

ИССЛЕДОВАНИЕ КАСКАДНОГО РЕГУЛЯТОРА ОДНОКОНТУРНОЙ ЗАВИСИМОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Р.С. Долгих, Dolgichpc@mail.ru

Р.В. Горбунов, rom4264@yandex.ru

Г.А. Палкин, Pala88@yandex.ru

М.В. Лягоцкий, maxim7003@gmail.com

А.А. Иванова, ivanova_na05@mail.ru

Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

Аннотация. В статье рассматривается система управления одноконтурной зависимой системой отопления здания, обеспечивающая экономию энергетических ресурсов. Предложена имитационная модель системы управления в программе Siemens Logo!Soft Comfort, учитывающая прямую связь по температуре наружного воздуха и обратную связь по температуре в отапливаемых помещениях. С помощью имитационной модели получены графики регулирования температуры теплоносителя системы отопления при различных внешних и внутренних воздействиях на систему управления.

Ключевые слова: система отопления, каскадный регулятор, интеллектуальный контроллер, ПИ регулятор.

Благодарности: Исследование финансировано Забайкальским государственным университетом по программе «Приоритет 2030. Дальний Восток» в рамках научной работы № НП-2.

Введение

Необходимость повышения энергоэффективности зданий и сооружений обусловлено стремлением стран мира достичь цели устойчивого развития «Обеспечение доступа к недорогостоящим, надёжным, устойчивым и современным источникам энергии для всех» в части решения задачи 7.3 «Удвоение глобального показателя повышения энергоэффективности». В России наиболее высокий потенциал повышения энергоэффективности существует в сфере теплоснабжения и в других отраслях жилищно-коммунального хозяйства [1]. Одним из ключевых аспектов достижения поставленных целей является обеспечение энергосбережения на объектах конечных потребителей, что может быть достигнуто путем комплексной автоматизации систем отопления промышленных и гражданских объектов.

Кроме того, повсеместное внедрение экономичных систем в секторе жилищно-коммунального хозяйства, может привести к улучшению экологической обстановки регионов Российской Федерации с высоким уровнем угольной генерации тепла и электроэнергии, что в свою очередь является важной задачей для обеспечения стабильного развития экономики и социальной сферы.

Актуальность

Введенные в 2017 году в России требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений предписывают установку оборудования, обеспечивающего в том числе автоматическое регулирование потребления тепловой энергии в зависимости от изменения температуры наружного воздуха в системе внутреннего теплоснабжения для проектируемых многоквартирных домов и для административных и общественных зданий при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте [2]. Существующие фундаментальные методы и технические средства решения данной проблемы не обладают достаточным уровнем точности поддержания технологического параметра (температуры воздуха внутри помещений), ввиду отсутствия возможности контроля температуры воздуха в разных точках помещения и фасада зданий, что значительно повышает неоправданные затраты энергии, и, соответственно, природных ресурсов, используемых в традиционной энергетике

В связи с поставленными задачами научное сообщество активно занимается исследованиями в области энергоэффективности объектов теплоэнергетики, в том числе ученые занимаются поиском способов снижения потерь энергоресурсов при эксплуатации зданий и сооружений различного назначения, рассматривая в качестве объектов исследования энергосистему здания в целом, отдельные компоненты этой системы и процессы, которые в них протекают. [3-12]. Проанализированные решения обычно представляют собой управляющие алгоритмы и аппаратные контроллеры, ориентирующиеся на показание одного датчика температуры наружного воздуха с последующим вычислением уставки температуры теплоносителя по отопительному графику или с использованием прогнозирующих алгоритмов с возможной коррекцией по точечной температуре внутри помещения. В последние десятилетия активно применяются различные искусственные нейронные сети. Прогностические возможности нейросетевых компонентов хорошо подходят для построения температурных графиков помещений на основе прогноза температуры окружающей среды, решения задач оптимизации расхода тепловой энергии за счет опережающего прогнозирования тепловой инерции здания. Тем не менее большинство решений обладает достаточно низкой точностью поддержания требуемой температуры воздуха в большинстве помещений отапливаемого здания путем централизованного управления, что ухудшает показатели

микроклимата помещений и увеличивает неоправданные затраты энергоресурсов. Решение данной проблемы является актуальной задачей.

Методы исследования

В Забайкальском государственном университете реализуется проект по разработке контроллера управления тепловым пунктом с одноконтурной зависимой системой отопления зданием. Проект предназначен для решения проблемы снижения неоправданных затрат природных ресурсов и избыточного загрязнения окружающей среды при организации централизованного теплоснабжения промышленных и гражданских объектов. Решать данную проблему предполагается путем создания интеллектуального адаптивного контроллера управления системой отопления, реализующего оптимальный метод поддержания требуемой температуры воздуха в помещениях. В рамках этого проекта предложен авторский алгоритм регулирования, который был реализован в виде модели регулятора в программе Siemens Logo!Soft Comfort.

Схема регулятора приведена на рисунке 1. Регулятор представляет из себя модифицированный каскад из пропорционально-интегральных (ПИ) регуляторов отличающийся тем, что ведущая часть каскада состоит из двух ПИ регуляторов, действующих разнонаправленно. Выходные сигналы этих регуляторов с помощью вычислителя формируют корректирующее значение уставки ведомого ПИ регулятора.

