

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ И АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА ЮУрГУ

В.И. Панферов, С.В. Панферов
г. Челябинск, ЮУрГУ

AUTOMATED CONTROL AND ANALYZ THERMAL REGIME OF THE BUILDING CHEMISTRY DEPARTMENT SUSU

V. Panferov, S. Panferov
Chelyabinsk, SUSU

Описывается разработанная система контроля теплового режима здания химического факультета ЮУрГУ. Анализируются особенности процесса теплоснабжения и качество регулирования температурного режима. Предлагается способ адаптации графика погодного регулирования к реальным характеристикам здания и его системы отопления.

Ключевые слова: тепловой режим, система контроля, температура, теплота, расход, график регулирования, алгоритм компенсации.

Describe a developed system of control of the thermal regime of the building chemistry department SUSU. Analyzed features of the process heat and the quality of temperature control. A method is proposed to adapt the schedule of weather control to the real characteristics of the building and its heating system.

Keywords: heat treatment, control system, temperature, heat flow, schedule management, compensation algorithm.

Функциональная схема разработанной системы предусматривает контроль следующих параметров теплового режима:

- 1) температуры воды, поступающей в систему теплоснабжения здания после центрального теплового пункта (ЦТП) ЮУрГУ, работающего по графику «95/70»;
- 2) температуры обратной воды;
- 3) температуры воздуха в контрольной точке здания;
- 4) температуры наружного воздуха;
- 5) расхода воды на входе системы теплоснабжения;
- 6) тепловой мощности, потребляемой системой теплоснабжения здания.

В качестве датчиков температуры используются платиновые термометры сопротивления КТСПТВХ-В с номинальной статической характеристикой Pt500. Датчик температуры наружного воздуха закреплен на стене теплового пункта, датчик температуры внутреннего воздуха установлен на втором этаже, вблизи аудиторий 206, 207. В системе используется турбинный расходомер ВМГ-50 с «герконным» дистанционным выходным сигналом. Все указанные датчики подключаются к вычислителю «Эльф-03» со встроенной платой модуля контроля модема МСТИ.426477.07 ПС. Модуль контроля модема МСТИ.426477.07 ПС предназна-

чен для сопряжения вычислителя «Эльф-03» с модемом радиосвязи GSM «Siemens MC35i». Другой модем GSM «Siemens MC35i» установлен в аудитории лабораторного корпуса ЮУрГУ, закрепленной за кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции, и подключен к ПК с программным обеспечением «Карат-Экспресс II» разработки НПП «Урал-технология». Программа «Карат-Экспресс II» позволяет:

- по инициативе пользователя производить запрос содержимого архивов любого из подключенных приборов;
- представлять результаты запроса на дисплее в виде таблиц или графиков;
- сохранять их в файлах, экспортировать в форматы Excel 5.0, FoxPro DBF;
- вести базу данных посуточных значений параметров;
- выводить на печать в виде особым образом оформленных отчетных ведомостей;
- автоматически запрашивать текущие значения параметров.

Функциональная схема системы представлена на рис. 1. На этой схеме использованы стандартные обозначения средств измерения и автоматизации, применяемые при оформлении функциональных схем [1]. Монтаж технических средств системы контроля и настройка ее программного обеспе-

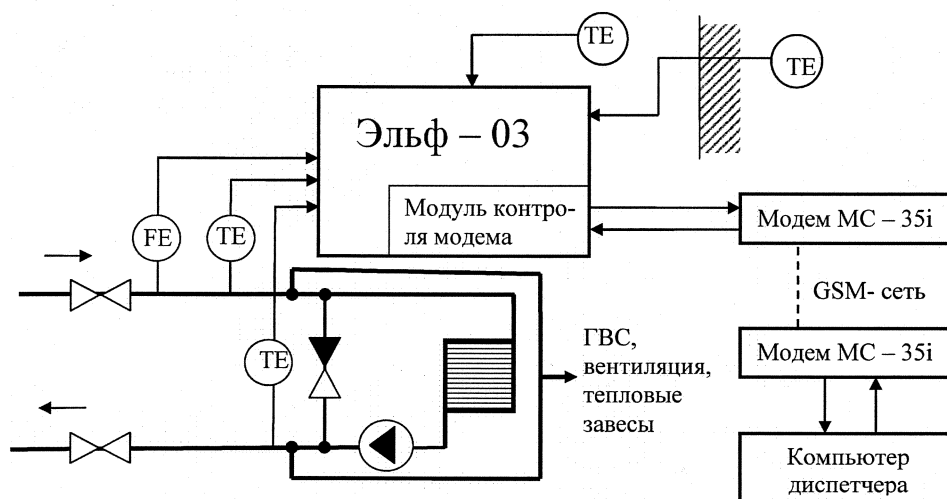


Рис. 1. Функциональная схема системы контроля теплового режима

чения выполнены сотрудниками ООО «Борей», г. Челябинск.

