

Часть 2. Датчики DS1921 в температурном мониторинге зданий и отопительных систем

Глава 4. Организация мониторинга и получение первичных данных

4.1. Выбор объектов для исследования

Современное здание - будь это производственное помещение, жилая многоэтажка или современный коттедж - не только строительная конструкция, но и комплекс, в котором функционируют многочисленные технические системы, требующие постоянной заботы и затрат, прежде всего энергетических. Анализ показывает, что расходы энергии на производство строительных конструкций составляют 8%, на перевозку конструкций и возведение зданий - 2%, а на эксплуатацию здания в течение расчетного срока его службы - до 90% всех энергозатрат жизненного цикла здания [2]. Понятно, что в условиях энергетического кризиса актуальнейшей является проблема организации рациональной эксплуатации зданий и сооружений. Под этим мы понимаем такую постановку дела, когда при минимальных энергетических затратах на эксплуатацию здания или сооружения срок их службы максимален при сохранении эксплуатационных свойств.

Основная доля энергопотребления в жилищно-коммунальной сфере приходится на отопление и горячее водоснабжение. На теплоснабжение промышленных предприятий и жилищного фонда затрачивается не менее 55% всего расходуемого топлива [3]. Примерно до середины 80-х годов развитие системы теплофикации в СССР шло по пути создания крупных центров теплоснабжения: ТЭЦ и больших котельных. В последние годы в странах СНГ все более широкое распространение получают автономные системы теплоснабжения. Постепенно нарушается монополия централизованной системы, и на рынке тепла складывается ситуация, когда проектировщикам и эксплуатационникам приходится решать проблему выбора - поиска оптимальной схемы теплоснабжения в зависимости от конкретных задач и условий.

С точки зрения ресурсосбережения системы централизованного теплоснабжения имеют множество недостатков. Прежде всего - это потери тепловой энергии при транспортировке. Состояние теплотрасс в большинстве городов таково, что тепловые потери в них в несколько раз превышают нормативные [4]. Часты аварии теплотрасс, а значит, перерывы в теплоснабжении. Срок службы тепловых сетей снизился до 12-15 лет, а циркуляционных трубопроводов горячего водоснабжения - до 3-6 лет [5]. Значительны потери из-за гидравлической разрегулировки систем, из-за несоответствия требуемых режимов потребления отдельных зданий режиму централизованного регулирования отпуска тепла [4].

В то же время существенным преимуществом централизованных систем является возможность экологически чистого сжигания низкосортного местного топлива, бытовых отходов. Кроме того, эти системы позволяют реализовать наиболее эффективные термодинамические циклы для совместного производства тепловой и электрической энергии. Не последнюю роль играет и возможность использования вторичных ресурсов промышленных предприятий. В силу указанных причин во многих зарубежных странах (Дания, Швеция, Германия, Финляндия) в последние десятилетия интенсивно сооружаются системы централизованного теплоснабжения [4].

В свою очередь, автономные системы имеют ряд привлекательных свойств, обеспечивающих им все более широкое распространение. Это прежде всего их экономичность, связанная с увеличением КПД котлов и снижением потерь на транспортировку тепловой энергии. Наибольшее применение получают автономные котельные на газовых модулях с тепловой мощностью от 0.1 до 4.5Мвт. По разным оценкам [4, 5] КПД современных малых котлов составляет от 90 до 95% и более [6]. Современные автономные системы имеют высокий уровень автоматизации, что позволяет им без присутствия человека надежно обеспечивать необходимый режим отпуска тепловой энергии. В итоге расход тепла на теплоснабжение зданий - на 10-20% ниже по сравнению с централизованными системами [5].

Таким образом, в условиях появления большого разнообразия отопительного оборудования отечественного и зарубежного производства существует опасность принятия неоптимального решения при проектировании систем теплоснаб-

жения. Только дешевизна, только быстрота монтажа или только автоматизация не могут служить основанием для принятия решения в пользу той или иной системы. Нужны увязка со сложившейся инфраструктурой городов, тщательный анализ экономических, экологических, географических и технических условий, а также практического опыта эксплуатации систем теплоснабжения данного района. Наконец, необходимо досконально знать теплотехнические характеристики здания, для которого проектируется система теплоснабжения. Зачастую для такого анализа просто не хватает данных.

