

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Александр Анатольевич ЗАХАРОВ¹

Ирина Гелиевна ЗАХАРОВА²

Артур Ринатович РОМАЗАНОВ³

Андрей Валерьевич ШИРОКИХ⁴

УДК 681.51

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА И УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ ПОМЕЩЕНИЙ УМНОГО ЗДАНИЯ

¹ доктор технических наук, заведующий
базовой кафедрой «Безопасные ИТ умного города»,
Тюменский государственный университет
a.a.zakharov@utmn.ru

² кандидат физико-математических наук,
заведующий кафедрой программного обеспечения,
Тюменский государственный университет
i.g.zakharova@utmn.ru

³ магистрант кафедры программного обеспечения,
Тюменский государственный университет
qwsr11@gmail.com

⁴ кандидат технических наук, доцент
кафедры информационной безопасности,
Тюменский государственный университет
a.v.shirokikh@utmn.ru

Цитирование: Захаров А. А. Моделирование теплового режима и управление тепло-
снабжением помещений умного здания / А. А. Захаров, И. Г. Захарова, А. Р. Ромазанов,
А. В. Широких // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-матема-
тическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Том 4. № 2. С. 105-119.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-2-105-119

Аннотация

Высокие затраты на отопление и недостаточная эффективность управления температурным режимом крупных зданий определяют необходимость разработки инновационных методов оптимизации теплоснабжения, использующих преимущества технологий «Умный дом». В статье предложен подход к автоматизации процесса управления теплоснабжением помещений в режиме умного здания с целью снижения финансовых затрат при сохранении комфортного теплового режима. Основная идея предлагаемого подхода основана на возможности получения детализированной информации с датчиков температуры, ее интерпретации, мониторинга изменений и продуцирования адекватных решений по управлению теплоснабжением в режиме реального времени. Построена объектно-ориентированная модель температурного режима здания, включающая описание атрибутов объектов (отдельных помещений), геометрических и физических связей между ними. Геометрические связи определяются реальным поэтажным планом здания. Физические связи основаны на модели теплообмена внутри здания и с внешней средой. Рассмотрены особенности использования методов машинного обучения для уточнения значений параметров, обуславливающих особенности теплообмена в здании. Предложены способы классификации помещений с точки зрения характерного для каждого температурного режима при различных внешних условиях. На основе предложенного подхода спроектирована и разработана информационная система для моделирования теплового режима и управления теплоснабжением помещений. Функционал системы позволяет использовать ее как для проведения вычислительных экспериментов, основанных на сгенерированных температурных данных, так и для работы с реальными данными, периодически запрашиваемыми с датчиков, установленных в здании и во внешней среде. Модули машинного обучения обеспечивают постоянную корректировку модели здания в процессе получения новой информации о реальных температурных режимах.

Ключевые слова

Энергосбережение, умный дом, тепловой режим, управление теплоснабжением, моделирование, машинное обучение, информационная система.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-2-105-119

Введение

На протяжении последних десятилетий в России наблюдается характерная тенденция роста как энергопотребления в целом, так и тепловой энергии, в частности. При этом на долю последней приходится 35-40% от всего конечного потребления энергии [1, 7]. Отопление занимает первое по значимости место в структуре потребления энергоносителей в промышленности (31% против 21% для электроэнергии), населением (50% против 36% для природного газа и 10% для электроэнергии) и в сфере услуг (60% против 19% для электроэнергии) [2]. В 2003 г. Россия отметила 100-летний юбилей центрального теплоснабжения, которое является самым большим в мире (44% от мирового централизованного

производства тепловой энергии). Несмотря на зависящее от региона дотирование, на приобретение тепловой энергии тратится в 3-5 раз больше средств, чем на электроэнергию. При этом за счет разрегулированности систем теплоснабжения потери от избыточного давления и температуры теплоносителя достигают 30-50% [1].

Решение вопроса оптимизации энергопотребления в зданиях бюджетных учреждений привлекает повышенное внимание специалистов после выхода Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [10]. Данный закон обязывает все бюджетные организации с 2010 г. сокращать энергопотребление не менее чем на 3% ежегодно в течение 5 лет по отношению к показателям 2009 г. Кроме того, закон устанавливает такие формы поддержки, как налоговые льготы (инвестиционный налоговый кредит, возмещение процентов по кредиту на проекты по энергосбережению), а также предоставление субсидий на лучшие энергосберегающие программы на уровне муниципалитета, регионов.

Важно отметить, что основные исследования по оптимизации тепловых режимов сосредоточены на вариантах строительного климат-контроля для нового строительства и использования альтернативных источниках тепла. При этом широко распространен метод контроля температуры здания с использованием *кривой нагрева*, которая не требует модели процесса (см., например, [20]). Контроль при этом осуществляется достаточно сложными и дорогими контроллерами с использованием правил «if-then-else». Эти правила отвечают за конкретный ограниченный участок, например, комнату, аудиторию, зал и т. п., не решая задачи оптимизации на уровне всего здания.

