

Артур Ринатович РОМАЗАНОВ¹

Ирина Гелиевна ЗАХАРОВА²

УДК 697.148

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ПОМЕЩЕНИИ

¹ ассистент кафедры программного обеспечения,
Тюменский государственный университет
a.r.romazanov@utmn.ru

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

Аннотация

Эффективность использования тепловой энергии, получаемой от системы центрального отопления, для обогрева здания (комплекса взаимосвязанных помещений), определяется полнотой сведений о факторах, влияющих на тепловой режим. В статье представлен подход к выявлению значимости такого комплексного параметра, как тепловая инерция помещения. Исследование этого вопроса принципиально важно для построения математической прогнозной модели, необходимой для автоматизации управления тепловым режимом. Предлагаемая методология использует принципы работы с большими данными и основана на автоматизированном анализе динамики изменения температуры в помещениях с учетом стандартных характеристик, определяющих теплообмен, метеоусловий, а также присутствия людей. Степень проявления тепловой инерции помещения определяется на основе времени запаздывания — временного интервала между существенным изменением метеоусловий или подачи тепловой энергии и изменением температуры воздуха в помещении. В качестве исходных данных выступали значения температуры воздуха и нагревательных элементов, полученные с датчиков,

Цитирование: Ромазанов А. Р. Метод исследования влияния тепловой инерции на температуру в помещении / А. Р. Ромазанов, И. Г. Захарова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 2 (26). С. 188-205.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-2-188-205

размещенных в учебно-лабораторном корпусе высшего учебного заведения, с 1 марта по 19 апреля 2020 г. (периодичность измерений — 10 минут). Особенностью собранных данных являются разные режимы использования отдельных помещений, а также наличие периодов полного отключения отопительной системы. Для проведения анализа данных был разработан модуль программного комплекса для интеллектуального мониторинга теплового режима здания. В программной реализации использована технология конвейера, последовательно выполняющего следующие операции: фильтрация и очистка данных; агрегация для заданных периодов; определение времени запаздывания. По результатам анализа данных автоматически определяются группы помещений, реагирующих с характерным временем запаздывания на существенные изменения внешних условий и режима отопления. Это является важным для математического моделирования режима отопления здания с учетом тепловой инерции и классификации помещений на основе этого параметра. Такая классификация позволит определить наиболее значимые факторы, влияющие на тепловой режим помещения, что позволит выработать рекомендации для принятия решений по управлению теплоснабжением.

Ключевые слова

Тепловой режим, математическое моделирование, тепловая инерция, программный комплекс, анализ данных.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-2-188-205

Введение

Оптимизация расхода тепловой энергии, используемой для отопления, является одной из ключевых задач энергосбережения в странах с холодным климатом. В этом контексте особую значимость приобретает изучение особенностей теплового режима здания, поскольку выявление общих закономерностей и конкретных количественных характеристик позволит эффективнее использовать возможности отопительной системы, что приведет к экономии тепловой энергии. Представляется, что решение этой задачи может быть основано на использовании моделей и методов интеллектуального анализа данных, и в первую очередь классификации помещений относительно как агрегированных, так и динамических характеристик теплового режима. Результаты классификации, а именно полученные модели, позволят определить наиболее значимые признаки, влияющие на тепловой режим помещения. Это, в свою очередь, позволит выработать рекомендации для принятия решений по управлению теплоснабжением с учетом параметров конкретных помещений.

Настоящая работа является продолжением исследования [1], в котором была реализована первичная классификация помещений по уровням теплового комфорта, основанная на характеристиках, отражающих расположение помещений и усредненные значения температуры воздуха в них.

Необходимость уточнения построенных моделей классификации определяется объективными данными. В данной работе в качестве объекта наблюдения

выступает общественное здание, которое является учебно-лабораторным корпусом высшего учебного заведения. Характерными особенностями здания является то, что его этажность в разных фрагментах варьируется от 1 до 4 этажей. Для 4-го этажа в устройстве отопительной системы выделен отдельный котел. При этом предварительный анализ данных указывает на необходимость определения дополнительных признаков для классификации. А именно: в здании существуют аудитории, которые обладают близкими характеристиками (например, находятся сравнительно недалеко друг от друга на одном и том же этаже), но при этом относятся к различным классам теплового комфорта.

При этом важно понимать, что тепловой режим здания определяется не только температурой отопительных элементов и погодными условиями. На него влияют и особенности организации отопительной системы, состояние конструкций здания, и, наконец, то, как оно используется [12, 14, 17]. Предназначение помещений непосредственно определяет присутствие в них определенного количества людей и особенности их поведения, что сказывается на тепловом режиме здания [11, 15, 16]. Такое влияние может быть как осознанным, так и опосредованным. Для своего комфортного пребывания люди могут локально управлять отопительными элементами, ограничивая доступ теплоносителя к секциям отопительного элемента, с той или иной периодичностью открывать окна и двери.

