

АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ ЗДАНИЙ

Колосов М.В.¹, Липовка Ю.Л.², Шишкова Е.Е.³Сибирский федеральный университет,
Российская Федерация, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79,
¹mkoloso@sfu-kras.ru; ²YLipovka@sfu-kras.ru; ³EShishkova@sfu-kras.ru

Аннотация. Проблема энергоэффективности и грамотного использования энергетических ресурсов на теплоснабжение в зданиях и сооружениях на сегодняшний день актуальна и требует различные пути решения. Целью регулирования отпуска теплоты на сезонные нагрузки является поддержание комфортных условий микроклимата в помещениях при изменении на протяжении всего отопительного периода температуры наружного воздуха. Для пропорционального изменения тепловой нагрузки в зданиях и сооружениях используется качественный способ регулирования, который заключается в линейном изменении разницы температур относительно изменения температуры наружного воздуха. Одним из самых передовых и эффективных способов анализа энергопотребления и управления климатическим оборудованием является внедрение в работу данного оборудования компьютерных технологий и искусственного интеллекта. Для обоснования мероприятий по повышению энергоэффективности проводится сравнительный анализ параметров различных составляющих сети теплоснабжения. Определенное энергопотребление и установка необходимой температуры зависят от множества факторов, определяемых при проектировании и строительстве тепловых сетей, зданий и сооружений. В целях экономии потребляемой тепловой энергии зданием и улучшения гидравлических режимов внутренних систем отопления необходимо реконструировать индивидуальные тепловые пункты (ИТП) с установкой автоматического регулятора температуры воды в подающем трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха и регулятора температуры горячей водоснабжения. При высоких значениях температуры наружного воздуха среднее значение потребляемой тепловой энергии выше, чем должно быть, а при низких значениях, наоборот, ниже, что отрицательно сказывается на комфортных условиях микроклимата в помещениях при изменении температуры наружного воздуха. Среднее удельное тепловое потребление здания в весенний период значительно превышает среднее удельное тепловое потребление здания в осенний период.

Предмет исследования: функциональная зависимость между потребляемой тепловой энергией и температурой наружного воздуха.

Материалы и методы: для качественного анализа систем управления теплотреблением зданий в исследовании построены графики различных зависимостей, выведены необходимые уравнения регрессий и подробно описаны полученные результаты.

Результаты: Достоверность аппроксимации для построенных в результате линий тренда составляет 0.51. Для окончательных выводов оценено влияние данного слагаемого на весь тепловой баланс в целом с помощью модели тепловых потерь для помещения в выбранном здании, если его ограждения обращены в разные стороны света. В этом случае средняя достоверность аппроксимации для линий тренда составляет 0.91. Общая линейная зависимость будет иметь точность аппроксимации гораздо ниже.

Выводы: для обеспечения качественного управления теплотреблением зданий и, как следствие, поддержания комфортных условий микроклимата в помещениях при изменении на протяжении всего отопительного периода температуры наружного воздуха необходима разработка комплексных систем управления, включающих нелинейные многопараметрические зависимости значений параметров теплоносителя от различных условий окружающей среды.

Ключевые слова: теплотребление, энергоэффективность, тепловой пункт, теплогидравлический режим, автоматизированное управление, компьютерный мониторинг.

ВВЕДЕНИЕ

Регулирование подачи тепловой энергии потребителям является приоритетной задачей на пути достижения минимального, технически и экономически обоснованного уровня потребления тепловой энергии зданиями и сооружениями, что в свою очередь приводит к максимально эффективному расходованию первичных энергетических ресурсов. Основной целью регулирования отпуска теплоты на сезонные нагрузки является поддержание комфортных условий микроклимата в помещениях при изменении на протяжении всего отопительного периода температуры наружного воздуха. Сезонные нагрузки, к которым относится нагрузка на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха изменяются пропорционально изменению

температуры наружного воздуха, но остаются практически стабильными в течение суток. Для обеспечения пропорционального изменения тепловой нагрузки в зданиях и сооружениях используют качественный способ регулирования, который заключается в линейном изменении разницы температур относительно изменения температуры наружного воздуха.

Для реализации 40-процентного потенциала энергосбережения в зданиях должен решаться вопрос энергопотерь в сетях вентиляции, кондиционирования, холодоснабжения, отопления и водоснабжения. Экономически целесообразный потенциал энергосбережения со сроком окупаемости до 3-5 лет в энергопотреблении трубопроводных сетей составляет 30-50 % [1].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Одним из самых передовых и эффективных способов анализа энергопотребления и управления климатическим оборудованием является внедрение в работу данного оборудования компьютерных технологий и искусственного интеллекта. При моделировании, например, однофазных потоков в системах теплоснабжения моделируемый поток протекает в «закрытой системе», внешние стенки которой меняются в зависимости от конструктивных характеристик, теплоизоляционных материалов и прочих факторов. В связи с этим необходимо обозначить особенности использования математического аппарата: поскольку моделируемый процесс учитывает взаимодействие и с окружающей средой, и с процессами внутри системы, то однофазный поток будет относиться по сложности математических моделей к типу «система» [2]. Актуальна работа на базе алгоритмов математических моделей управления тепловым режимом помещения, что помогает достигнуть высоких показателей качества среды обитания при минимальных затратах энергии. [3]. С помощью компьютерного мониторинга режимов работы действующей тепловой сети проводится анализ структуры энергопотребления и решены задачи энергосбережения отапливаемых зданий, сравниваются показатели энергоэффективности реального объекта теплопотребления [4]. Разработка и реализация оптимальных алгоритмов управления процессами отопления и теплоснабжения решает проблему выбора температуры и расхода теплоносителя по критерию минимума затрат электрической энергии на перекачку и сокращения тепловых потерь при его движении по теплопроводам [5]. Рациональным и эффективным вариантом мониторинга процессов теплоснабжения является работа программных комплексов по управлению определенными процессами в тепловой сети. Программный комплекс автоматизирует процессы расчета энергобаланса жилищного сектора города для различных вариантов размещения, энергетического оснащения и присоединения к энергетическим сетям новых или реконструируемых зданий [6]. С помощью интеллектуальной системы управления теплопотреблением выполняются исследования инсоляционных процессов, например, в зимних климатических условиях Западной Сибири, представляются результаты моделирования динамики температуры воздуха в контрольных помещениях. В результате можно установить влияние энергии солнечного излучения на работу системы управления теплоснабжением [7]. Анализ устойчивости автоматических систем управления теплопотреблением зданий, подключённых к централизованной сети теплоснабжения, проводится для исследования влияния параметров автоматической системы управления с транспортным запаздыванием и интегрирующим регулятором на запас её устойчивости [9]. Обоснована важность характерного для объектов

теплоснабжения транспортного запаздывания при проектировании новых и анализе действующих автоматических систем управления теплопотреблением зданий [10]. Также используется математический аппарат для исследования возможности стабилизации температуры теплоносителя на выходе отопительного прибора при импульсном регулировании расхода теплоносителя [11]. Программа управления отопительного пункта здания на основе загружаемой математической модели элеваторного узла с контуром теплопотребления здания оперирует зависимостью от уличной температуры на основе реальных данных. Дополненная математическая модель водоструйного элеватора с отлаженной система управления дает возможность проверять различные критерии теплопотребления [12].

