

МЕТЕОПРОГНОСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Ю. В. Каперейко¹, А. О. Заречный², В. Г. Новосельцев³

¹ Магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, стажер младшего научного сотрудника УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: yulya.kapereyko@mail.ru

² Студент факультета электронно-информационных систем УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: adrian_zare@mail.ru

³ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: vgnovoseltsev@yandex.ru

Реферат

В данной статье представлены исследования по реализации метеопрогностического регулирования системами водяного отопления и эффективности данного подхода в сравнении с современными решениями погодозависимого управления параметрами систем водяного отопления.

Совершенствование данной технологии может достигаться при использовании прогностически достоверных метеоданных, во временной основе которых лежит принцип краткосрочной адаптации системы теплоснабжения. В качестве факторов влияния на теплопотери здания принята не только температура наружного воздуха, но и другие климатические условия окружающей среды.

Ключевые слова: система водяного отопления, метеопрогностическое регулирование, микроклимат помещений.

WEATHER FORECASTING CONTROL IN WATER HEATING SYSTEM

Y. V. Kapereyko, A. O. Zarechny, V. G. Novoseltsev

Abstract

This article presents research on the implementation of predictive regulation of water heating systems and the effectiveness of this approach in comparison with modern solutions for weather-dependent control of parameters of water heating systems.

The improvement of this technology can be achieved by using predictively reliable weather data, which is based on the principle of short-term adaptation of the heat supply system. Not only the temperature of the outside air, but also other climatic conditions of the environment are accepted as factors of influence on the heat loss of the building.

Keywords: water heating system, weather forecasting control, indoor microclimate.

Введение

В последние десятилетия развития способов проектирования различных инженерных систем ярко выражается необходимость рационализации процессов регулирования этих систем для установления экономически и энергетически обоснованных режимов работы.

Вопросами регулирования в энергоэффективном ключе занимались различные отечественные и зарубежные авторы [1–5]. Этот вопрос является одним из главных в теме экономии энергоресурсов и их эффективного использования.

В современных решениях погодозависимого управления параметрами систем водяного отопления реализован принцип использования фактической информации, получаемой напрямую со стороны датчиков наружной температуры [6]. Однако существуют и другие факторы, которые влияют на теплопотребление зданием энергии, причем эти факторы не учитываются ввиду их малой значимости и непостоянства воздействия. Однако для достижения экономичности использования энергоресурсов их следует учитывать. Целью исследования является изучение возможностей учета различных факторов влияния для энергоэффективного потребления, а так же целесообразности применения полученных результатов. Для этого предложена метеопрогностическая концепция регулирования параметрами системы отопления на основе получения предварительной информации со стороны метеоресурсов. Для этого необходимо использовать разработки интеллектуальных программ, которые будут выполнять функцию контроля и управления, сравнения рассчитанных и действительных тепловых характеристик различных элементов системы отопления, внесения корректировки в текущие графики тепловой нагрузки и способы воздействия на тепловые параметры системы.

Методологическая основа исследования

Методологическая основа исследования состояла из сбора данных, комплексного анализа и системного подхода в рамках метеопрогностической детерминации предиктивного управления системой отопления. Исследование проводилось посредством расчетов и моделирования на примере модели здания.

1 Анализ современных методов адаптивного регулирования систем водяного отопления и оценка внешних и внутренних факторов влияния на микроклимат помещения с выделением критериев зависимости

В пределах отопительного сезона колебания температуры наружного воздуха играют весомую роль в области эффективного теплопотребления [7]. Однако стоит учесть, что, помимо температуры наружного воздуха, существует другое множество факторов, которые влияют на микроклимат помещений. К внешним факторам относятся: скорость и направление ветра, увлажнение поверхностей ограждающих конструкции из-за осадков разного агрегатного состояния, облачность и интенсивность прямой и рассеянной радиации, барометрическое давление, влажность воздуха. К внутренним факторам можно отнести условия протекания технологического процесса внутри здания: теплоступления от людей, теплоступления от солнечной радиации, теплоступления от бытовых приборов, теплоступления от электроосвещения, теплопотери при эксфильтрации внутреннего воздуха, теплопотери при осуществлении вентиляции помещения.

Многие из этих факторов являются непостоянными и появление того или иного значения параметров обусловлено большим числом факторов и носит случайный характер. Поэтому для обобщения метеорологических и иных элементов или параметров используются положения теории вероятностей и методы математической статистики. Однако некоторые из вышеперечисленных факторов можно использовать в расчетах для отражения более приближенной к реальности картины теплообменных процессов ограждающих конструкций.

Изменение температуры является основным фактором при регулировании по нему параметров системы отопления. Применение погодозависимой автоматики приблизило параметры микроклимата помещений к наиболее комфортным, системы отопления стали более инерционными. Однако этот метод регулирования характеризуется таким понятием, как гистерезис элементов системы отопления, т. е. временем, за которое система достигнет требуемого состояния по

заданным критериям. Запаздывание системы может составлять трудности в создании комфортного микроклимата в помещениях зданий при динамично изменяющихся наружных параметрах климата.

