

Глава 5. Анализ временных зависимостей

5.1. Предварительные замечания

Рассматриваемый в этой книге распределенный синхронный температурный мониторинг обладает рядом ценных качеств, которые позволяют использовать все преимущества статистической обработки получаемых данных. Во-первых, миссия содержит достаточно большое число измерений, осуществляемых каждым датчиком (2048). Во-вторых, число датчиков неограничено, что дает возможность одновременно производить замеры на любом числе объектов и регистрировать неограниченное количество процессов изменения температуры во времени. В-третьих, все измерения в миссии производятся с одинаковой точностью и разрешающей способностью, т. е. ко всем получаемым зависимостям применим один и тот же фильтр для устранения помех, создаваемых дискретностью датчиков. Это особенно важно при проведении гармонического анализа получаемых временных рядов (см. главу 6). В-четвертых, измерения производятся через равные промежутки времени, что дает возможность применять при сглаживании фурье-фильтры. В-пятых, синхронная регистрация температур большого числа объектов позволяет связать между собой различные временные и частотные процессы и эффективно использовать механизмы регрессионного и корреляционного анализов.

Все обсуждаемые ниже данные были получены как в результате пассивных наблюдений, то есть регистрации температур без вмешательства в эксплуатационные режимы объектов, так и в экспериментах, когда эксплуатационные режимы объектов подвергались запрограммированным воздействиям и регистрировалась их реакция на эти воздействия.

Иногда возникала необходимость фильтрации исходных временных зависимостей для удаления побочных возмущений в виде влияния на температурные режимы автоматики регулирования котельных или технологического оборудования помещений (см., например, рис. 4.3 и 4.5). Для такой процедуры (сглаживания) нами использовался фильтр, основанный на алгоритме быстрого преобразования Фурье, согласно которому сглаживание производится путем удаления гармоник с частотами выше некоторой f_0 :

$$f_0 = 1/(n \cdot \Delta t), \quad (5.1)$$

где: n - число точек, по которым производится сглаживание; Δt - временной интервал между соседними измерениями. Амплитудно-частотная характеристика такого фильтра представляет собой параболу с равным единице максимумом на нулевой частоте и проходящую через 0 на частоте среза f_0 . Параметры параболы определяются общим числом точек в массиве данных и числом точек, по которым производится сглаживание (n). Чем больше n , тем сильнее сглаживание. Поскольку временной интервал Δt между соседними измерениями в миссии неизменен, частоту среза f_0 можно менять, лишь выбирая соответствующее n . Иными словами, произведение $n \cdot \Delta t$ определяет граничный период. Все гармонические составляющие временного ряда с периодом, меньшим $n \cdot \Delta t$, удаляются. В дальнейшем нам будет удобно использовать именно граничный период для определения параметра n процедуры сглаживания, а не частоту среза.

При исследовании помещений и отопительных систем мы стремились ответить на следующие три "как": 1) как температура помещений зависит от температуры наружного воздуха; 2) как температуры радиаторов отопления зависят от температуры подающей магистрали котельной; 3) как температура этой магистрали зависит от температуры наружного воздуха. Все эти "как" предполагают исследование взаимосвязи между парами временных рядов. В первом случае - это временные ряды, представляющие зависимость от времени температуры наружного воздуха и воздуха в помещении. Во втором - температуры подающей трубы и конкретного радиатора отопления. В третьем - температуры наружного воздуха и подающей трубы. В каждой из этих пар один из процессов является зависимым (дочерним), а другой - независимым (порождающим).

Имеющиеся экспериментальные данные (см. ниже) свидетельствуют о том, что температуры подающей трубы и радиаторов отопления связаны между собой по регрессионной схеме и линия регрессии является прямой. Это означает, что температуру подающей трубы x в этой связке можно рассматривать как неслучайную величину, а температуру радиатора y - как случайную. Тогда y может быть разложена на сум-

му двух слагаемых [9], первое из которых - неслучайная часть - определяется некоторой линейной функцией x , а второе - случайная часть - учитывает случайный характер η :

$$\eta = (a + b \cdot x) + \delta, \quad (5.2)$$

где a и b - некоторые числовые коэффициенты, а δ - "остаточная" случайная величина, у которой среднее значение равно 0. Поскольку значения η при каждом x подвержены некоторому случайному разбросу, то представляет интерес лишь усредненная схема зависимости, т. е. закономерность в изменении среднего значения η в зависимости от изменения x . Как следует из (5.2), среднее значение η оказывается просто линейной функцией x :

$$Y(x) = a + b \cdot x, \quad (5.3)$$

где $Y(x)$ - среднее значение η при заданной величине x . Прямая (5.3) называется регрессионной прямой, а угловой коэффициент ее наклона b - коэффициентом регрессии.

Случайность температуры радиатора отопления по отношению к температуре подающей трубы означает, что если в течение периода наблюдения температура подающей трубы несколько раз приняла одно и то же значение, то температура радиатора отопления в эти моменты времени имела разные значения. Это свидетельствует о том, что температура радиатора зависит не только от температуры подающей трубы, но и от ряда неучтенных факторов, например, изменения скорости течения жидкости в системе, наличия завоздушенных участков, несанкционированных отборов теплоносителя, изменения режимов теплообмена и т. п.

В случае связки "наружная температура - температура помещения" картина более сложная. Здесь обе переменные носят случайный характер, т. е. каждая из них зависит от совокупности неконтролируемых факторов. В данной связке в качестве порождающего процесса выступает изменение температуры наружного воздуха во времени. Этот процесс с течением времени подвергается случайным возмущениям, не связанным с его предысторией. Указанные возмущения в конечном счете формируют основное содержание порождающего процесса. Если бы это было не так, у нас бы не было никаких

проблем с прогнозом погоды. В свою очередь, температура воздуха в помещении зависит не только от наружной температуры, но и от теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций, работы системы отопления, режима эксплуатации данного помещения, наличия в нем тепловыделяющего или теплопоглощающего технологического оборудования, наличия людей и т. д. Одной из наших задач и будет выделение из всех этих факторов именно влияния температуры наружного воздуха.

Наши эксперименты показали, что нет веских оснований рассматривать какой-либо иной закон, кроме линейного, для описания связи этих двух переменных. Иначе говоря, связь между случайной температурой наружного воздуха ξ и случайной же температурой воздуха внутри помещения η можно записать в виде:

$$\eta = (a + b \cdot \xi) + \delta, \quad (5.4)$$

где, как и прежде, среднее значение δ равно 0. Тогда усредненный закон поведения η в зависимости от ξ выразится формулой:

$$Y(x) = a + b \cdot x, \quad (5.5)$$

где $Y(x)$ - среднее значение случайной величины η , когда случайная величина ξ приняла значение x .

При исследовании связи "наружный воздух - подающая труба" возникает аналогичная ситуация с двумя случайными величинами. Однако здесь случайность температуры подающей трубы носит специфический характер. Когда используется автоматики регулирования, основанная на показаниях наружного термометра, температура подающей трубы в соответствии с выбранной функцией регулирования может в противофазе отслеживать колебания температуры наружного воздуха (см., например, рис. 4.4). При этом случайная составляющая δ в дочернем процессе будет мала. Если же изменение температуры воды в системе производится вручную, то на первый план выходит человеческий фактор, т. е. насколько точно оператор придерживается предписанного режима эксплуатации. По сути дела, доля случайной составляющей в дочернем процессе является мерилем качества регулиро-

вания отопительной системы.

Кроме нахождения конкретного вида зависимости между переменными, когда обе из них случайны, необходимо решить вопрос о степени связи между ними, используя методы корреляционного анализа. Эти методы дают корректные результаты, если временные ряды, представляющие порождающий и дочерний процессы, удовлетворяют двум требованиям. Во-первых, они должны быть инвариантны относительно временных сдвигов. Поскольку отопительная система и исследуемые помещения конструктивно и функционально не изменяются с течением времени, то совершенно неважно, в какой именно период провести измерение их свойств. В этом смысле получаемые временные ряды инвариантны во времени. Во-вторых, временные ряды должны обладать слабой "памятью". Это означает, что измерения $X(t_1)$ и $X(t_2)$ должны становиться несвязанными - взаимно статистически независимыми - при различии моментов измерения $t_1 - t_2 \rightarrow \infty$. Поведение отопительной системы зависит от температуры наружного воздуха, а эта температура, как мы уже указывали, изменяется по случайному закону. Поэтому свойство слабой "памяти" с несомненностью выполняется.

Если заданы два действительных временных ряда $X(t)$ и $Y(t)$, $t = 0, \pm 1, \dots$ со средними значениями $EX(t) = c_x$, $EY(t) = c_y$, $t = 0, \pm 1, \dots$, то для их описания используются ковариационные функции

$$c_{xx}(t, t) = DX(t) = E \left\{ [X(t) - c_x]^2 \right\},$$

$$c_{yy}(t, t) = DY(t) = E \left\{ [Y(t) - c_y]^2 \right\}$$

и кросс-ковариационная функция

$$c_{xy}(t_1, t_2) = \text{cov} \{X(t_1), Y(t_2)\} = E \left\{ [X(t_1) - c_x][Y(t_2) - c_y] \right\},$$

описывающая связь двух временных рядов. По неравенству Шварца [10]

$$\left| c_{xy}(t_1, t_2) \right|^2 \leq c_{xx}(t_1, t_1) c_{yy}(t_2, t_2) = DX(t_1) DY(t_2)$$

и кросс-ковариационная функция $c_{xy}(t_1, t_2)$ существует, если $c_{xx}(t_1, t_1) c_{yy}(t_2, t_2) < \infty$.

Можно ввести в рассмотрение кросс-корреляционную функцию рядов $X(t)$ и $Y(t)$, характеризующую их корреляцию:

$$\rho_{xy}(t_1, t_2) = c_{xy}(t_1, t_2) / \sqrt{[c_{xx}(t_1, t_1) c_{yy}(t_2, t_2)]}.$$

Так как мы рассматриваем инвариантные во времени временные ряды со слабой “памятью”, фактически имеем:

$$c_{xy}(t_1, t_2) = c_{xy}(t_1 - t_2) = c_{xy}(u),$$

$$c_{xx}(t_1, t_1) = c_{xx}(0),$$

$$c_{yy}(t_2, t_2) = c_{yy}(0),$$

$$|c_{xy}(u)|^2 \leq c_{xx}(0) c_{yy}(0),$$

$$\rho_{xx}(u) = c_{xx}(u) / c_{xx}(0) = c_{xx}(u) / DX(t).$$

Функция

$$\rho_{xy}(u) = c_{xy}(u) / \sqrt{[c_{xx}(u) c_{yy}(u)]}$$

называется коэффициентом корреляции R двух рядов. Его выборочное значение вычисляется по формуле

$$R = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_0)(Y_i - Y_0)}{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_0)^2 \cdot \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_0)^2 \right]^{1/2}}, \quad (5.6)$$

где: X_0, Y_0 - средние значения; N - размер выборки.

Поясним смысл коэффициентов регрессии и корреляции на простом примере. На рис. 5.1а изображены четыре временных ряда, представляющие изменение температуры во времени. Для простоты мы выбрали синусоидальные зависи-

мости, на которых случайная составляющая каждого из процессов представлена в виде шумов.

Пусть процесс А будет порождающим, а процессы В, С и D - дочерними. Зависимость В точно повторяет все эволюции порождающего процесса, но с меньшей амплитудой. Кривая С повторяет кривую А в противофазе и с меньшей амплитудой. Зависимость D в точности повторяет кривую А порождающего процесса. На рис. 5.1б показаны приведенные к началу координат диаграммы рассеяния, характеризующие связь каждого из дочерних процессов с порождающим (диаграммы В/А, С/А и D/А, соответственно). Здесь же представлены и регрессионные прямые для каждой из этих связей. Тангенсы углов наклона этих прямых к оси абсцисс дают коэффициенты регрессии b (см. выражение (5.3)). Они показывают, в каком отношении средние значения дочернего процесса отражают аналогичные величины порождающего процесса. В данном

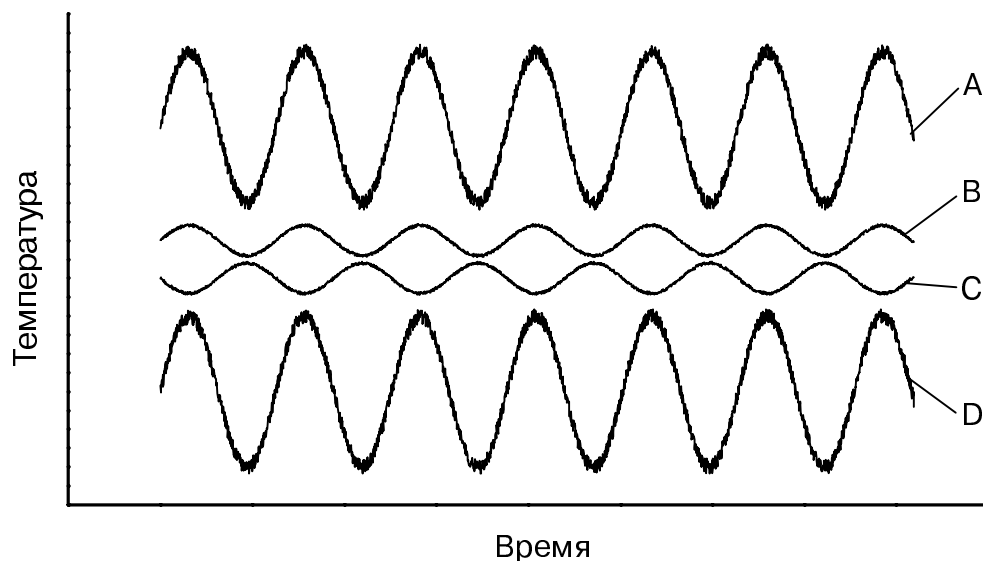


Рис.5.1а. Пример периодического изменения температуры во времени в нескольких связанных процессах с разным характером связи.

