

Мониторинг объектов теплоснабжения и способ контроля системы отопления зданий

В.А.Белошенко, А.С.Карначёв, В.И.Титиевский, В.И.Шелудченко
"Датчики и Системы" N7, 2003

Точный расчет отопительной системы конкретного объекта является, строго говоря, задачей невыполнимой. Главная причина - большое количество трудно определяемых параметров отапливаемых помещений (их теплоизоляционных свойств, режимов эксплуатации, циркуляции воздуха и т.п.). Нелегко также предвидеть колебания температуры наружного воздуха. Поэтому расчеты ведутся приближенно, а практический режим работы котельной устанавливается опытным путем. Для экспериментального определения оптимального режима работы отопительной системы необходимо проводить подробный температурный мониторинг системы и отапливаемых помещений. Делать это желательно в течение длительного промежутка времени, при различных температурах наружного воздуха. До недавнего времени такой мониторинг представлял собой сложную техническую задачу из-за трудности обеспечения надежной и согласованной работы большого количества самопишущих термометров. В последнее время ситуация в корне изменилась с появлением нового типа электронных термохронных датчиков-накопителей компании Dallas Semiconductor, не требующих специального обслуживания или ухода и способных по заданной программе измерять и запоминать температуру окружающей среды. Применение этих датчиков настолько упрощает процесс широкомасштабного температурного мониторинга любых объектов, что с ним может справиться даже неквалифицированный персонал.

Особенно ценным является то, что датчики позволяют проводить мониторинг отопительных систем в естественных условиях их эксплуатации. Благодаря этому можно объективно задокументировать температурные режимы каждого из отапливаемых помещений, выявить особенности помещений, определяемые их архитектурой, условиями эксплуатации, а также свойства самой отопительной системы. Такой мониторинг полезен как при пуске в эксплуатацию новых котельных, так и для выяснения качества работы системы в начале нового отопительного сезона на уже эксплуатирующихся объектах.

Описанные здесь способы температурного мониторинга базируются на современной технологии сбора, переноса и хранения информации, реализованной в виде устройств семейства iButton Thermochron, - и позволяют за счет синхронного измерения температуры одновременно в большом количестве точек изучаемых объектов применить для обработки данных совокупность средств регрессионного, корреляционного и спектрального анализов, гарантирующую наиболее достоверное определение температурных характеристик помещений и эффективности работы отопительных систем на основе автономных котельных.

В работе в качестве периферийного устройства технологии iButton использовался термохронный датчик-накопитель DS1921. Это функционально законченная система, которая, будучи запрограммированной, измеряет температуру окружающей среды и записывает ее значения в защищенные области памяти. Измерение и запись производятся с устанавливаемой пользователем частотой, причем параллельно производится запись значений температуры по инкрементируемым адресам памяти и формирование гистограммы в специально отведенной для этого области памяти. В портативный прибор размера литиевой батарейки можно записать до 2048 значений температуры через равные промежутки времени. Временной интервал между соседними замерами программируется и может составлять от 1 до 255 минут. Гистограмма формируется на основе 63 температурных интервалов шириной 2 С каждый. Каждый интервал связан с 16-битовым двоичным счетчиком, показание которого увеличивается на единицу всякий раз, когда измеренное значение температуры попадает в соответствующий температурный интервал. Кроме того, термометр может фиксировать выход температуры за установленный пользователем допустимый диапазон. При этом фиксируется момент времени, когда температура вышла за установленный диапазон, длительность нахождения за пределами этого диапазона, а также выше или ниже указанного диапазона оказалась измеренная температура. В память может быть записано до 24 подобных событий: по 12 для каждого края запрограммированного пользователем контрольного диапазона. Кроме этих двух областей памяти (температурных значений и гистограммы), имеется энергонезависимая память, доступная по чтению и записи, в которую можно записать данные о контролируемом объекте. Обмен данными происходит согласно 1-проводному протоколу 1-WireR, разработанному фирмой Dallas. Более подробно об этом протоколе см. (1)

У датчика существует еще сверхоперативная память (СОП), используемая в качестве буфера при записи данных в энергонезависимую память, а также в специальные регистры, ведающие режимами работы устройства. При записи данные сначала помещаются в СОП, откуда могут быть прочитаны. Если контрольное чтение подтвердит их истинность, они перемещаются по заданному адресу в основную память. Этот процесс позволяет сохранить целостность данных. Заводской 48-битовый серийный номер обеспечивает абсолютную идентификацию прибора. Двух приборов с одинаковыми серийными номерами не существует. Корпус в виде таблетки хорошо сопрягается со считывающим пробником, давая возможность оператору легко производить как чтение, так и запись информации. Несколько разновидностей крепежных аксессуаров позволяют прикрепить DS1921 к любой поверхности, включая резервуары, поддоны, баллоны и т.д.

