

## ОТЗЫВ

официального оппонента Тютикова Владимира Валентиновича на диссертационную работу Абдуллина Вильдана Вильдановича «УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ЗДАНИЯ С КОНТУРОМ ОТРАБОТКИ БЫСТРОПЕРЕМЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ» по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук в диссертационный совет Д 212.298.03

### 1. Актуальность темы

С ростом стоимости тепловой энергии энергосбережение в сфере отопления многоэтажных жилых и офисных зданий становится все более важной задачей. Поддержание комфортной температуры в помещениях, исключение так называемого «перетопа» позволяет энергоснабжающим организациям и потребителям экономить значительные средства, а вложения в модернизацию систем теплоснабжения достаточно быстро окупаются.

Энергосбережение в системах отопления с точки зрения управления характеризуется необходимостью поддержания комфортной температуры воздуха в помещениях здания при наличии внешних и внутренних возмущений. Значительные колебания температуры, перерегулирование, ошибка регулирования ведут к неэффективному потреблению тепловой энергии и снижению комфортности.

**Поэтому цель исследования, сформулированная как** разработка энергоэффективной системы управления тепловым режимом здания, обеспечивающей поддержание требуемой комфортной температуры воздуха в помещениях как путем компенсации тепловой инерции здания, так и влияющих на нее быстропеременных возмущений является актуальной.

### 2. Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация Абдуллина Вильдана Вильдановича состоит из введения, шести глав, заключения и четырех приложений. Полный объем диссертации составляет 204 страницы текста с 86 рисунками и 11 таблицами. Список литературы содержит 148 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность исследования и определена степень разработанности темы, сформулированы объект и предмет исследования, определены цель работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава посвящена** анализу известных решений рассматриваемой проблемы. Показано, что существует ряд особенностей теплогидравлического режима отопления здания как объекта управления, затрудняющих поиск универсального энергоэффективного метода управления, обеспечивающего требуемый уровень комфорта.

По результатам анализа сделан вывод о том, что, несмотря на наличие в России и за рубежом многочисленных исследований в области автоматического и автоматизированного управления микроклиматом зданий, проблема энергоэффективного управления теплоснабжением зданий на нужды отопления с методологической и практической точек зрения по-прежнему требует решения.

**Вторая глава** посвящена собственно разработке системы управления отоплением здания. В данной главе представлена общая структура системы управления тепловым режимом здания, а также рассматриваются: теоретическая база построения компенсатора тепловой инерции здания и влияющих на здание быстропеременных возмущений, формирование упреждающей оценки обобщенного возмущения, построение модели обратной динамики теплового режима здания.

**Третья глава** посвящена моделированию тепловых и теплогидравлических процессов в отапливаемом здании. Разработана математическая модель теплового режима здания, проведена ее идентификация и верификация. Большое внимание уделено модели теплогидравлических режимов в тепловом пункте.

**Четвертая глава** посвящена алгоритмическому обеспечению системы управления тепловым режимом здания, а также вопросам настройки разработанной системы управления. Рассмотрен процесс формирования эффективного температурного графика системы отопления, учитывающего усиление влияния солнечной радиации на температуру воздуха в помещении в период межсезонья. Также в данной главе разработан алгоритм автоматической параметрической идентификации и оптимизации системы управления.

**Пятая глава** содержит решение задачи технической реализации предложенного подхода к управлению тепловым режимом здания. Результаты диссертационного исследования реализованы на практике как система управления тепловым режимом корпуса ЮУрГУ. Система является открытой, осуществляет двусторонний обмен данными с Автоматизированным центром мониторинга энергоэффективности и управления потреблением энергоресурсов.

**Шестая глава** содержит результаты экспериментальных исследований и практической апробации системы управления отоплением.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по работе.

**В приложениях** приведены акты внедрения результатов работы и исполнительная программа микроконтроллера.

### **3. Научные результаты работы и их новизна**

Наиболее значимыми научными результатами, обладающими новизной, в работе соискателя являются:

1. Двухконтурная структура системы управления тепловым режимом здания, включающая базовый канал управления по температуре наружного



воздуха и корректирующий контур, компенсирующий влияние быстропеременных внутренних и внешних возмущающих воздействий на температуру воздуха в помещениях по упреждающей оценке обобщенного возмущения.

2. Метод получения упреждающей оценки обобщенного возмущения в реальном времени на основе моделей прямой и обратной динамики теплового режима здания, отличающийся использованием прогнозирующих экспоненциальных фильтров в полиномиальном базисе.