Воздействие ветра обуславливается активным движением воздушных масс на поверхности ограждающих конструкций, что усиливает конвекцию и перенос тепла. Этот процесс описывается изменением коэффициента теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, который можно вычислить с помощью уже известных формул [8].

Влияние влажности на режим эксплуатации зданий является сложно оценимым фактором. Диффузия водяного пара наиболее существенна в отопительный период, а влажностный режим ограждений оказывает существенное влияние на теплозащитные характеристики. Установить общую математическую зависимость между теплопроводностью материала и его влажностью, одинаковую для всех строительных материалов, не представляется возможным, так как значительное влияние оказывают структура, форма и расположение пор материала, химико-минералогический состав, поэтому в расчетах используют данные лабораторных испытаний для двух условий эксплуатации (так называемые А и Б). В настоящее время отсутствует нормативный документ по методу определения зависимости коэффициента теплопроводности от влажности конструкций. Исследования сводятся к выявлению эмпирических зависимостей теплопроводности материалов от их влажности [9]. Однако применение этих данных затруднено ввиду большой громоздкости вычислений.

Наружные ограждения по-разному передают тепловые потоки от коротковолновой солнечной радиации. В массивных ограждениях происходит поглощение тепла солнечной радиации поверхностью. Нагретая поверхность возвращает частично тепло в наружную среду, а частично передает через толщу ограждения внутрь помещения. Часть теплоты, которая аккумулируется ограждающими конструкциями, также является важным слагаемым при вычислении общих тепловых потерь здания [10].

Таким образом, факторы влияния на микроклимат помещения можно учесть, но некоторые из них будут являться лишь приближенной к реальности величиной [11].

Согласно СН 4.02.03-2019 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» тепловые потери через ограждающие конструкции рассчитываются с использованием сопротивления теплопередаче

ограждающей конструкции, расчетной температуры воздуха в помещении и расчетной температуры наружного воздуха. С помощью дополнительных вводных коэффициентов (добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции в долях от основных потерь) значение теплоты корректируется и является укрупненным показателем.

Однако при эксплуатации системы отопления тепловые потери могут составлять большие или меньшие значения, чем вычисленные по установленной методике расчета [12]. Все это влияет на потребление зданиями тепловой энергии и может привести к её перерасходу. В данной работе в качестве временного параметра будет использоваться отопительный период.

2 Сущность концепции метеопрогностического регулирования и расчет ее энергоэффективности на примере модели здания

В целях энергосбережения предложена концепция метеопрогностического регулирования. Она заключается в использовании информации о погодных условиях не через внешние температурные датчики (так называемая погодозависимая автоматика [6]), а при помощи прогнозных метеоданных, получаемых непосредственно для конкретной географической точки расположения здания через определенный промежуток времени.

Для корректировки расчетных мгновенных теплотерь здания будут использоваться такие факторы, как температура наружного воздуха, ветровое воздействие и инерционность здания, гистерезис элементов системы отопления.

Для расчета была выбрана модель двухэтажного индивидуального жилого дома с уже запроектированной системой водяного отопления теплым полом и радиаторами (рисунок 1). Расчеты по влиянию ветровой нагрузки на тепловые потери помещения включают в себя: учет наветренной, подветренной и боковой сторон здания по отношению к текущему направлению ветра; изменение скорости ветра на разных высотах по отношению к зданию (1 и 2 этаж); совместное действие ветровой нагрузки и изменяющейся температуры на тепловые характеристики ограждающих конструкций. За основу были взяты метеорологические данные за отопительный период 15.10.2021-15.04.2022 [13]. Сбор метеоданных осуществлялся в рамках следующих географических координат (г. Брест, Республика Беларусь): 52.083354, 23.772257. Таким образом, обеспечивается календарная полнота охвата отопительного периода.