Таким образом, параметры, которые могут влиять на установившийся тепловой режим в здании, можно разделить на внутренние и внешние. К внутренним параметрам, в частности, относятся характеристики перекрытий здания, состояние отопительных систем. Целый ряд исследований показывает, что организация и размещение помещений в здании [12] являются столь же значимыми с точки зрения воздействия на тепловой режим, как и используемые материалы для внешних и внутренних перекрытий [2-4, 6, 10, 13]. Внешние параметры, среди которых можно выделить температуру воздуха, скорость и направление ветра, определяются состоянием окружающей среды. Отдельно следует отметить возможность поступления тепловой энергии от солнечного излучения, которое оказывает значительное влияние на тепловой режим здания [7]. Наконец, важным фактором, с которым связана динамика изменений температуры внутри помещения, выступает тепловая инерция [8, 9].

Основная цель данного исследования — разработка и программная реализация методов выявления статических и динамических характеристик, определяющих температурный режим здания, на основе анализа и интерпретации данных с датчиков температуры, информации о погодных условиях, а также особенностей конструкции рассматриваемого здания.

Материалы и методы исследования

Исходные данные

В общем случае необходимым условием полноценного решения задачи прогнозирования состояния определенного объекта является наличие данных, которые прямо или косвенно отражают значения его ключевых характеристик и внешних

условий. В этом плане исследование теплового режима здания не является исключением. При этом известно, что в нормальных условиях (без отключения отопления и значительных перепадов температуры воздуха в окружающей среде) температура воздуха во всех помещениях примерно одинакова. Однако на изменения определенных характеристик внешней среды помещения в здании реагируют по-разному. Именно по этой причине возникает проблема всестороннего анализа и выявления значимости для теплового режима в помещении как внутренних, так и внешних факторов.

Данные, определяющие характеристики помещения

В таблице 1 приведены параметры, описывающие помещения в разрезе здания в целом. Перечисленные параметры являются статическими и не изменяются во времени для конкретного помещения.

Следующие параметры являются динамическими:

- температура воздуха в помещении;
- внешняя температура отопительного элемента в помещении.

Сбор соответствующих данных с датчиков осуществляется с периодичностью в 10 минут.

Таблица 1

Параметры, описывающие помещения здания

Table 1

The parameters of classrooms in the building

Параметр	Шкала измерения
Количество внешних стен	Относительная
Сторона света, на которую обращена внешняя стена*	Номинальная
Площадь внешних стен	Относительная
Площадь окон во внешних стенах	
Площадь отопительных элементов	
Площадь стен, обращенных в коридор**	

* Допустимые значения параметра «сторона света»: С — север; северо-восток — СВ; восток — В; юго-восток — ЮВ; юг — Ю; юго-запад — ЮЗ; запад — З; северо-запад — СЗ.

** Коридор является особым помещением, которое характеризуется относительно низким соотношением площади отопительных элементов и его площади по сравнению с другими помещениями.

* Possible values for the parameter “directions”: N — north; northeast — NE; east — E; southeast — SE; south — S; southwest — SW; west — W; northwest — NW.

** Corridor is a special room that is characterized by a relatively low ratio of heating elements to its area compared to other rooms.

Данные, определяющие погодные условия

Для определения погодных условий используются открытые данные [5], их описание приведено в таблице 2.

Таблица 2

**Параметры, описывающие
погодные условия**

Table 2

Weather parameters

Название параметра	Единицы измерения
Температура воздуха	°C
Скорость ветра	м/с
Направление ветра	Номинальное значение

Данные погодных условий обновляются с периодом в 1 час. Для синхронизации времени выполнения замеров данные с датчиков температур в здании учитываются на начало каждого часа.

Хранение данных

Собранные данные хранятся в файлах формата *csv*:

- значения статических параметров для каждой аудитории;
- значения динамических параметров в формате: *<температура воздуха в помещении, температура поверхности отопительных элементов, температура воздуха, скорость ветра, направление ветра, дата и время замера>*.

Дополнительные параметры

Также на температурный режим могут влиять следующие факторы:

- степень освещенности конкретного помещения солнечным светом;
- занятость аудиторий.

Степень освещенности является динамическим признаком, который изменяется в течение дня и зависит от расположения аудитории и конкретных погодных условий. На характер суточных изменений в том числе оказывает влияние текущее время года. Освещенность оценивается относительно каждого помещения согласно формуле:

$$f(alt, a_s, a_r) = \cos(alt) \cos(a_s - a_r), \quad (1)$$

где *alt* — угол, отражающий положение Солнца по отношению к горизонту; *a_s* — азимут Солнца, *a_r* — азимут внешней стены помещения, наблюдатель при расчете азимута принимается как точка на стене, противоположной внешней.

Режим эксплуатации помещений определяется в нашем случае (учебное заведение) расписанием занятий. Занятость аудиторий отражает влияние присутствия

людей на тепловой режим в помещении в определенные промежутки времени. Соответствующие данные извлекаются из расписания занятий.

Программное решение

Предварительная обработка и анализ данных выполнялись с помощью специального модуля интеллектуальной системы мониторинга теплового режима здания [1]. Разработанное решение позволяет выделять из потоковых данных выборку для указанных промежутков; выполнять сопоставительный анализ на основе визуализации динамики изменения параметров; извлекать значения количественных показателей относительного смещения ряда данных.

В нашем случае в качестве показателя выступало запаздывание температур: на сколько шагов нужно сдвинуть временной ряд, отражающий температуру в помещении, чтобы он был максимально близок к «поведению» временного ряда, описывающему температуру окружающей среды. Мерой близости выбрано среднее квадратическое отклонение. Выбор данных происходит исходя из задаваемого пользователем временного периода. Дополнительно можно ограничить диапазон шагов, в котором будет осуществляться поиск.