Для обоснования мероприятий по повышению энергоэффективности проводится сравнительный анализ параметров различных составляющих сети теплоснабжения. Современные подходы к управлению энергосбережением в строительстве обуславливают необходимость постоянного снижения удельного конечного потребления энергоресурсов. Для этого рассмотрены требования к зданиям и сооружениям в области энергоэффективности, проведена классификация энергоэффективных зданий и сооружений, исследованы особенности организации системы энергосбережения в жилищном секторе и рассмотрена схема установления базовых нормативов энергопотребления с учетом климатических условий и внедрения современных инженерно-технологических и конструктивных решений [14]. Анализ данных натурных обследований малоэтажных жилых зданий для разработки рекомендаций по повышению тепловой защиты и энергоактивности дает возможность рассмотреть способы определения тепловых потерь и сравнения найденных величин с требуемыми [15]. Корреляционный анализ проводится с целью выявления статистической связи между понижающим коэффициентом к удельным теплопоступлениям при безоблачном небе и географической широтой района строительства в пределах основной части территории РФ. Сведения по удельному тепловому потоку от солнечной радиации через вертикальные и горизонтальные светопрозрачные ограждения можно использовать для ориентировочного расчета удельной характеристики теплопоступлений в здание от солнечной радиации [16]. Для светопрозрачных ограждающих конструкций существуют критерии выбора энергосберегающего остекления на основе теплотехнических, энергетических и светотехнических параметров. Рассмотрен критерий выбора низкоэмиссионного остекления для оптимального соотношения трансмиссионных теплопотерь и теплопоступлений от солнечной радиации [17]. Быстрая оценка потенциала энергосбережения и возможной экономии

обеспечивает быстрое устранение недостатков и снижение коммунальных платежей и затрат на функционирование здания [18]. Энергетическую эффективность здания повышает геометрическая форма здания с определенной площадью вертикальных наружных ограждающих конструкций и уширение корпуса здания [19]. Для повышения информативности результата анализа работы теплопотребляющей установки рекомендована программа, включающая сбор и обработку данных с приборов учета в реальном времени, интерфейс для отображения результатов анализа на любой цифровой платформе [20]. Мероприятия по повышению энергетической эффективности зданий реализуются в комплексе, использование показателя «удельное энергопотребление» нецелесообразно, так как он отражает текущее потребление. В таком случае необходимо уравнение регрессии для расчета планируемого спроса на энергоресурсы и применения в процессе текущего энергоанализа и мониторинга энергорезультативности [21]. Анализ договорных нагрузок объектов теплопотребления, подключенных к одной из котельных, использует показания приборов учета тепловой энергии на абонентских вводах многоквартирных жилых домов для расчета коэффициента отношения расчетной тепловой нагрузки на отопление к договорной [22]. С помощью тепловизионной съемки возможно получить оценку потерь и установить места максимальных утечек тепла в холодное время года в тепловой сети. Комплексный подход корректирует полученные данные с показаниями приборов учета тепловой энергии, воды, тепловизионных снимков ограждающих конструкций [23]. Определение температуры внутреннего воздуха при построении замкнутых систем автоматического управления отоплением зданий основано на включении температуры обратной воды информации о температуре внутреннего воздуха. С помощью модели теплообмена по температуре обратной воды возможно оценить температуру внутреннего воздуха [24].

В целях экономии потребляемой тепловой энергии зданием и улучшения гидравлических режимов внутренних систем отопления необходимо реконструировать индивидуальные тепловые пункты (ИТП) с установкой автоматического регулятора температуры воды в подающем трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха и регулятора температуры горячего водоснабжения. Автоматизированный ИТП при наличии узла учета тепла экономит от 10% до 20% потребляемой тепловой энергии за счет погодного регулирования теплопотребления и достоверного учета потребляемой энергии без штрафных санкций за превышение температуры возвращаемой воды [25]. Программы энергосбережения предусматривают снижение теплопотребления подключенных зданий и потерь в сетях. Законодательством (ФЗ №417 от 07.12.2011) предусмотрен перевод всех систем теплоснабжения

РФ с открытой на закрытую схему с 01.01. 2022 г. [26]. В большинстве существующих индивидуальных тепловых пунктов отсутствует автоматическое регулирование отпуска тепла, что приводит к осенне-весеннему «перетопу» домов. С целью экономии энергоресурсов необходимы утепление ограждающих конструкций и реконструкция тепловых пунктов [27]. В условиях отношения к теплоснабжению как побочному извлечению прибыли при получении дополнительной электроэнергии на ТЭЦ за счёт использования встроенного пучка в конденсатор (дармового тепла) и более высокого КПД по температура воды в обратном контуре во всех сетях централизованного теплоснабжения от ТЭЦ превалирует над температурой в подающем контуре. Котельные не дают дополнительной прибыли.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для качественного анализа систем управления теплопотреблением зданий в исследовании построены графики различных зависимостей, выведены необходимые уравнения регрессий и подробно описаны полученные результаты. Для аппроксимации температурного графика контура отопления использован тепловой баланс теплообменного аппарата, построен график зависимости сезонной нагрузки от температуры наружного воздуха. Приведено сравнение показателей температуры подающего и обратного трубопроводов в сравнении с графиком температур. Произведено сравнение зависимости потребляемой тепловой энергии от температуры наружного воздуха с графиком температур системы отопления здания, применен первый закон термодинамики с предположением, что расход в системе отопления создается насосом с постоянными параметрами. Рассмотрено распределение потребленной тепловой энергии по месяцам года и построена зависимость суточной удельной тепловой энергии от месяца года. Построена зависимость значений суммарной солнечной радиации по месяцам и линейные зависимости линий тренда. Также построена зависимость значений суммарного теплового потребления помещения от температуры наружного воздуха с ограждением, обращенным по разные стороны света.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Для иллюстрации работы рассмотрим здание с системой отопления, присоединенной к тепловым сетям централизованного теплоснабжения по независимой схеме, представленной на рисунке ниже. Регулирование в данном случае происходит с погодной компенсацией температуры теплоносителя для одной системы отопления и ограничением по графику температуры теплоносителя, возвращаемого в тепловые сети централизованного теплоснабжения.