случае коэффициенты регрессии равны: $b(B/A) = 0.199$; $b(C/A) = -0.199$; $b(D/A) = 0.992$. Разброс значений, т. е. среднее их отклонение от регрессионной прямой, характеризуется стандартным (среднеквадратичным) отклонением σ , которое

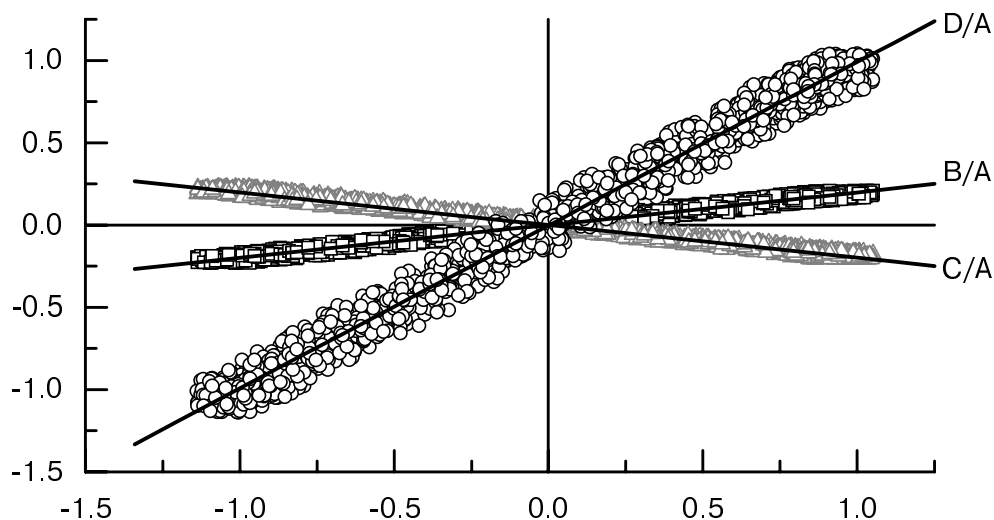


Рис.5.16. Диаграммы рассеяния и прямые регрессии для трех пар связанных процессов.

имеет следующие величины: $\sigma(B/A) = \sigma(C/A) = 0.016$; $\sigma(D/A) = 0.080$. Коэффициенты корреляции R , вычисленные по формуле (5.6) для всех трех пар зависимостей, равны: $R(B/A) = 0.993$; $R(C/A) = -0.994$; $R(D/A) = 0.994$. Можно сказать, что коэффициенты корреляции показывают, насколько точно дочерние процессы отслеживают характер эволюции процесса порождающего, игнорируя при этом амплитудные соотношения. Коэффициент корреляции может принимать значения в промежутке $[-1, +1]$. Значение $+1$ возникает, когда дочерний процесс в точности повторяет все изменения порождающего процесса, а значение -1 - если это повторение происходит в противофазе. Если процессы не связаны друг с другом, коэффициент корреляции равен 0 (как и коэффициент регрессии).

5.2. Отопительные системы

5.2.1. Визуальные оценки

Получаемые временные ряды уже без всякой обработки позволяют качественно оценить состояние системы, распределение температуры по этажам, стоякам и радиаторам. Дифференцирование этих рядов по времени дает возможность по

пикам производных определить временное запаздывание регулирующего воздействия в различных точках системы по отношению к моменту его возникновения на подающей трубе. Поскольку в нашей системе все датчики синхронизированы во времени и стартуют в миссии практически одновременно (расхождение - не более 1 минуты), все временные запаздывания определяются с точностью до дискретности отсчетов (в нашем случае - до 10 минут). Рассмотрим несколько примеров отопительных систем и особенности каждой из них, выявленные при проведении температурного мониторинга.

Пример 1. В главе 4 мы приводили температурные режимы отопительной системы 9-этажного жилого дома (объект 6) с верхней подачей теплоносителя (см. рис. 4.4). Видно, в частности, что температуры радиаторов отопления девятого и первого этажей различаются в среднем на 10-12°C, что приводит к перегреву помещений верхнего этажа ($T \approx 26^\circ\text{C}$) и недогреву помещений первого этажа ($T \approx 19^\circ\text{C}$). При отсутствии средств индивидуального регулирования подачи теплоносителя это создает дискомфортные условия для жильцов и ведет к перерасходу топлива. Ясно, что такая отопительная система требует доработки.

Пример 2. На рис. 5.2 показаны температурные зависимости для подающей трубы и радиаторов отопления двух из обследованных помещений объекта 3, а на рис. 5.3 - температура воздуха в этих же помещениях. Видно, что температура радиатора отопления помещения А выше, чем радиатора отопления помещения Б. Тем не менее, температура воздуха в помещении А устойчиво ниже температуры воздуха в помещении Б на 5°C. Так как никакого принудительного выхолаживания помещения А не происходит, напрашивается вывод о просчете при определении количества радиаторов отопления для этого помещения и их площади. Для справки: площадь помещения А - 84.9 кв.м, площадь радиаторов - 13.72 кв.м; площадь помещения Б - 25.1 кв.м, площадь радиаторов - 3.56 кв.м. Высота обоих помещений одинакова.

Несмотря на то, что поверхность нагрева отопительных приборов, приходящаяся на единицу площади отапливаемого помещения, в первом случае больше, чем во втором (0.16 кв.м против 0.14 кв.м, соответственно), отопительные приборы помещения А явно не справляются со своей задачей. Этот факт как раз подтверждает высказанное нами выше

утверждение, что расчеты системы отопления носят приближенный характер, и для выявления действительных характеристик каждой из них нужны контрольные масштабные замеры температурных режимов в реальных условиях эксплуатации.

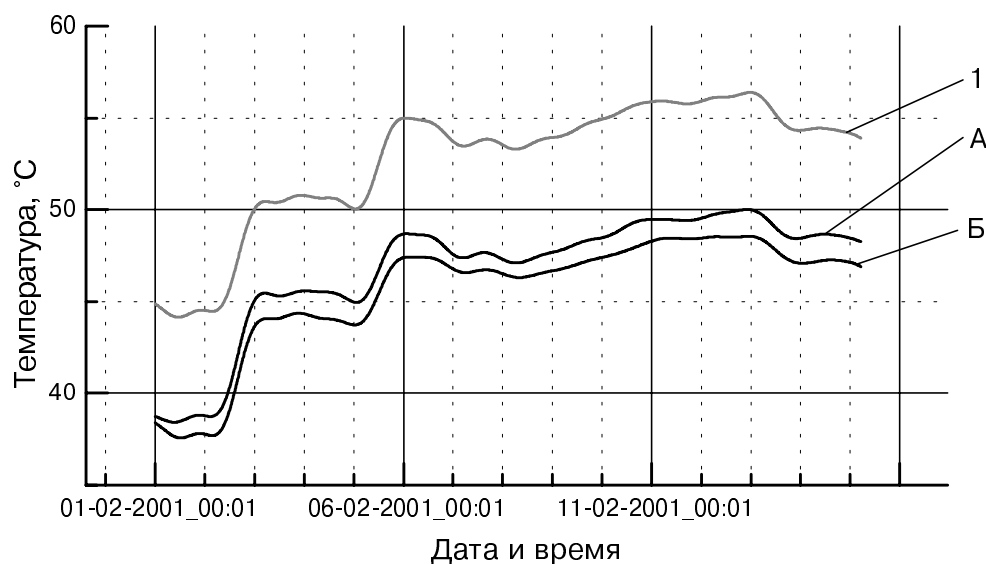


Рис.5.2. Температуры подающей трубы (1) и радиаторов отопления в помещениях А и Б объекта 3.

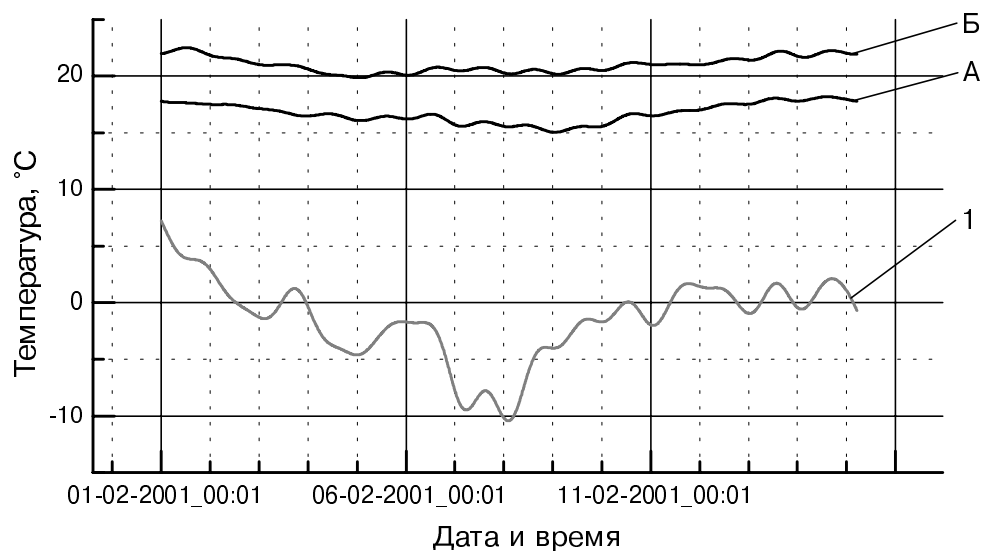


Рис.5.3. Температура наружного воздуха (1) и в помещениях А и Б объекта 3.

Заметим еще, что кривые на рис. 5.2 и 5.3 сглаженные. Это мы сделали для того, чтобы удалить высокочастотные составляющие, определяемые дискретностью датчиков, и яснее показать основные тенденции в температурных зависимостях.

На кривой 1 рис. 5.2 видны два скачка температуры, повторяющиеся и на температурных зависимостях для радиаторов (кривые А и Б). Это регулирующие воздействия. В данные моменты скачком увеличивалась мощность котлов, в результате чего происходил прогрев теплоносителя в системе до нового стационарного значения температуры. Время этого прогрева можно определить из рис. 5.4, в верхней части которого приведена температура подающей трубы (в исходном,

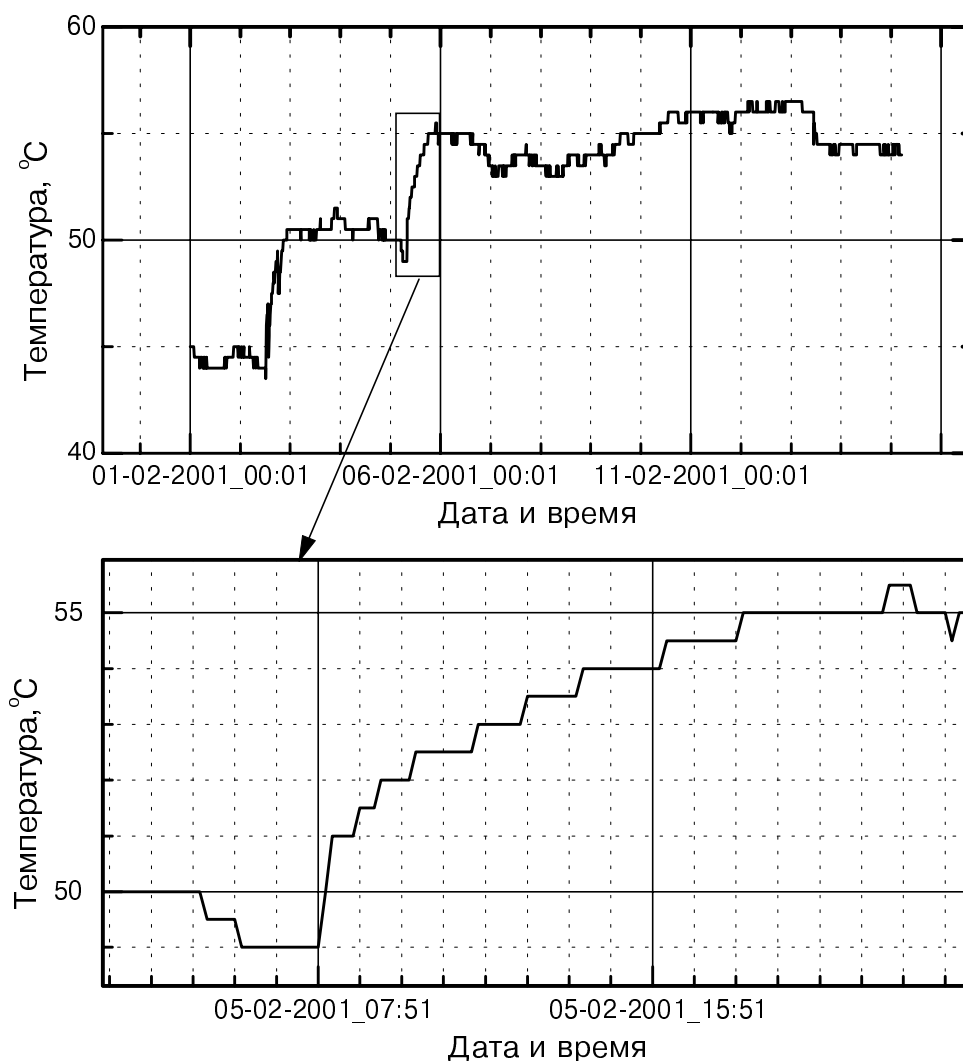


Рис.5.4. Прогрев теплоносителя при скачкообразном увеличении мощности котла.

несглаженном виде), а в нижней - увеличенный участок прогрева. Видно, что теплоноситель в системе прогревается на 5°C за 10 часов. Ступенчатый характер кривой определяется дискретностью датчика. В начале подъема наблюдается кратковременный провал температуры, вызванный проводившейся в указанный момент подпиткой системы.

Пример 3. Визуальная оценка позволяет выявить участки с нарушенной циркуляцией теплоносителя. Так, на объекте 4 наблюдалась ситуация, когда часть помещений отапливалась значительно хуже остальных. На рис. 5.5 представлены температурные режимы отдельных участков системы отопления этого объекта. Кривая 4 демонстрирует, что температура радиатора одного из "холодных" помещений существенно ниже даже температуры обратной трубы.