Формально метод может быть представлен в следующем виде:

Определить сдвиг временного ряда T — подпоследовательность временного ряда t_{in} , заданной длины n . Сдвиг представляет собой вектор с компонентами T_j , такой, что:

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - t_i^{out})^2} = \min_{j=0, m} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{i-j}^{in} - t_i^{out})^2}, \quad (2)$$

где t_{in} — вектор температур воздуха в помещении; t_{out} — вектор температур воздуха окружающей среды; n — длина временного ряда.

Таким образом, данный вектор соответствует участку временного ряда t_{in} , на котором достигается минимальное расстояние между температурой воздуха окружающей среды и температурой воздуха в помещении.

Организация вычислительного эксперимента

Исследовался температурный режим в 5 аудиториях, которые были выбраны исходя из различий в статических параметрах. В таблице 3 приведены значения параметров, определяющих внутренний теплоперенос, для каждой из рассматриваемых аудиторий.

Особенностью аудиторий 412 и 420 является то, что они связаны с отдельным котлом отопления, который работает только для 4-го этажа, где вышеуказанные аудитории и размещены. Кроме того, имеются отличия в материалах перекрытий для данного этажа, в отличие от прочих рассматриваемых аудиторий.

Таблица 4 содержит описание внешних стен: сторону света, на которую обращена стена и ее площадь, а также площадь окон в случае их наличия.

Таблица 3

Значения параметров, определяющих
внутренний теплоперенос

Номер аудитории	Площадь стен, обращенных в коридор, м ²	Количество смежных помещений
210	9,02	2
316	17,11	2
412	20,13	2
420	32,09	1
219	25,67	1

Table 3

The values of the parameters that
define inner heat transfer processes

Таблица 4

Описание внешних стен
помещений

Номер аудитории	Сторона света, на которую выходит стена	Площадь стены, м ²	Площадь окон, м ²
210	ЮВ	26,42	12,95
	ЮЗ	17,34	0
316	ЮЗ	17,11	9,58
412	ЮЗ	20,13	11,98
420	СВ	19,77	11,76
219	СВ	16,68	10,51

Table 4

The description of the classrooms'
outer walls

Выбор аудиторий для эксперимента обусловлен различиями в параметрах: количестве внешних стен, организации обеспечения тепловой энергией, режиме эксплуатации, а также иных параметрах, которые определяют размещение помещений в рамках здания.

Особенности исходных данных

В качестве материалов для исследования использовались данные с датчиков температур и параметры внешней среды с 1 марта 2020 г. по 19 апреля 2020 г. включительно, всего 1 200 записей.

Собранные данные относятся к двум характерным периодам:

- обычный режим эксплуатации помещений, когда проводились учебные занятия и были задействованы административные помещения — с 1 марта по 16 марта 2020 г.;

— закрытый режим эксплуатации помещений, учебные занятия в здании не проводятся, минимальная активность в административных помещениях — с 16 марта по 19 апреля 2020 г.

Кроме этого, 17 и 27 марта производились отключения отопительной системы во всем здании.

Анализ экспериментальных данных

Цель анализа данных заключается в поиске механизма уточнения классификации аудиторий, которая была предложена ранее [1]. Выполненная классификация опиралась на среднюю температуру воздуха в помещениях. Соответственно, она дает лишь общее представление о том, как можно разделить аудитории на различные классы в соответствии с их параметрами. Данный способ классификации не учитывает дополнительные характеристики помещений. Как видно из данных, аудитории имеют различные режимы эксплуатации и варьируются в значениях прочих параметров, при этом температура в помещениях имеет схожую динамику изменений.

На рисунках, представленных далее, график *out* отражает значение температуры окружающей среды. Остальные графики описывают изменение температуры в определенном помещении (аудитории с указанным номером) и на отопительных элементах, подписи *in* и *bat* соответственно.

На рис. 1 и 2 приведены графики, которые использовались при выполнении общей классификации в работе [1]. На рис. 1 приведен график изменения температур воздуха в помещениях. Представленные зависимости показывают, что аудитории отзываются на изменения внешних условий особым образом. На рис. 2 представлен график изменения температур на отопительных элементах в наблюдаемых аудиториях.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 1, 2, позволяет отметить, что характер изменений температуры с течением времени во всех аудиториях совпадает, при этом есть различия в абсолютных значениях. Данные расхождения обусловлены особенностью устройства системы отопления в здании, в том числе и тем, что температура теплоносителя отличается для двух тепловых узлов.

При этом для помещений, которые используются как административные, их влияние проявляется в утреннее и дневное время равномерно. В то же время для учебных аудиторий характерно наличие периодов, в которые люди отсутствуют, поскольку занятия не проводятся.

Рассмотрим более подробно особенности изменения температуры и соотношение между температурой воздуха и отопительных элементов для отдельных аудиторий.