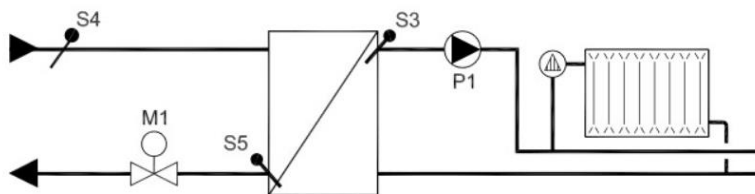


Рис. 1. Система отопления, присоединенная к тепловым сетям централизованного теплоснабжения по независимой схеме.

Fig. 1. A heating system connected to district heating heating networks according to an independent scheme.

Для аппроксимации температурного графика контура отопления воспользуемся тепловым балансом теплообменного аппарата и построим график зависимости сезонной нагрузки от температуры наружного воздуха. Потребляемая тепловая энергия для построения графика была

получена с прибора учета тепловой энергии в период с января 2016 по апрель 2021. График зависимости сезонной нагрузки от температуры наружного воздуха для среднесуточного за месяц теплового потребления в обозначенный период приведен ниже.

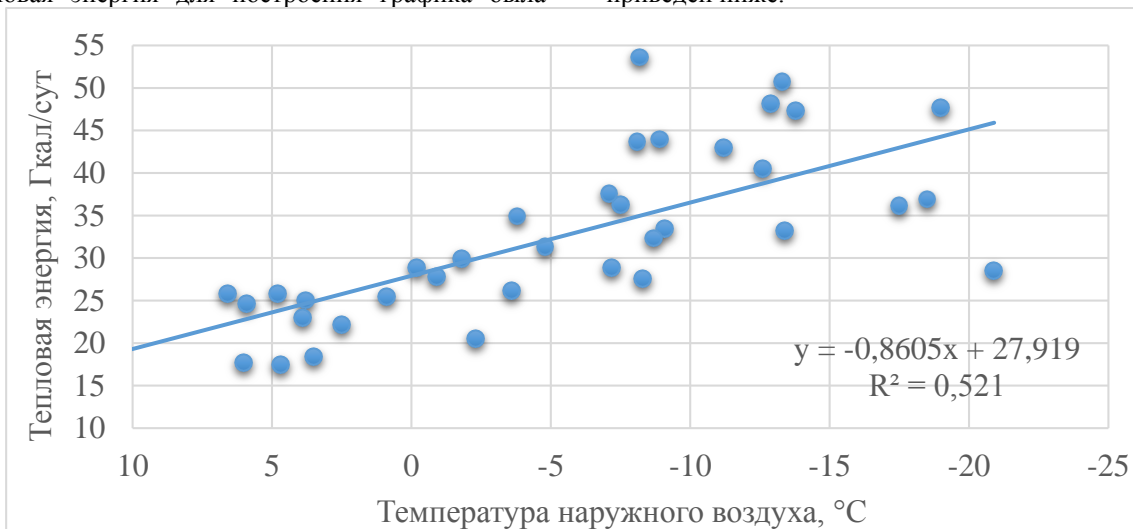


Рис. 2. Зависимость потребляемой тепловой энергии от температуры наружного воздуха.

Fig. 2. Dependence of the consumed thermal energy on the outdoor temperature.

На графике выше видно, что коэффициент детерминации для линейной аппроксимации говорит о слабой функциональной зависимости между потребляемой тепловой энергией и температурой наружного воздуха. Данный факт должен в первую очередь свидетельствовать о

несоблюдении режима регулирования. Для проверки данного утверждения произведем сравнение показателей температуры подающего и обратного трубопроводов в сравнении с графиком температур, которое приведено ниже.

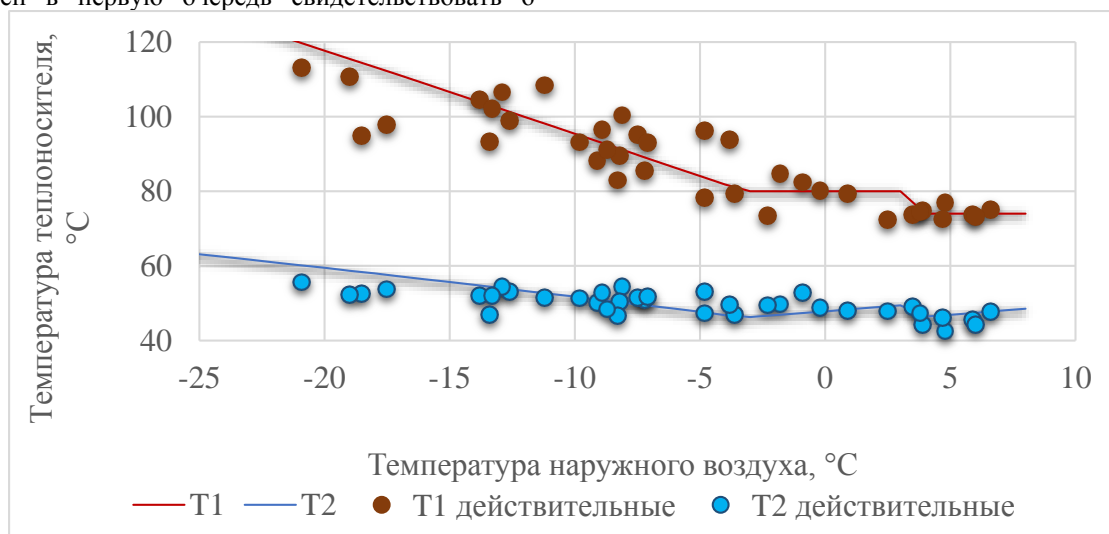


Рис. 3. Показатели температуры подающего и обратного трубопроводов в сравнении с графиком температур.

Fig. 3. Temperature indicators of the supply and return pipelines in comparison with the temperature graph.