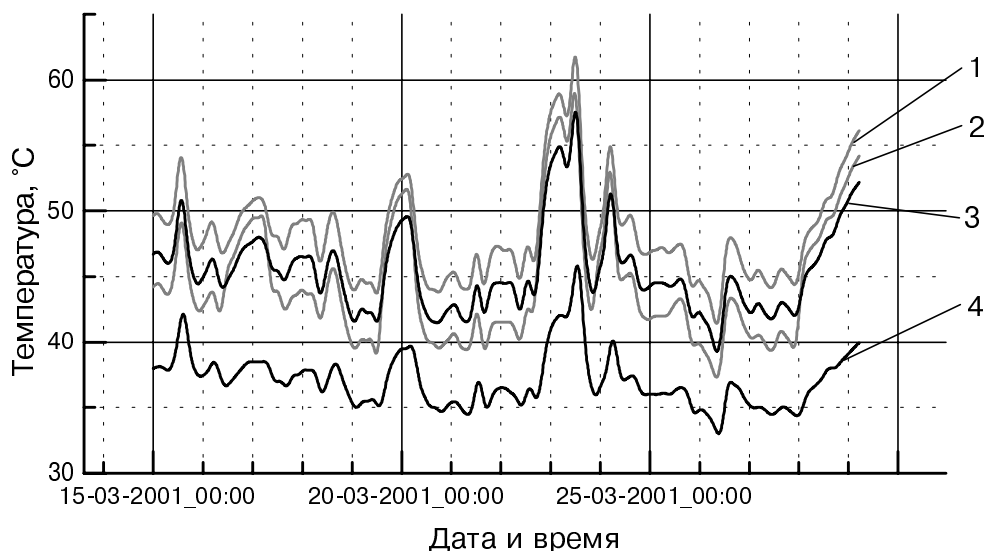


Рис.5.5. Температурные режимы участков отопительной системы объекта 4: подающей трубы (1); обратной трубы (2); радиатора отопления теплого помещения (3); радиатора отопления холодного помещения (4).

Там же была зафиксирована сильная неравномерность распределения температуры по участкам отопительной системы. В качестве примера на рис. 5.6 приведены температурные режимы радиаторов отопления самой теплой и самой холодной из оранжерей тропических растений. Видно, что средняя температура радиатора отопления оранжереи, подключенной к периферийному участку системы теплоснаб-

жения, примерно на 20°C ниже средней температуры радиатора оранжереи, подключенной к центральному участку. Кроме того, температура первого слабо коррелирует с температурой подающей трубы (подробно об этом см. следующий раздел).

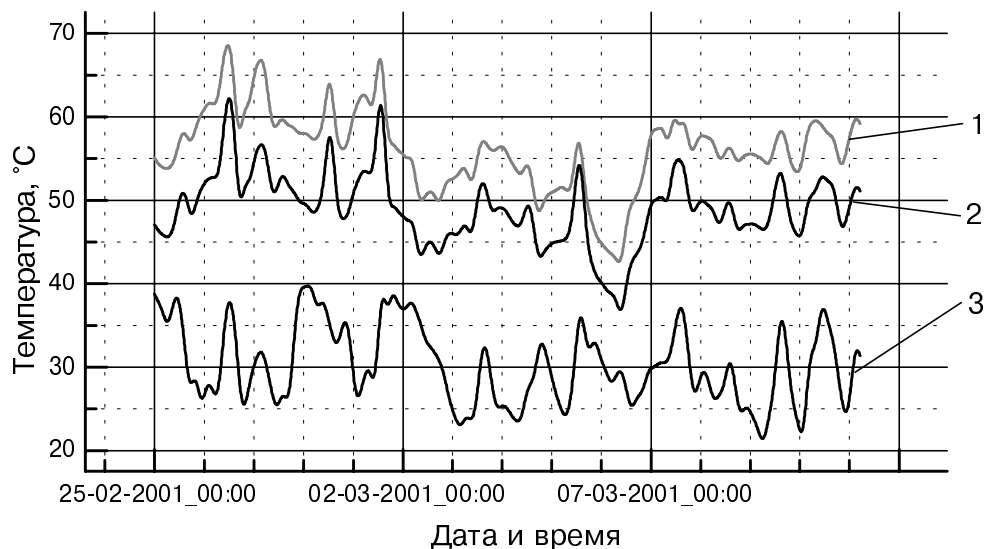


Рис.5.6. Температурные режимы радиаторов отопления оранжерей, подключенных к разным участкам отопительной системы объекта 4: 2 - к центральному; 3 - к периферийному. Кривая 1 - температура подающей трубы.

5.2.2. Регрессионный и корреляционный анализы

Перейдем теперь к получению количественных характеристик отопительных систем. Как было показано в разделе 5.1, взаимосвязь между двумя случайными процессами можно описать с помощью коэффициентов регрессии и коэффициентов корреляции. Для регрессионной схемы зависимости, которой описывается связь между порождающим и дочерними процессами внутри отопительной системы, достаточно определить коэффициент регрессии, поскольку наличие связи между этими процессами не вызывает сомнений. В случае корреляционной схемы связи следует удостовериться в наличии самой связи, т. е. определить степень ее тесноты. Для этого необходимо вычислить коэффициент корреляции и вероятность того, что этот коэффициент не равен 0, т. е. вероятность отсутствия какой-либо корреляционной связи двух

процессов. Во всех приведенных ниже примерах, если не оговорено обратного, эта вероятность $P < 0.0001$. Как мы уже указывали, корреляционной схемой можно описать зависимость между температурой наружного воздуха и температурой подающей трубы. Подчеркнем еще раз, что в этом случае пользоваться получаемыми численными значениями можно лишь как оценочными, поскольку на связь двух процессов здесь могут оказывать влияние факторы, не носящие случайного характера (функция регулирования автоматики котельной, человеческий фактор и т. п.).

Чтобы получить коэффициент регрессии для зависимости, описывающей связь между температурой подающей трубы и температурой конкретного радиатора отопления, построим диаграммы рассеяния, связывающие температурно-временные ряды для подающей трубы и радиаторов, а затем на основе этих диаграмм (корреляционных полей) построим регрессионную прямую. На рис. 5.7-5.10 приведены диаграммы рассеяния для временных рядов, представленных ранее на рис. 4.4, 5.2, 5.5 и 5.6. Заметим, что, хотя временные ряды на этих рисунках сглажены, диаграммы рассеяния строились на основе несглаженных исходных рядов. Исключение составляет рисунок 5.7, на котором изображены диаграммы рассеяния, полученные на основе сглаженных по 5 точкам временных рядов. Это сглаживание проведено, чтобы исключить влияние на диаграммы рассеяния высокочастотных осцилляций, природа которых известна и не носит случайного характера. Напомним, что осцилляции имеют период 41-53 минуты. Учитывая, что временной интервал между соседними измерениями Δt равнялся 10 минутам, мы и провели сглаживание по 5 точкам, что соответствует граничному периоду 50 минут (см. выражение (5.1)). В табл. 5.1-5.3 сведены значения коэффициентов b из уравнения регрессионной прямой $Y(x) = a + b \cdot x$, стандартные отклонения σ и коэффициенты корреляции R для различных пар связанных процессов в отопительных системах объектов 6, 3 и 4, соответственно.

Из табл. 5.1 видно, что температура радиаторов отопления жилого дома хорошо коррелирует с температурой подающей трубы (коэффициенты корреляции близки к 1). Видно также, что корреляция незначительно падает по мере продвижения от девятого к первому этажу. Гораздо заметнее уменьшается коэффициент регрессии b . Это говорит о том, что,

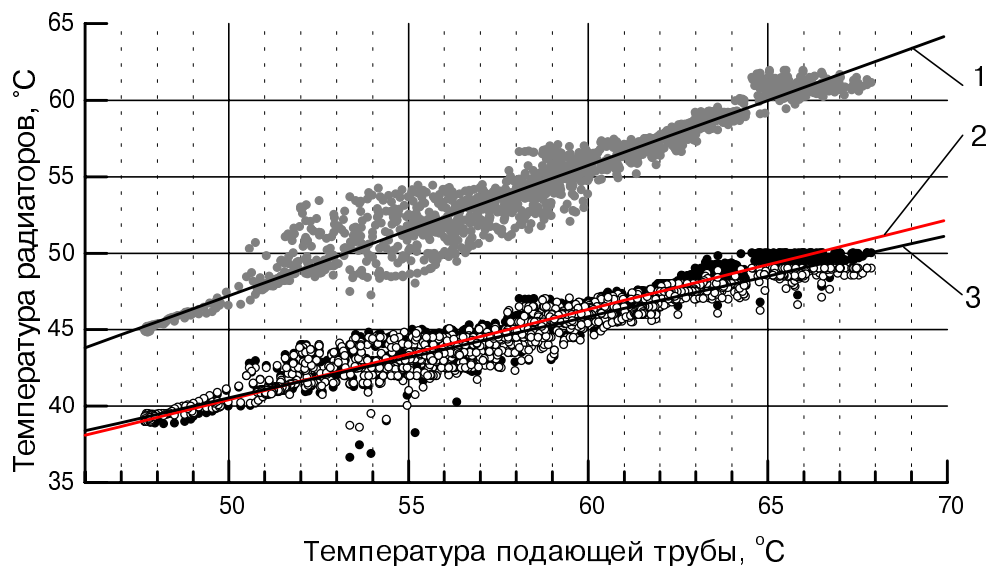


Рис.5.7. Диаграммы рассеяния и регрессионные прямые для отопительной системы объекта 6 (см. рис.4.4.). 1 - зависимость "подающая труба - радиатор девятого этажа"; 2 - зависимость "подающая труба - радиатор первого этажа"; 3 - зависимость "подающая труба - обратная труба".

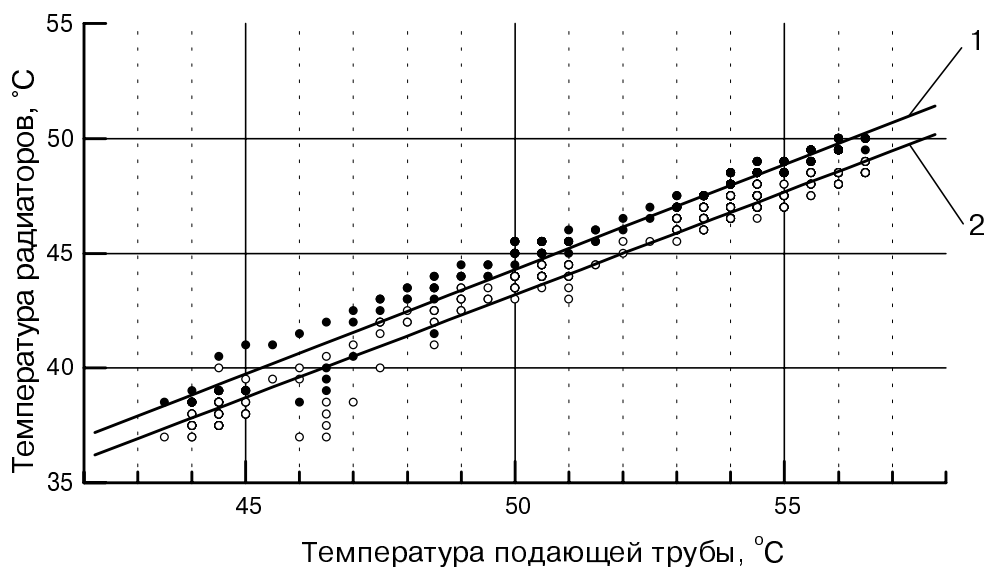


Рис.5.8. Диаграммы рассеяния и регрессионные прямые для отопительной системы объекта 3 (см. рис.5.2). 1 - зависимость "подающая труба - радиатор помещения А"; 2 - зависимость "подающая труба - радиатор помещения Б".

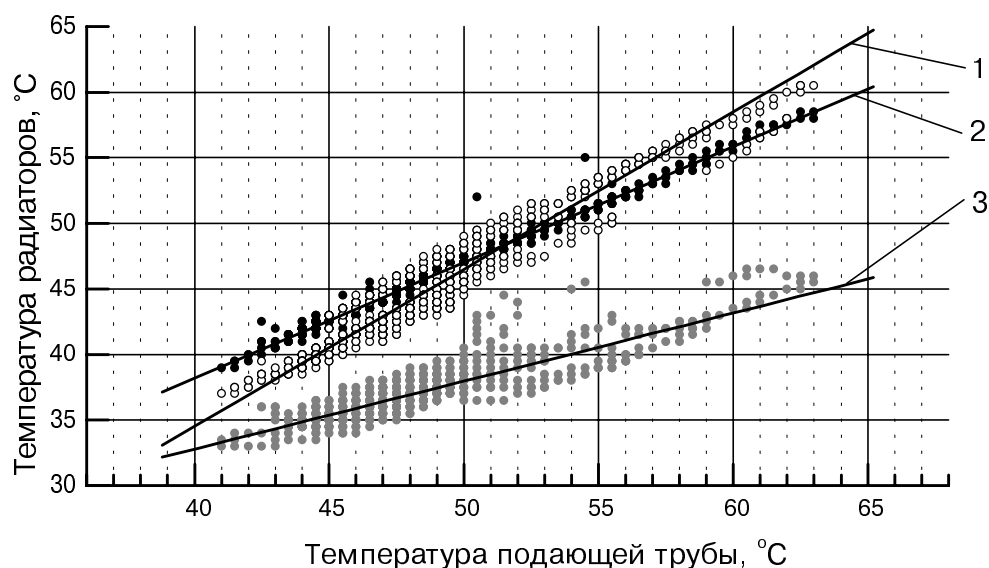


Рис.5.9. Диаграммы рассеяния и регрессионные прямые для отопительной системы объекта 4 (см. рис.5.5). 1 - зависимость "подающая труба - обратная труба"; 2 - зависимость "подающая труба - радиатор теплого помещения; 3 - зависимость "подающая труба - радиатор холодного помещения.