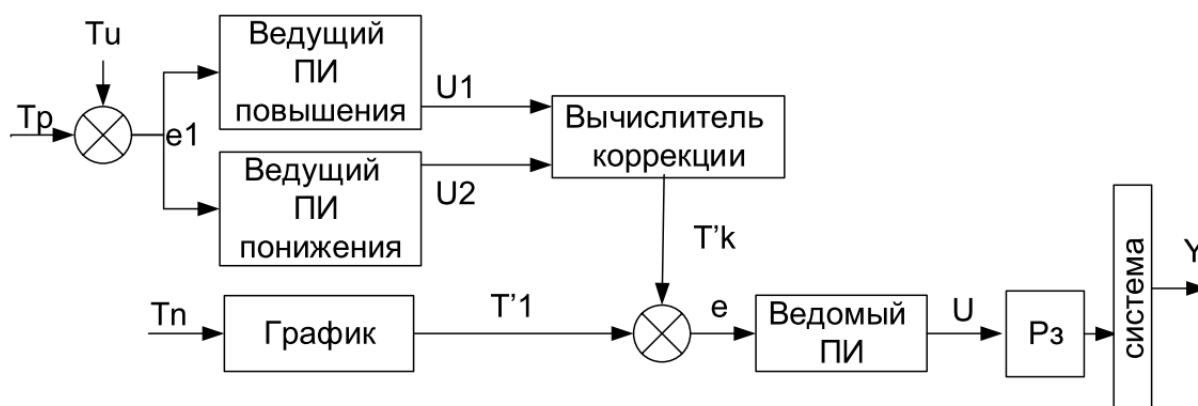


Рис. 1. Схема регулятора

Предлагаемый регулятор получает в качестве аналоговых входов два входных значения: T_r – значение температуры с датчика расположенного в помещении и T_n – значение температуры с датчика наружного воздуха, расположенного на внешнем фасаде здания. Значение T_r носит определяющий характер, выполняет функцию обратной связи и является основным регулируемым параметром. Пользователь задает комфортную температуру помещения посредством уставки T_u . Разница между T_u и T_r определяет работу

Ведущих ПИ регуляторов. При этом, если T_r сильно меньше T_u , то регулирующее воздействие U_1 будет определяющим, примет значение больше нуля, а U_2 станет равной нулю. Если T_r сильно больше T_u , то регулирующее воздействие U_2 будет определяющим, примет значение больше нуля, а U_1 станет равной нулю. Сигналы U_1 и U_2 лежат в диапазоне от 0 до 1000. Когда сигналы T_r и T_u приблизятся друг к другу, определяющим будет тот сигнал, значение которого по модулю выше. Схема вычислителя коррекции получает на вход сигналы U_1 и U_2 , производит вычисление корректирующей уставки T^k для ведомого ПИ регулятора по формуле:

$$T^k = T^1 + U_1 - U_2 \quad (1)$$

где T^1 – температура теплоносителя в соответствии с графиком регулирования.

При этом если U_1 имеет определяющее значение, то число T^k будет больше T^1 , а если U_2 , то меньше T^1 . Диапазон значений T^k от 0 до 1000.

Экспериментальные исследования

Для оценки работы имитационной модели системы управления контроллера в программе Logo!Soft Comfort были смоделированы различные температуры наружного воздуха (-6, -16, -26, -36 °С), в соответствии с рисунками 2 - 5. В процессе моделирования отслеживалось влияние на температуру теплоносителя в прямом трубопроводе (подача) системы отопления при достижении в помещении заданной температуры, определяемой уставкой 23 °С. При этом начальная температура в помещении была смоделирована на уровне 20 °С.

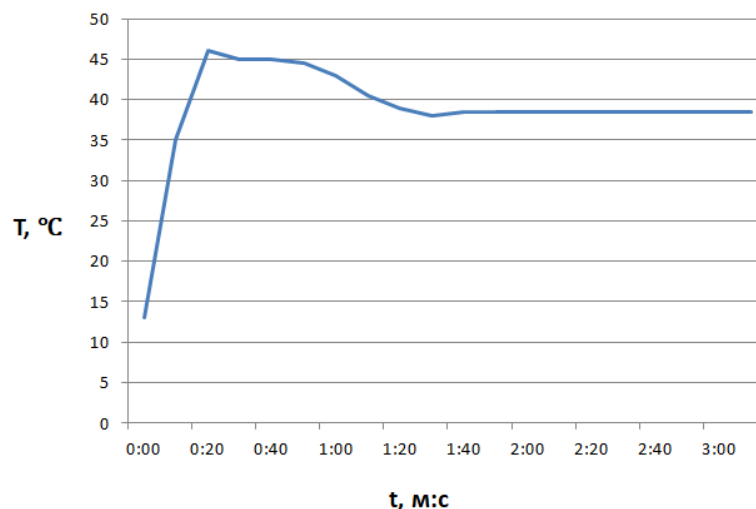


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителя при наружной температуре -6 °С и начальной температуре в помещении 20 °С

Температура теплоносителя в равновесном состоянии составила 38,5 градуса. Время установления равновесного состояния 1 минута 50 секунд. Перерегулирование составило 7,5 °С. Параметры графиков, изображенных на рисунках 2-5 сведены в таблицу 1.