На рис. 3 приведена динамика изменений температур за весь период измерений для аудитории 420. Представленные графики иллюстрируют особенности теплового режима, в том числе отражают два отключения отопительной системы разной продолжительности. Кроме того, этот период характеризуется

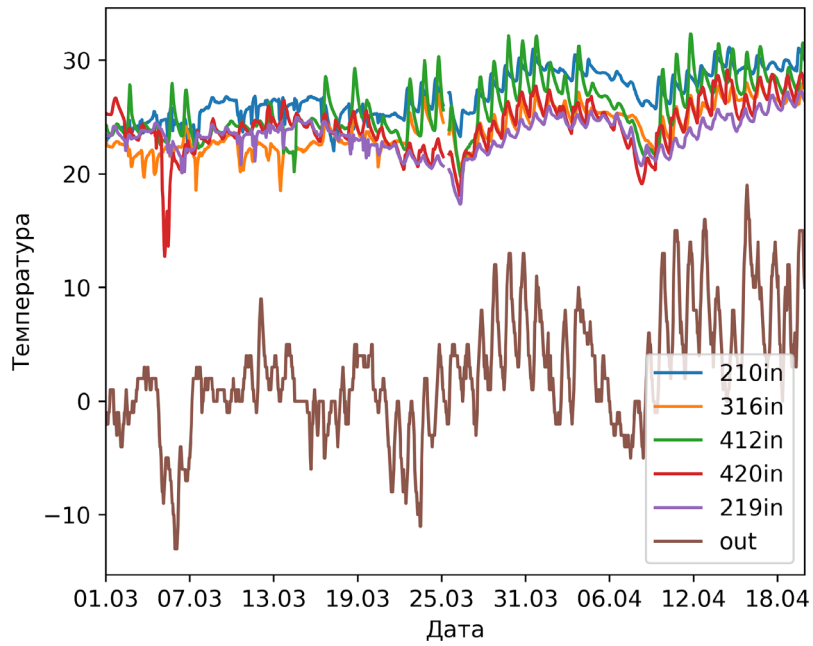


Рис. 1. Температура воздуха в помещениях

Fig. 1. The air temperature in classrooms

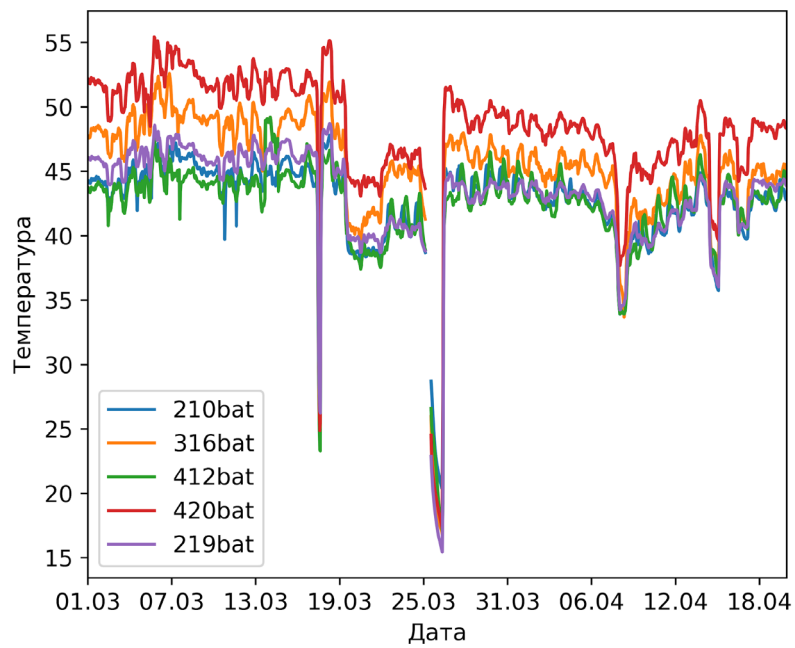


Рис. 2. Температура на элементах отопления

Fig. 2. The temperature on heating elements

значительным изменением температур во времени, связанным с объективными обстоятельствами.

Более детально динамика изменения температуры представлена на рис. 4 и 5, отражающих закономерности, которые характеризуют температурный режим в конкретной аудитории. На рис. 4 представлен график изменения температур с 9 по 13 апреля. Он показывает характерную динамику суточных изменений для данной аудитории: изменения внешней температуры отражаются на изменениях температуры в помещении с определенным запаздыванием.

Можно предположить, что эта особенность температурного режима аудитории позволит определить дополнительные параметры с целью более точной классификации помещений.

На рис. 5 представлен график изменения температур за 10.04 для аудитории 420.

Рассмотренные графики (рис. 4, 5) демонстрируют устойчивость температурного режима аудиторий к незначительным изменениям внешней температуры. В таблице 5 приведены значения температуры на 10 апреля в аудитории 420.

При значительном изменении температуры воздуха окружающей среды температура в помещении коррелирует в первую очередь с температурой на отопительных элементах.