Рассмотрим относительные отклонения действительных значений температур от графика температур обратной линии тепловой сети. Среднеарифметическое значение относительных отклонений действительных значений температур от графика температур обратной линии тепловой

сети составляет -0.318% , а дисперсия соответственно равна 0.00322 . Распределение относительных отклонений действительных значений температур от графика температур обратной линии тепловой сети представлена на рисунке ниже.

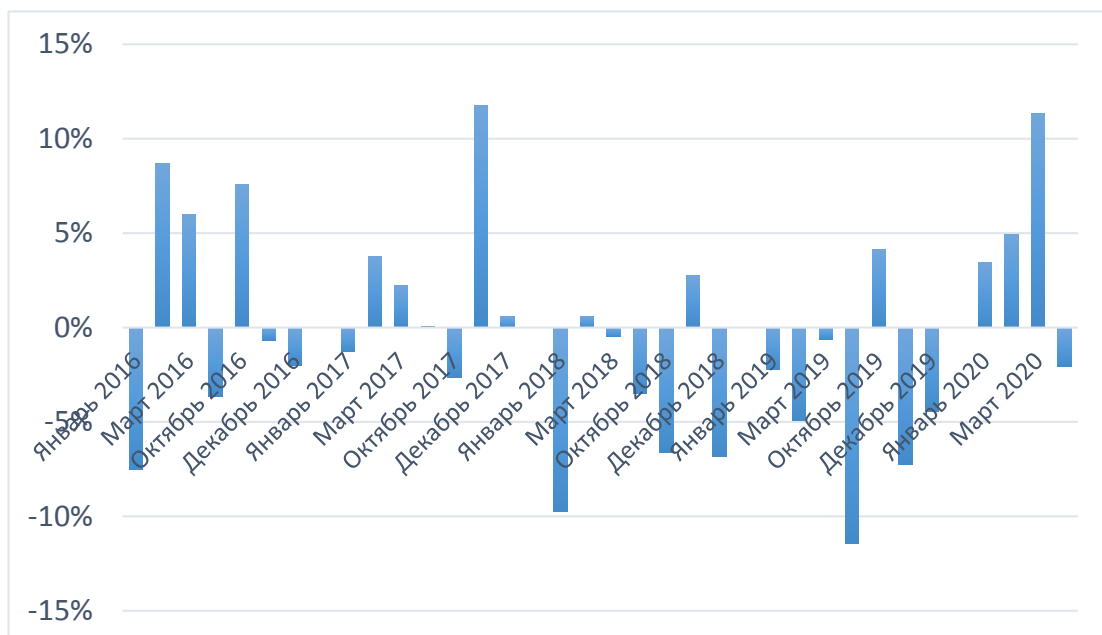


Рис. 4. Относительные отклонения действительных значений температур от графика температур обратной линии тепловой сети.

Fig. 4. Relative deviations of the actual temperature values from the temperature graph of the return line of the heat network.

Из этого можно сделать вывод, что система автоматического регулирования работает с большой погрешностью, среднее квадратичное отклонение составляет 5.68% , однако зависимость потребляемой тепловой энергии от температуры наружного воздуха имеет среднее квадратичное отклонение, равное 9.79 Гкал/сут. Сравним

зависимость потребляемой тепловой энергии от температуры наружного воздуха с графиком температур системы отопления здания, для этого воспользуемся первым законом термодинамики и предположим, что расход в системе отопления создается насосом с постоянными параметрами. Данное сравнение представлено на рисунке ниже.

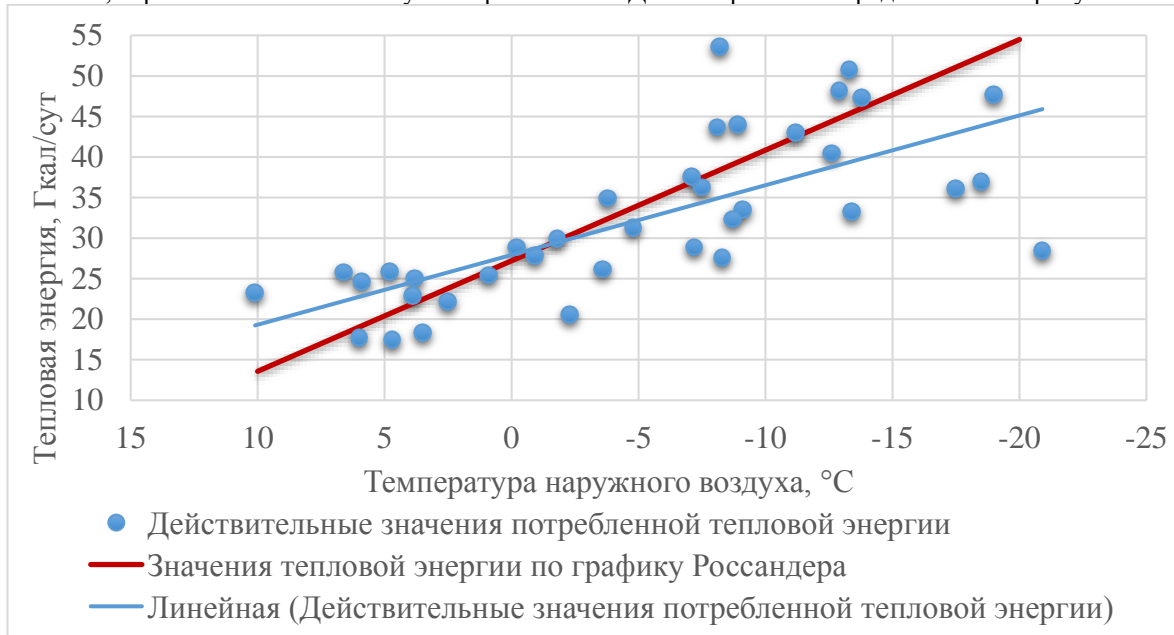


Рис. 5. Зависимость потребляемой тепловой энергии от температуры наружного воздуха в сравнении с графиком температур системы отопления здания.

Fig. 5. Dependence of the consumed thermal energy on the outdoor air temperature in comparison with the temperature graph of the building heating system.

Из рисунка видно, что при высоких значениях температуры наружного воздуха среднее значение потребляемой тепловой энергии выше, чем должно быть, а при низких значениях, наоборот, ниже, что отрицательно сказывается на комфортных условиях микроклимата в помещениях при изменении температуры наружного воздуха.