Теоретические результаты по технологиям теплоснабжения позволяют ожидать достаточно высокий процент эффективности от 10% до 30% [4, 16, 18] при использовании прерывистых режимов теплоснабжения.

При этом управление теплоснабжением может основываться на тепловой модели конкретного здания, учитывающей специфику как обогрева, так и охлаждения отдельных помещений. Исследования в этой области, как правило, опираются на глобальные модели теплового баланса, в том числе и с учетом погодных условий [8, 12]. В дополнение к прямым вычислениям при известных параметрах теплопередачи контроль и регулирование температурного режима в умном доме на основе интеллектуальных микроконтроллеров может использовать данные оперативного мониторинга [6, 9, 14]. В то же время представляется, что для учета всех особенностей температурных режимов этот подход необходимо дополнить, а именно использовать возможности прогнозных моделей, полученных методами машинного обучения. Эти модели будут строиться для всего здания и отдельных помещений, а затем постоянно уточняться по данным температурных датчиков. Особую роль в этом комбинированном подходе играет имитационное моделирование температурного режима, нашедшее широкое применение в оптимизации энергопотребления [11, 13, 17, 19].

Автоматизация управления теплоснабжением помещений в режиме умного здания

В основе модели управления теплоснабжением помещений лежит новая методология, которая объединяет программные инструменты моделирования энергоэффективности с оперативным сбором, обработкой и анализом экспериментальной и статистической информации.

Предлагаемый подход ставит целью экономию энергии за счет интеллектуального контроля за температурным режимом внутри здания и погодными условиями. Энергетическая эффективность достигается благодаря автоматизации управления теплоснабжением для снижения температуры внутри помещений в ночное время и праздничные дни до приемлемого минимального уровня. Для достижения этой цели необходимо обеспечить автоматизированное решение следующих основных задач:

1. Непрерывный мониторинг тепловых характеристик внутренних помещений, погодных условий и управляемого теплового узла центрального отопления;
2. Определение (уточнение) значений необходимых теплофизических параметров и обобщенных характеристик температурного режима как для здания в целом, так и для отдельных помещений на основании данных мониторинга;
3. Моделирование глобальных и локальных тепловых процессов в здании с учетом реальных значений теплофизических характеристик;
4. Определение оптимального режима теплоснабжения для актуальных погодных условий на заданный промежуток времени на основе результатов моделирования.

В конечном счете становится возможным не только минимизировать потребление энергии в отдельном здании с центральным отоплением. Разработка и внедрение распределенной системы позволит оптимизировать расходы на необходимое дооснащение и повысить качество моделирования теплофизических характеристик уже для группы зданий за счет единой диспетчерской службы и консолидации в едином диспетчерском центре всей необходимой информации. Соответствующий функционал реализован в нескольких подсистемах. Далее представлены архитектура и функционал подсистемы мониторинга и моделирования теплового (температурного) режима.

Подсистема мониторинга и имитационного моделирования температурного режима здания

Функционал и архитектура подсистемы

Основные задачи подсистемы — мониторинг тепловых характеристик рассматриваемого здания, моделирование температурных режимов с предоставлением пользователю тепловой карты, дающей наглядное представление об особенностях теплоснабжения на уровне отдельных помещений. Для этого функционал подсистемы обеспечивает построение и визуализацию как поэтажной модели здания, так и соответствующей тепловой карты, моделирование температурного режима здания и классификацию помещений (по расположению, отклонени-

ям от норм заданного температурного режима, отклонениям от температурных норм для отопительных систем).

Архитектурно в подсистеме выделены два модуля: модуль мониторинга состояния тепловых характеристик здания, а также модуль имитационного моделирования температурного режима.

Основные элементы и внутренние взаимосвязи модулей приведены на рис. 1 и рис. 2. Варианты классификации обозначены следующим образом: Классификация 1 — по положению помещений в рамках модели здания; Классификация 2 — по отклонениям от норм заданного температурного режима; Классификация 3 — по отклонениям от температурных норм отопительных систем.

