

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ СОСТОЯНИЕМ ЗДАНИЙ

Аннотация Рассмотрены основные особенности решения задачи управления тепловым состоянием отапливаемых зданий. Приведены основные результаты, в которых обосновывается постановка задачи управления, математическая модель и структура системы управления.

Ключевые слова: теплоснабжение зданий, математическая модель, комбинированная система управления, программное управление.

Эффективность процесса теплоснабжения зданий естественно оценивать двумя критериями: качеством, т.е. стабильностью поддержания комфортной температуры помещений, и энергетическими затратами. Существующая в большинстве населенных пунктов централизованная система теплоснабжения не ориентирована на оптимизацию ни одного из указанных критериев. Это обусловлено тем, что генерирующая организация осуществляет качественное управление отпуском тепла путем изменения температуры теплоносителя по фиксированному закону (температурному графику), однозначно связывающему температуры теплоносителя и окружающей среды. Кроме того, здания, входящие в отапливаемый район, могут существенно различаться по конструкции и строительным материалам, а также по назначению. Это приводит к тому, что при фиксированной температуре теплоносителя температуры помещений отапливаемых зданий могут существенно отличаться от комфортных в ту или другую сторону.

Эффективным путем решения проблемы комфортного и экономичного теплоснабжения является широкое внедрение автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП), обеспечивающих количественное управление тепловой мощностью, подводимой к каждому конкретному зданию, путем изменения расхода теплоносителя в системе отопления. Использование АИТП позволяет решить задачу поддержания комфортных условий в отапливаемых помещениях при различных возмущениях погодных условий, а также задачу программного управления тепловым режимом офисных и производственных помещений в рабочее и ночное время. Ниже будут проанализированы основные особенности постановки и решения задачи управления тепловым состоянием зданий с АИТП.

Отапливаемое здание, как объект управления, представляет собой сложную систему, характеризующуюся большим количеством взаимосвязанных элементов: фрагментов внешнего ограждения, внутренних перегородок, полезного наполнения здания, внутреннего воздуха, остекления и т.д. Большинство элементов здания представляет собой распределенные системы, математическими моделями которых являются дифференциальные уравнения в частных производных. Несмотря на то, что такие математические модели предельно адекватны реальным тепловым процессам, их применение для решения задач синтеза систем управления крайне затруднительно, поскольку методы современной теории управления в основном ориентированы на управление процессами в объектах с сосредоточенными параметрами. Таким образом, первым аспектом при решении задачи управления теплоснабжением здания является редукция бесконечномерной динамической системы до конечномерной с минимально допустимой размерностью. Оказалось, что даже одномерное представление динамических свойств многослойного ограждения, позволяет с достаточной для практики степенью точности моделировать процессы теплопередачи через элементы здания [1].

Второй особенностью рассматриваемого объекта управления является существенная разнотемповость процессов аккумулирования тепловой энергии в различных элементах здания. Наиболее значительным является различие в динамике тепловых процессов внутреннего воздуха и несущих элементов конструкции здания. Это различие позволяет рассматривать тепловые процессы во внутреннем воздухе как квазистатические и вместо дифференциальных уравнений состояния использовать простые алгебраические уравнения теплового баланса.

Перечисленные аспекты позволили получить достаточно простую математическую модель, содержащую четыре безразмерных параметра подобия, характеризующих внутреннее наполнение здания, степень остекления, тепловое сопротивление и теплоемкость внешнего ограждения. Упрощенная математическая модель представляет собой систему двух линейных дифференциальных уравнений состояния, описывающих динамику изменения условных температур ограждения и внутреннего наполнения, и линейного алгебраического уравнения выхода – температуры внутреннего воздуха. В качестве управляющего воздействия принимается мощность отопительных приборов, а в качестве возмущающего – температура окружающей среды [2].

Описанная выше упрощенная математическая модель позволяет получить приближенное решение задачи управления, состоящей в выполнении заданной программы изменения температуры внутреннего воздуха в условиях измеряемого и прогнозируемого возмущения – температуры окружающей среды. Поскольку математическая модель достаточно простая, то решение задачи управления и компенсации возмущающего воздействия может быть получено путем решения задачи оптимального управления с пошаговой коррекцией по прогнозу погоды (Model Predictive Control), или путем решения задачи инвертирования динамической системы.

Для устранения ошибок, связанных с неточностью модели, представляется естественным применить комбинированный принцип управления, т.е. ввести дополнительный контур управления по отклонению реальной температуры внутреннего воздуха от заданной программы. Таким образом, требуемая тепловая мощность для реализации заданного закона изменения температуры воздуха представляет собой сумму тепловых мощностей, полученных в результате решения задачи программного управления с компенсацией возмущения по упрощенной математической модели, и корректирующей поправки, полученной в результате измерения реального отклонения температуры помещений от заданной программы.

Поскольку выходной сигнал комбинированного регулятора пропорционален требуемой тепловой мощности, а величина последней пропорциональна разности температур теплоносителя и внутреннего воздуха и может изменяться только путем управления положением клапана расхода теплоносителя, то приходим к необходимости создания контура управления положением клапана расхода теплоносителя по отклонению измеряемой тепловой мощности, потребляемой зданием, от вычисленной комбинированным регулятором.

Компьютерное моделирование процесса теплоснабжения с комбинированным регулятором показало высокую степень робастности результатов по отношению к изменению параметров модели реального здания в широких пределах. Вычислительные эксперименты показали, что оптимальное программное управление температурой внутреннего воздуха позволяет достичь снижения расходов тепловой энергии до 30% в зависимости от конструкции здания и погодных условий.

Литература

1. Куценко А.С. Системный подход к математическому моделированию тепловых процессов зданий / А.С. Куценко, С.В. Коваленко, В.И. ТОВАЖНЯНСКИЙ // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Технологічний центр, 2014. № 4/4(70). – С. 9 – 12.
2. Куценко А.С. Оптимальная стабилизация теплового состояния здания / А.С. Куценко, С.В. Коваленко, В.И. ТОВАЖНЯНСКИЙ // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 37 (1209). – С. 3 – 8.