Следующим этапом рассмотрим распределение потребленной тепловой энергии по месяцам года.

Для равноправного сравнения месячной тепловой энергии введем понятие удельной суточной тепловой энергии, для этого значение месячной тепловой энергии разделим на количество дней в месяца и на разницу между нормативной температурой в помещении и температурой наружного воздуха. Зависимость суточной удельной тепловой энергии от месяца года представлена на рисунке ниже.

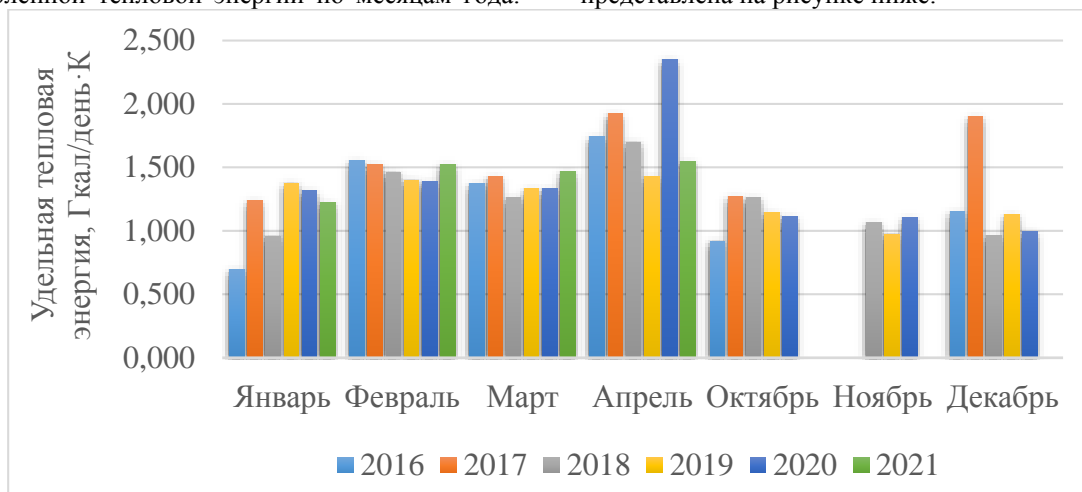


Рис. 6. Зависимость суточной удельной тепловой энергии от месяца года.
 Fig. 6. The dependence of the daily specific heat energy on the month of the year.

Из рисунка хорошо видно, что среднее удельное тепловое потребление здания в весенний период значительно превышает среднее удельное тепловое потребление здания в осенний период. Это демонстрирует тот факт, что поддержание температуры обратной линии не выше определенного значения не является достаточным условием для поддержания минимального уровня потребления тепловой энергии зданиями и сооружениями.

Для управления теплоснабжением системы теплоснабжения используется линейная зависимость тепловой нагрузки от температуры

наружного воздуха, что очень удобно при использовании систем автоматизированного управления построенного по технологиям прошлого века, однако современные системы управления способны обеспечивать установку заданных параметров при нелинейных многопараметрических задачах, и если рассматривать классическое уравнение теплового баланса, то одно из слагаемых, речь идет о значении суммарной солнечной радиации, зависит от температуры нелинейно. На рисунке ниже показана зависимость значений суммарной солнечной радиации по месяцам.

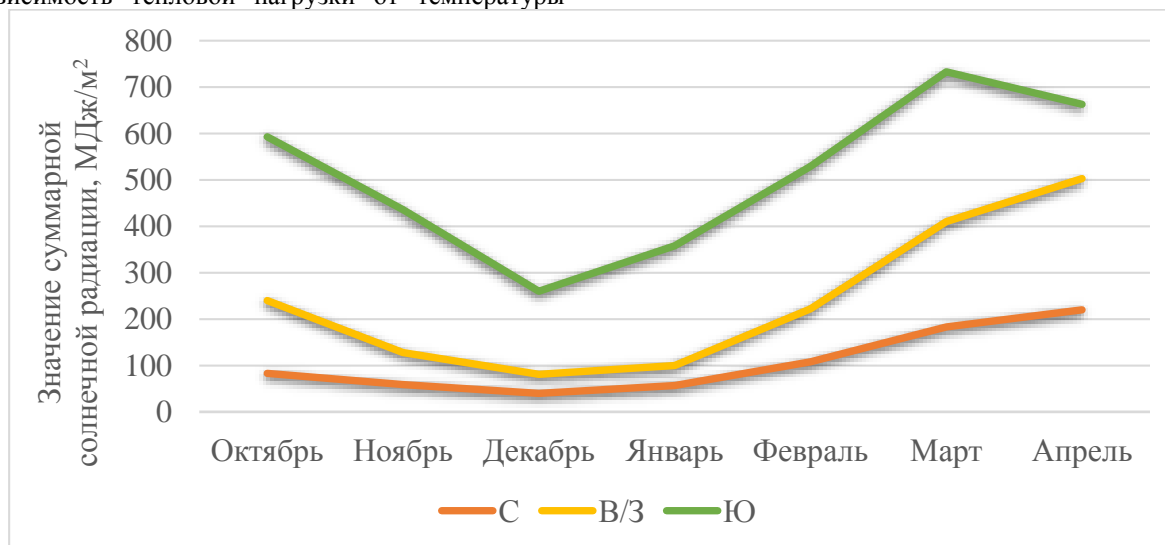


Рис. 7. Зависимость значений суммарной солнечной радиации по месяцам.
 Fig. 7. Dependence of the values of total solar radiation by month.

Данная величина зависит не только от времени года, но также и от ориентации поверхности, на которую приходится излучение, а вот от температуры наружного воздуха зависимость не явная. Необходимо связать значение суммарной солнечной радиации и температуру наружного воздуха. Для этого воспользуемся нормативными

значениями суммарной солнечной радиации по месяцам, а также действительными средними значениями температуры наружного воздуха для выбранного периода, что в общем случае будет представлять собой разброс температуры по месяцам, и построим линейные зависимости линий тренда, которые представлены на рисунке ниже.