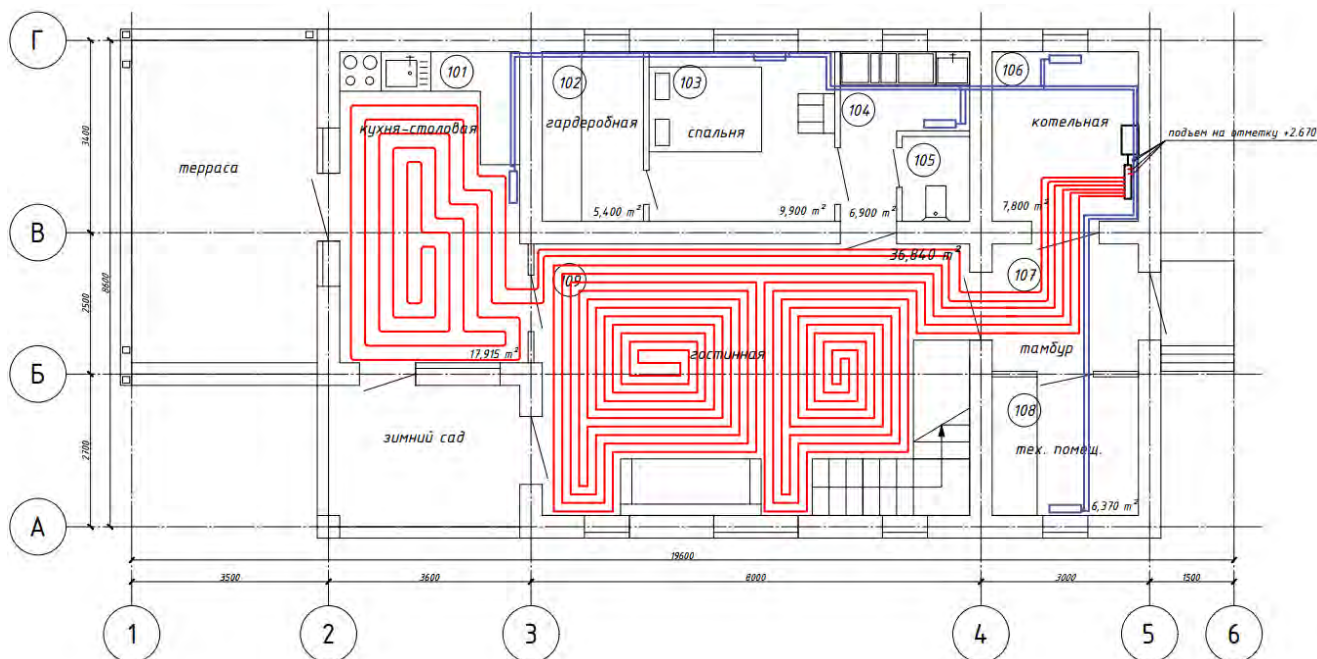


Рисунок 1 – План первого этажа индивидуального жилого дома с нанесением элементов запроектированной системы водяного отопления

После проведения расчетов на основе массива данных, предоставленного ресурсом [13], было выявлено, что в течение отопительного периода с 15.10.2021 по 15.04.2022 здание теряет 21,8 кВт тепла под воздействием ветра. Мгновенные потери теплоты при сравнении

расчетов с учетом действия ветра и без учета действия ветра на теплотери здания практически не отличаются – максимальная разница между такими характеристиками составила 10,43 Вт.

Теплоотдача отопительного прибора должна зависеть от теплопотерь данного помещения в данный период времени. В соответствии с метеопрогностической концепцией, необходимо заблаговременно определить предполагаемые теплопотери помещения и предварительно установить необходимые температуру и расход через отопительный прибор. Для этого необходимо знать, через какое время Δt отопительный прибор перейдет с теплоотдачи Q_1 на теплоотдачу Q_2 .

Для моделирования ситуации симулируем конкретные условия задачи. Например, на начальный этап времени теплопотери помещения 205 составляют $Q_1 = 101,4$ Вт. Спустя 3 часа тепловые потери помещения будут составлять $Q_2 = 108,2$ Вт. Какое время требуется отопительному прибору для изменения теплового потока с Q_1 на Q_2 ? Какие температуры в подающем и обратном трубопроводе должны быть, если расход остается неизменным $G = 34,17$ кг/ч. Поддерживаемая температура в помещении 20 °С. Какой расход необходимо установить на отопительный прибор, если температуры в подающем и обратном трубопроводе останутся неизменными (80/60)?

Размеры установленного отопительного прибора: 7 секций, каждая мощностью $Q_{np} = 180,23$ Вт при температурном напоре 70 °С. Вес одной секции $1,49$ кг. Объем воды $0,37$ л.

Для вычисления изменившегося расхода необходимо использовать формулу

$$G = 0,86 \cdot Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 / (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где Q_{np} – тепловая нагрузка прибора, Вт;

G – расход теплоносителя, кг/ч;

β_1 и β_2 – коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины и коэффициент учета дополнительных потерь теплоты приборами у наружных ограждений соответственно;

t_1 и t_2 – температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе соответственно.

