

ОТЗЫВ

официального оппонента Петровой Ирины Юрьевны
на диссертационную работу Басалаева Александра Анатольевича
«Распределенное управление теплоснабжением зданий
на основе сенсорных сетей»
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 диссертации

Современной тенденцией развития систем управления отоплением зданий является внедрение беспроводных сенсорных сетей с малым потреблением электроэнергии для контроля различных параметров микроклимата помещений. Применение беспроводных технологий при измерении параметров микроклимата позволяет реализовать объективную обратную связь в указанных системах по большому количеству помещений при минимальных затратах на развертывание и эксплуатацию таких сетей. Контроль микроклимата множества помещений с использованием сенсорных сетей позволяет решать актуальную задачу построения систем распределенного управления теплоснабжением зданий. Целью таких систем является поддержание температурных параметров микроклимата всех контролируемых помещений в заданных диапазонах в соответствии с назначением этих помещений при минимально достаточном потреблении тепловой энергии. Решение данной задачи отражает современный подход к энергосбережению, не приводящему к снижению комфортности условий пребывания людей в здании.

Решению данной актуальной задачи посвящена диссертационная работа Басалаева Александра Анатольевича, целью которой является обеспечение максимальной степени комфортности микроклиматических условий объектов со сложной структурой при разнообразии их теплоэнергетических характеристик на основе систем распределенного управления с использованием сенсорных сетей.

2. Структура и содержание диссертации

Диссертация Басалаева Александра Анатольевича состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Полный объем диссертации составляет 197 страниц текста. Диссертация содержит 72 рисунка и 3 таблицы. Список литературы включает 126 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи работы, определены объект, предмет и методы исследования, обозначены научная новизна и практическая ценность работы, а также выделены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава детально раскрывает задачу исследования. В главе рассмотрены основные проблемы контроля микроклимата помещений с использованием сенсорных сетей и распределенного управления теплоснабжением зданий. Представлен обзор и анализ известных решений рассматриваемых проблем управления. В ходе обзора выявлена основная особенность рассматриваемых систем управления теплоснабжением зданий, как распределенным объектом, заключающаяся в наличии большого количества датчиков и малого количества исполнительных устройств, не достаточного для индивидуального управления во всех точках регистрации параметров микроклимата. По результатам проведенного обзора литературы по данному направлению автор пришел к заключению, что рассмотренная задача распределенного управления теплоснабжением зданий с использованием сенсорных сетей проработана недостаточно и требует решения.

Во второй главе рассмотрены общетеоретические основы построения систем управления распределенным объектом управления применительно к системам теплоснабжения зданий. Предложенный алгоритм распределенного управления позволяет достигать максимального количества выполненных температурных условий при структурных ограничениях системы управления, связанных с ограниченным количеством управляющих устройств. Предложены варианты преодоления существующих ограничений оперативного управления путем проведения точечных энергосберегающих мероприятий и ручной балансировки системы отопления на основе построения рейтинга помещений по возможности выполнения температурных условий. Кроме того, предложенный алгоритм учитывает возможность возникновения дефицитных режимов, связанных с ограниченной тепловой мощностью источников, позволяя соблюдать температурные условия с учетом значимости контролируемых помещений. Обоснована эффективность предложенного подхода к распределенному управлению с использованием области Парето. Также представлено математическое описание моделей теплоснабжения здания и системы централизованного теплоснабжения, позволяющих применить предложенный алгоритм к распределенному управлению теплоснабжением.

В третьей главе описана структура программно-технического комплекса автоматизированной системы распределенного управления теплоснабжением зданий. Приведена методика расстановки беспроводных датчиков температуры воздуха помещений и приемников радиосигнала, в основу которой положен критерий использования минимально достаточного количества датчиков для представительного контроля теплового режима здания при поддержании стабильной передачи данных по беспроводному каналу связи. Корректность предложенной методики подкреплена результатами моделирования и натуральных экспериментов по распространению радиосигнала внутри здания.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям применения предложенных алгоритмов распределенного управления

теплоснабжением зданий на примере ЮУрГУ. Представлено подробное описание системы теплоснабжения ЮУрГУ, как объекта управления. Рассмотрена реализация автоматизированной системы управления, разработанной в соответствии с предложенной структурой программно-технического комплекса. Приведены результаты следующих экспериментальных исследований, выполненных на основе данных сенсорных сетей:

1) моделирование дефицитных режимов теплоснабжения с применением предложенного алгоритма распределенного управления;

2) модельный эксперимент по оптимизации температурных режимов помещений здания университета с распределенным управлением по стоякам отопления;

3) натурный эксперимент по оптимизации температурных режимов помещений здания университета.

4) оценка эффективности применения предложенного алгоритма распределенного управления для группы зданий университета.

Представленные эксперименты в полной мере показывают эффективность применения предложенного алгоритма распределенного управления теплоснабжением зданий.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационного исследования.

В приложениях приведен акт внедрения результатов работы, подтверждающий эффективность предложенного алгоритма распределенного управления, а также справка о согласовании результатов научных трудов с соавторами, подтверждающая личный научный и практический вклад автора диссертационной работы в создание и внедрение автоматизированной системы распределенного управления теплоснабжением комплекса зданий.

3. Научные результаты диссертационного исследования и их новизна

Научной новизной обладает представленная в диссертационной работе постановка задачи оперативного управления теплоснабжением зданий по критерию выполнения максимального числа температурных условий в помещениях с учетом их значимости. Описанная постановка задачи в полной мере отражает основную задачу управления отоплением зданий с учетом критериев энергосбережения и микроклимата помещений, что соответствует требованиям, предъявляемым к таким системам управления в нормативно-технической документации.