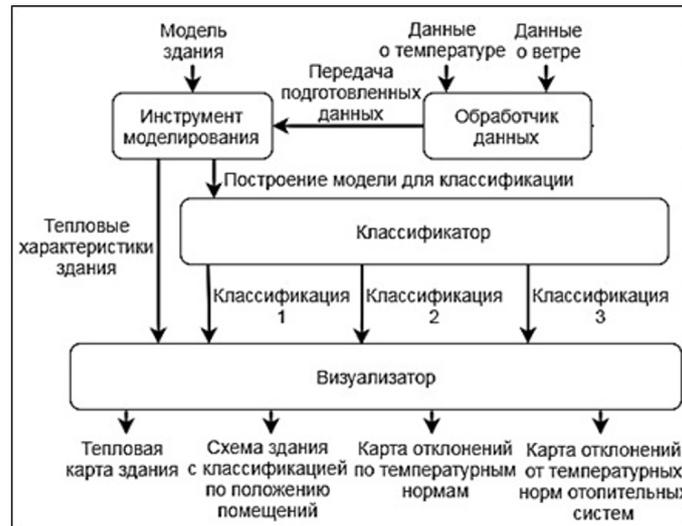


Рис. 1. Модуль мониторинга состояния тепловых характеристик

Fig. 1. Thermal characteristics monitoring module

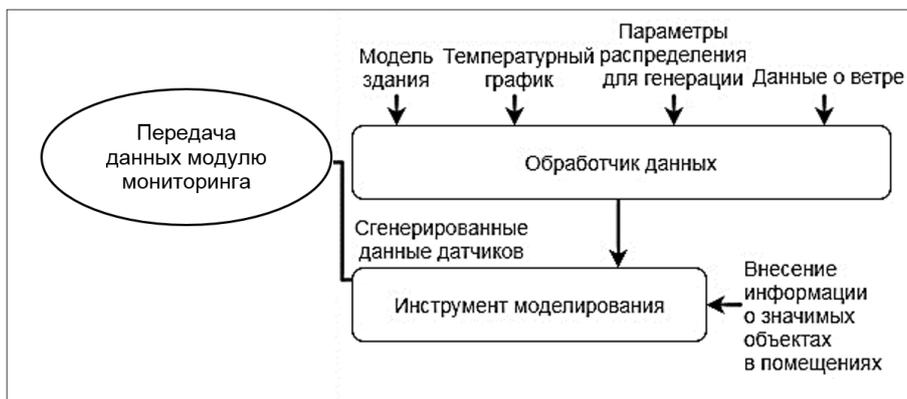


Рис. 2. Модуль имитационного моделирования температурного режима

Fig. 2. Temperature simulation module

Таким образом, для подсистемы определяющую роль играет модель здания, для построения которой выбран объектно-ориентированный подход, органично укладывающийся в общую концепцию разрабатываемой системы.

Модель здания

Отдельное помещение P определяется набором стен (перекрытий) $\{w_i\}_{i=1}^{N_P}$, $N_P \geq 6$. Помещение при этом может содержать дополнительные объекты, влияющие на процессы теплообмена (в частности, окна, двери).

Каждая стена w_i описывается координатами двух точек M_{begin}^i, M_{end}^i , начала стены и ее конца, толщина стены при этом не учитывается. Реальная стена может быть разбита на несколько логических фрагментов (по горизонтали) для более детального описания особенностей помещения. Тепловые характеристики каждого K -ого фрагмента i -той стены включают:

- m_K^i — количество слоев, состоящих из разных материалов;
- $h_j^i, j = 1..m_K^i$ — толщина каждого слоя;
- $a_j^i, j = 1..m_K^i$ — теплопроводность каждого слоя;
- $R_{outside}^i$ — сопротивляемость теплопередаче внешнего слоя;
- R_{inside}^i — сопротивляемость тепловосприятию внутреннего слоя.

Данные характеристики агрегируются в отдельный коэффициент, используемый в глобальном уравнении теплового баланса.

Коллекция из L помещений $Z = \{P_j\}_{j=1}^L$ определяет объектно-ориентированную модель здания.

Модуль мониторинга состояния тепловых характеристик здания

Основными входными данными для модуля являются значения температуры $T(x, y, z, t)$ — показатели датчиков температуры (наружных, для измерения температуры окружающей среды и внутренних), где (x, y, z) — координаты относительно плана здания, и t — время замера. Также производится учет данных, получаемых с датчиков ветра в формате $W = W(v, d, t)$, где v — скорость ветра, d — направление ветра и t — время замера. Эти данные периодически (в соответствии с заданным расписанием) запрашиваются сервером, где обеспечивается их хранение в базе данных для решения задачи мониторинга. При решении задачи моделирования данные также могут быть загружены в том же формате из модуля имитационного моделирования (см. рис. 2) в полном объеме для всего рассматриваемого временного периода.

Для избранного временного промежутка возможно выполнить визуализацию значений температуры в виде тепловой карты здания. Интерполяция температурных показателей производится с помощью метода кригинга [5] на основании имеющихся данных о температуре для каждого помещения.