Таким образом получим:

$$G_1 = 0,86 \cdot 101,4 \cdot 1,04 \cdot 1,02 / (80 - 60) = 4,63 \text{ кг/ч};$$

$$G_2 = 0,86 \cdot 108,2 \cdot 1,04 \cdot 1,02 / (80 - 60) = 4,94 \text{ кг/ч}.$$

Для вычисления изменившейся температуры при постоянном расходе необходимо задаться минимальной температурой в обратном трубопроводе. Примем ее равной $t_2 = 35$ °С. Тогда температуру теплоносителя в подающем трубопроводе t_1 вычислим по формуле

$$t_1 = (0,86 \cdot Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2) / G + t_2. \quad (2)$$

Пусть t_1' и t_1'' – температуры теплоносителя подающего трубопровода при постоянном расходе с требуемой тепловой нагрузкой на отопительный прибор $101,4$ Вт и $108,2$ Вт соответственно.

$$t_1' = (0,86 \cdot 101,4 \cdot 1,04 \cdot 1,02) / 34,17 + 35 = 37,707 \text{ °};$$

$$t_1'' = (0,86 \cdot 108,2 \cdot 1,04 \cdot 1,02) / 34,17 + 35 = 37,889 \text{ °}.$$

Как видим, разница слишком мала, поэтому данный способ регулирования может подойти только вместе с корреляцией расхода и температуры, а не только температуры.

Таким образом, при изменяющемся расходе можно достичь комфортного регулирования параметрами системы водяного отопления. Однако ввиду наличия инерционности здания и системы отопления в целом можно принять, что время, которое необходимо системе для плавного регулирования, равняется трём часам, что приблизительно соответствует реальным значениям, известным из практики эксплуатации систем водяного отопления. Тогда будем считать, что время запаздывания системы отопления со стандартной погодозависимой автоматикой составляет три часа, а в концепции метеопрогностического регулирования это время сглажено и при идеальных условиях полностью компенсирует тепловые потери в текущий момент времени. Так же стоит задаться среднестатистической погрешностью метеорологического прогноза для конкретной точки приложения в размере 4 %. Таким образом, можно построить график зависимости теплопотерь от времени на основании предыдущих расчетов для той и другой ситуации.

График зависимости влияния ветровой нагрузки на тепловые потери здания за отопительный период представлен на рисунке 2.

