и излучение, но не приводится размерность и метод получения этой величины.

5. Имеется погрешностей в записи формул: в выражениях (2.1), (2.3) несоответствие размерностей (кВт и Вт);

6. Термин « $\eta$  – коэффициент полезного действия отопительной системы» (с. 40) обычно применяется для системы с индивидуальными котлами, но не для централизованного теплоснабжения.

### **Заключение**

Диссертация представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи в области повышения энергоэффективности систем отопления общественных зданий, заключающейся в применении результатов оперативного анализа потребления теплоты для идентификаций математических и расчетных моделей. Результаты работы позволяют достичь снижения энергопотребления в зданиях за счет оптимального управления процессом теплопотребления с учетом анализа текущего состояния и прогнозирования теплового режима.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 11 работах, из которых четыре – в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК.

Несмотря на приведённые выше замечания, работа отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к

кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.03 – «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение».

Д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры  
энергетики теплотехнологии

БГТУ им. В.Г. Шухова

тел. +7 910 322 83 91, e-mail: trubaev@gmail.com



П.А. Трубаев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова)

РФ, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46,

тел. +7 (4722) 54-20-87, факс+7 (4722) 55-71-39, rector@intbel.ru, www.bstu.ru

Подпись Трубаева П.А. подтверждаю

Проректор по научной работе

БГТУ им. В.Г. Шухова



Евтушенко Е.И.