Строго говоря, точный расчет отопительной системы для конкретного объекта является задачей невыполнимой. Этому много причин. Прежде всего - большое количество трудно определяемых параметров отапливаемых помещений (их теплоизоляционных свойств, режимов эксплуатации, циркуляции воздуха и т. п.). Нелегко также предусмотреть колебания температуры наружного воздуха. Поэтому расчеты ведутся приближенно, на основе усредненных моделей и коэффициентов, 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. Желательно это делать 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. Появился новый тип электронных термохронных датчиков-накопителей, которые, как следует из предыдущих глав, не требуют специального обслуживания или ухода и способны 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 объектив-

но 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 характера работы системы на уже эксплуатирующихся объектах.

В последующих главах мы продемонстрируем возможности указанного мониторинга на примере нескольких объектов различного назначения в реальных условиях эксплуатации их отопительных систем. В качестве объектов исследования выбраны строения, оборудованные автономными тепловыми пунктами. Этот выбор обусловлен тем, что, несмотря на широкое распространение автономных тепловых пунктов, систематических исследований их эффективности проведено недостаточно. Для облегчения ссылок в последующем изложении все приведенные ниже объекты пронумерованы.

- **Объект 1:** Комплекс зданий макиевской газонаполнительной станции ОАО "Донецкоблгаз", расположенных на площади около 6 гектаров, отапливаемых блочно-компактной модернизированной передвижной котельной с автоматикой "БАРК". Номинальная теплопроизводительность - 800 кВт, КПД - 91%, завод-изготовитель - "Укр-электроаппарат". Отапливаемые здания - кирпичные, одно- и двухэтажные.
- **Объект 2:** Офис ОАО "Донецкоблгаз" по ул. Р.Люксембург в г. Донецке, представляющий собой четырехэтажное кирпичное здание. В котельной установлены три котло-агрегата типа "Compact A" CA150 производства бельгийской фирмы "ACV". Мощность котла 115-140 кВт, КПД - 93.5%.
- **Объект 3:** Комплекс зданий производственно-эксплуатационной базы газового хозяйства г. Шахтерска Донецкой области, расположенных на площади около 4 гектаров. Котельная снабжена девятью отопительными блоками типа БО-100 мощностью 100 кВт производства ОАО ПКТИ "Газоаппарат". Отапливаемые здания: кирпичный трехэтажный офис и блочный железобетонный двухэтажный производственный корпус.
- **Объект 4:** Оранжереи тропических растений Донецкого ботанического сада НАН Украины, оснащенные шестью

котлами типа НИИСТу-5 мощностью 750 кВт каждый.

- **Объект 5:** Офис ОАО "Донецкоблгаз" по ул. Рылеева в г. Донецке, представляющий собой трехэтажное кирпичное здание. Котельная снабжена четырьмя котлами КЧМ-10 по 40 кВт каждый.
- **Объект 6:** Жилой 9-этажный дом по ул. Р.Люксембург в г.Донецке, оборудованный автономной котельной с котлами СА-250 (мощность 250 кВт) бельгийского производства.

Системы отопления всех объектов работали по замкнутой схеме. В реальной эксплуатации автоматика регулирования, за исключением последнего объекта, не использовалась. Регулирование температуры воды в системе производилось каскадным методом вручную. В жилом доме по ул. Р.Люксембург работала автоматика регулирования по датчику температуры наружного воздуха.

4.2. Практическая организация миссии

4.2.1. Выбор точек контроля и установка датчиков

При исследовании теплотехнических свойств зданий датчики размещались на внутренних перегородках помещений в местах, удаленных от радиаторов отопления, окон и дверей; для контроля температуры наружного воздуха они устанавливались на северных фасадах зданий и защищались от прямых солнечных лучей.

В случае же, если контролировались параметры отопительной системы, датчики размещались на подающей и обратной трубах котельной, а также на радиаторах отопления. Датчики наружной температуры располагались, как описано выше. На трубах и радиаторах датчики крепились с помощью капроновых хомутиков с фиксирующими защелками. При этом применялись пенопластовые термоизоляционные экраны толщиной 30 мм, которые плотно прижимали термометры к трубопроводу или радиатору отопления, одновременно изолируя их от окружающего воздуха.