Не менее важным для понимания данных об особенностях теплоснабжения в конкретном здании и его отдельных помещениях является выполнение клас-

сификации помещений. Важными параметрами для решения задачи классификации являются температурный режим (отдельные показания датчиков с течением времени, динамические характеристики) и расположение относительно здания в целом (статические характеристики). Подсистема обеспечивает классификацию помещений на основании: 1) положения относительно других помещений в пределах здания; 2) отклонений от температурного режима; 3) отклонений от существующих температурных норм для отопительных систем.

Классификация по положению. Значительную роль играет общая площадь стен, выходящих во внешнюю среду. Чем больше эта площадь, тем большая расчетная температура учитывается при определении температурного графика для теплосети, отапливающей соответствующие помещения. Параметром классификации является количество внешних стен, который задается в интерфейсе программы. Правила разметки при соответствии помещения конкретному классу задаются в виде записей «количество внешних стен — цвет разметки».

Классификация по отклонениям от температурного режима. Отклонения от температурного режима являются одним из основных показателей, требующих внимания и детального рассмотрения ситуации в конкретном помещении. Параметрами классификации являются температурные диапазоны, отражающие среднюю температуру в помещении, задаваемыми в интерфейсе. Правила разметки при соответствии помещения конкретному классу задаются в виде записей «диапазон температур — цвет разметки».

Классификация по отклонениям от температурных норм отопительных систем. Одной из наиболее вероятных причин отклонений от заданного температурного режима является несоответствие тепловой энергии, получаемой от теплоносителей и расчетной температуры. Параметрами классификации являются температурные диапазоны, отражающие температуру, фиксируемую на элементах отопительной системы в помещении, задаваемыми в интерфейсе. Результатом классификации является размеченная в соответствии с заданными правилами модель здания. Правила разметки при соответствии помещения конкретному классу задаются в виде записей «диапазон температур — цвет разметки».

Модуль имитационного моделирования

Входными данными для модуля являются описание модели здания Z в виде координат стен и справочника соответствия стен конкретным помещениям. Кроме того, для каждого помещения указываются объекты, требующие учета при выполнении имитационного моделирования (расположение отопительных элементов, окон, дверей и прочего). Также для работы модуля требуется задать суточный график температуры и динамику изменений скорости и направления ветра.

Генерация температурного режима происходит с учетом заданных параметров, в том числе и положения здания относительно сторон света.

Важной особенностью является то, что при генерации температурного режима учитывается положение помещения. При визуализации модели в данном

модуле выполняется ее поворот для сопоставления со сторонами света, верхняя часть изображения на форме приложения соответствует северу. Положение помещения относительно направления ветра влияет на расчет конечной эффективной температуры наружного воздуха для каждого помещения в отдельности.

Генерация температур происходит относительно заданного температурного графика, который определяет изменение погодных условий в течение суток. Сгенерированные значения являются нормально распределенными, основные параметры распределения (среднесуточная температура и стандартное отклонение) задаются в интерфейсе. Предусмотрена возможность задания направления и скорости ветра для каждого часа в сутках. Периодом генерации по умолчанию являются полные сутки с шагом между контрольными измерениями в 10 минут (обычное время опроса датчиков температуры).

Если для какого-то помещения указаны дополнительные объекты, требующие учета при генерации, то они также учитываются в расчетах. При генерации могут быть учтены следующие виды объектов: элементы отопительной системы, двери, окна, дополнительные элементы, влияющие на циркуляцию воздуха.

Температура отопительной системы генерируется, исходя из заданного соответствия температуры воздуха вне здания, относительно каждого помещения, требуемой температуре на нагревательных элементах. Зависимости задаются в интерфейсе программы. Влияние дверей и окон задается в виде коэффициента, который определяется в интерфейсе программы. Параметр влияет на конечную среднюю температуру в помещении.

При генерации возможна установка отклонений от температурных норм на заданные коэффициенты, которые указываются для каждого помещения. Возможно введение коэффициента для отопительных систем и средней температуры.

В результате генерации для каждого временного промежутка создается файл с указанием значений на датчиках с их координатами в здании.

Результаты вычислительного эксперимента

В качестве объекта вычислительного эксперимента для пилотного проекта был выбран корпус № 5 Тюменского госуниверситета — четырехэтажное здание с центральным отоплением по адресу: Тюмень, ул. Перекопская, 15а.

Источниками данных для мониторинга состояния тепловых характеристик послужили термодатчики DS18B20, которые были объединены в сети 1-WIRE с контроллерами WEMOS D1 R2, передающими данные по протоколу HTTP на сервер сбора данных по сети Wi-Fi. Объединение датчиков в технологические 1-WIRE сети позволяет существенно снизить стоимость оборудования за счет уменьшения количества контроллеров и отсутствия необходимости прокладки электрической сетей для их питания.