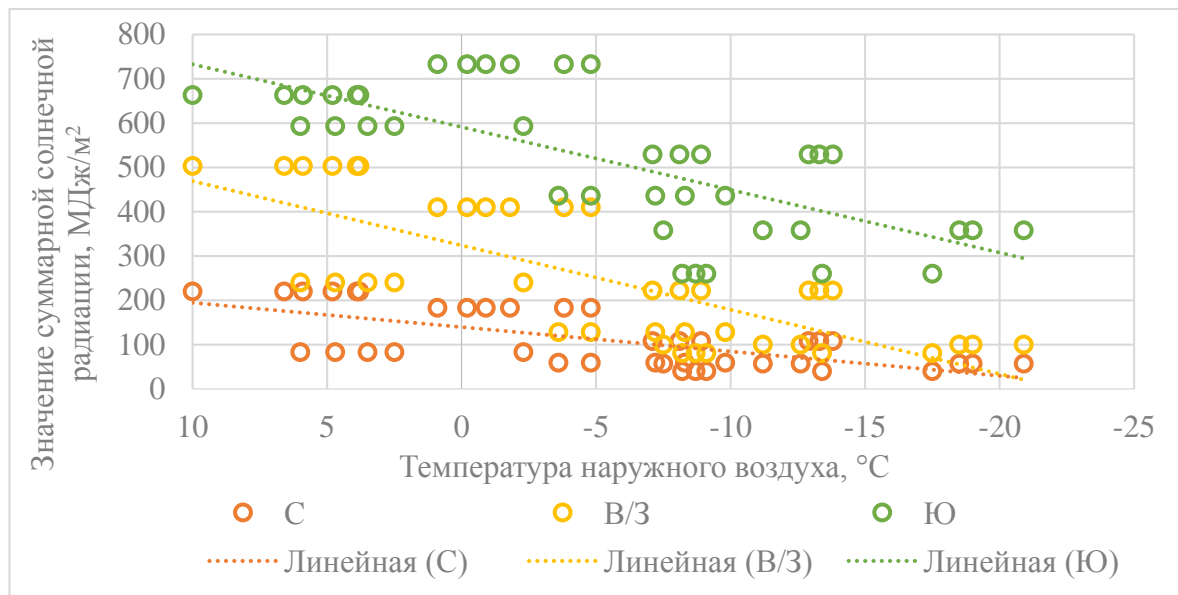


Рис. 8. Зависимость значений суммарной солнечной радиации от температуры наружного воздуха.
Fig. 8. Dependence of the values of total solar radiation on the outdoor temperature.

Достоверность аппроксимации для данных линий тренда составляет в среднем 0.51, что может свидетельствовать о недостаточной точности данной аппроксимации. Однако для окончательных выводов необходимо оценить влияние данного

слагаемого на весь тепловой баланс в целом, для этого смоделируем тепловые потери для помещения в выбранном здании, если его ограждения могут быть обращены в разные стороны света.

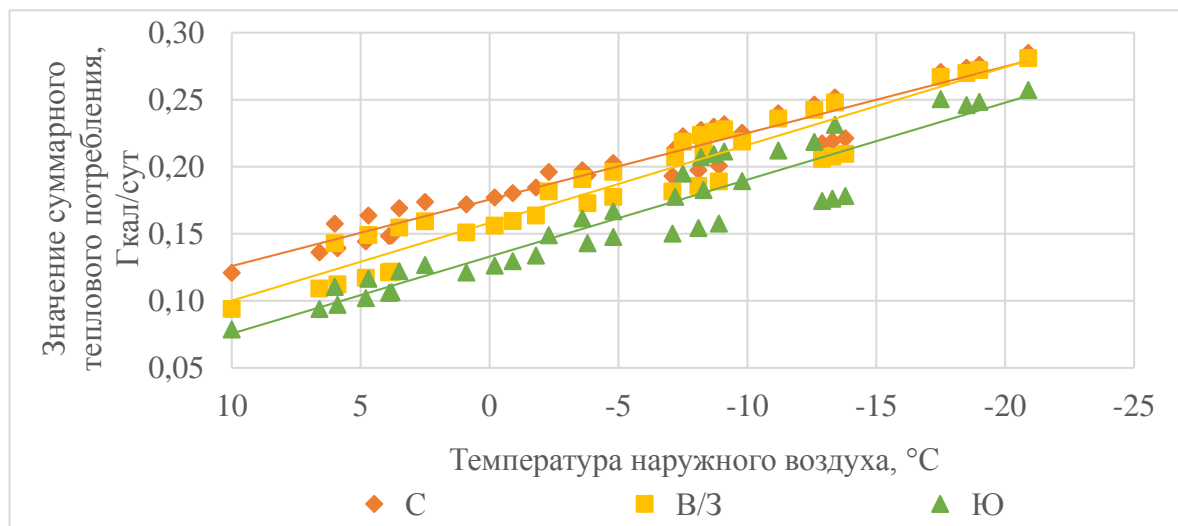


Рис. 9. Зависимость значений суммарного теплового потребления помещения от температуры наружного воздуха с ограждением, обращенным по разные стороны света.
Fig. 9. Dependence of the values of the total heat consumption of the room on the outdoor air temperature with a fence facing on different sides of the world.

В этом случае средняя достоверность аппроксимации для данных линий тренда составляет уже 0.91, при этом хочется обратить особое внимание на то, что это три разные линии, построенные для разных помещений, и значения

суммарного теплового потребления для этих случаев значительно отличаются, а общая линейная зависимость будет иметь точность аппроксимации гораздо ниже.