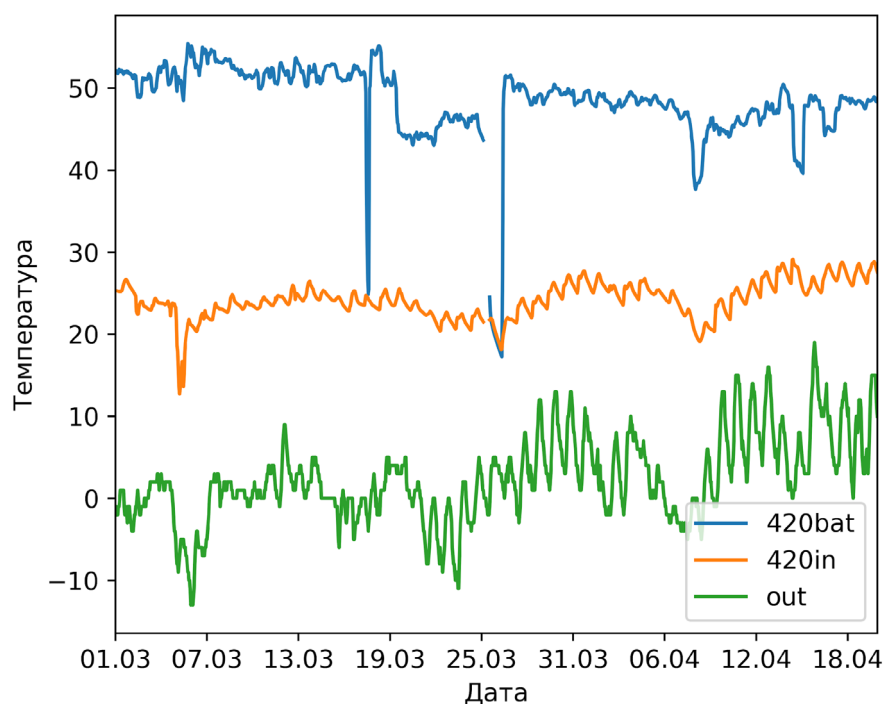


Рис. 3. Данные с датчиков температуры в аудитории 420

Fig. 3. The sensors data on the temperature in the classroom 420

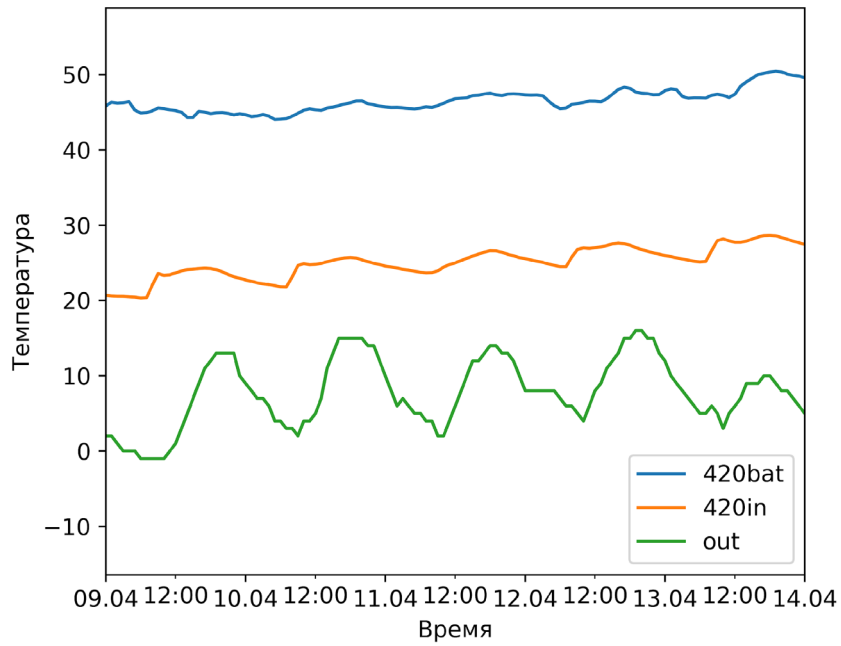


Рис. 4. Температура в аудитории 420

Fig. 4. The temperature in the classroom 420

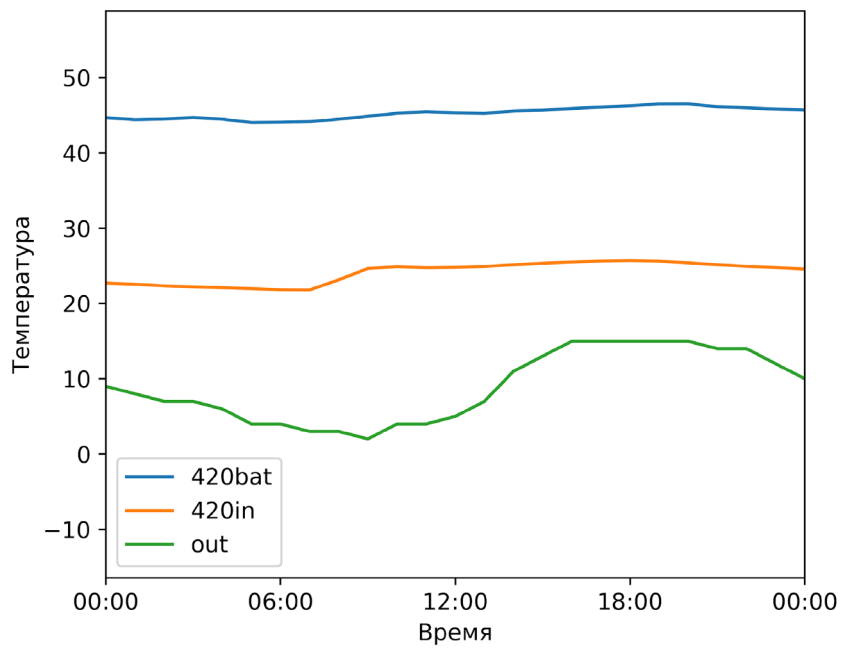


Рис. 5. Температура на 10 апреля в аудитории 420

Fig. 5. The temperature on April 10 in the classroom 420

Таблица 5

Температура воздуха на 10 апреля
для аудитории 420

	Температура окружающей среды, °С	Температура воздуха в помещении, °С	Температура на отопительных элементах, °С
Минимальное значение	2	21,8	44
Максимальное значение	15	25,7	46,5
Разница	13	3,9	2,5