Работа системы проиллюстрирована результатом классификации помещений первого этажа. Это размеченная в соответствии с заданными правилами модель здания (рис. 3). Всплывающая подсказка, появляющаяся при наведении курсора на конкретное помещение, содержит информацию о ID помещения и классе, присвоенному при классификации (в данном случае это угловое помещение).

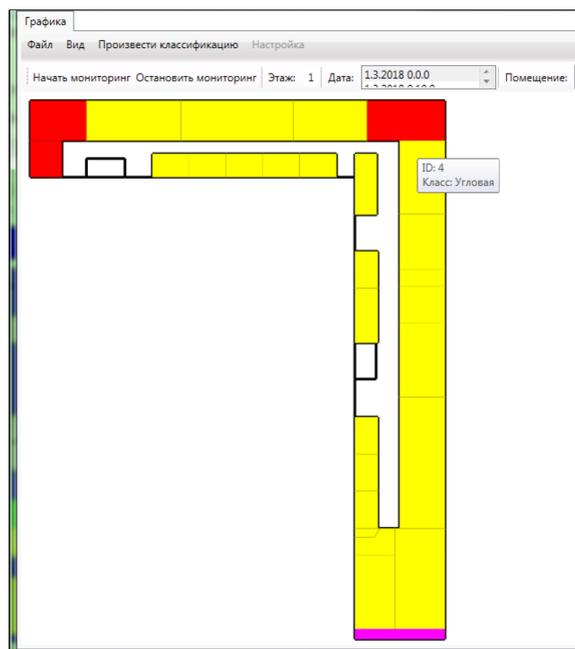


Рис. 3. Классификация по расположению Fig. 3. Classification by location

Далее представлен результат классификации также в виде размеченной по заданным правилам модели здания (рис. 4). Здесь всплывающая подсказка при наведении на конкретное помещение дает информацию о ID помещения и средней температуре в помещении.

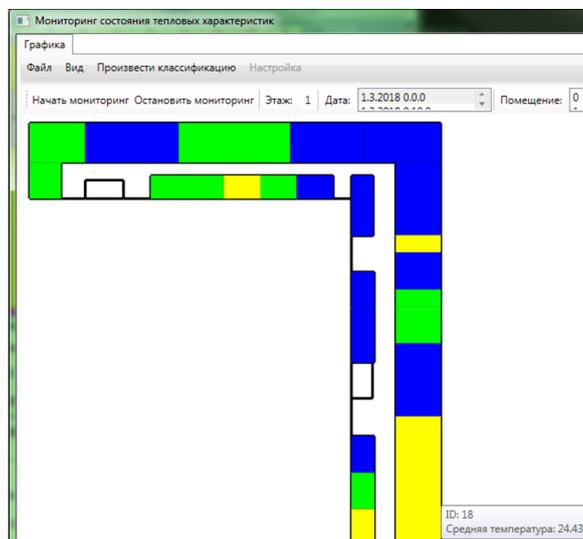


Рис. 4. Классификация по отклонению от температурного режима Fig. 4. Classification by the deviation from the temperature regime

Отметим ряд проблем, которые пришлось решать при создании прототипа технологической сети, начиная с физической безопасности датчиков, контроллеров, проводных сетей и предотвращения несанкционированного доступа к оборудованию (подача избыточного напряжения может вывести из строя и датчики и контроллер сегмента) и заканчивая решением вопросов, связанных с оценкой достоверности получаемых данных. В частности, наличие последней проблемы наглядно иллюстрируют результаты замеров температуры, представленные на рис. 5.

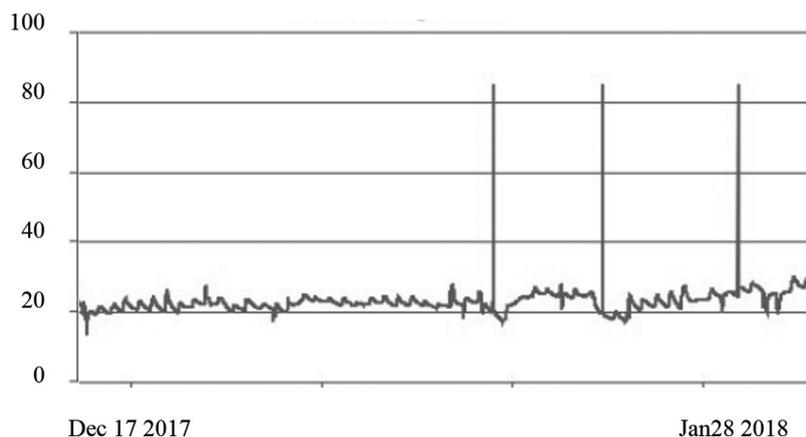


Рис. 5. График температуры по данным сенсоров, установленных в аудитории

Fig. 5. Temperature graph based on data from sensor installed in auditorium

Заключение

Предполагается, что разработанные технологии будут использоваться интеллектуальной диспетчерской для управления процессами энергосбережения в 15-ти корпусах Тюменского госуниверситета. Предусмотрена возможность подключения сторонних учреждений, допускающих понижение температуры в ночное время, воскресные и праздничные дни.