В ходе мониторинга автономные термохронные датчики-накопители (iButtons) размещаются на подающей и обратной трубах котельной, радиаторах отопления и внутренних перегородках обследуемых помещений, а также снаружи здания на его северном фасаде. Мониторинг проводится в течение периода времени, определяемого условиями эксплуатации отопительной системы и местными климатическими особенностями (обычно не более 14 суток). Таким образом достигается возможность установления характера связи между температурами подающей трубы и других элементов системы отопления, а также между температурами наружного воздуха и подающей трубы, наружного воздуха и воздуха в помещениях. При этом постулируются несколько принципов:

1. В период наблюдения привычные режимы эксплуатации отопительной системы и отапливаемых помещений не подвергаются каким-либо корректировкам. Мониторинг осуществляет лишь регистрацию

температур в заданных точках в нормальном режиме эксплуатации (аналог неразрушающего контроля). Исключение составляют режимы определения устойчивости и оптимальной функции регулирования (см. ниже).

2. Температурный комфорт помещения оценивается только по температуре воздуха в рабочей (обслуживаемой) зоне, а температура различных участков отопительной системы - по температуре внешних поверхностей трубопроводов этих участков.
3. Рассматриваются три пары связанных тепловых процессов (три пары температурно-временных зависимостей): "подающая труба котельной - радиатор отопления", "наружный воздух - воздух в рабочей зоне помещения", наружный воздух - подающая труба котельной". В каждой из этих пар один из процессов полагается порождающим, а второй - зависимым, дочерним. Определяется степень коррелированности этих процессов.
4. Вводится понятие идеальной отопительной системы, т. е. системы, в которой корреляция температурно-временной зависимости и спектра температурных колебаний подающей трубы с таковыми для каждого из радиаторов - полная, т. е. коэффициент корреляции равен +1.
5. Вводится понятие помещения с идеальной теплоустойчивостью, т. е. помещения, температура воздуха в рабочей (обслуживаемой) зоне которого постоянна и, следовательно, корреляция этой температуры и температуры наружного воздуха, а также спектров их колебаний при работающей системе отопления полностью отсутствует, т. е. коэффициент корреляции равен 0.
6. Вводится понятие числа действенных гармоник спектра температурных колебаний, представляющего собой количество гармоник, в котором сосредоточено 90% мощности спектра.
7. Отопительная система считается отрегулированной в тепловом и гидравлическом смысле, если число действенных гармоник в спектрах температурных колебаний любого из ее участков не превосходит числа действенных гармоник в спектре колебаний наружной температуры.
8. Качество отопительной системы определяется как числом действенных гармоник, так и степенью скоррелированности температурно-временных зависимостей и их спектров для подающей трубы и любого из периферийных участков системы. Чем ближе коэффициенты корреляции к +1, тем лучше отлажена система.
9. Теплоустойчивость отапливаемого помещения при включенной системе отопления оценивается как по величине относительного изменения температуры воздуха в рабочей (обслуживаемой) зоне за период наблюдения, так и по степени скоррелированности температурно-временных зависимостей и их спектров для воздуха в рабочей зоне и наружного воздуха. Чем ближе оба этих показателя к 0, тем выше теплоустойчивость.

В результате мониторинга удается получить полную картину циркуляции теплоносителя в системе, определить величины запаздывания регулирующих воздействий на любом из ее участков, устойчивость системы к глубоким регуливающим воздействиям, а также определить оптимальную функцию регулирования.

Для выяснения устойчивости отопительной системы к глубоким регуливающим воздействиям последняя переводится в режим нулевой мощности и выдерживается в этом режиме до стабилизации температуры во всех точках системы. Затем мощность скачком поднимается настолько, чтобы повысить температуру теплоносителя на 10 градусов, и опять выдерживается в течение времени стабилизации. Так продолжается до выхода отопительной системы на штатный режим эксплуатации. При этом контролируется запаздывание регулирующих воздействий в различных точках системы и спектральный состав, т. е. склонность к выходу из синхронизма с подающей трубой.

Оптимальная функция регулирования определяется следующим образом. В течение периода наблюдения последовательно в течение промежутков времени, определяемых инерционными свойствами ограждающих конструкций, применяются разные функции регулирования из числа предусмотренных автоматикой котельной. Для каждого из промежутков стандартным образом вычисляются значения коэффициентов корреляции и линейной регрессии, характеризующие степень связи температуры внутри помещений с наружной температурой. В качестве оптимальной выбирается та функция регулирования, при которой корреляция температур помещений с наружной температурой минимальна.

На рисунке приведены примеры спектров температурных колебаний в отрегулированной (слева) и разрегулированной системах отопления. В первом случае число действенных гармоник спектра температурных колебаний отопительной системы равно 6, во втором - 26. Число действенных гармоник спектра колебаний наружной температуры в обоих случаях равно 14. Коэффициенты корреляции спектров температурных колебаний подающей трубы и радиаторов составляли в первом случае 0.998, а во втором - 0.388.