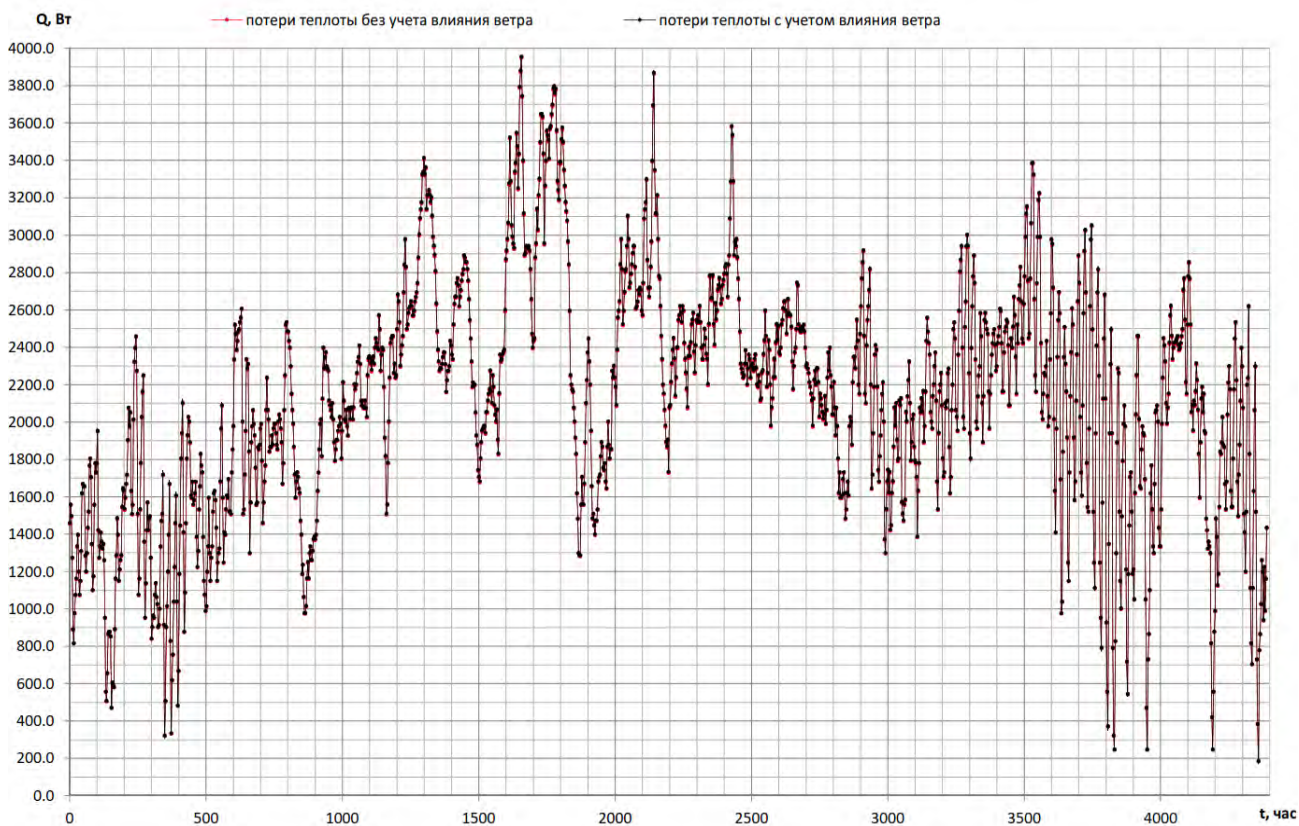


Рисунок 2 – График изменения потерь теплоты зданием с учетом ветрового воздействия и изменяющейся температуры, и изменения потерь теплоты зданием без учета ветрового воздействия, но с учетом изменяющейся температуры

График отклонения тепловых потерь с учетом запаздывания системы отопления в сравнении с теоретическим регулированием па-

раметрами теплоносителя по метеопрогностической концепции представлены на рисунке 3.

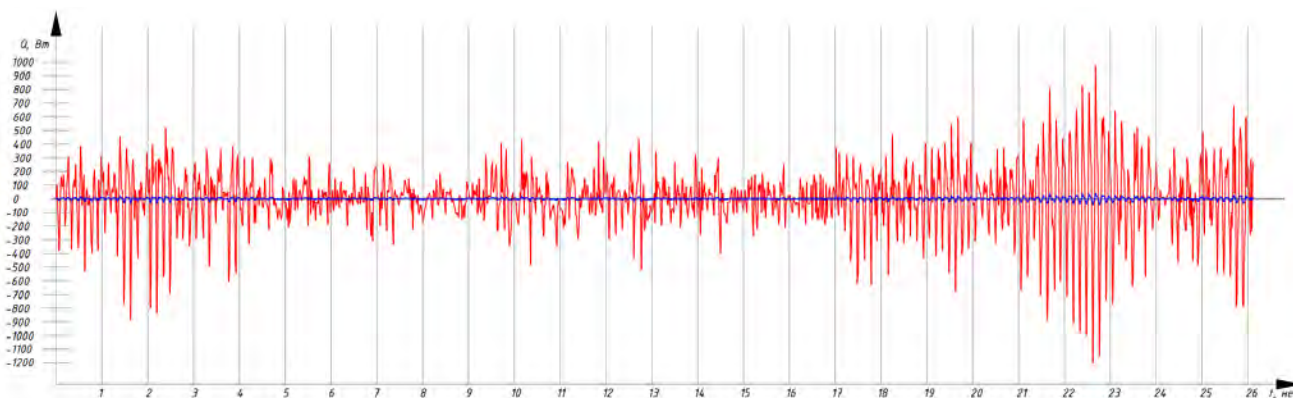


Рисунок 3 – График отклонения тепловых потерь с учетом запаздывания системы отопления в сравнении с теоретическим регулированием параметрами теплоносителя по метеопрогностической концепции

Красной линией обозначена динамика отклонения тепловых потерь от требуемых при регулировании погодозависимой автоматикой, синей линией – динамика отклонения тепловых потерь от требуемых при регулировании по метеорологическому прогнозу (с учетом погрешности прогноза 4 %).

Как видим, отклонение от требуемой компенсации тепловых потерь при применении погодозависимой автоматики значительно выше, чем при использовании метеопрогностического подхода.

Для наиболее экономически и энергетически обоснованных режимов работы систем отопления необходимо создавать такие методы управления этими системами, которые бы учитывали воздействие ветра на тепловые потери зданий через ограждающие конструкции.

Ввиду вышеприведенных исследований возникает необходимость создания такого программного обеспечения, которое бы компенсировало все выявленные недостатки. Разработка данного программного комплекса является реализуемой задачей.

3 Анализ затрат и рентабельности системы метеопрогностического регулирования

Энергосберегающая система водяного отопления с метеопрогностическим регулированием представляет собой инновационное решение, направленное на повышение эффективности систем отопления. Данная система базируется на использовании современных технологий управления и мониторинга, а также интеграции данных о погодных условиях для оптимизации работы отопительного оборудования. Применение метеопрогностического регулирования позволяет учесть изменчивость погодных условий и адаптировать работу системы отопления, что способствует снижению энергопотребления и повышению комфортности обслуживания.

Основными компонентами данной системы являются: датчики температуры, установленные в помещениях и наружной среде для сбора данных о текущем климатическом состоянии; система автоматизированного управления, способная адаптировать работу отопительного оборудования в реальном времени на основе полученной информации.

Система водяного отопления с метеопрогностическим регулированием представляет собой перспективное направление в области современных технологий отопления, способное эффективно реагировать на вызовы современного мира в области энергоснабжения и окружающей среды. Ее внедрение и развитие являются важным шагом на пути к созданию устойчивых и энергоэффективных систем отопления для жилых и коммерческих объектов.