Для решения поставленной задачи распределенного управления автор разработал оригинальный алгоритм управления теплоснабжением здания на основе метода ветвей и границ, который обеспечивает распределенное регулирование потребления тепловой энергии по критерию максимального выполнения взвешенных температурных условий в помещениях здания. Разработанный алгоритм позволяет осуществлять управление как в нормальных, так и в дефицитных режимах работы системы теплоснабжения.

4. Основные практические результаты диссертационного исследования

Практическое значение результатов диссертационной работы определяется универсальностью предложенного алгоритма распределенного управления и заключается в возможности его применения для управления теплоснабжением зданий и сооружений различного назначения совместно с различными моделями теплового режима помещений.

В работе автора представлен полный комплекс алгоритмов и программно-технических средств, необходимых для реализации предложенного алгоритма распределенного управления на основе сенсорных сетей с учетом существующей системы погодного регулирования по температурному графику. Это может способствовать массовому внедрению результатов диссертационной работы.

Результаты натурных испытаний предложенного алгоритма, использующего представленную в работе модель теплового состояния помещений здания, доказали возможность применения разработанного алгоритма распределенного управления в рамках программно-технических комплексов автоматизированных систем управления теплоснабжением.

5. Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения и результаты исследования, представленные в диссертационной работе, в полной мере обоснованы и достоверны, что подтверждается корректным использованием математических методов моделирования и оптимизации, соответствующих постановке задачи исследования, соблюдением теоретических основ тепло- и гидродинамики при построении макромоделей системы теплоснабжения помещений и зданий. Результаты теоретических исследований и математических расчетов, полученных с применением известных программных комплексов, не противоречат результатам натурных экспериментов, выполненных в реальных условиях для реальных объектов теплоснабжения. Экономическая эффективность применения предложенного алгоритма в рамках разработанного программно-технического комплекса подтверждена актом внедрения, представленном в приложении к диссертации.

6. Апробация и публикации диссертационного исследования

Публикации автора диссертационной работы в полной мере отражают содержание диссертации. По результатам научно-практических исследований опубликовано 16 печатных работ, в том числе 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК, и 5 статей в рецензируемых зарубежных изданиях, входящих в ведущие международные системы цитирования. Активное участие в решении задач в опубликованных работах подтверждено соавторами указанных работ в соответствующем документе, указанном в приложении к диссертации.

Основные научно-практические результаты диссертационной работы были доложены на 11 научных и научно-практических конференциях, в том числе на 6 международных.

Цели и задачи диссертационной работы, её содержание и результаты полностью соответствуют формуле специальности и пунктам 4, 6, 13 и 14 области исследования, приведенным в паспорте специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

7. Замечания к диссертационному исследованию

1. В результате решения рассматриваемой задачи управления методом ветвей и границ в таблице перспективных решений переборного алгоритма, описанной выражением (2.19), при различных значениях весов температурных условий может возникнуть несколько решений с одинаковым реально достижимым максимальным значением целевой функции (2.18). В работе не указано, каким образом разрешается указанная проблема.

2. Измерения параметров микроклимата, производимые в жилых, офисных или производственных помещениях, могут включать выбросы показаний, связанные, например, с нерегулярным проветриванием помещений или непреднамеренным искажением измерений при работе бытовых приборов, офисного или производственного оборудования. В работе не описаны алгоритмы фильтрации данных измерений, применяемые для исключения некорректных показаний и выбросов.

3. В обзоре литературы автор упоминает наличие такой проблемы эксплуатации сенсорных сетей, как получение повторного доступа к месту установки для диагностики и ремонта. В связи с этим возникает вопрос: как реализовано питание беспроводных датчиков температуры помещений? Если питание датчика температуры автономное, через какое время придется производить замену элемента питания?

4. В работе не представлен расчет экономического эффекта с учетом стоимости внедрения и эксплуатации предложенного программно-технического комплекса, отсутствует оценка окупаемости предложенного решения. Возможно, с учетом окупаемости количество используемых датчиков следовало бы снизить, или, наоборот, появилась бы возможность поставить дополнительные датчики для повышения качества оценки микроклимата помещений.

5. С точки зрения оформления диссертации, хотелось бы отметить следующий недостаток. Поскольку для формализации задачи, решаемой в работе, автор использует ряд специфичных терминов, таких как «противоречивые температурные условия» или «дефицитные режимы», в диссертации следовало бы выделить отдельный раздел, включающий основные термины и определения, а также расшифровку используемых сокращений.

Представленные замечания и предложения не влияют на общий качественный уровень диссертационной работы и не снижают научно-практическую значимость полученных результатов исследования.

8. Общее заключение по диссертации

Несмотря на указанные замечания, диссертация Басалаева Александра Анатольевича является целостной завершённой научно-исследовательской работой, в которой представлен новый подход к распределённому управлению теплоснабжений зданий по критерию выполнения максимального числа противоречивых температурных условий в помещениях с учетом их значимости. Применение в работе беспроводных сенсорных сетей для анализа и управления тепловым режимом зданий соответствует современному уровню развития программно-технических комплексов автоматизированных систем управления.

Рассматриваемая диссертационная работа отвечает требованиям пункта 9 положения ВАК РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Басалаев Александр Анатольевич, в полной мере продемонстрировал владение современными научными методами исследования и программными средствами моделирования и 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, первый проректор, профессор кафедры систем автоматизированного проектирования и моделирования Государственного автономного образовательного учреждения Астраханской области высшего образования «Астраханский государственный архитектурно-строительный университет».

Петрова Ирина Юрьевна
22.10.2018

Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 18
Телефон: +7 (960) 853-48-50
E-mail: IrPET1949@gmail.com



Петровой И.Ю. заверяю.