Проводя температурный мониторинг зданий на том или ином объекте, мы старались исследовать помещения с различными эксплуатационными режимами, различного назначе-

ния и площади, а также помещения, располагающиеся на разных этажах. Исследуя поведение систем отопления, мы не только проводили их пассивный мониторинг, но и проверяли на устойчивость, предпринимая глубокие регулирующие воздействия и наблюдая за реакцией системы. Подробнее обо всем этом речь пойдет в последующих главах.

4.2.2. Выбор параметров миссии

Как было показано в главе 3, при программировании очередной миссии в датчик вводятся следующие ее параметры: дата и время первого измерения; временной интервал между последовательными измерениями; режим регистрации (с перезаписью или с остановом); при необходимости - пороговые температуры. В течение одной миссии датчик способен запомнить до 2048 температурных измерений. Это обстоятельство налагает ограничения на продолжительность миссии и частоту замеров. При температурном мониторинге зданий и отопительных систем важно определить продолжительность миссии. Сколько времени нужно наблюдать систему, чтобы выяснить все особенности ее работы? Это зависит от инерционности системы и от периодичности внешних температурных воздействий. Температурные воздействия носят, как правило, аperiodический характер, порождая нестационарные режимы теплопередачи в ограждающей конструкции и необходимость такой же нестационарной реакции отопительной системы. Для точного описания таких процессов нужно наблюдать систему бесконечно долго. Тем не менее, исследования показали [7], что практически приемлемая точность достигается при длительности периода наблюдения 8-12 суток. В своих исследованиях мы устанавливали продолжительность миссии в 14 и 42 суток, что позволяло фиксировать температуру в точках наблюдения через каждые 10 и 30 минут, соответственно.

4.2.3. Программирование датчиков и съем информации

Программное обеспечение для работы с датчиками разработано фирмой Dallas Semiconductor и доступно под именем TMEX MicroLAN Manager (администратор контактной памяти) [8]. Оно оформлено в виде библиотеки динамической компоновки (DLL) и рассчитано на работу в среде Microsoft

Windows. Это программное обеспечение ориентировано на использование стандартных портов ввода/вывода компьютера, т. е. LPT и COM портов. Мы в нашей работе применяли оригинальное программное обеспечение, ориентированное на использование универсального параллельного интерфейса собственной разработки, подобное описанному в [1]. В отличие от [1], выходы модернизированного интерфейса через подтягивающие резисторы соединялись с выводом +5В источника питания компьютера.

После установки в диалоговом окне необходимых параметров миссии программирование датчика осуществлялось простым прикосновением к нему специального пробника, через который все установки миссии передавались в память датчика. Правильность передачи данных контролировалась с помощью технологии ЦИК (см. гл. 3), и в случае сбоя автоматически проводилось повторное программирование.

Съем информации производился аналогично. После активации диалогового окна чтения данных эти данные переносились в компьютер при прикосновении датчика к тому же самому пробнику, через который проводилось его программирование. При этом отдельно формировались файлы температурных замеров и файлы гистограмм. Файлы имели формат ASCII. Дальнейшая обработка могла осуществляться с помощью любого из коммерческих пакетов, предназначенных для математической обработки данных. В частности, мы использовали пакет Microcal Origin, ver. 4.10 фирмы Microcal Software, Inc.

4.3. Примеры получаемых первичных данных

4.3.1. Обследование помещений

В упомянутых выше файлах формата ASCII каждому моменту времени, в который производился замер температуры, поставлено в соответствие значение этой температуры. Таким образом, первичные данные представляют собой зависимости температуры от времени. Характерный их вид представлен на рис. 4.1. На нем приведены температуры в помещениях четырехэтажного кирпичного дома, а также наружного воздуха за 42-суточный период наблюдения. В нижней части рисунка показаны увеличенные фрагменты наблюдаемых зависимостей

для помещений первого и четвертого этажей. Замеры производились через каждые 30 минут. На графиках они отмечены точками. На этих фрагментах хорошо проявляется дискретность датчиков, равная 0.5°C . Дискретность вносит шумовую составляющую в спектр температурных колебаний и при