Прежде чем переходить к широкому внедрению таких систем, необходимо провести анализ их затрат и рентабельности.

Оценка затрат включает в себя не только стоимость приобретения и установки необходимого оборудования, такого как датчики температуры и системы управления, но и расходы на разработку и

внедрение программного обеспечения для сбора, анализа и использования погодных данных. Кроме того, необходимо учитывать операционные расходы, связанные с обслуживанием и поддержанием работоспособности системы.

Сравнительный анализ затрат традиционных систем отопления и системы метеопрогностического регулирования позволяет определить экономическую целесообразность перехода на новый подход. Несмотря на то, что начальные затраты на внедрение системы с метеопрогностическим регулированием могут быть выше, чем у традиционных систем, долгосрочные экономические выгоды могут оказаться значительными. Это связано с тем, что оптимизация работы отопительного оборудования в зависимости от прогнозируемых погодных условий позволяет снизить расходы на энергию и операционные издержки.

Кроме того, важно учитывать экологические выгоды использования системы метеопрогностического регулирования. Снижение расходов на энергию влечет за собой уменьшение выбросов парниковых газов и других вредных веществ, что способствует улучшению качества окружающей среды и снижению негативного воздействия на климат.

Оценка рентабельности системы метеопрогностического регулирования должна учитывать как экономические, так и экологические показатели. Эффективность системы может быть определена по сокращению операционных расходов и снижению затрат на энергию в сравнении с традиционными системами отопления. При этом необходимо также учитывать степень воздействия системы на окружающую среду и ее соответствие современным стандартам и требованиям экологической безопасности.

4 Использование искусственного интеллекта в рамках данной задачи

Искусственный интеллект играет ключевую роль в разработке и реализации системы метеопрогностического регулирования. Он позволяет обрабатывать и анализировать данные о погоде и энергопотреблении, выявлять закономерности и оптимизировать работу отопительных систем в реальном времени.

Применение искусственного интеллекта в рамках данной задачи позволяет создать систему, способную адаптироваться к изменяющимся погодным условиям и реагировать на них максимально эффективно. Например, на основе анализа прогнозов погоды система может автоматически регулировать температурные режимы в помещениях, оптимизируя энергопотребление и обеспечивая комфорт для пользователей.

Применение искусственного интеллекта также позволяет создать систему, способную адаптироваться к индивидуальным потребностям и предпочтениям пользователей. Например, система может учитывать предпочтения по температурному режиму в различных помещениях и автоматически регулировать его в соответствии с этими предпочтениями.

На сегодняшний день существует множество различных архитектур нейронных сетей, предназначенных для различных задач от классификации и сегментации данных до экспертных систем, медицинской диагностики и автономных устройств.

Основная цель состоит в том, чтобы на основе имеющихся данных, таких как текущие и прогнозируемые метеоданные, при помощи нейронной сети получать управляющий сигнал для нагревателя. Это позволит поддерживать установленный комфортный уровень температуры в помещении и делать это наиболее эффективным способом, без перерасхода энергоресурсов на нагрев помещения.

От выбора правильной архитектуры нейронной сети зависит, насколько хорошо сеть будет обучаться и работать в дальнейшем [14]. Еще в 1960-х годах американские ученые установили, что многослойный перцептрон с нелинейной функцией активации может являться универсальным аппроксиматором и производить любое отображение входных векторов в выходные. Однако на тот момент не было разработано эффективных алгоритмов обучения многослойных сетей. В 1986 году все же был предложен алгоритм обратного распространения ошибки независимо тремя учеными: Джеффри Хинтоном, Дэвидом Румельхартом и Рональдом Вильямсом. Таким образом, за счет своей универсальности и применимости в рамках данного исследования был выбран многослойный перцептрон в качестве управляющего модуля.

Для эффективного функционирования нейронной сети необходимо обучить ее на некоторых данных. Размер обучающей выборки непосредственно связан с выбранной архитектурой. Так, если привести нейронную сеть к системе уравнений, то основываясь на правиле Крамера, если количество уравнений равняется количеству неизвестных, то существует единственное решение. Если же уравнений больше, чем неизвестных, то может либо существовать бесконечное множество решений, либо решений может не быть вовсе. В случае же нейронных сетей из-за того, что сеть обучается до какой-то определенной степени погрешности, можно утверждать, что решение будет существовать в любом случае, причем не единственное.