ВЫВОДЫ

Для обеспечения пропорционального изменения тепловой нагрузки в зданиях и сооружениях используют качественный способ регулирования, который заключается в линейном изменении разницы температур относительно изменения температуры наружного воздуха. Основываясь на данных из построенных зависимостей, можно сделать вывод, что для обеспечения качественного управления теплопотреблением зданий и, как следствие, поддержания комфортных условий микроклимата в помещениях при изменении на протяжении всего отопительного периода температуры наружного воздуха необходима разработка более комплексных систем управления, включающих нелинейные многопараметрические зависимости значений параметров теплоносителя от различных условий окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Наумов А.Л., Судьина О.С. Оптимизация проектирования и энергоэффективность трубопроводных сетей инженерных систем здания // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2021. № 4. С. 72-80.
- 2 Петров А.М., Попов А.Н. Разработка метода математического моделирования термодинамических процессов однофазных потоков наружных сетей теплоснабжения // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № 26(78). С. 59-64.
- 3 Миллер Ю.В., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Оценка потенциала энергосбережения при применении автоматизированной системы управления теплоэнергоснабжением и микроклиматом здания // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2018. № 6. С. 54-61.
- 4 Колосов М.В., Липовка Ю.Л. Использование компьютерного мониторинга энергоэффективности теплопотребления зданий // Энергосбережение и водоподготовка. 2021. № 1 (129). С. 30-38.
- 5 Панферов С.В., Панферов В.И. Оптимальное управление температурой и расходом теплоносителя в тепловых сетях при переменном КПД насосов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. Т. 21. № 2. С. 52-59.
- 6 Косяков С.В., Осипова С.А., Садыков А.М. Метод оценки влияния решений по выбору способов энергоснабжения зданий на энергобаланс города // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2019. № 5. С. 67-76.
- 7 Стрижак П.А., Морозов М.Н. Математическое моделирование теплового режима здания с учетом инсоляционных теплопоступлений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 8. С. 36-46.
- 8 Сковорода Б.Ф., Александров В.П., Александров А.В., Блинов О.В. Анализ устойчивости автоматической системы управления теплопотреблением здания с централизованным теплоснабжением при использовании интегрирующего регулятора // Энергетик. 2022. № 8. С. 27-29.
- 9 Сковорода Б.Ф., Александров В.П., Александров А.В., Блинов О.В. Аналитический метод оценки устойчивости автоматической системы управления теплопотреблением здания с централизованным теплоснабжением // Энергетик. 2022. № 6. С. 30-31.
- 10 Сковорода Б.Ф., Александров В.П., Александров А.В., Блинов О.В. Анализ закономерностей изменения температуры теплоносителя в отопительных приборах в условиях квазистационарного режима работы импульсной автоматической системы управления теплопотреблением здания с централизованным теплоснабжением // Энергетик. 2021. № 6. С. 31-34.
- 11 Олейников В.С., Бурячек И.Ю., Пересвет В.А., Курочкина В.С. Разработка программного обеспечения системы погодного управления тепловым пунктом на основе математической модели объекта управления // Modern Science. 2020. № 10-2. С. 518-524.
- 12 Shilin A.A., Bukreev V.G., Perevoshchikov F.V. Synthesis and implementation of λ -approach of slide control in heat-consumption system // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2022. Т. 22. № 3. С. 501-508.
- 13 Береговой А.М., Маризина Е.С. Повышение энергоэффективности малоэтажных жилых зданий // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2022. № 1 (14). С. 3-7.
- 14 Самарин О.Д. Влияние средних условий облачности на суммарные теплопоступления от солнечной радиации за отопительный период // Жилищное строительство. 2019. № 5. С. 8-10.
- 15 Гагарин В.Г., Коркина Е.В., Тюленев М.Д. Влияние противостоящих зданий на энергосбережение здания с низкоэмиссионным остеклением // Жилищное строительство. 2022. № 3. С. 30-35.
- 16 Бирюков С.В. Быстрый метод оценки потенциала энергосбережения в зданиях сельскохозяйственного назначения // Аграрный научный журнал. 2021. № 6. С. 68-70.
- 17 Семенова Э.Е., Мельников Е.Д., Пономарева Г.В. Анализ проектирования жилых зданий с учетом энергосбережения // Высокие технологии в строительном комплексе. 2018. № 1. С. 30-33.
- 18 Колосов М.В., Жуйков А.В., Чичерин С.В., Джунусова Л.Р. Анализ теплопотребления объектов бюджетной сферы // Промышленная энергетика. 2021. № 9. С. 34-41.
- 19 Терешкина Т.Р., Семенов А.С. Организационно-логистические факторы повышения энергоэффективности в сфере ЖКХ

Санкт-Петербурга // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2020. Т. 17. № 5. С. 20-27.

20 Горшков А.С., Кабанов М.С., Юферев Ю.В. Анализ тепловых нагрузок и удельного потребления тепловой энергии в многоквартирных домах // Теплоэнергетика. 2021. № 8. С. 72-80.

21 Гашо Е.Г., Сергеева К.Д., Перепелица Р.Р. Резервы тепловой оптимизации объектов НИУ "МЭИ" // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2021. № 5. С. 11-18.

22 Панферов С.В. О реализации канала обратной связи в системах автоматического управления отоплением зданий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Т. 19. № 4. С. 65-71.

23 Бодренко Е.В. Особенности внедрения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов // Вопросы устойчивого развития общества. 2020. № 2. С. 663-667.

24 Звонарева Ю.Н., Зверев О.И. Совершенствование систем теплоснабжения путем внедрения АИТП // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 1 (41). С. 10-18.

25 Ерёмкин А.И., Баканова С.В., Белов В.Е., Родионов Ю.В. Некоторые методы энергосбережения в системах отопления жилых многоквартирных зданий // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 2 (47). С. 137-144.

REFERENCES

1 Naumov A.L., Sudina O.S. Optimization of design and energy efficiency of pipeline networks of engineering systems of a building // AVOK: Ventilyaciya, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika. 2021. No. 4. Pp. 72-80. (In Russian)

2 Petrov A.M., Popov A.N. Development of a method for mathematical modeling of thermodynamic processes of single-phase flows of external heat supply networks // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. 2022. № 26(78). Pp. 59-64. (In Russian)

3 Miller Yu.V., Borodach M.M., Shilkin N.V. Assessment of the energy saving potential when using an automated control system for heat and energy consumption and microclimate of a building // AVOK: Ventilyaciya, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika. 2018. No. 6. Pp. 54-61. (In Russian)

4 Kolosov M.V., Lipovka Yu.L. The use of computer monitoring of energy efficiency of heat consumption of buildings // Energoberezhenie i vodopodgotovka. 2021. № 1 (129). Pp. 30-38. (In Russian)

5 Panferov S.V., Panferov V.I. Optimal control of temperature and coolant flow in heating networks with variable pump efficiency // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2021. Т. 21. № 2. Pp. 52-59. (In Russian)

6 Kosyakov S.V., Osipova S.A., Sadykov A.M. Method of assessing the impact of decisions on the choice of methods of energy supply of buildings on the energy balance of the city // Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta. 2019. № 5. Pp. 67-76. (In Russian)

7 Strizhak P.A., Morozov M.N. Mathematical modeling of the thermal regime of a building taking into account insolation heat // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2015. Т. 326. № 8. Pp. 36-46. (In Russian)

8 Skovoroda B.F., Alexandrov V.P., Alexandrov A.V., Blinov O.V. Stability analysis of the automatic heat management system of a building with centralized heat supply using an integrating regulator // Energetik. 2022. № 8. Pp. 27-29. (In Russian)

9 Skovoroda B.F., Alexandrov V.P., Alexandrov A.V., Blinov O.V. Analytical method for assessing the stability of an automatic heat management system of a building with centralized heat supply // Energetik. 2022. № 6. Pp. 30-31. (In Russian)

10 Skovoroda B.F., Alexandrov V.P., Alexandrov A.V., Blinov O.V. Analysis of the regularities of changes in the temperature of the coolant in heating devices in a quasi-stationary mode of operation of a pulsed automatic heat management system of a building with centralized heat supply // Energetik. 2021. № 6. Pp. 31-34. (In Russian)

11 Oleynikov V.S., Buryachek I.Yu., Peresvet V.A., Kurochkina V.S. Software development of a weather control system for a thermal point based on a mathematical model of a control object // Modern Science. 2020. № 10-2. Pp. 518-524. (In Russian)

12 Shilin A.A., Bukreev V.G., Perevoshchikov F.V. Synthesis and implementation of λ -approach of slide control in heat-consumption system // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. 2022. Т. 22. № 3. Pp. 501-508.