Планируемое масштабирование разрабатываемых в проекте технологий требует использования апробированной программной платформы. Основные требования к соответствующему программно-технологическому решению включают:

1. возможность подключения различных сенсоров;
2. сбор, хранение и анализ данных;
3. наличие механизмов, обеспечивающих безопасное взаимодействие узлов инфраструктуры;
4. использование алгоритмов интеллектуального машинного обучения и методов анализа больших массивов данных в реальном времени.

В настоящее время реализовано несколько платформ, в той или иной степени удовлетворяющих указанным требованиям: Microsoft Azure IoT, Cisco IoT Cloud Connect, Oracle Integrated Cloud, FIWARE, Каа. Основой для выбора

платформы послужили такие критерии, как открытый исходный код платформы, модульность, простота интеграции собственных разрабатываемых инструментов, а также преодоление проблемы привязки к поставщику продукта (Vendor-Lock-In). Поэтому преимущество было отдано европейской платформе FIWARE [15], которая ориентирована на повышение эффективности бизнес-процессов и инфраструктур в таких значимых отраслях, как транспорт, здравоохранение и энергетика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башмаков И. А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения в России и за рубежом / И. А. Башмаков // Новости теплоснабжения. 2008. № 2. С. 6-10.
2. Башмаков И. А. Энергопотребление зданий сферы услуг: мировой опыт / И. А. Башмаков // Энергосбережение. 2015. № 5. С. 24-29.
3. Башмаков И. А. Энергоэффективность зданий в России и в зарубежных странах / И. А. Башмаков // Энергосбережение. 2015. № 3. С. 24-29.
4. Ковальногов Н. Н. Автоматизированная система оптимального управления отоплением учебного заведения / Н. Н. Ковальногов, А. С. Ртищева, Е. А. Цынаева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2007. № 3-4. С. 100-107.
5. Кошель С. М. Методы цифрового моделирования: кригинг и радиальная интерполяция / С. М. Кошель, О. Р. Мусин // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2000. № 4. С. 26-30.
6. Матяс А. Ю. Алгоритмическое обеспечение систем температурного контроля / А. Ю. Матяс // Ползуновский альманах. 2009. № 2. С. 11-15.
7. Моисейкина Л. Г. Анализ структурных изменений внутреннего потребления ТЭР г. Москвы / Л. Г. Моисейкина, Е. С. Дарда // Статистика и экономика. 2017. № 6. С. 22-31.
8. Пуговкин А.В. Математическая модель теплоснабжения помещений для АСУ энергосбережения / А. В. Пуговкин, С. В. Купреков, Д. В. Абушкин, И. А. Заречная, Н. И. Муслимова // Доклады ТУСУР. Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 2 (22). Ч. 1. С. 293-298.
9. Сучкова Л. И. Интеллектуальные контроллеры систем температурного контроля и регулирования / Л. И. Сучкова, Т. В. Якименко, О. И. Хомутов // Ползуновский альманах. 2007. № 3. С. 96-98.
10. Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=93978> (дата обращения: 24.04.2018).
11. Фрумкин А. М. Упрощенная имитационная модель отапливаемого помещения как объекта управления / А. М. Фрумкин, Е. Н. Громова, В. А. Яцевич // Auditorium. 2016. № 2 (10). С. 93-103.