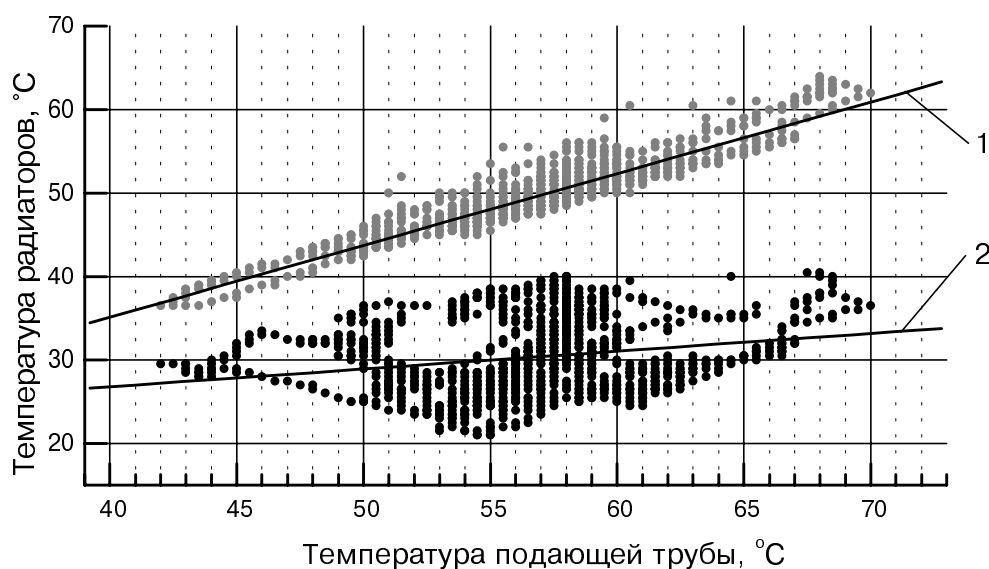


Рис.5.10. Диаграммы рассеяния и регрессионные прямые для отопительной системы объекта 4 (см. рис.5.6). 1 - зависимость "подающая труба - радиатор теплой оранжереи"; 2 - зависимость "подающая труба - радиатор холодной оранжереи.

Таблица 5.1. Значения параметров, характеризующих отопительную систему объекта 6.

| Связка | <i>b</i> | σ | <i>R</i> |
|--|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Подающая труба - радиатор девятого этажа (прямая 1 на рис.5.7) | 0.850 | 0.917 | 0.976 |
| Подающая труба - радиатор первого этажа (прямая 2 на рис.5.7) | 0.587 | 0.685 | 0.972 |
| Подающая труба - обратная труба (прямая 3 на рис.5.7) | 0.531 | 0.645 | 0.970 |

Примечание. Обследованные помещения - квартиры площадью примерно 100 кв.м каждая, расположенные на первом и девятом этажах.

Таблица 5.2. Значения параметров, характеризующих отопительную систему объекта 3.

| Связка | <i>b</i> | σ | <i>R</i> |
|---|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Подающая труба - радиатор отопления помещения А (прямая 1 на рис.5.8) | 0.912 | 0.448 | 0.991 |
| Подающая труба - радиатор отопления помещения Б (прямая 2 на рис.5.8) | 0.895 | 0.396 | 0.992 |
| Подающая труба - радиатор отопления помещения В | 0.833 | 0.490 | 0.987 |
| Подающая труба - радиатор отопления помещения Г | 0.832 | 0.527 | 0.984 |
| Подающая труба - радиатор отопления помещения Д | 0.802 | 0.535 | 0.983 |
| Подающая труба - радиатор отопления помещения Е | 0.936 | 0.417 | 0.992 |
| Подающая труба - радиатор отопления помещения Ж | 0.925 | 0.542 | 0.987 |

Примечание. Обследованные помещения имеют следующие характеристики. А: площадь 84.9 кв.м; площадь радиаторов 13.72 кв.м. Б: соответственно 25.1 кв.м и 3.56 кв.м. В: 57.6 кв.м и 11.18 кв.м. Г: 21.5 кв.м и 3.56 кв.м. Д: 32.9 кв.м и 5.59 кв.м. Е: 120.6 кв.м и 30.79 кв.м. Ж: 37.0 кв.м и 3.77 кв.м. Высота всех помещений, кроме помещения Е, 3.3 м. Помещение Е имеет высоту 10 м.

Таблица 5.3. Значения параметров, характеризующих отопительную систему объекта 4.

| Связка | <i>b</i> | σ | <i>R</i> |
|---|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Подающая труба - обратная труба (прямая 1 на рис.5.9) | 1.199 | 1.206 | 0.966 |
| Подающая труба - радиатор отопления теплого помещения (прямая 2 на рис. 5.9) | 0.883 | 0.302 | 0.996 |
| Подающая труба - радиатор отопления холодного помещения (прямая 3 на рис 5.9) | 0.518 | 0.829 | 0.920 |

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Подающая труба - радиатор отопления оранжереи 1 | 0.700 | 2.325 | 0.825 |
| Подающая труба - радиатор отопления оранжереи 2 (прямая 2 на рис.5.10) | 0.212 | 4.597 | 0.219 |
| Подающая труба - радиатор отопления оранжереи 3 | 0.390 | 2.939 | 0.542 |
| Подающая труба - радиатор отопления оранжереи 4 (прямая 1 на рис.5.10) | 0.859 | 1.375 | 0.950 |

Примечание. Оранжереи представляют собой помещения с полностью остекленными стенами и потолком. Площадь каждой из них - 360 кв.м, высота - 7 м. Остальные помещения по характеристикам соответствуют помещению Б объекта 3.

хотя радиаторы отопления нижнего этажа и обратная труба достаточно хорошо воспроизводят все эволюции температуры подающей трубы, амплитуды воспроизводимых эволюций существенно меньше. Здесь уже сказываются потери тепла в радиаторах верхних этажей, а также гидравлическое сопротивление системы. Уменьшение амплитуд колебаний температуры в радиаторах нижнего этажа и в обратной трубе приводят, естественно, к уменьшению разброса значений наблюдаемых температур, что и зафиксировано в величине стандартного отклонения σ .

Параметры объекта 3 (табл. 5.2) демонстрируют незначительный разброс значений, что указывает на отсутствие сколь-нибудь существенных аномалий в работе отопительной системы. Этого не скажешь о системе отопления объекта 4 (табл. 5.3). Каждый из трех параметров в отдельности и все они в совокупности свидетельствуют, что в данной системе имеется значительный разбаланс. Например, существуют помещения, температура радиаторов которых весьма слабо коррелирует с температурой подающей трубы ($R \approx 0.2$). Разброс температур радиатора холодного помещения более чем в два раза превышает аналогичный параметр для радиатора теплого помещения. Параметр регрессии для разных участков отопительной системы отличается в 6 раз. Все это говорит о том, что в системе отопления нарушена циркуляция теплоносителя, в ней есть застойные и, возможно, заведущие участки, не-санкционированные отборы теплоносителя и т. п. Мы еще вернемся к этой системе отопления в главе 6 при анализе спектров температурных колебаний.

При взгляде на рис. 5.8 может создаться впечатление, что он построен на основе меньшего числа точек, чем, например,

рис. 5.7. Однако это не так. В обоих случаях число точек составляет 2048. Просто разброс значений температуры подающей трубы и, следовательно, радиаторов на объекте 3 значительно меньше, чем на объекте 6 (рис. 5.7). Связано это главным образом с тем, что на объекте 6 система автоматического регулирования в большей степени следит за каждым изменением наружной температуры, отрабатывая малейшие ее колебания. На объекте же 3 (рис. 5.8), где регулирование велось вручную, оператор котельной не мог отслеживать колебания наружной температуры с такой же оперативностью. Мы уже видели (рис. 5.2), что за весь период наблюдения было проведено только два существенных повышения температуры воды в системе. Поэтому разброс значений температуры подающей трубы и радиаторов отопления здесь гораздо меньше.

Если на кривых температурных зависимостей для подающей трубы и радиатора отопления девятого этажа объекта 6 отфильтровать колебания, связанные с влиянием автоматики котельной и дискретностью датчиков, можно проследить хорошую корреляцию между температурами наружного воздуха и подающей трубы. Это особенно характерно для первой трети периода наблюдения (рис. 5.11). Диаграммы рассеяния пары "наружный воздух - подающая труба" для первой трети периода наблюдения показаны на рис. 5.12. На рис. 5.13 и 5.14 представлены соответственно температурные зависимости и диаграммы рассеяния для второй, а на рис. 5.15 и 5.16 - для последней трети периода наблюдения. Рис. 5.17 и 5.18 демонстрируют аналогичные зависимости для всего периода наблюдения. В табл. 5.4 собраны численные значения параметров b , σ и R , характеризующие взаимосвязь температур наружного воздуха и подающей трубы котельной для каждой трети и всего периода наблюдения. Представлены как параметры, полученные на основе исходных (несглаженных) температурных зависимостей, так и значения, полученные из предварительно отфильтрованных кривых. При фильтрации принимался граничный период, равный 4 часам. Он позволял удалить все помехи, вызванные автоматикой котельной и дискретностью датчиков.

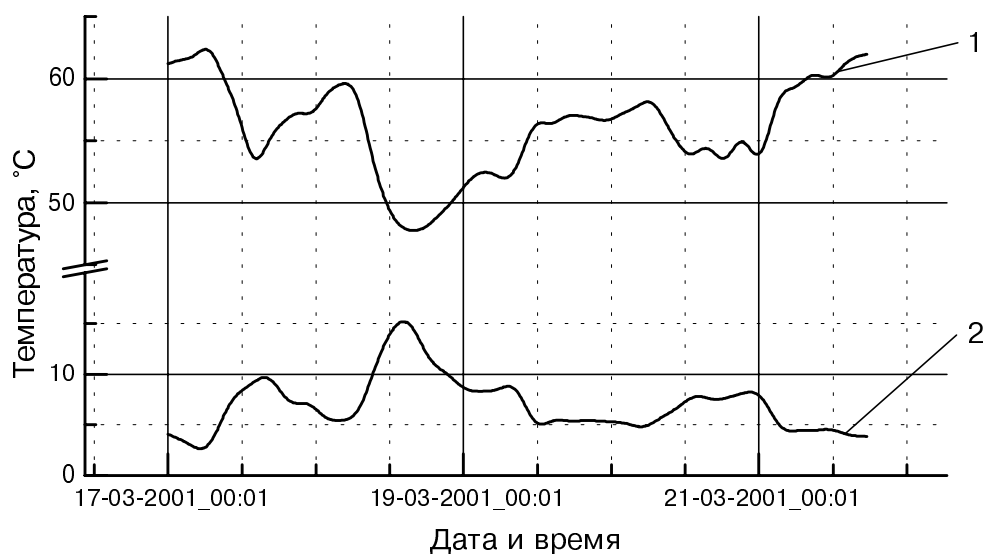


Рис.5.11. Отфильтрованные зависимости температуры от времени для объекта 6 в первой трети периода наблюдения: 1 - подающая труба; 2 - наружный воздух.

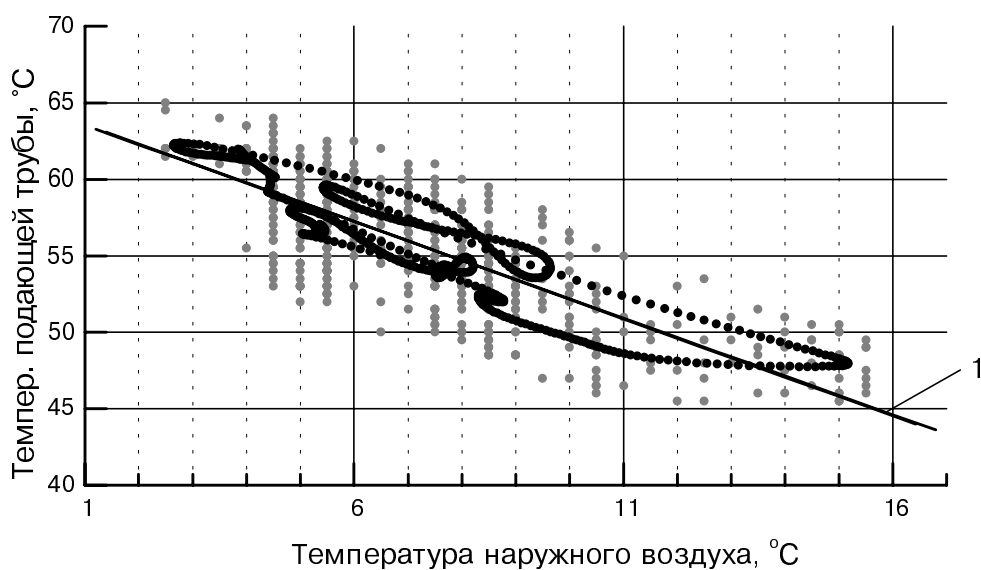


Рис.5.12. Диаграммы рассеяния для первой трети периода наблюдения объекта 6: серые точки - для исходного временного ряда; черные точки - для отфильтрованного временного ряда; 1 - слившиеся воедино регрессионные прямые отфильтрованного и неотфильтрованного процессов.

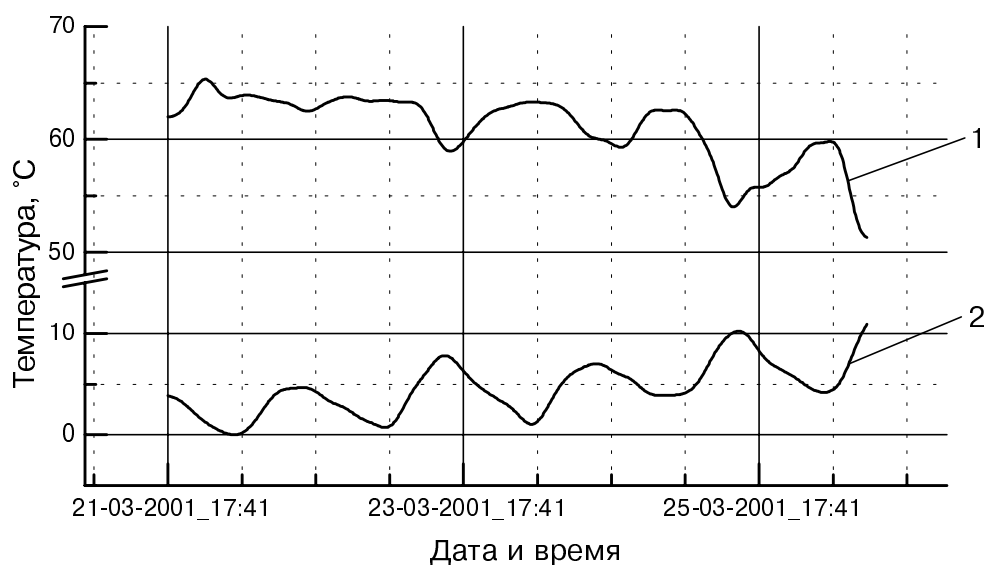


Рис.5.13. Отфильтрованные зависимости температуры от времени для объекта 6 во второй трети периода наблюдения: 1 - подающая труба; 2 - наружный воздух.