Заметим, что данная структура системы контроля обусловлена вынужденным использованием тех технических средств, которые штатно устанавливаются на абонентских вводах для учета всего теплоснабжения (после теплосчетчика до узла смешения собственно системы отопления осуществляется отбор теплоносителя на теплообменники ГВС, вентиляции и тепловых завес).

Режим индикации вычислителя «Эльф-03» «почасовой архив» содержит до 960 строк, что соответствует 40 суткам. В этом режиме для параметров «количество теплоты» и «расход» архивируются накопленные за час значения, т. е. мощность системы теплоснабжения, Гкал/ч и расход теплоносителя, м³/ч. Для сигналов температуры индицируются средние за час значения. Отображение даты при обращении к суточному архиву производится в формате «день.месяц.час».

В режиме индикации «текущие данные» значения параметров «количество теплоты» и «рас-

ход» отображаются приведенными к одному часу, для сигналов температуры указываются мгновенные значения.

В режиме индикации «посуточный архив» указываются накопленные за сутки значения параметров «количество теплоты» и «расход», для сигналов температуры индицируются средние за сутки значения. Аналогичный формат индикации имеет место и в режиме «помесечный архив».

С помощью разработанной системы контроля осуществляется сбор экспериментальных данных для анализа и настройки алгоритма компенсации основного возмущения – температуры наружного воздуха.

Система автоматического управления режимом теплоснабжения здания построена на базе контроллера «Xenta» производства компании ТАС (Швеция) и имеет иерархическую структуру: погодный регулятор температуры подчинен регулятору температуры внутреннего воздуха. Функциональная схема системы регулирования температурного режима приведена на рис. 2.

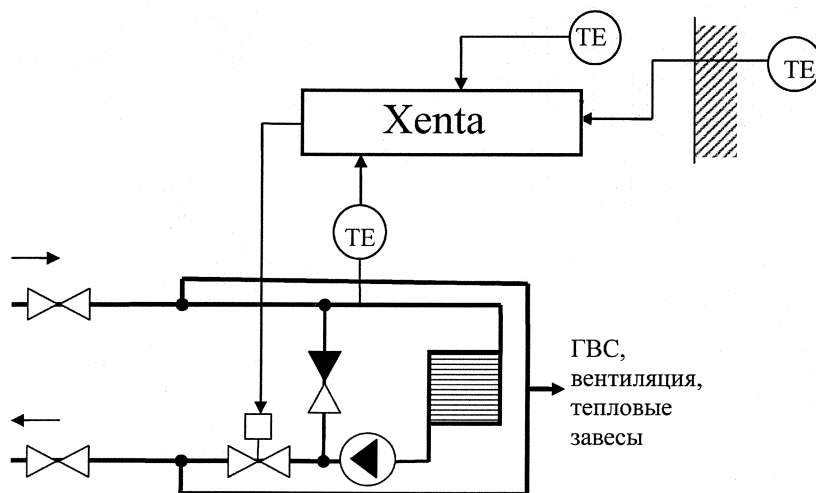


Рис. 2. Функциональная схема системы регулирования температурного режима

При этом у контроллеров «Xenta» так называемый график температуры подачи для погодного регулятора задается ломаной линией с помощью четырех точек, координаты которых указывают, какой должна быть температура теплоносителя на входе системы отопления при данной температуре наружного воздуха. Причем различаются отдельно режимы «день» и «ночь» (с 21:00 до 06:00 часов). Так, например, для г. Челябинска координаты точек графика подачи для режима «день» таковы: $(-34; 95)$; $(-10; 67)$; $(0; 53)$; $(20; 20)$, где первая координата указывает температуру наружного воздуха, а вторая – температуру прямой воды. В целом система отопления здания химического факультета ЮУрГУ разделена на пофасадные части, каждая из которых управляется своим собственным контуром, реализуемым с помощью контроллера «Xenta».