12. Anvari-Moghaddam A. Cost-Effective and Comfort-Aware Residential Energy Management under Different Pricing Schemes and Weather Conditions / A. Anvari-Moghaddam, H. Monsef, A. Rahimi-Kian // *Energy and Buildings*. 2015. Vol. 86. Pp. 782-793. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.017
13. Ascione F. Simulation-Based Model Predictive Control by the Multi-Objective Optimization of Building Energy Performance and Thermal Comfort / F. Ascione, N. Bianco, C. De Stasio, G. M. Mauro, G. P. Vanoli // *Energy and Buildings*. 2016. Vol. 111. Pp. 131-144. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.11.033
14. Figueiredo J. A SCADA System for Energy Management in Intelligent Buildings / J. Figueiredo, J. S. da Costa // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 49. Pp. 85-98. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.041
15. FIWARE: A Standard Open Platform for Smart Cities.
URL: <https://www.fiware.org/2015/03/25/fiware-a-standard-open-platform-for-smart-cities/> (Accessed on 24 April 2018).
16. Gwerder M. Potential Assessment of Rule-Based Control for Integrated Room Automation / M. Gwerder, D. Gyalistras, F. Oldewurtel, B. Lehmann., K. Wirth, V. Stauch, C. J. Tödtli // *Proceedings of the 10th REHVA World Congress. Clima, 2010. Antalya, 2010*. Pp. 9-12.
17. Ock J. Smart building energy management systems (BEMS) simulation conceptual framework / J. Ock, R. R. A. Issa, I. Flood // *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*. IEEE Press, 2016. Pp. 3237-3245. DOI: 10.1109/WSC.2016.7822355
18. Privara S. Building modeling as a crucial part for building predictive control / S. Privara, J. Cigler, Z. Váňa, F. Oldewurtel, C. Sagerschnig, E. Žáčková // *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 56. Pp. 8-22. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.024
19. Senave M. A simulation exercise to improve building energy performance characterization via on-board monitoring / M. Senave, G. Reynders, S. Verbeke, D. Saelens // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 132. Pp. 969-974. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.687
20. Tashtoush B. Dynamic model of an HVAC system for control analysis / B. Tashtoush, M. Molhim, M. Al-Rousan // *Energy*. 2005. Vol. 30. No 10. Pp. 1729-1745. DOI: 10.1016/j.energy.2004.10.004

Alexander A. ZAKHAROV¹
Irina G. ZAKHAROVA²
Artur R. ROMAZANOV³
Andrey V. SHIROKIKH⁴

UDC 681.51

THE THERMAL REGIME SIMULATION AND THE HEAT MANAGEMENT OF A SMART BUILDING

- ¹ Dr. Sci (Tech.), Professor, Secure Smart City Information Technologies Department, University of Tyumen
a.a.zakharov@utmn.ru
- ² Cand. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Software Department, University of Tyumen
i.g.zakharova@utmn.ru
- ³ Master Student, Software Department, University of Tyumen
qwsr11@gmail.com
- ⁴ Cand. Sci. (Tech.), Professor, Secure Smart City Information Technologies Department, University of Tyumen
a.v.shirokikh@utmn.ru

Abstract

High heating costs and insufficient efficiency of the large buildings temperature control determine the need to develop innovative methods for the heat supply optimization, taking advantage of the Smart Building technologies. This article suggests an approach to automatize the heat supply management in a smart building. The goal is to reduce financial costs while maintaining a comfortable thermal regime. The proposed approach uses the possibility of obtaining detailed information from temperature sensors, its interpretation, monitoring of changes, and the generation of adequate heat management solutions in real time. The authors propose an object-oriented model of the building's temperature regime,

Citation: Zakharov A. A., Zakharova I. G., Romazanov A. R., Shirokikh A. V. 2018. "The Thermal Regime Simulation and the Heat Management of a Smart Building". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 4, no 2, pp. 105-119.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-2-105-119

which includes the description of the object attributes (individual room), geometric connections and physical boundary conditions between these objects. Real floor plans of the building determine the geometric relationships. Physical boundary conditions come from the heat transfer model.

The authors show the possibilities of machine learning methods for clarifying the values of the parameters that determine the heat transfer processes in the building. In addition, they suggest methods for rooms classification from the position of the temperature regime characteristic for each room under various external conditions. The proposed approach forms the basis of an information system for modeling the thermal regime and controlling the heat supply of the building. The system provides both simulations based on the generated temperature data and computational experiments with real data periodically requested from sensors installed inside and outside the building. Machine learning modules provide a permanent adjustment of the building model in the process of obtaining new information about real temperature conditions.

Keywords

Energy efficiency, smart building, thermal regime, heat management, temperature control, simulation, machine learning, information system.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-2-105-119