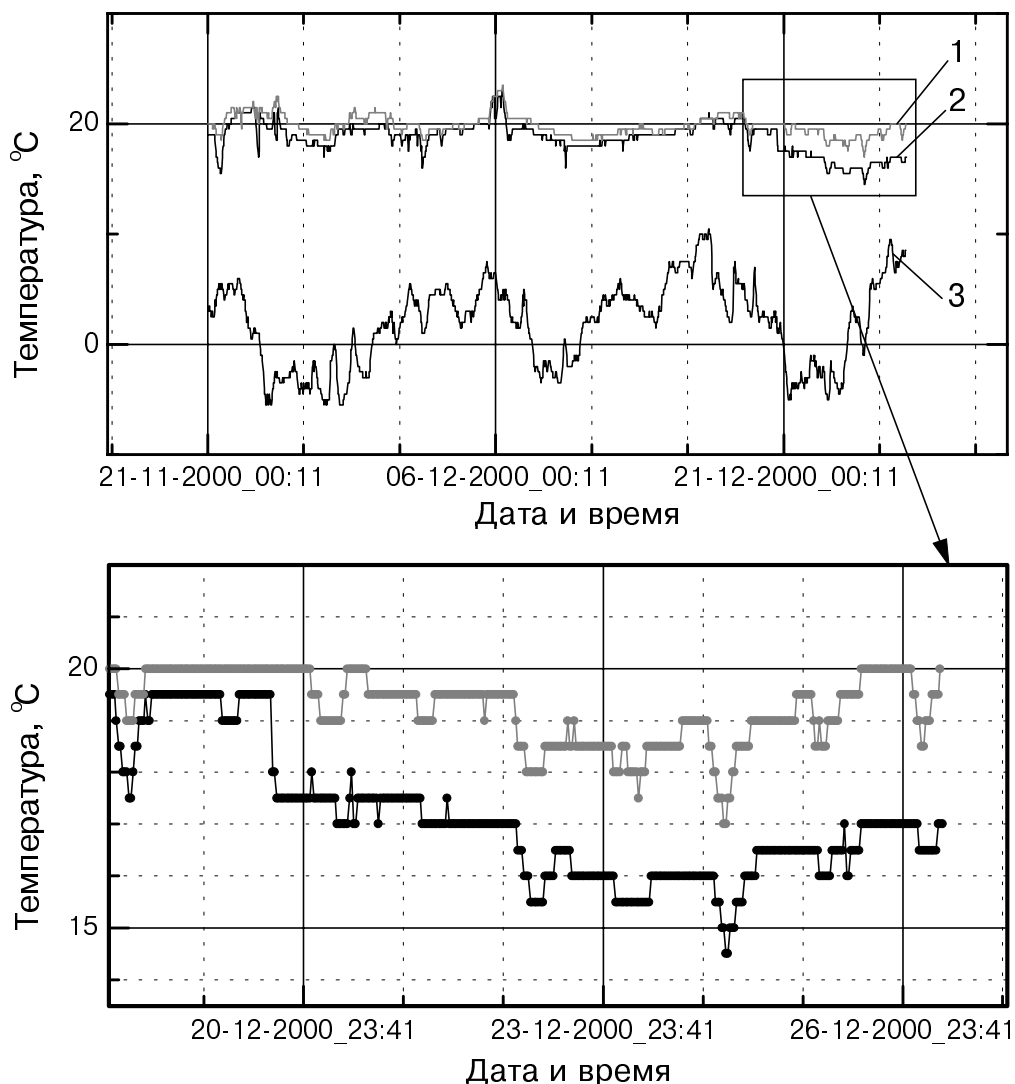


Рис.4.1. Температурный режим в помещениях объекта 2: 1, 2 - соответственно температуры в помещениях четвертого и первого этажей; 3 - температура наружного воздуха.

спектральном анализе должна быть учтена (см. главу 6). Температурные режимы в помещениях этого объекта практически не отличаются друг от друга, поскольку все они одного назначения - офисы - и примерно одинаковой площади.

Температурные же режимы, полученные для помещений различного назначения макеевской газонаполнительной станции, распадаются на две группы (рис. 4.2). Первая группа, с более высокой температурой (кривые 1), отражает температурные режимы объектов, получающих тепло первыми. Вторая группа (кривые 2) находится на периферии отопительной системы и получает меньше тепла.