3. Модель обратной динамики теплового режима здания для формирования упреждающей оценки обобщенного возмущения и величины удельных теплотерь здания, отличающаяся использованием при широком внедрении на практике доступных для измерения значений параметров теплового режима здания, а также разделением моделируемых процессов по скорости влияния на температуру воздуха в помещении на две группы с использованием для их описания отдельных динамических операторов.

#### **4. Основные практические результаты работы**

Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что ее результаты могут быть применены в энергоэффективном управлении тепловым режимом жилых и административных зданий, обеспечении комфортного микроклимата в зданиях, оценке воздействия на здания различных возмущающих факторов.

Положительным при оценке практической значимости работы является разработка не только теоретических основ, но и собственно системы управления тепловым режимом здания, реализованной современными программно-аппаратными средствами.

Натурные испытания разработанной системы подтвердили эффективность предлагаемых подходов.

#### **5. Достоверность и обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность научных положений подтверждается аргументированностью исходных данных, корректным использованием основных положений теоретических основ теплотехники, теории автоматического управления, методов обработки сигналов и математического моделирования.

Достоверность результатов работы подтверждается непротиворечивостью результатов теоретических исследований на моделях, построенных с использованием известных программных комплексов, с результатами натурных экспериментов, выполненных в реальных условиях.

#### **6. Апробация работы и публикации**

Опубликованные автором работы соответствуют содержанию диссертации. По результатам исследований опубликовано 25 печатных работ,

в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 6 статей в зарубежных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и ведущие международные системы цитирования. В опубликованных работах постановка и решение задач осуществлялись совместными усилиями соавторов при непосредственном активном участии соискателя.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы были доложены на 20 научных и научно-практических конференциях, в том числе на 12 международных и на 4 всероссийских.

Автореферат диссертации соответствует диссертационной работе по всем квалифицируемым признакам, а именно: по цели, задачам и основным положениям, определениям актуальности, новизны и достоверности, научной и практической значимости и др.

Исследования, приведенные в диссертационной работе, полностью соответствуют формуле и пунктам 3 и 4 области исследования, приведенным в паспорте специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

## 7. Замечания и дискуссионные положения

По содержанию работы имеются следующие вопросы и замечания:

1. В уравнении (3.1) не учтены тепловые нагрузки на систему отопления, связанные с поддержанием необходимого воздухообмена в помещении (естественная или механическая вентиляция). Во многих жилых и общественно-административных зданиях вентиляционная нагрузка закладывается в отопительную.

2. В пояснениях к формуле (3.20) коэффициент усиления принимается равным единице в силу одинаковой размерности входного и выходного сигналов. Обоснование, по-видимому, должно быть другим.

3. Не указано (формулы (3.43) и (3.44)) каким образом можно определить коэффициент теплопередачи отопительного прибора  $k_h$ , который во многом зависит от типа отопительного прибора, его положения относительно строительных конструкций здания (на стене, в полу, есть ли подоконник, защитные экраны и т.д.). Здесь дается интегральный показатель  $k_h$ ?

4. Позволяет ли представленная модель учитывать теплообмен таких отопительных приборов как «теплый» пол?

5. Каким образом учитывается инерционность ограждающих конструкций и отопительных приборов?

6. При принятом в работе допущении (стр. 103) выражение (3.45) неверно. Как следствие неверны и уравнения, которые выведены на его основе: (3.47) и т.д.



7. При реализации модели было бы целесообразно учесть такой важный энергосберегающий фактор, как понижение температуры воздуха при «дежурном» режиме отопления.

8. Полученное в результате внедрения системы значение суточных колебаний температуры 0.5 град. С представляется сомнительным. Однако даже суточные колебания температуры 1.0 град.С обеспечат комфортные условия.

9. При таком обилии обозначений было бы целесообразно вынести их в отдельную таблицу.

Указанные критические замечания не снижают высокий научный уровень работы и значимость полученных основных результатов.

## 8. Общее заключение по диссертации

Диссертация Абдуллина В. В. является завершенной научно-исследовательской работой, в которой дано новое решение актуальной научно-технической задачи – разработка энергоэффективной системы управления тепловым режимом здания, обеспечивающей поддержание требуемой комфортной температуры воздуха в помещениях путем компенсации тепловой инерции здания и влияющих на здание быстропеременных возмущений. Автор диссертации показал, что он в полной мере владеет научными методами исследования, может самостоятельно ставить и решать актуальные научно-технические задачи. Работа построена логически верно, написана грамотно и на высоком техническом уровне.

По совокупности перечисленных в отзыве качеств данная диссертационная работа отвечает требованиям ВАК РФ в части п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Абдуллин Вильдан Вильданович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

**Официальный оппонент** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Российская Федерация, 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34.

Телефон: 8(4932)415024

E-mail: tvv@ispu.ru



Тютюков Владимир Валентинович

29. 11. 2017