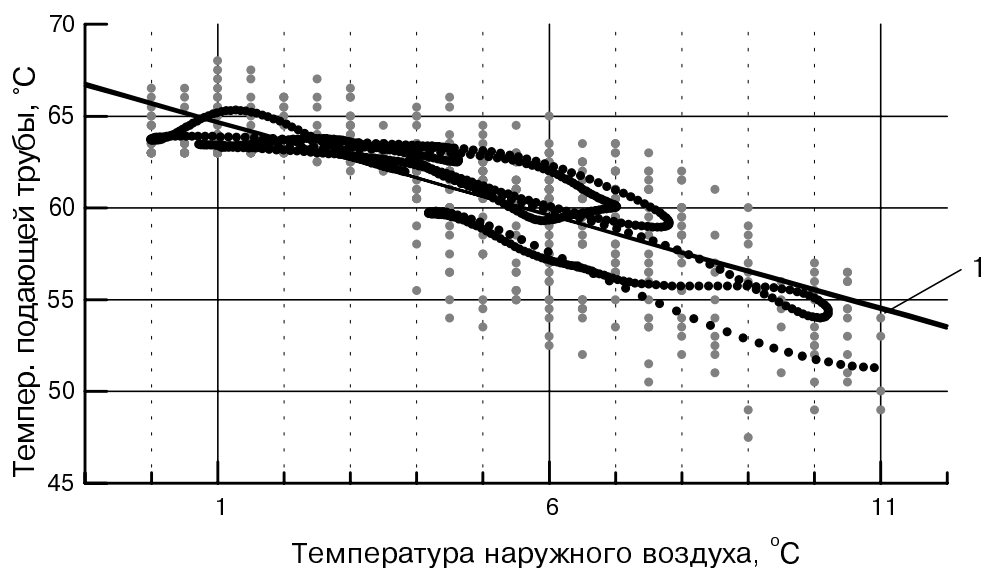


Рис.5.14. Диаграммы рассеяния для второй трети периода наблюдения объекта 6: серые точки - для исходного временного ряда; черные точки - для отфильтрованного временного ряда; 1 - слившиеся воедино регрессионные прямые отфильтрованного и неотфильтрованного процессов.

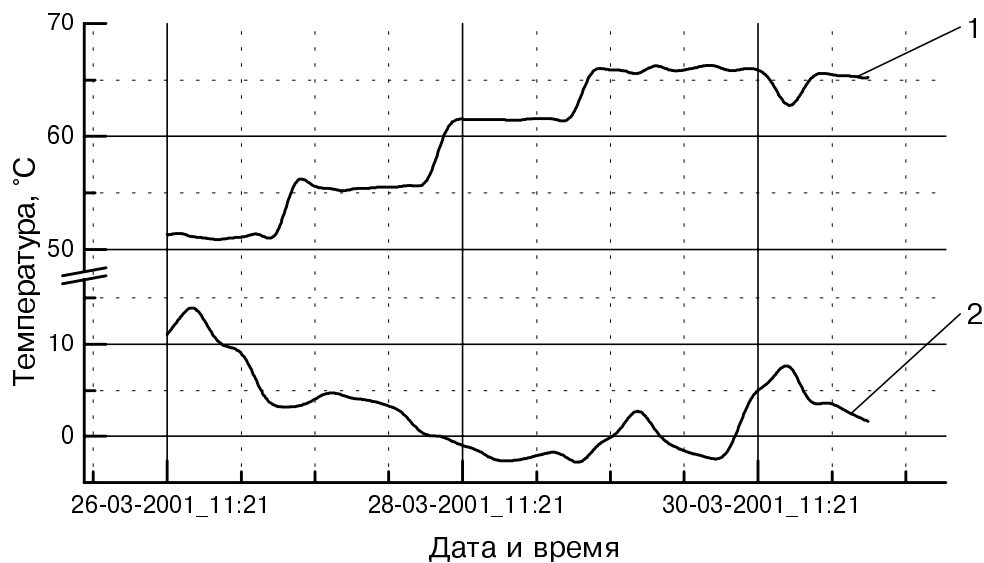


Рис.5.15. Отфильтрованные зависимости температуры от времени для объекта 6 в последней трети периода наблюдения: 1 - подающая труба; 2 - наружный воздух.

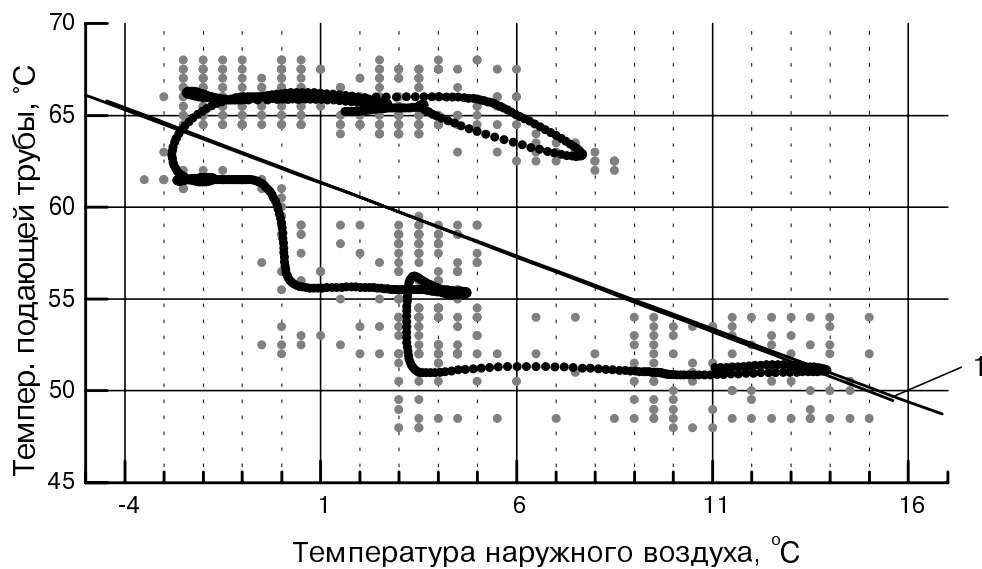


Рис.5.16. Диаграммы рассеяния для последней трети периода наблюдения объекта 6: серые точки - для исходного временного ряда; черные точки - для отфильтрованного временного ряда; 1 - слившиеся воедино регрессионные прямые отфильтрованного и неотфильтрованного процессов.

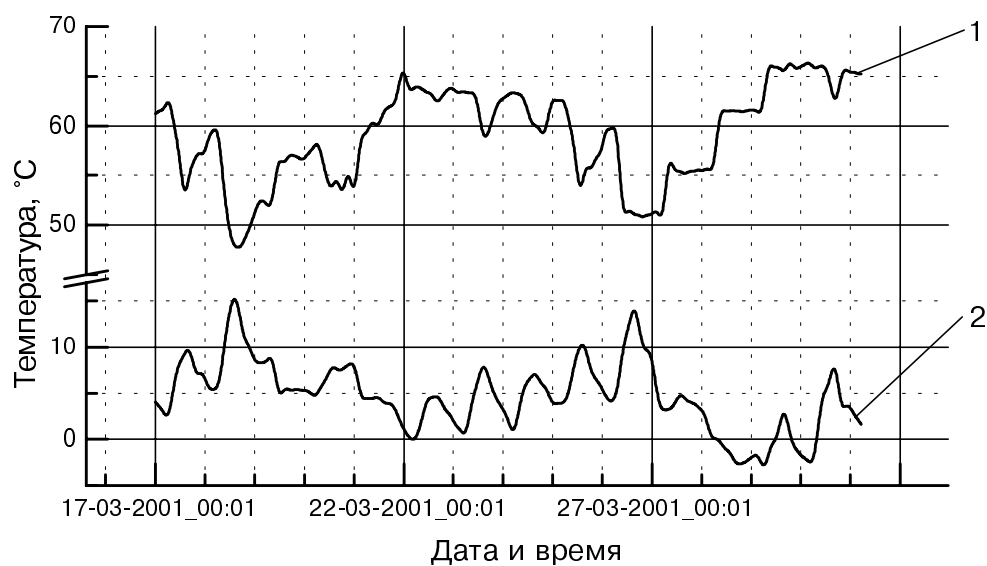


Рис.5.17. Отфильтрованные зависимости температуры от времени для объекта 6 за весь период наблюдения: 1 - подающая труба; 2 - наружный воздух.

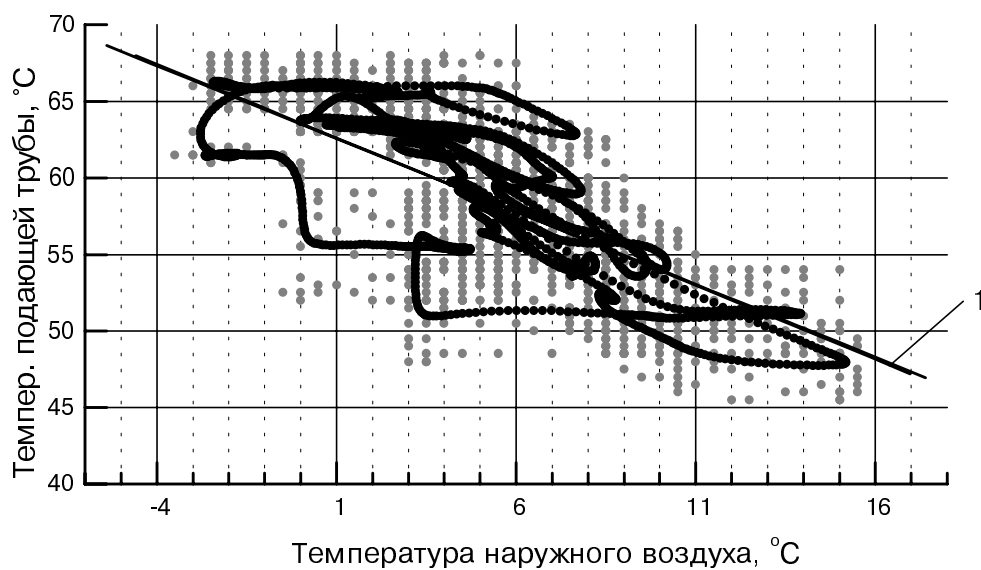


Рис.5.18. Диаграммы рассеяния для всего периода наблюдения объекта 6: серые точки - для исходного временного ряда; черные точки - для отфильтрованного временного ряда; 1 - слившиеся воедино регрессионные прямые отфильтрованного и не-отфильтрованного процессов.

Таблица 5.4. Значения параметров, характеризующих отопительную систему объекта 6 с точки зрения связи "наружная температура - температура подающей трубы".

| Временной интервал наблюдения | b | σ | R |
|---|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Первая треть периода наблюдения (расчет по исходным кривым) | -1.261 | 2.593 | -0.803 |
| Первая треть периода наблюдения (расчет по отфильтрованным кривым) | -1.271 | 1.519 | -0.914 |
| Вторая треть периода наблюдения (расчет по исходным кривым) | -1.002 | 2.312 | -0.747 |
| Вторая треть периода наблюдения (расчет по отфильтрованным кривым) | -1.027 | 1.449 | -0.872 |
| Последняя треть периода наблюдения (расчет по исходным кривым) | -0.795 | 4.640 | -0.596 |
| Последняя треть периода наблюдения (расчет по отфильтрованным кривым) | -0.814 | 4.290 | -0.629 |
| Весь период наблюдения (расчет по исходным кривым) | -0.951 | 3.656 | -0.701 |
| Весь период наблюдения (расчет по отфильтрованным кривым) | -0.963 | 3.123 | -0.754 |

Проанализируем таблицу 5.4. Во-первых, можно констатировать, что параметры b и R , рассчитанные по сглаженным и несглаженным температурным зависимостям, не сильно отличаются друг от друга. Во всяком случае, как одни, так и другие правильно отражают особенности каждого из трех отрезков периода наблюдения. Параметр σ , естественно, отличается, так как сглаживание уменьшает разброс температур. Все это говорит о том, что мы не погрешили против истины, выбрав граничный период равным 4 часам. Что касается особенностей каждого из отрезков, то они заключаются в следующем.

В первой трети периода наблюдения автоматика котельной объекта 6 была настроена на пропорциональное регулирование. Напомним, что регулирование здесь проводилось по показаниям датчика температуры наружного воздуха. В результате температура теплоносителя изменялась в противофазе с температурой наружного воздуха, почти буквально повторяя все ее изменения, о чем свидетельствует близкое к -1 значение коэффициента корреляции ($R = -0.914$). Коэффициент же регрессии в этом режиме регулирования оказался равен -1.271. Это значит, что на каждый градус изменения температуры наружного воздуха температура воды в системе в среднем изменялась на 1.271 градуса. Такой режим сильной корреляции температур наружного воздуха и теплоносителя

слабо использует теплоинерционную способность ограждающих конструкций отапливаемых помещений. Образно такой режим можно сравнить с ракетой, которая держится в воздухе только за счет работы двигателя и совершенно не использует режим парения.

Другой крайний случай - последняя треть периода наблюдения. Здесь использовался широко применяемый в практике каскадный метод регулирования, когда при переходе температуры наружного воздуха через определенный порог температура воды в системе изменяется скачком на заданную величину и в дальнейшем не регулируется до достижения наружной температурой следующего порога. В этом режиме коэффициент регрессии понизился до -0.814 , т. е., следуя предыдущей логике, на каждый градус изменения температуры снаружи температура воды в системе изменялась в среднем на 0.814 градуса. Этот режим уже использует теплоинерционную способность отапливаемых помещений. Однако он требует точного знания, при каких температурных порогах и на сколько градусов нужно повышать температуру воды в системе. Такое знание для конкретной отопительной системы можно получить только опытным путем. Заметим, кстати, что на объекте 3, о котором мы еще будем говорить ниже, данный опыт приобретался в течение шести лет. Ускорить этот процесс можно, применяя описываемый здесь распределенный температурный мониторинг, который за две недели эксперимента показал, какое влияние на эффективность отопления оказывает каждый из двух методов регулирования. Например, неоптимальное применение каскадного метода привело на объекте 6 к нарушению температурного режима отапливаемых помещений, особенно помещений первого этажа, как это видно из рис. 5.19.