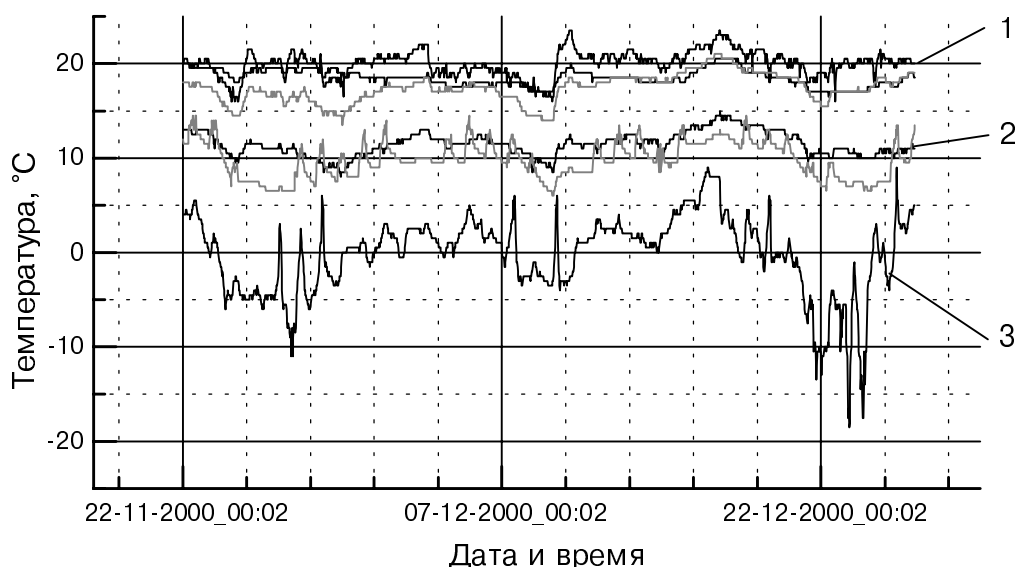


Рис.4.2. Температурный режим помещений объекта 1: 1 - для группы помещений, удовлетворяющих санитарным нормам; 2 - для группы помещений, не удовлетворяющих санитарным нормам; 3 - температура наружного воздуха.

Уже первичные (необработанные) данные позволяют обнаружить особенности температурного режима помещений, обусловленные их назначением и технологическим циклом работы размещенного в них оборудования. На рис. 4.3 показана кривая температурного режима насосно-компрессорного отделения объекта 1. Отчетливо прослеживаются ежесуточные повышения температуры, происходящие в рабочие дни и вызванные разогревом технологического оборудования. Повышение температуры начинается в 8 часов и продолжается примерно до 13 часов, поднимая температуру помещения к этому времени на 5 градусов. После того, как оборудование выключается, температура к 24 часам снижается до естественного фона, определяемого отопительной системой.

4.3.2. Обследование отопительных систем

Как и при мониторинге помещений, первый взгляд на результаты обследования отопительных систем также может дать интересную информацию об их работе. На рис. 4.4 показано, например, распределение температуры во времени