REFERENCES

1. Bashmakov I. A. 2008. "Analiz osnovnykh tendentsiy razvitiya sistem teplosnabzheniya v Rossii i za rubezhom" [Analysis of the Main Trends in the Heat Supply Systems Development in Russia and Abroad]. *Novosti teplosnabzheniya*, no 2, pp. 6-10.
2. Bashmakov I. A. 2015. "Energoeffektivnost' zdaniy v Rossii i v zarubezhnykh stranah" [Energy Efficiency of the Buildings in Russia and in the Foreign Countries]. *Energoberezhenie*, no 3, pp. 24-29.
3. Bashmakov I. A. 2015. "Energopotreblenie zdaniy sfery uslug: mirovoy opyt" [Energy Consumption of the Service Buildings: the World Experience]. *Energoberezhenie*, no 5, pp. 24-29.
4. Koval'nogov N. N., Rtishcheva A. S., Tsynaeva E. A. 2007. "Avtomatizirovannaya sistema optimal'nogo upravleniya otopleniem uchebnogo zavedeniya" [Automated System of the Optimal Heating Management in an Educational Institution]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki*, no 3-4, pp. 100-107.
5. Koshel S. M., Musin O. R. 2000. "Metody tsifrovogo modelirovaniya: kriging i radial'naya interpolyatsiya" [Methods of the Digital Modeling: Kriging and Radial Interpolation]. *Informatsionnyy byulleten' GIS-Assotsiatsii*, no 4, pp. 26-30.
6. Matyas A. Yu. 2009. "Algoritmicheskoe obespechenie sistem temperaturnogo kontrolya" [Algorithmic Support of the Temperature Control Systems]. *Polzunovskiy al'manah*, no 2, pp. 11-15.
7. Moiseykina L. G., Darda E. S. 2017. "Analiz strukturnykh izmeneniy vnutrennego potrebleniya TER g. Moskvy" [Analysis of Structural Changes in the Domestic Consumption of the Energy Resources in Moscow]. *Statistika i ekonomika*, no 6, pp. 22-31.

8. Pugovkin A.V., Kuprekov S. V., Abushkin D. V., Zarechnaya I. A., Muslimova N. I. 2010. "Matematicheskaya model' teplosnabzheniya pomeshcheniy dlya ASU energosberezheniya" [Mathematical Model of the Heat Supply for Automated Power Management Systems]. *Doklady TUSUR. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, no 2 (22), p. 1, pp. 293—298.
9. Suchkova L. I., Yakimenko T. V., Homutov O. I. 2007. "Intellektual'nye kontrollery sistem temperaturnogo kontrolya i regulirovaniya" [Intelligent Controllers of Temperature Control and Regulation Systems]. *Polzunovskiy al'manah*, no 3, pp. 96-98.
10. RF Federal law no 261-FZ "Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy effektivnosti i o vnesenii izmeneniy v otдел'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii" [On Energy Saving and on Improving Energy Efficiency and on Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation]. Accessed on April 18, 2018. <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=93978>
11. Frumkin A. M., Gromova E. N., Yatsevich V. A. 2016. "Uproshchennaya imitatsionnaya model' otaplivaemogo pomeshcheniya kak ob"ekta upravleniya" [Simplified Simulation Model of a Heated Room as a Control Object]. *Auditorium*, no 2 (10) pp. 93-103.
12. Anvari-Moghaddam A., Monsef H., Rahimi-Kian A. 2015. "Cost-effective and Comfort-aware Residential Energy Management under Different Pricing Schemes and Weather Conditions". *Energy and Buildings*, vol. 86, pp. 782-793. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.017
13. Ascione F., Bianco N., De Stasio C., Mauro G. M., Vanoli G. P. 2016. "Simulation-based Model Predictive Control by the Multi-objective Optimization of Building Energy Performance and Thermal Comfort". *Energy and Buildings*, vol. 111, pp. 131-144. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.11.033
14. Figueiredo J., da Costa J. S. 2012. "A SCADA System for Energy Management in Intelligent Buildings". *Energy and Buildings*, vol. 49, pp. 85-98. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.041
15. FIWARE: A Standard Open Platform for Smart Cities. Accessed on April 18, 2018. <https://www.fiware.org/2015/03/25/fiware-a-standard-open-platform-for-smart-cities>.
16. Gwerder M., Gyalistras D., Oldewurtel F., Lehmann B., Wirth K., Stauch V., Tödtli C. J. 2010. "Potential Assessment of Rule-based Control for Integrated Room Automation". *Proceedings of the 10th REHVA World Congress — Clima 2010 (May 9-12, 2010, Turkey, Antalya)*, pp. 9-12.
17. Ock J., Issa R. R. A., Flood I. 2016. "Smart Building Energy Management Systems (BEMS) Simulation Conceptual Framework. 2016. *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference (December 11-14, 2016, USA, VA, Arlington)*, pp. 3237-3245. IEEE Press. DOI: 10.1109/WSC.2016.7822355
18. Privara S., Cigler J., Váňa Z., Oldewurtel F., Sagerschnig C., Žáčková E. 2013. "Building Modeling as a Crucial Part for Building Predictive Control". *Energy and Buildings*, vol. 56, pp. 8-22. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.024
19. Senave M., Reynders G., Verbeke S., Saelens D. 2017. "A Simulation Exercise to Improve Building Energy Performance Characterization via On-board Monitoring". *Energy Procedia*, vol. 132, pp. 969-974. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.687
20. Tashtoush B., Molhim M., Al-Rousan M. 2005. "Dynamic Model of an HVAC System for Control Analysis". *Energy*, vol. 30, no 10, pp. 1729-1745. DOI: 10.1016/j.energy.2004.10.004