Температурный мониторинг позволяет проводить исследование восприимчивости систем к регулирующим воздействиям и их устойчивости, т.е. способности не выходить из синхронизма с регулирующими воздействиями при различных амплитудах и частотах последних. Эти исследования проводились нами двумя способами - пассивным и активным. При пассивном способе система находилась в нормальном режиме эксплуатации, при котором регулировочные воздействия носили естественный характер, отслеживая колебания температуры наружного воздуха. При этом скачки температуры теп-

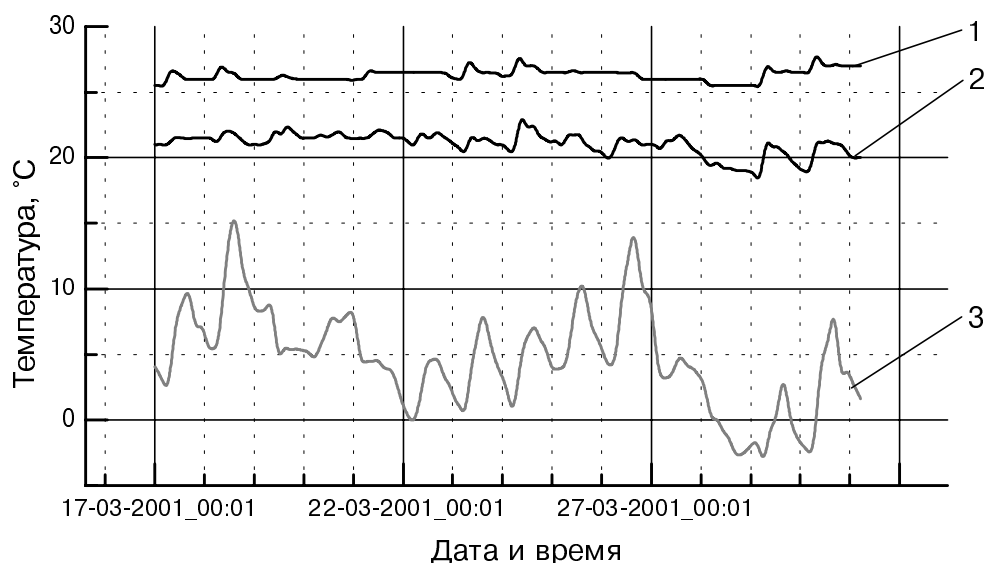


Рис.5.19. Температурные режимы помещений объекта 6: 1 - температура воздуха в квартире 9-го этажа; 2 - температура воздуха в квартире 1-го этажа; 3 - температура наружного воздуха.

лоносителя в подающей трубе были невелики (как правило, не более 5°C). При активном способе котельная скачком переводилась в режим минимальной мощности, выдерживалась в этом режиме 12 часов, чтобы температура воды в системе застabilизировалась (см. рис. 5.4), затем температура воды, опять же скачком, поднималась на 10 градусов и этот режим выдерживался 12 часов, и так далее. Циклы подъема температуры с последующей выдержкой продолжались до выхода котельной на нормальный режим эксплуатации. За 14-суточный период наблюдения такой эксперимент повторялся дважды. Датчики стояли на подающей и обратной трубах котельной и на радиаторах отопления исследуемых помещений. Моменты появления регулирующего воздействия в разных точках отопительной системы фиксировались как максимумы производных температурных зависимостей по времени. Ход такого эксперимента представлен на рис. 5.20. Как и следовало ожидать, позже всего регулирующее воздействие в виде скачка температуры достигало обратной трубы. Задержка не превысила 30 минут (см. нижнюю часть рис. 5.20, где временной промежуток между соседними экспериментальными точками составлял 10 минут). Радиаторов отапливаемых помещений

воздействие достигало через 10-20 минут, в зависимости от расположения помещения в схеме теплоснабжения. Величина задержек не зависела от знака регулирующего воздействия (повышения или понижения температуры). Хорошо спроектированную и отрегулированную систему отопления объекта 3

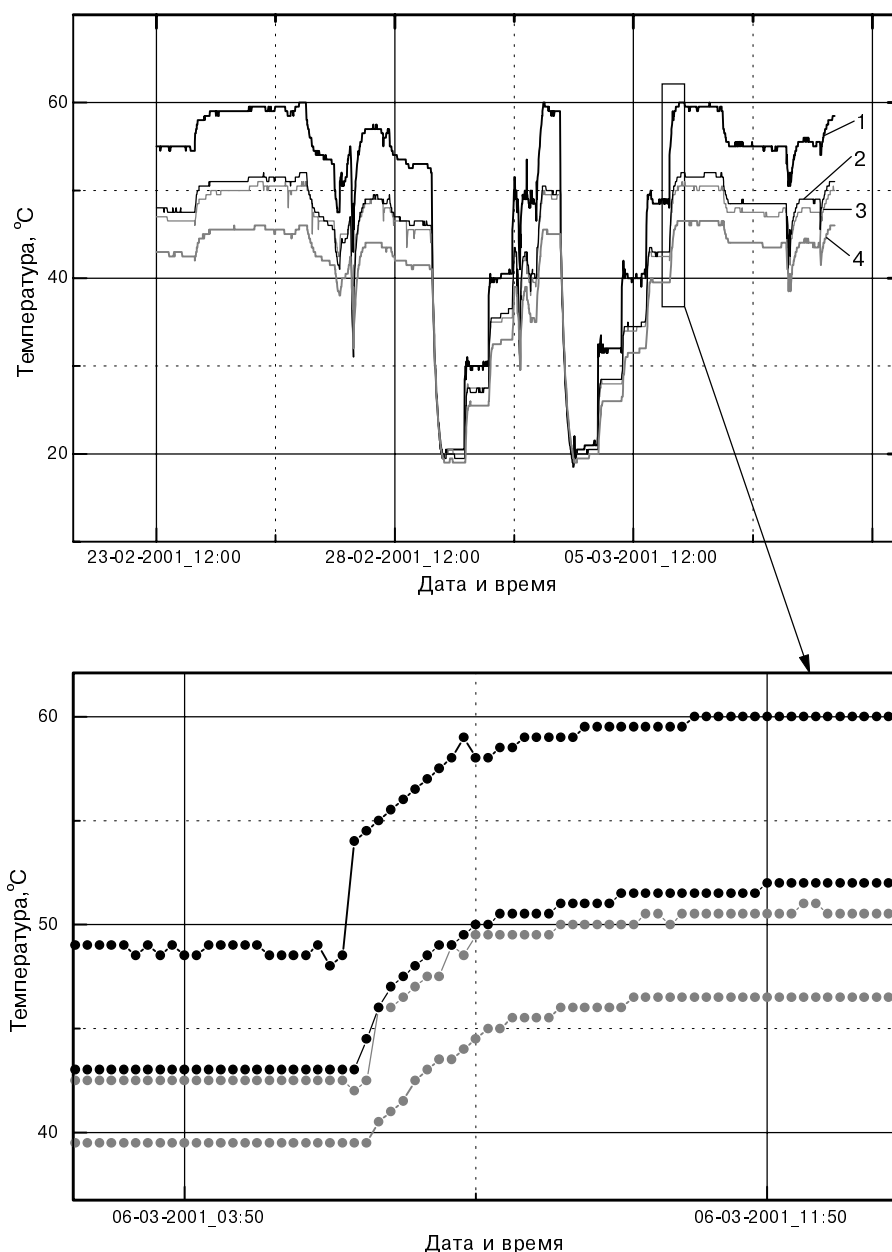


Рис.5.20. Эксперимент по определению реакции отопительной системы на регулирующее воздействие (объект 3): 1 - температура подающей трубы; 2 - температура радиатора помещения А (см. рис. 5.2); 3 - температура радиатора помещения Б; 4 - температура обратной трубы.

проведенный эксперимент ни разу не вывел из синхронизма. Она показала хорошую устойчивость к аномальным регулирующим воздействиям и хорошую чувствительность всех своих участков к любым эволюциям порождающего процесса, т. е. температуры подающей трубы.

Иначе обстояло дело при попытке провести подобный эксперимент на объекте 5. Здесь при первых же регулирующих скачках температуры воды в подающей трубе система разрегулировалась и ни на одном своем участке не воспроизводила того температурного режима, который задавался ей, согласно схеме эксперимента. Подробнее этот случай мы рассмотрим в главе 6 при описании спектральных характеристик отопительных систем.

5.3. Температурные режимы помещений

5.3.1. Визуальные оценки

Визуальный анализ получаемых зависимостей температуры воздуха в исследуемых помещениях от времени дает возможность получить представление о том, соответствует ли температура санитарным нормам для данного типа помещений, как она зависит от расположения помещения в здании и по отношению к системе отопления, выявить влияние технологического и другого оборудования на температурный режим и в конечном итоге выявить помещения, температурный режим которых не соответствует предъявляемым к нему требованиям. В главе 4 мы уже приводили примеры температурных режимов помещений на некоторых из исследованных нами объектах. Сейчас мы дополним картину. На рис. 5.21 показаны сглаженные температурные зависимости для помещений газонаполнительной станции в г.Макеевке (объект 1). Эти зависимости распадаются на две группы. Первая группа, с более высокой температурой (кривые 1-3), отражает температурные режимы помещений, получающих тепло первыми. Вторая группа помещений находится на периферии отопительной системы и получает меньше тепла. Помещения первой группы имеют температурные режимы, отвечающие санитарным нормам для этого типа помещений (допустимая температура 15-21°C для работ средней тяжести). В остальных помещениях санитарные нормы по температурному режиму не выдержива-

ются. Термостатические свойства помещений качественно можно определить по тому, как кривые их температурных режимов повторяют ход изменения температуры наружного воздуха. Наихудшие термостатические свойства демонстрирует помещение насосно-компрессорного отделения (кривая 5). Мало того, что его средняя температура за исследованный период составила $\sim 9^{\circ}\text{C}$, что на 4 градуса ниже порога санитарных норм даже для тяжелых работ. Оно практически не обладает термостатическими свойствами и четко реагирует на изменения температуры наружного воздуха. Напомним, что в главе 4 был приведен несглаженный график температурной зависимости для этого помещения (рис. 4.3), на котором на фоне медленных изменений, отслеживающих наружную температуру, хорошо видны периодические подъемы, определяемые прогревом технологического оборудования.

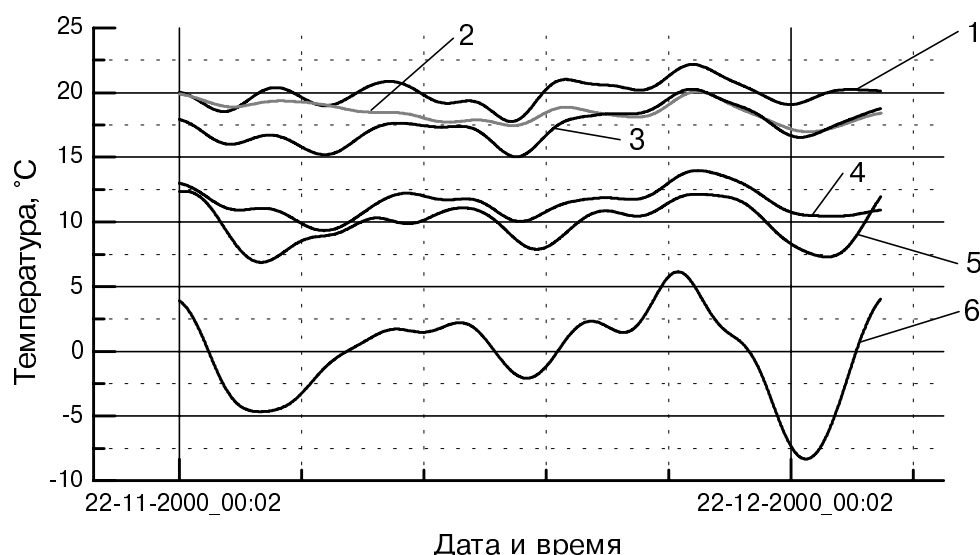


Рис.5.21. Температурный режим помещений объекта 1: боксов гаража (1), административного корпуса (2), ремонтно-механических мастерских (3), наполнительного отделения (4), насосно-компрессорного отделения (5); 6 - температура наружного воздуха.

Рис. 5.22 иллюстрирует температурный режим помещений производственно-эксплуатационной базы газового хозяйства г. Шахтерска Донецкой области (объект 3). Здесь нужно обратить внимание на следующие особенности. Во всех помещениях офиса, имеющих площадь от 20 до 60 кв.м, под-

держивается нормальный температурный режим для данной категории помещений (кривая 1). Крупногабаритные производственные и складские помещения также поддерживают нормальный для своей категории режим (кривые 3 и 4). Что касается термостатических свойств, то наблюдается небольшой провал в середине периода наблюдения, отслеживающий понижение температуры наружного воздуха. Однако этот провал гораздо менее заметен, чем колебания температуры в обследованных помещениях макеевской ГНС. Исключение составляет актовый зал, имеющий площадь 85 кв.м (кривая 2). Здесь температура на 5 градусов ниже допустимой.

Температурные режимы в квартирах 9-этажного жилого дома сильно зависят от того, на каком этаже расположены квартиры. На рис. 5.19 приведены режимы для квартир первого и девятого этажей. Видно, что они отличаются примерно на 6°C. Напомним, что в этом доме смонтирована отопительная система с верхней подачей теплоносителя.