Table 5

The air temperature on April 10
in the classroom 420

Также в период наблюдений были зафиксированы следующие критические ситуации:

- отключение отопительной системы 17 марта (рис. 6);
- приостановка подачи электроэнергии и отопления 25 марта (рис. 7).

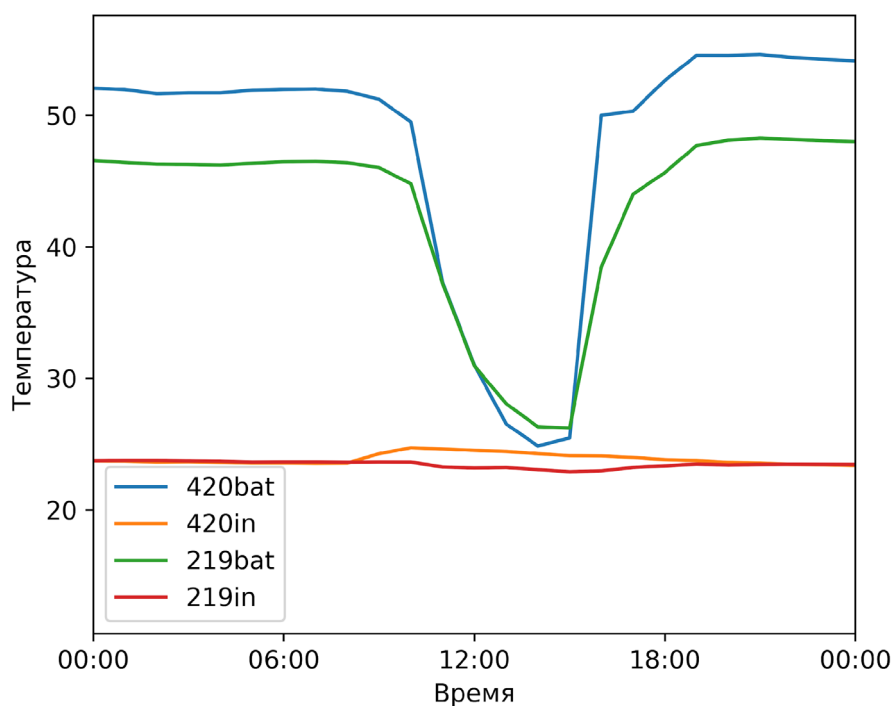


Рис. 6. Динамика изменения температур при отключении отопления

Fig. 6. The dynamics of the temperature change during the heating system shutdown

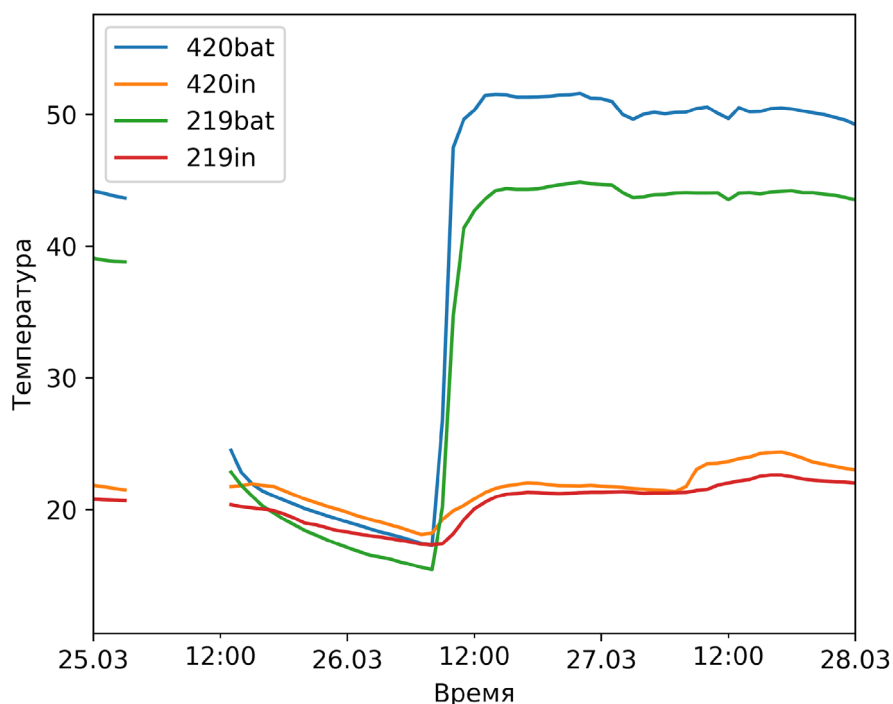


Рис. 7. Динамика изменения температур при отключении подачи электроэнергии и отопления

Fig. 7. The dynamics of the temperature change during the power outage and heating system shutdown

Максимальная разница температуры воздуха в помещениях 420 и 219 равна 1,4 °С и 1,8 °С для первого и второго случая отключения отопления соответственно. При этом первый период длился 6 часов, а второй 30 часов.