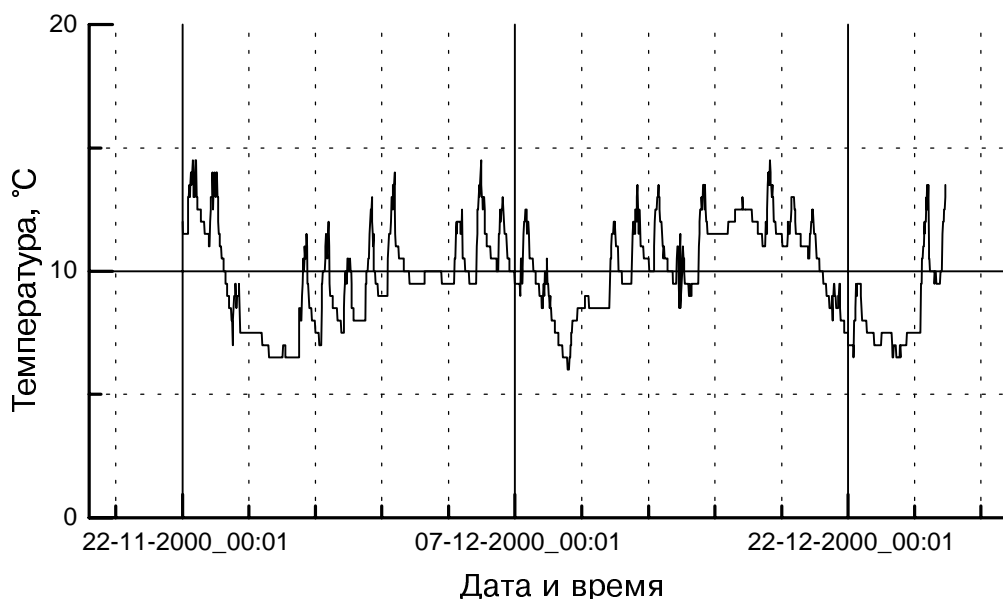


Рис.4.3. Влияние технологического оборудования на температурный режим помещения.

для различных точек отопительной системы 9-этажного жилого дома. В доме использована система с верхней подачей теплоносителя. Хорошо видно различие в температурах радиаторов отопления, расположенных на крайних этажах. Можно также проследить характер реакции отопительной системы на изменение температуры наружного воздуха. Напомним, что на этом объекте штатное регулирование температуры теплоносителя в системе происходило автоматически, по показаниям датчика наружной температуры. Из кривых 1 и 5, в частности, видно, что низкочастотная составляющая колебаний температуры подающей трубы повторяет в противофазе колебания температуры наружного воздуха. Это особенно характерно для первой трети периода наблюдения. То есть в данный промежуток времени автоматика точно отслеживала колебания наружной температуры, поддерживая стабильный режим в по-

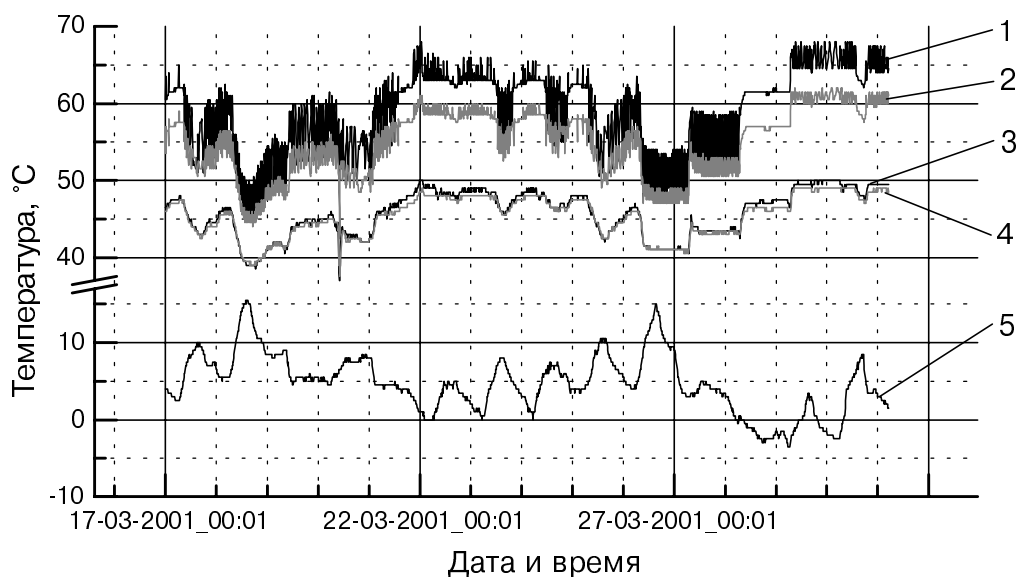


Рис.4.4. Температурные режимы отопительной системы объекта 6: 1, 2, 3, 4 - соответственно температуры подающей трубы отопления, радиатора отопления 9-го этажа, радиатора отопления 1-го этажа, обратной трубы отопления; 5 - температура наружного воздуха.

мещениях всех этажей. Начиная со второй трети периода наблюдения, автоматика стала давать сбои, что выразилось в уменьшении корреляции температурных зависимостей для наружного воздуха и подающей трубы. В последней трети периода наблюдения регулирование велось каскадным методом вручную.