Исходя из этих условий, составляется обучающая выборка, причем составляется следующим образом: 70 % выборки используется для обучения сети и 30 % используется для валидации. Так, для входных данных были выбраны следующие параметры: текущая температура на улице, температура на улице через три часа, влажность на улице, скорость ветра, площадь тепловых потерь, текущая температура воздуха в комнате, мощность нагревателя и ожидаемая температура воздуха в помещении. Параметр площади тепловых потерь характеризуется, как именно направление ветра будет влиять на тепловые потери наружных стен. Так, исходя из наблюдений, установлено, что если направление ветра сонаправлено с направлением наружной стены, то потеря тепла будет максимальной. Исходя из этого, данный параметр рассчитывается как произведение площади наружной стены и скалярного произведения вектора направления ветра и вектора продольной оси стены. На выходе данной нейронной сети ожидается значение из диапазона [0, 1], характеризующее степень теплоотдачи нагревателем максимальной мощности. Данное значение можно использовать, например, как управляющий сигнал для клапана, установленного на нагревателе.

Исходя из вышеприведенной информации, была спроектирована следующая архитектура нейронной сети:

Входной слой $n = 8$ нейронов.

Первый скрытый слой $m = 30$ нейронов с функцией активации гиперболический тангенс.

Выходной слой $k = 1$ с функцией активации сигмоида.

Исходя из выше представленной архитектуры, рассчитаем количество настраиваемых параметров: весов W и смещений T

$$W=8 \cdot 30+30 \cdot 1=270.$$

$$T=30+1=31.$$

Итого получили, что общее число настраиваемых параметров равняется 301 и размер обучающей выборки должен быть не менее 430 образов. Так как нейронная сеть в процессе обучения «запоминает» исходные данные, то для обучения была подготовлена выборка из 860 образов.

Для обучения, на данный момент, существует множество различных алгоритмов. Как наиболее популярный и эффективный был выбран алгоритм адаптивной оценки момента Adam. Значение скорости обучения было выбрано 0.03 на основе наблюдений эффективности обучения. В качестве целевой функции оптимизации была выбрана среднеквадратическая ошибка. Обучение продолжалось до момента, пока ошибка не станет менее чем $5 \cdot 10^{-5}$, что позволяет утверждать, что обученная система в среднем дает точность управления 1 %.

Заключение

Данная работа отражает значительный прогресс в области применения искусственного интеллекта для повышения энергоэффективности и комфортности жилых и коммерческих помещений. Искусственный интеллект в этой системе играет ключевую роль, обрабатывая данные о погоде и энергопотреблении, а также выявляя закономерности и оптимизируя работу отопительных систем в реальном времени.

Архитектура нейронной сети, выбранная для этой системы, основывается на многослойном перцептроне. Такой выбор обусловлен гибкостью данной архитектуры и её способностью адаптироваться к сложным взаимосвязям между входными и выходными данными. Для обучения нейронной сети была подготовлена обучающая выборка из 860 образов, что обеспечило достаточное качество обучения. В процессе обучения применялся алгоритм адаптивной оценки момента Adam с выбранной скоростью обучения и использованием среднеквадратической ошибки как целевой функции оптимизации.

Полученная после обучения система достигла уровня точности управления на уровне 1 %, что гарантирует эффективное и энергоэффективное функционирование отопительной системы. Такой результат позволяет системе адаптироваться к изменяющимся погодным условиям и индивидуальным предпочтениям пользователей, обеспечивая комфортные условия в помещении при минимальном потреблении энергоресурсов.

Таким образом, разработанная система представляет собой важный шаг в направлении улучшения энергоэффективности и комфортности зданий, а также внедрения инновационных решений в области управления отоплением. Её использование может значительно снизить затраты на энергию и содействовать экологической устойчивости, что делает её важным вкладом в область современных технологий и устойчивого развития.

Исследование выполнялось в рамках гранта БРФФИ.

Список цитированных источников

- Северянин, В. С. Метеопрогностическое регулирование температурного режима помещений автоматизированными системами отопления / В. С. Северянин, К. О. Мешик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 2. – С. 74–77.
- Новосельцев, В. Г. Изучение эффективности методов балансировки систем водяного отопления / В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2021. – № 16. – С. 94–98.
- Navaseltsau, U. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply / U. Navaseltsau, D. Navaseltsava, M. Shenogin // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering (MPCPE 2020). – 2020. – № 896. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.
- Новосельцев, В. Г. Исследование эксплуатационного энергопотребления в энергоэффективных жилых домах / В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, 21 марта 2019 г. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2019. – С. 35–37.
- Новосельцев, В. Г. Исследование работы систем отопления и горячего водоснабжения энергоэффективных жилых домов Брестской области / В. Г. Новосельцев, Д. В. Новосельцева, И. А. Черников // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2016. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, геоэкология. – С. 98–102.