13 Beregovoy A.M., Marinina E.S. Improving the energy efficiency of low-rise residential buildings // Vestnik PGUAS: stroitel'stvo, nauka i obrazovanie. 2022. № 1 (14). Pp. 3-7. (In Russian)

14 Samarin O.D. Influence of average cloud cover conditions on total heat gain from solar radiation during the heating period // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2019. № 5. Pp. 8-10. (In Russian)

15 Gagarin V.G., Korkina E.V., Tyulenev M.D. The influence of opposing buildings on energy saving of buildings with low-emission glazing // ZHilishchnoe stroitel'stvo. 2022. № 3. Pp. 30-35. (In Russian)

16 Biryukov S.V. A fast method for assessing the potential of energy saving in agricultural buildings // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2021. № 6. Pp. 68-70. (In Russian)

17 Semenova E.E., Melnikov E.D., Ponomareva G.V. Analysis of the design of residential buildings taking into account energy saving // Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse. 2018. № 1. Pp. 30-33. (In Russian)

18 Kolosov M.V., Zhuikov A.V., Chicherin S.V., Dzhunusova L.R. Analysis of heat consumption of

public sector facilities // *Promyshlennaya energetika*. 2021. № 9. Pp. 34-41. (In Russian)

19 Tereshkina T.R., Semenov A.S. Organizational and logistical factors of energy efficiency improvement in the housing and utilities sector of St. Petersburg // *FES: Finansy. Ekonomika. Strategiya*. 2020. T. 17. № 5. Pp. 20-27. (In Russian)

20 Gorshkov A.S., Kabanov M.S., Yuferev Yu.V. Analysis of thermal loads and specific consumption of thermal energy in apartment buildings // *Teplenergetika*. 2021. № 8. Pp. 72-80. (In Russian)

21 Gasho E.G., Sergeeva K.D., Perepelitsa R.R. Reserves of thermal optimization of objects of NRU "MEI" // *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta. Vestnik MEI*. 2021. № 5. Pp. 11-18. (In Russian)

22 Panferov S.V. On the implementation of the feedback channel in automatic heating control systems

of buildings // *Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2019. T. 19. № 4. pp. 65-71. (In Russian)

23 Bodrenko E.V. Features of the introduction of automated individual heating points // *Voprosy ustojchivogo razvitiya obshchestva*. 2020. № 2. Pp. 663-667. (In Russian)

24 Zvonareva Yu.N., Zverev O.I. Improvement of heat supply systems through the introduction of AIHP // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2019. T. 11. № 1 (41). Pp. 10-18. (In Russian)

25 Eremkin A.I., Bakanova S.V., Belov V.E., Rodionov Yu.V. Some methods of energy saving in heating systems of residential apartment buildings // *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo*. 2021. № 2 (47). Pp. 137-144. (In Russian)

ANALYSIS OF BUILDING HEAT MANAGEMENT SYSTEMS

Kolosov M.V.¹, Lipovka Y.L.², Shishkova E.E.³

Siberian Federal University, 79 Svobodny Ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation,
¹mkolosov@sfu-kras.ru; ²YLipovka@sfu-kras.ru; ³EShishkova@sfu-kras.ru

Abstract. The problem of energy efficiency and the competent use of energy resources for heat supply in buildings and structures is relevant today and requires various solutions. The purpose of regulating the release of heat for seasonal loads is to maintain comfortable microclimate conditions in the premises when the outdoor temperature changes throughout the heating period. To proportionally change the heat load in buildings and structures, a qualitative method of regulation is used, which consists in a linear change in the temperature difference relative to the change in outdoor air temperature. One of the most advanced and effective ways to analyze energy consumption and control climate equipment is the introduction of computer technology and artificial intelligence into the operation of this equipment. To substantiate measures to improve energy efficiency, a comparative analysis of the parameters of various components of the heat supply network is carried out. A certain energy consumption and the setting of the required temperature depend on many factors determined during the design and construction of heating networks, buildings and structures. In order to save the thermal energy consumed by the building and improve the hydraulic modes of internal heating systems, it is necessary to reconstruct individual heating points (IHP) with the installation of an automatic water temperature controller in the supply pipeline depending on the outside air temperature and a hot water temperature controller. At high outdoor temperatures, the average value of the consumed thermal energy is higher than it should be, and at low values, on the contrary, it is lower, which negatively affects the comfortable microclimate conditions in the premises when the outdoor temperature changes. The average specific heat consumption of a building in the spring period significantly exceeds the average specific heat consumption of a building in the autumn period.

Subject of research: functional dependence between the consumed thermal energy and the outdoor air temperature.

Materials and methods: for qualitative analysis of building heat management systems, graphs of various dependencies were constructed in the study, the necessary regression equations were derived and the results obtained were described in detail.

Results: The accuracy of the approximation for the trend lines constructed as a result is 0.51. For final conclusions, the influence of this term on the entire heat balance as a whole is estimated using a heat loss model for a room in a selected building if its fences face different directions of the world. In this case, the average accuracy of the approximation for trend lines is 0.91. The overall linear dependence will have an approximation accuracy much lower.

Conclusions: to ensure high-quality management of heat consumption of buildings and, as a result, to maintain comfortable indoor microclimate conditions when the outdoor temperature changes throughout the heating period, it is necessary to develop integrated control systems that include nonlinear multiparametric dependences of the values of the coolant parameters on various environmental conditions.

Key words: heat consumption, energy efficiency, heat point, thermal hydraulic mode, automated control, computer monitoring.