Таким образом, анализ показаний датчиков температур подтвердил предположение о различной реакции помещений на изменения подачи отопления. Несмотря на общие закономерности в динамике изменения температуры в помещении в течение суток, а также на наличие периодов, в которые произошли отключения системы отопления, явно прослеживаются значительные отличия в характере данных изменений.

При этом при кратковременных отключениях отопления в отсутствие эксплуатации помещения — даже при падении температуры теплоносителя до уровня температуры в помещении — температура воздуха изменяется несущественно.

Заключение

Предложенный метод показал свою результативность, что позволяет сделать вывод о возможности математического моделирования теплового режима с учетом классификации помещений, основываясь на оценке динамики изменения температур, то есть тепловой инерции.

Разработанный программный инструмент также позволяет выявить проявления тепловой инерции и при изменении температуры внешней среды. Дальнейшие исследования предполагается сосредоточить на создании моделей для определения того, каким образом конкретные факторы оказывают влияние на тепловой режим здания. В частности, на основе расширенного набора данных будет построена модель классификации помещений, в том числе с учетом особенностей их эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров А. А. Моделирование теплового режима и управление теплоснабжением помещений умного здания / А. А. Захаров, И. Г. Захарова, А. Р. Ромазанов, А. В. Широких // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Том 4. № 2. С. 105-119. DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-2-105-119
2. Корниенко С. В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания // Инженерно-строительный журнал: специализированный научный журнал. 2012. Том 7. № 33. С. 43-49.
3. Круковский П. Г. Идентификация параметров теплопотерь помещения по бесконтактным измерениям температур / П. Г. Круковский, Г. А. Пархоменко, О. Ю. Тадля, М. А. Метель // Промышленная теплотехника. 2009. Том 31. № 3. С. 69-76.
4. Круковский П. Г. Определение параметров теплопотерь помещений при нестационарном тепловом режиме / П. Г. Круковский, Д. И. Скляренко, О. Ю. Тадля, М. А. Метель // Промышленная теплотехника. 2013. Том 35. № 6. С. 47-56.
5. Метеоцентр. URL: http://meteocenter.net/USTR_current.htm
6. An L. Estimation of Thermal Parameters of Buildings through Inverse Modeling and Clustering for a Portfolio of Buildings / L. An, R. Horesh, Y. Chae, Y. Lee // Proceedings of SimBuild. 2012. Vol. 5. No. 1. Pp. 295-305.
7. 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.
8. Dornelles K. Thermal inertia, comfort and energy consumption in buildings: a case study in Sao Paulo state — Brazil / K. Dornelles, M. Roriz // International Journal for Housing Science and Its Applications. 2004. Vol. 28. No 2. Pp. 153-162.
9. Karlsson J. A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures / J. Karlsson, L. Wadsö, M. Öberg // Energy and Buildings. 2013. Vol. 60. Pp. 146-151. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.01.017
10. Korniyenko S. Multifactorial forecast of thermal behavior in building envelope elements / S. Korniyenko // Magazine of Civil Engineering. 2014. Vol. 52. No 8. Pp. 25-37. DOI: 10.5862/MCE.52.4
11. Martani C. ENERNET: studying the dynamic relationship between building occupancy and energy consumption / C. Martani, D. Lee, P. Robinson, R. Britter, C. Ratti // Energy and Buildings. 2012. Vol. 47. Pp. 584-591. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.12.037

12. Morbitzer C. Integration of building simulation into the design process of an architecture / C. Morbitzer, P. Strachan, J. Webster, B. Spires, D. Cafferty // Seventh International IBPSA Conference. 2001. Pp. 697-704.
13. Pacheco R. Energy efficient design of building: a review / R. Pacheco, J. Ordóñez, G. Martínez // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16. No. 6. Pp. 3559-3573. DOI: 10.1016/j.rser.2012.03.045
14. Rasmussen C. Method for Scalable and Automatised Thermal Building Performance Documentation and Screening / C. Rasmussen, P. Bacher, D. Cali, H. Nielsen, H. Madsen // Energies. 2020. Vol. 13. No. 15. P. 3866. DOI: 10.3390/en13153866
15. Yang Z. How does Building Occupancy Influence Energy Efficiency of HVAC Systems? / Z. Yang, B. Becerik-Gerber // Energy Procedia. 2016. Vol. 88. Pp. 775-780. DOI: 10.1016/j.egypro.2016.06.111
16. Yang Z. The coupled effects of personalized occupancy profile based HVAC schedules and room reassignment on building energy use / Z. Yang, B. Becerik-Gerber // Energy and Buildings. 2014. Vol. 78. Pp. 113-122. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.04.002
17. Yıldız Y. Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates / Y. Yıldız, Z. D. Arsan // Energy. 2011. Vol. 36. No. 7. Pp. 4287-4296. DOI: 10.1016/j.energy.2011.04.013