На подающей трубе (кривая 1) заметны высокочастотные температурные колебания, период которых лежит в пределах 41-53 минуты, а размах достигает 6 градусов. Эти колебания прослеживаются также на радиаторах верхнего этажа (кривая 2). Анализ причин возникновения этих колебаний позволяет предположить, что их источником является работа автоматики котлов, изменяющая режимы их горения с вышеприведенными периодами. На рис. 4.5 это явление представлено подробно.

Таким образом, на основании лишь визуального анализа получаемых температурных зависимостей уже можно делать качественные выводы о температурных режимах помещений и

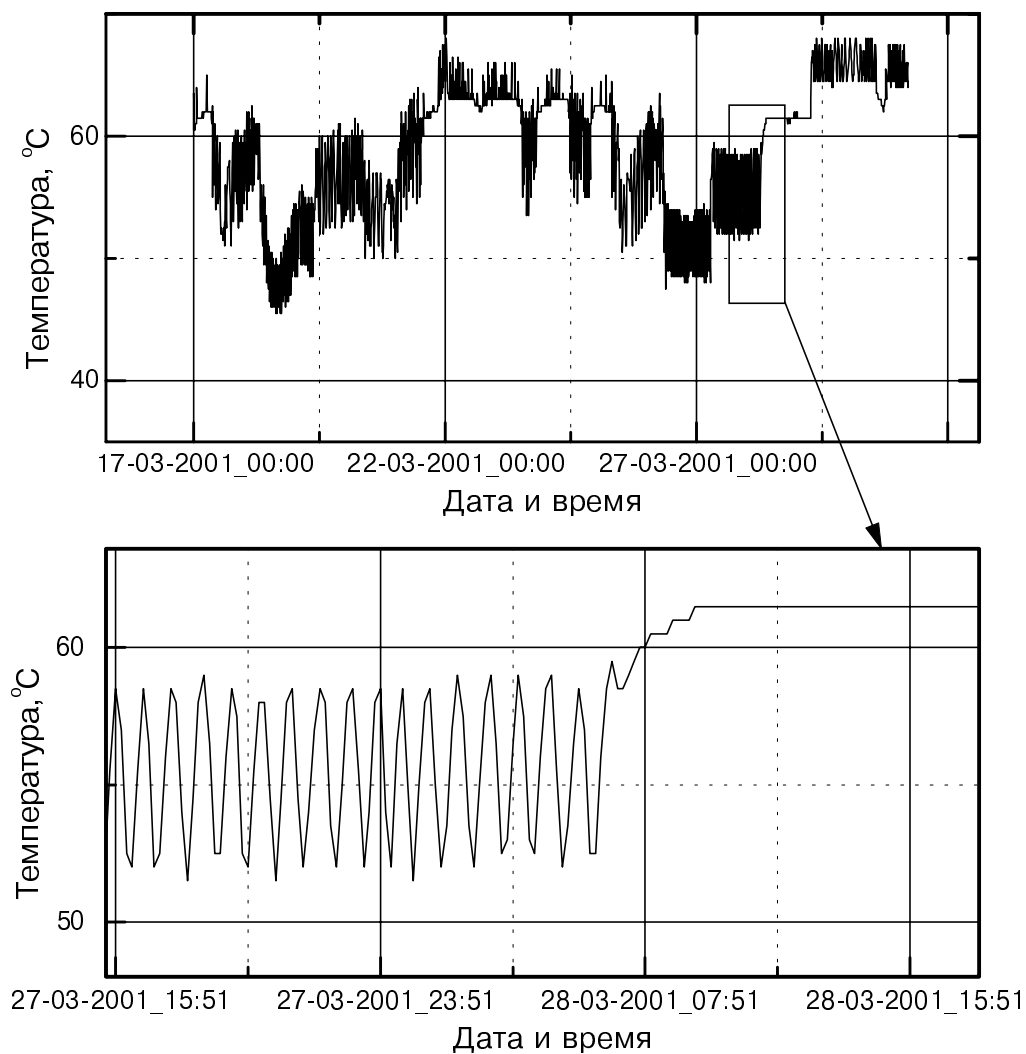


Рис.4.5. Высокочастотные температурные колебания в системе отопления 9-этажного жилого дома.

работе отопительных систем. В последующих главах мы покажем, как получить количественные характеристики исследуемых объектов.