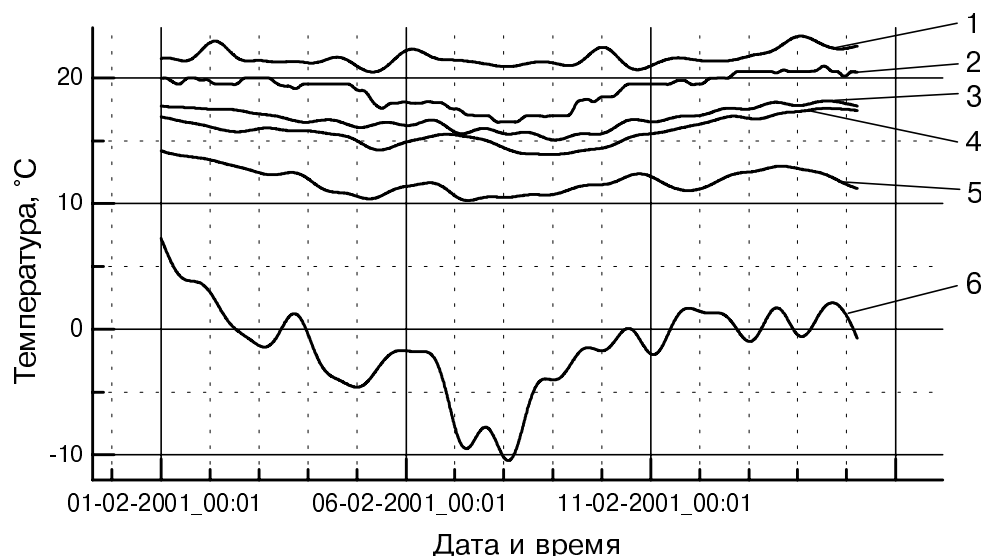


Рис.5.22. Температурный режим помещений объекта 3: 1, 2, 3, 4, 5 - соответственно температуры в помещениях Г, Д, А, Ж, Е (см. табл. 5.2); 6 - температура наружного воздуха.

5.3.2. Регрессионный и корреляционный анализы

На рис. 5.23 и 5.24 показаны диаграммы рассеяния, связывающие температуру наружного воздуха с температурой помещений объектов 1 и 3. Для каждого из объектов приве-

дены диаграммы для самого холодного и самого теплого помещений. На объекте 1 самым холодным помещением является насосно-компрессорное отделение (см. температурную зависимость на рис. 5.21). Теплоизоляционные свойства этого помещения не позволяют сохранять в нем постоянный температурный режим. Этот режим сильно зависит от колебаний температуры наружного воздуха, что и отражает диаграмма рассеяния на рис. 5.23.

Из сопоставления рис. 5.23 и 5.24 видно, что вилка между наклонами регрессионных прямых для объекта 3 значительно меньше, чем для объекта 1. Следовательно, разброс температур в комплексе помещений объекта 3 меньше, чем в комплексе помещений объекта 1. Иными словами, температурный режим помещений на объекте 3 более однороден, чем на объекте 1.

На рис. 5.25 приведены диаграммы рассеяния для квартир первого и девятого этажей жилого дома (объект 6). Видно, что температура в квартире первого этажа сильнее подвержена влиянию наружного воздуха, чем температура в квартире девятого этажа.

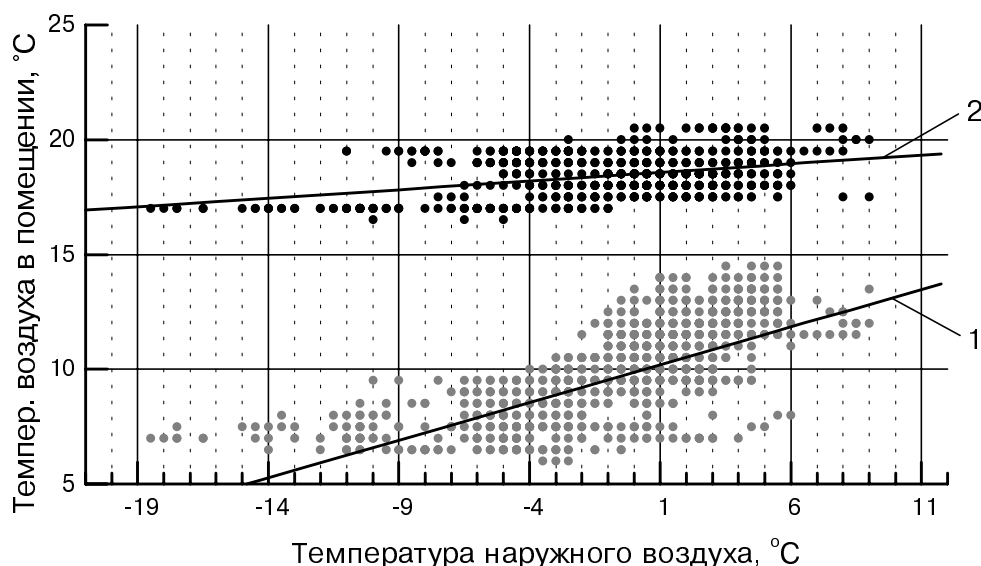


Рис.5.23. Диаграммы рассеяния для помещений объекта 1: серые точки - насосно-компрессорное отделение; черные - административный корпус; 1 и 2 - соответственно регрессионные прямые для НКО и административного корпуса.

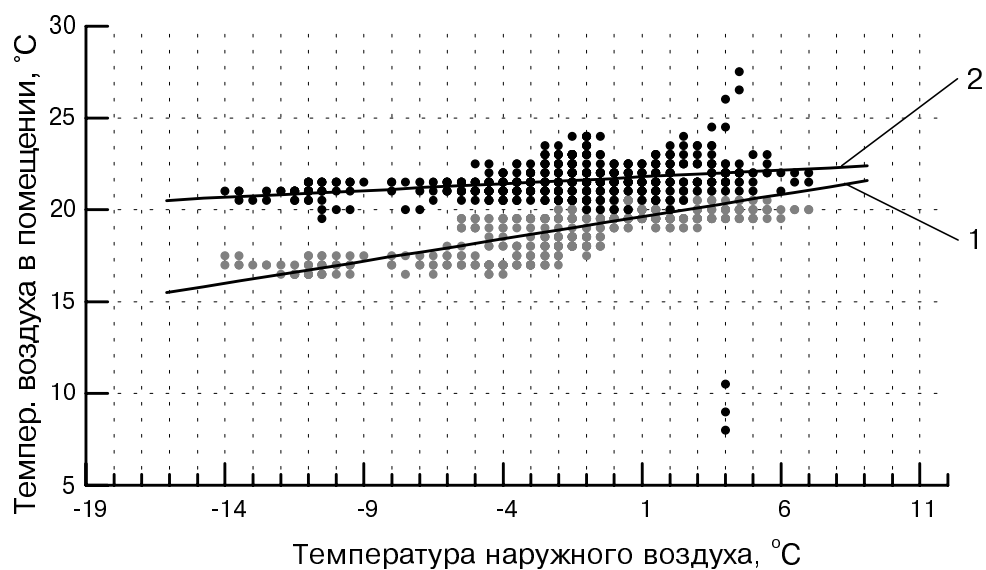


Рис.5.24. Диаграммы рассеяния для помещений объекта 3: серые точки - помещение Д; черные - помещение Г; 1 и 2 - соответственно регрессионные прямые для помещений Д и Г (см. табл. 5.2).

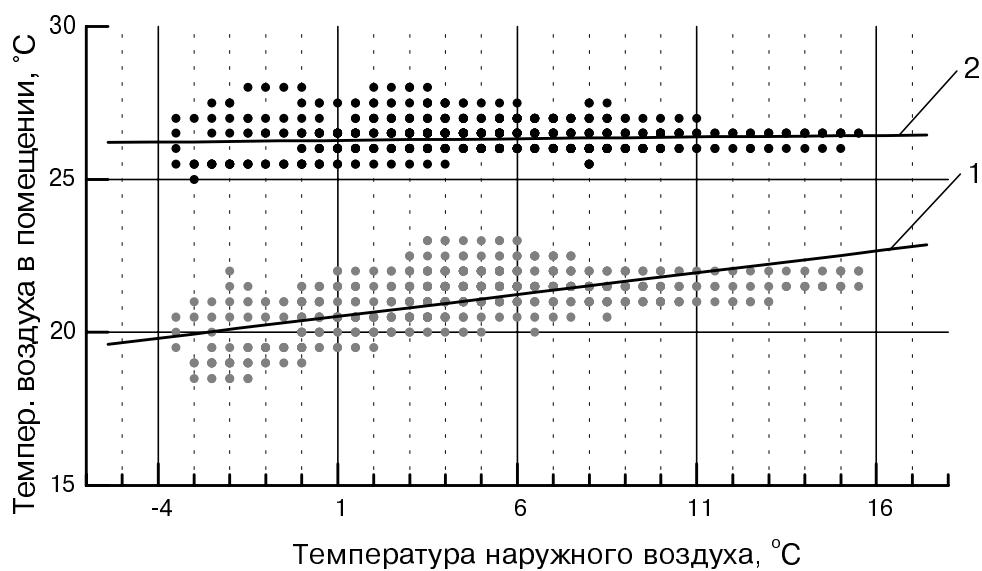


Рис.5.25. Диаграммы рассеяния и регрессионные прямые для объекта 6: 1 - помещение первого этажа; 2 - помещение девятого этажа.

В табл. 5.5-5.7 собраны значения коэффициентов регрессии b , корреляции R и стандартных отклонений σ , характеризующих пары связанных процессов "наружный воздух - внутренний воздух" для объектов 1, 3 и 6, соответственно.

Таблица 5.5. Значения параметров, характеризующих теплоизоляционные свойства помещений объекта 1.

| Связка | b | σ | R |
|---|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Наружный воздух - воздух боксов гаража (кривая 1 на рис. 5.21) | 0.110 | 1.275 | 0.336 |
| Наружный воздух - воздух административного корпуса (кривая 2 на рис. 5.21) | 0.075 | 0.820 | 0.354 |
| Наружный воздух - воздух ремонтно-механических мастерских (кривая 3 на рис. 5.21) | 0.197 | 1.216 | 0.557 |
| Наружный воздух - воздух наполнительного отделения (кривая 4 на рис. 5.21) | 0.162 | 1.077 | 0.527 |
| Наружный воздух - воздух насосно-компрессорного отделения (кривая 1 на рис. 5.21) | 0.327 | 1.350 | 0.709 |

Таблица 5.6. Значения параметров, характеризующих теплоизоляционные свойства помещений объекта 3.

| Связка | b | σ | R |
|---|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Наружный воздух - воздух помещения А (прямая 3 на рис.5.22) | 0.173 | 0.641 | 0.713 |
| Наружный воздух - воздух помещения Б | 0.143 | 0.552 | 0.700 |
| Наружный воздух - воздух помещения В | 0.163 | 0.702 | 0.660 |
| Наружный воздух - воздух помещения Г (прямая 1 на рис.5.22) | 0.074 | 0.963 | 0.280 |
| Наружный воздух - воздух помещения Д (прямая 2 на рис.5.22) | 0.242 | 0.858 | 0.728 |
| Наружный воздух - воздух помещения Е (прямая 5 на рис.5.22) | 0.205 | 0.667 | 0.758 |
| Наружный воздух - воздух помещения Ж (прямая 4 на рис.5.22) | 0.173 | 0.856 | 0.607 |

Таблица 5.7. Значения параметров, характеризующих теплоизоляционные свойства помещений объекта 6.

| Связка | b | σ | R |
|--|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| Наружный воздух - воздух в квартире девятого этажа (см. рис. 5.19) | 0.011 | 0.475 | 0.087 |
| Наружный воздух - воздух в квартире первого этажа (см. рис. 5.19) | 0.142 | 0.702 | 0.608 |

5.4. Некоторые специальные применения

Приведем еще два примера применения распределенного синхронного температурного мониторинга, с которыми авторам пришлось столкнуться на практике. Первый из них касается определения температурного режима в объеме оранжерей и теплиц. До сих пор мы рассматривали ситуации, когда температура воздуха внутри помещения фиксировалась одним датчиком, устанавливаемым, как правило, на внутренней перегородке, вдали от окон, дверей и радиаторов отопления. Такое размещение датчика позволяло определить среднюю температуру помещения и ее изменение во времени. В помещениях, предназначенных для выращивания растений, необходимо знать не только среднюю температуру, но и ее распределение по объему помещения, в частности, находить величину температурного градиента по высоте. Например, для оранжерей тропических растений ботанического сада важно иметь распределение температуры по их пространству в разные сезоны года, фиксировать распределение температуры внутри крон растений различных видов и т.п. Такие наблюдения были проведены авторами совместно с сотрудниками Донецкого ботанического сада НАН Украины.

Фрагмент панорамы зависимости температуры от времени для датчиков, расположенных на разной высоте по оси симметрии купола, изображен на рис. 5.26. В нижней части купола, заполненной кронами растений, наблюдается градиент температуры по высоте, достигающий в отдельные моменты времени до $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Он полностью исчезает в ночное время суток. В верхней части купола, свободной от крон растений, градиент по высоте не наблюдался. Эти выводы справедливы для всех времен года. От сезона изменяется только величина градиента.

Система мониторинга позволяет измерять не только температуру воздуха, но и температуру грунта, например, на разных глубинах, и вести регистрацию ее распределения по глубине и во времени. Знание влияния крон растений различных пород на температурное распределение в объеме помещения может быть полезно при проектировании микроклимата помещения с использованием зеленых зон, размещаемых внутри него.

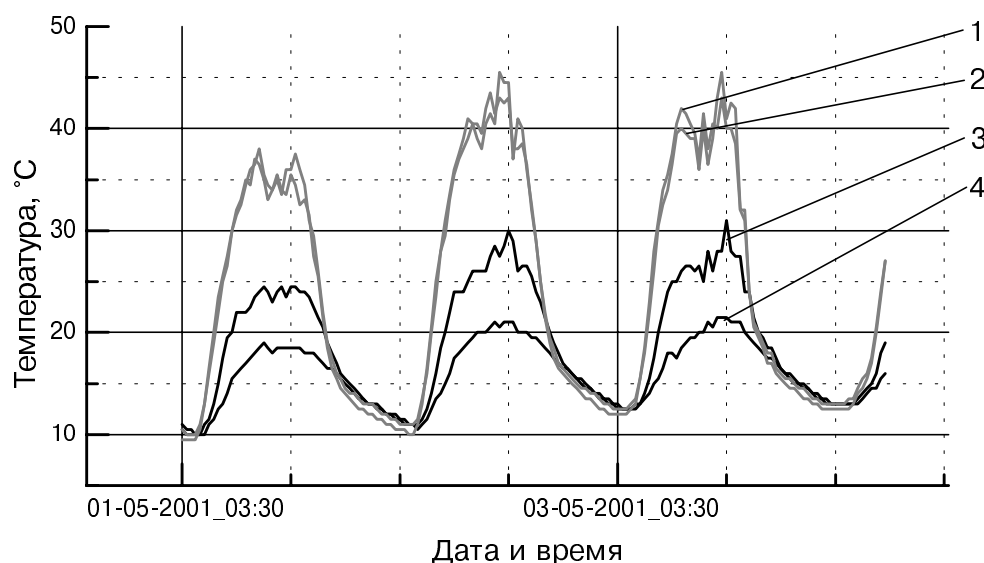


Рис.5.26. Фрагмент температурной панорамы, полученной от четырех датчиков, расположенных на разной высоте по оси купола: 1 - высота 11.5м; 2 - 9.5м; 3 - 4.5м; 4 - 1.5м.