Artur R. ROMAزانOV¹
Irina G. ZAKHAROVA²

UDC 697.148

METHOD FOR STUDYING THE INFLUENCE OF THERMAL INERTIA ON THE ROOM TEMPERATURE

¹ Teaching Assistant,
Software Department,
University of Tyumen
a.r.romazanov@utmn.ru

² Cand. Sci. (Phys.-Math.), Professor,
Software Department,
University of Tyumen
i.g.zakharova@utmn.ru

Abstract

The efficiency of using thermal energy that is received from the central heating system to supply a building (a complex of interconnected rooms) is determined by the completeness of information available on the factors that affect the thermal regime. This article presents an approach that allows evaluating the significance for thermal management of such complex parameters as thermal inertia of a room and features of its use. The proposed methodology is based on the analysis of the dynamics of temperature changes in rooms, considering the standard characteristics that determine heat exchange, meteorological conditions, and the presence of people. The degree of the thermal inertia influence on a room is determined on the lag time, which is the time interval between a significant change in weather conditions or the supply of thermal energy and a change in the air temperature in the room. The initial data included the values of the temperature of the air and heating elements, that were obtained from the sensors located in a university building. The observation was conducted between 1 March and 19 April 2020 (measurement frequency — 10 minutes). The collected data consist of measurements gathered during room usage in different modes. Additionally,

Citation: Romazanov A. R., Zakharova I. G. 2021. "Method for studying the influence of thermal inertia on the room temperature". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 7, no. 2 (26), pp. 188-205.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-2-188-205

the presence of periods of complete shutdown of the heating system also affected the respective data. The module of the intelligent monitoring system for the thermal regime of the building was developed to perform data analysis. The module was implemented as a pipeline that sequentially performs the following operations: filtering and cleaning data; aggregation for specified periods; determination of the delay time. The results of the data analysis show the possibility of selecting groups of rooms that react to significant changes in external conditions and heating mode with a remarkable lag time. This confirms the importance of considering the thermal inertia for efficient heating control (intermittent operation). The results allow concluding that it is possible to build a classification model based on the thermal inertia parameter. These models will help in determining the most significant factors affecting the thermal regime of the room. In its turn, it allows producing recommendations for making decisions on heat supply management.

Keywords

Thermal regime, modeling, thermal inertia, information system, data analysis.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-2-188-205

REFERENCES

1. 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 [In Russian]
2. Kornienko S. V. 2012. "Comprehensive assessment of thermal protection of the building envelope enclosing structures". Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal: spetsializirovanny nauchnyy zhurnal, vol. 7, no. 33, pp. 43-49. [In Russian]
3. Krukovskiy P. G., Parkhomenko G. A., Tadya O. Yu., Metel M. A. 2009. "Identification of the parameters of the heat loss of a room by contactless temperature measurements". Promyshlennaya teplotekhnika, vol. 31, no. 3, pp. 69-76. [In Russian]
4. Krukovskiy P. G., Sklyarenko D. I., Tadya O. Yu., Metel M. A. 2013. "Determination of the parameters of heat loss of premises in a non-stationary thermal regime". Promyshlennaya teplotekhnika, vol. 35, no. 6, pp. 47-56. [In Russian]
5. Meteocenter. http://meteocenter.net/USTR_current.htm [In Russian]
6. An L., Horesh R., Chae Y., Lee Y. 2012. "Estimation of thermal parameters of buildings through inverse modeling and clustering for a portfolio of buildings". Proceedings of SimBuild, vol. 5, no. 1, pp. 295-305.
7. 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.
8. Dornelles K., Roriz M. 2004. "Thermal inertia, comfort and energy consumption in buildings: a case study in Sao Paulo state — Brazil". International Journal for Housing Science and Its Applications, vol. 28, no. 2, pp. 153-162.
9. Karlsson J., Wadsö L., Öberg M. 2013. "A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures". Energy and Buildings, vol. 60, pp. 146-151.

10. Korniyenko S. 2014. "Multifactorial forecast of thermal behavior in building envelope elements". *Magazine of Civil Engineering*, vol. 52, no. 8, pp. 25-37.
11. Martani C., Lee D., Robinson P., Britter R., Ratti C. 2012. "ENERNET: studying the dynamic relationship between building occupancy and energy consumption". *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 584-591.
12. Morbitzer C., Strachan P., Webster J., Spires B., Cafferty D. 2001. "Integration of building simulation into the design process of an architecture". *Seventh International IBPSA Conference*, pp. 697-704.
13. Pacheco R., Ordóñez J., Martínez G. 2012. "Energy efficient design of building: a review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 6, pp. 3559-3573.
14. Rasmussen C., Bacher P., Cali D., Nielsen H., Madsen H. 2020. "Method for scalable and automatised thermal building performance documentation and screening". *Energies*. 2020, vol. 13, no. 15, p. 3866.
15. Yang Z., Becerik-Gerber B. 2016. "How does building occupancy influence energy efficiency of HVAC systems?". *Energy Procedia*, vol. 88, pp. 775-780.
16. Yang Z., Becerik-Gerber B. 2014. "The coupled effects of personalized occupancy profile based HVAC schedules and room reassignment on building energy use". *Energy and Buildings*, vol. 78, pp. 113-122.
17. Yıldız Y., Arsan Z. D. 2011. "Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates". *Energy*, vol. 36, no. 7, pp. 4287-4296.