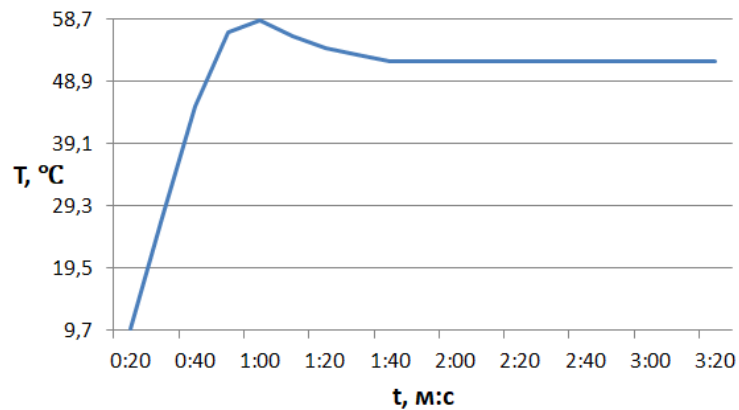


Рис. 3. Изменение температуры теплоносителя при наружной температуре -16 °С и начальной температуре в помещении 20 °С

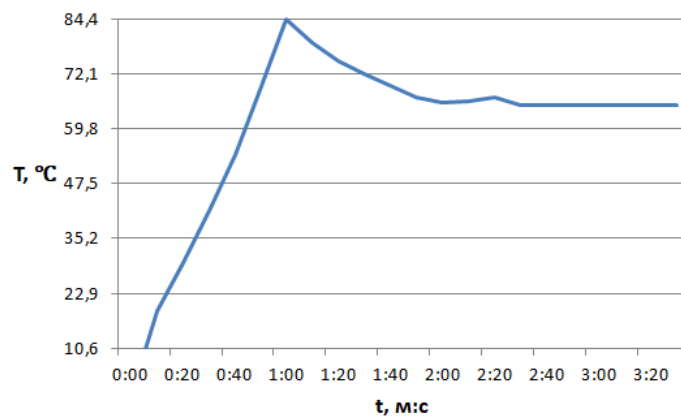


Рис. 4. Изменение температуры теплоносителя при наружной температуре -26 °С и начальной температуре в помещении 20 °С

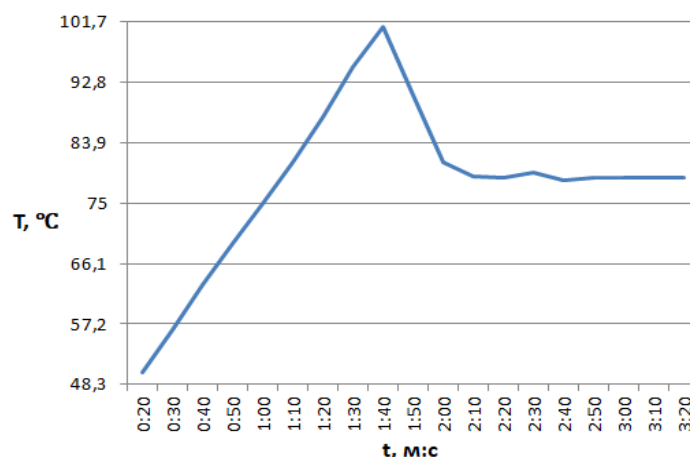


Рис. 5. Изменение температуры теплоносителя при наружной температуре $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ и начальной температуре в помещении $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблица 1

Параметры модели при изменении температуры наружного воздуха

№ опыта	T наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$	T теплоносителя в равновесном состоянии, $^{\circ}\text{C}$	T перерегулирования, $^{\circ}\text{C}$	t время равновесного состояния, м:с
1	-6	38,5	7,5	1:50
2	-16	52	20,2	1:50
3	-26	65,1	19,3	2:40
4	-36	78,7	23	3:00

Обсуждение результатов и выводы

Разработанная интеллектуальная система управления отоплением для эффективного управления тепловым пунктом с одноконтурной зависимой системой отопления здания, позволяет снизить затраты природных ресурсов и минимизировать загрязнения окружающей среды в условиях централизованного теплоснабжения промышленных и гражданских объектов.

Структура регулятора представляет собой каскад из пропорционально-интегральных (ПИ) регуляторов, отличающихся взаимодействием двух ПИ регуляторов, действующих разнонаправленно.

Входными значениями для регулятора являются температура в помещении (T_p) и температура наружного воздуха (T_n). Основываясь на этих значениях, регулятор формирует управляющее воздействие, оптимально регулируя задвижку в отопительной системе и поддерживая требуемую температуру воздуха в помещении.

В рамках экспериментальных исследований произведены эксперименты с использованием имитационной модели в программе Siemens Logo!Soft Comfort, оценивающие работу системы управления при различных условиях.