Второй пример связан с проблемой конфликтов между населением и теплосетью, нередко возникающих с наступлением отопительного сезона. Эти конфликты вызваны жалобами населения на плохое качество отопления и горячего водоснабжения. Практика разрешения конфликтов между теплоснабжающими организациями и квартиросъемщиками зачастую носит эмоциональный, субъективный характер, так как не существует надежных способов документально установить действительную температуру в помещениях и температуру горячей воды за сколько-нибудь длительный промежуток времени. Существующий метод одноразовых контрольных замеров не может дать исчерпывающей информации. Применение же описываемой здесь технологии для температурного обследования конфликтных объектов позволит обеим сторонам документально, на основе данных объективных измерений обосновать свои претензии. Кроме того, широкое использование этой технологии даст возможность теплоснабжающим организациям получить картину реального распределения тепла по потребителям, выявить каналы утечки. Для местных органов власти такая система сформирует уже за один отопительный сезон картину эффективности городского теплоснабжения и его узких мест, создаст базу данных распределения тепла и

выявит объекты, требующие повышенного внимания. Для примера на рис. 5.27-5.28 показан зафиксированный с помощью синхронного температурного мониторинга режим подачи горячей воды в один из жилых домов г. Донецка в июне и сентябре 2001г. Температура горячей воды измеря-

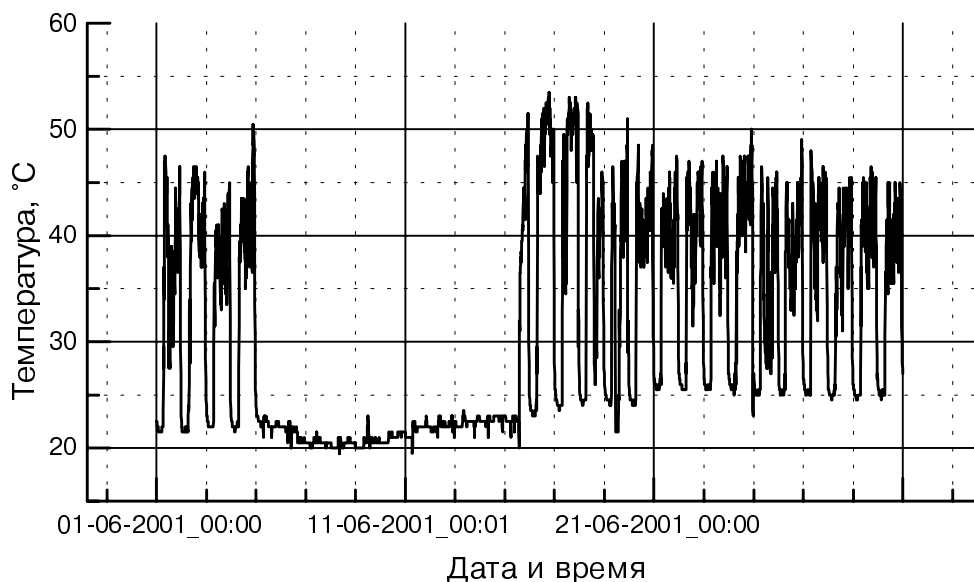


Рис.5.27а. Режим подачи горячей воды на обследованном объекте в июне 2001г.

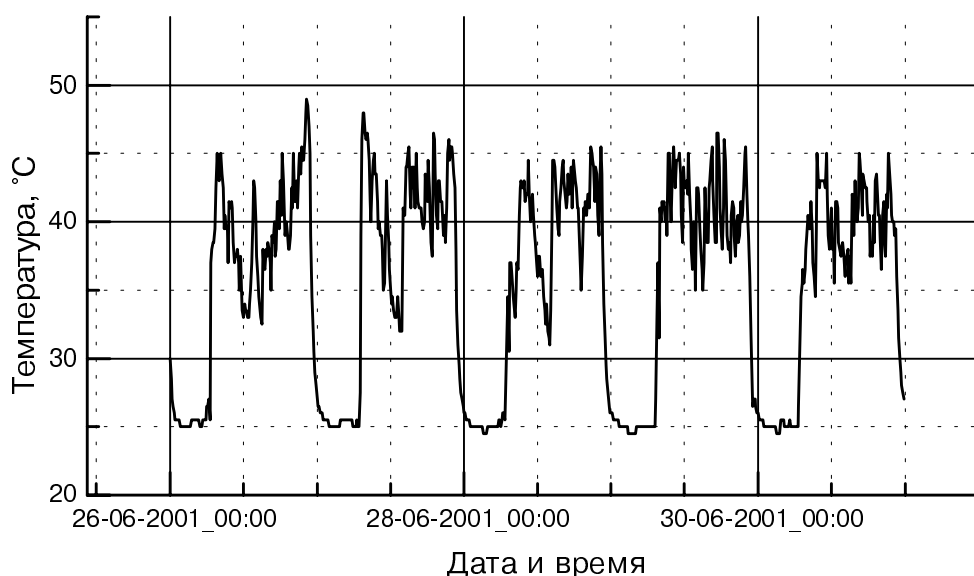


Рис.5.27б. Пятисуточный фрагмент панорамы, изображенной на рис. 5.27а.

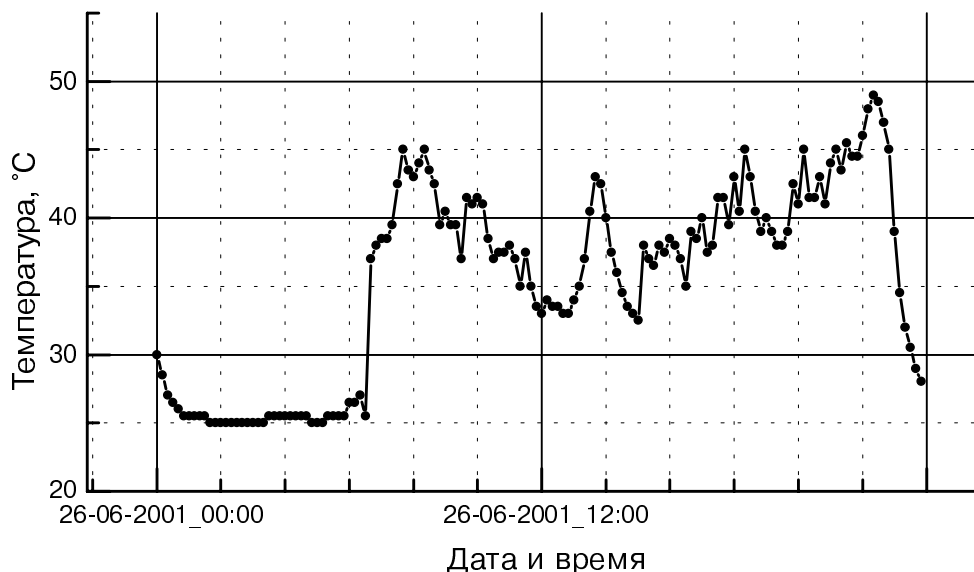


Рис.5.27в. Суточный фрагмент панорамы, изображенной на рис. 5.27а.

лась через каждые 10 минут. На рис. 5.27а приведен июньский месячный график с периодом ежегодных регламентных работ. Рис. 5.27б демонстрирует режим последних пяти суток июня. На рис. 5.27в изображен суточный график за 26 июня 2001г. Из них следует, что в июне (не считая периода регламентных работ) горячая вода подавалась 16 часов в сутки. В сентябре картина уже другая. На рис. 5.28а, 5.28б и 5.28в показаны графики подачи воды в сентябре 2001г. соответственно за месяц, за последние пять дней сентября и за одни сутки - 26 сентября. Хорошо видно, что горячая вода в сентябре подавалась по четыре часа в сутки. Кроме этого, нужно отметить, что температура воды далеко не всегда достигала нормативной отметки в 50°C.

Ко всему сказанному можно только добавить, что данные эти получены с минимальными затратами и хлопотами. Необходимо только установить датчики на нужном трубопроводе и через заданное время снять. Вот и все. Протокол всех режимов - температурных и временных - готов.

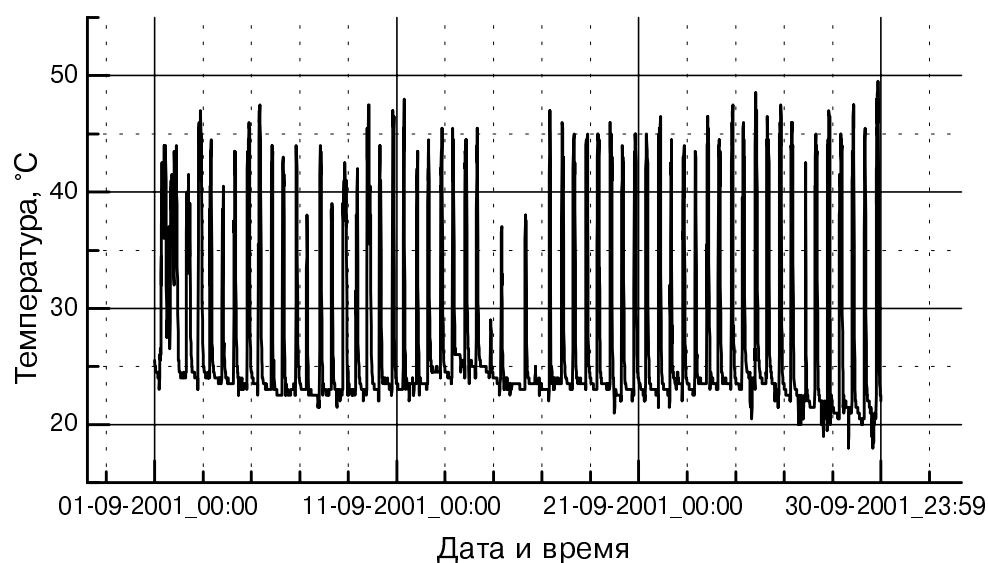


Рис.5.28а. Режим подачи горячей воды на обследованном объекте в сентябре 2001г.

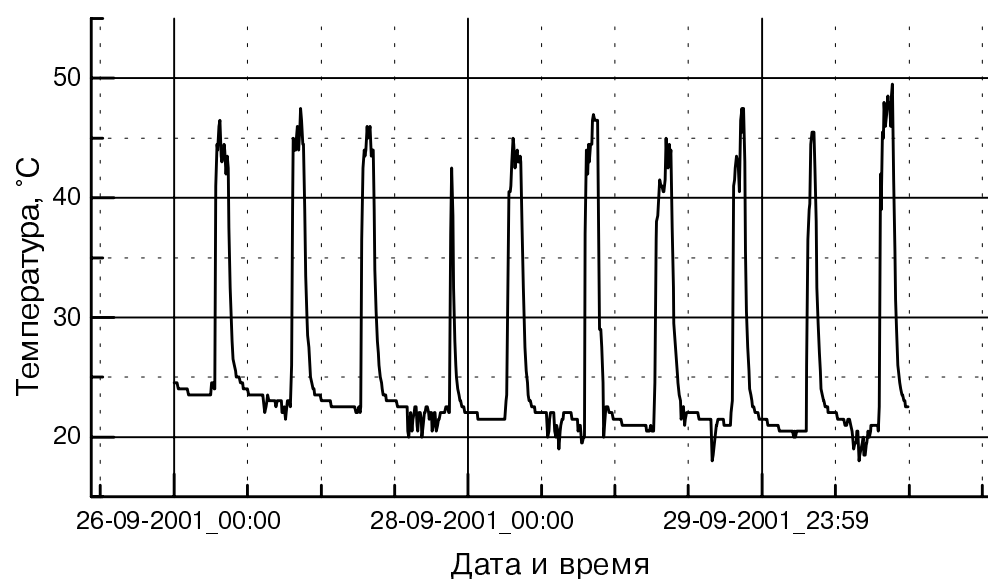


Рис.5.28б. Пятисуточный фрагмент панорамы, изображенной на рис. 5.28а.

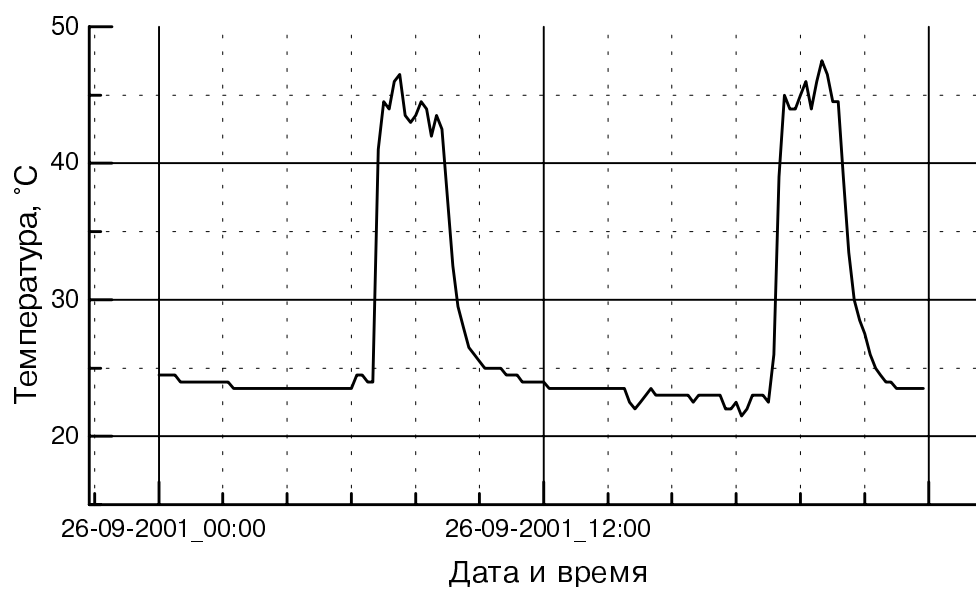


Рис.5.28в. Суточный фрагмент панорамы, изображенной на рис. 5.28а.