6. Кувшинов, Ю. Я. Энергосбережение в системе обеспечения микроклимата зданий / Ю. Я. Кувшинов. – М. : Издательство АСВ, 2010. – 320 с.
7. Куприянов, В. М. Влияние влаги на теплопроводность стеновых материалов. Состояние вопроса / В. Н. Куприянов, А. М. Юзмухаметов, И. Ш. Сафин // Известия КГАСУ. – 2017. – № 1. – С. 102–110.
8. Хрусталёв, Б. М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование: учебное пособие / Б. М. Хрусталёв. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 784 с.
9. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03-2019. – М. : Стройтехнорм, 2019. – 73 с.
10. Архив погоды в городе Бресте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru>. – Дата доступа: 16.04.2022.
11. Тепло- и массообмен : учебное пособие для вузов по строительным, энергетическим и машиностроительным специальностям : в 2 ч. / Б. М. Хрусталев [и др.] ; под общ. ред. А. П. Несенчука. – Минск : БНТУ, 2007. – Ч. 1. – 607 с.
12. Сканави, А. Н. Отопление : учебник для вузов / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М. : Издательство АСВ, 2008. – 576 с.
13. Покотилов, В. В. Системы водяного отопления / В. В. Покотилов. – Вена, 2008. – 159 с.
14. Головки, В. А. Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие / В. А. Головки, В. В. Краснопрошин. – Минск : БГУ, 2017. – 263 с.
4. Novosel'cev, V. G. Issledovanie ekspluatatsionnogo energopotrebleniya v energoeffektivnykh zhilykh domakh / V. G. Novosel'cev, D. V. Novosel'ceva // Problemy energeticheskoy effektivnosti v razlichnykh otraslyakh : materialy nauchnogo seminara, Brest, 21 marta 2019 g. – Brest : RUPE «Brestenergo», 2019. – S. 35–37.
5. Novosel'cev, V. G. Issledovanie raboty sistem otopeniya i goryachego vodosnabzheniya energoeffektivnykh zhilykh domov Brestskoy oblasti / V. G. Novosel'cev, D. V. Novosel'ceva, I. A. Chernikov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2016. – № 2 : Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo, teploenergetika, geoekologiya. – С. 98–102.
6. Kuvshinov, YU. YA. Energoberezhenie v sisteme obespecheniya mikroklimate zdaniy / YU. YA. Kuvshinov. – М. : Izdatel'stvo ASV, 2010. – 320 s.
7. Kupriyanov, V. M. Vliyaniye vlagi na teploprovodnost' stenovykh materialov. Sostoyaniye voprosa / V. N. Kupriyanov, A. M. Yuzmuhametov, I. Sh. Safin // Izvestiya KGASU. – 2017. – № 1. – S. 102–110.
8. Hrustal'yov, B. M. Teplosnabzheniye i ventilyatsiya. Kursovoye i diplomnoye proektirovaniye: uchebnoye posobie / B. M. Hrustal'yov. – М. : Izdatel'stvo ASV, 2008. – 784 s.
9. Otopleniye, ventilyatsiya i konditsionirovaniye vozduha : SN 4.02.03-2019. – М. : Strojtekhnorm, 2019. – 73 s.
10. Arhiv pogody v gorode Breste [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.pogodaiklimat.ru>. – Data dostupa: 16.04.2022.
11. Teplo- i massoobmen : uchebnoye posobie dlya vuzov po stroitel'nym, energeticheskim i mashinostroitel'nym special'nostyam : v 2 ch. / B. M. Hrustal'ev [i dr.] ; pod obshch. red. A. P. Nesenchuka. – Minsk : BNTU, 2007. – CH. 1. – 607 s.
12. Skanavi, A. N. Otopleniye : uchebnyk dlya vuzov / A. N. Skanavi, L. M. Mahov. – М. : Izdatel'stvo ASV, 2008. – 576 s.
13. Pokotilov, V. V. Sistemy vodyanogo otopeniya / V. V. Pokotilov. – Vena, 2008. – 159 s.
14. Golovko, V. A. Nejrosetevyye tekhnologii obrabotki dannykh : ucheb. posobie / V. A. Golovko, V. V. Krasnoproshin. – Minsk : BGU, 2017. – 263 s.

References

1. Severyanin, V. S. Meteoroprognozticheskoye regulirovaniye temperaturnogo rezhima pomeshcheniy avtomatizirovannymi sistemami otopeniya / V. S. Severyanin, K. O. Meshik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2019. – № 2. – S. 74–77.
2. Novosel'cev, V. G. Izucheniye effektivnosti metodov balansirovki sistem vodyanogo otopeniya / V. G. Novosel'cev, D. V. Novosel'ceva // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. – 2021. – № 16. – S. 94–98.
3. Navaseltsau, U. Energy efficiency of multi-apartment residential houses with individual heat supply / U. Navaseltsau, D. Navaseltlava, M. Shenogin // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering (MPCPE 2020). – 2020. – № 896. – <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012057>.
14. Головки, В. А. Нейросетевые технологии обработки данных : учеб. пособие / В. А. Головки, В. В. Краснопрошин. – Минск : БГУ, 2017. – 263 с.

Материал поступил 14.03.2024, одобрен 20.03.2024, принят к публикации 20.03.2024