Температура внутреннего воздуха измеряется в контрольных точках здания (в данном случае используются одна контрольная точка для северного и одна для южного фасадов), измеренное значение сравнивается с уставкой, уставка может быть задана разной для режимов «день» и «ночь», и в зависимости от результатов сравнения корректируется график температуры подачи. Коррекция осуществляется ПИД-регулятором, который, сравнивая уставку температуры внутреннего воздуха с его фактической температурой, вычисляет по ПИД-алгоритму величину коррекции температуры воды на входе системы отопления (задания для погодного регулятора), т. е., образно говоря, поднимает или опускает данную рабочую точку (и только ее) температурного графика (точку с абсциссой, соответствующей текущей температуре наружного воздуха). Допустимое значение размера коррекции указывается в настройках контроллера. При этом график температуры подачи в целом не изменяется и при выключении контура коррекции найденная регулятором величина коррекции обнуляется и управление режимом отопления осуществляется только в соответствии с этим графиком.

Недостатком данного подхода является то, что коррекция реализуется за счет использования весьма инерционного канала обратной связи [2], что, очевидно, затрудняет получение оптимальных показателей качества переходных процессов в данном контуре и во всей системе управления в целом. Кроме того, собственно сам график подачи никак не исправляется, не адаптируется к реальным условиям и характеристикам, его коррекция возможна только вручную. Отметим также, что при указанном подходе никак не учитывается имеющее место в реальных условиях непостоянство расхода воды собственно в системе отопления.

Поскольку завышенная температура обратной воды свидетельствует о сверхнормативном расходе воды на абонентский ввод, приводящем к ухудшению режима теплоснабжения других абонентов, то реализуется ограничение на этот параметр. Челябинские тепловые сети ограничивают

сверху данную температуру по следующему графику: $(-34; 70)$; $(-10; 52)$; $(-1; 43)$; $(20; 43)$, где первая координата указывает температуру наружного воздуха, а вторая – температуру обратной воды. Если температура обратной воды превышает установленное данным графиком значение, то расход сетевой воды (вернее, воды, поступающей на абонентский ввод с ЦТП ЮУрГУ) на отопление автоматически снижается, увеличивается подмес до тех пор, пока не будет выполняться установленное для данной температуры наружного воздуха ограничение.

В связи с тем, что управление по мгновенной температуре наружного воздуха нецелесообразно [2], то производится усреднение сигнала температуры наружного воздуха, для этого в настройках контроллера задается время усреднения наружной температуры, обычно эта величина равна 60 минутам.

Разработанная система контроля позволила оценить качество работы вышеописанной системы автоматизации температурного режима здания. Анализ архива считываемых данных показал, что качество работы системы автоматизации нельзя признать эффективным: например, температура внутреннего воздуха в контрольной точке здания с 08.12.2009 г. по 31.12.2009 г. изменялась в диапазоне от 22,40 °С до 29,24 °С. Кривые изменения температуры внутреннего (кривая 1) и наружного (кривая 2) воздуха в течение этого периода приведены на рис. 3.

Все эти данные свидетельствуют о том, что возмущения температурного режима, вызванные работой системы вентиляции, установленного оборудования, влиянием солнечной радиации, нестабильностью расхода теплоносителя собственно на нужды отопления и т. п., неудовлетворительно отрабатываются системой автоматизации и, прежде всего ее контуром коррекции графика температуры подачи по фактической температуре внутреннего воздуха. В принципе этого и следовало ожидать, так как инерционность канала обратной связи очень большая вследствие чего добиться высокого качества работы контура коррекции достаточно сложно. Очевиден также и отрицательный вклад в эти результаты и плохого графика температуры подачи: при отключении контура коррекции плохое качество поддержания заданного температурного режима обуславливается только плохим графиком подачи. В этих условиях вполне логично, что на первый план следует поставить решение задачи оптимизации графика температуры подачи при заданном расходе теплоносителя в системе отопления либо более общей задачи – отыскание общего алгоритма компенсации двух возмущений температурного режима здания: температуры наружного воздуха и расхода теплоносителя собственно в системе отопления. Так как данный канал регулирования «расход сетевой воды – температура теплоносителя на входе системы отопления» является малоинерционным, то при

хорошем графике подачи качество поддержания заданного температурного режима будет достаточно высоким. Это качество можно повысить еще и за счет хорошей настройки контура коррекции. Однако из-за инерционности канала обратной связи возможности повышения качества являются более ограниченными, чем в первом случае. Поэтому следует сначала решить первую задачу и лишь затем приступить к оптимизации настроек контура коррекции.

Анализ полученных данных также показал, что в некоторые промежутки времени температура воды, поступающей из ЦТП на абонентский ввод, заметно ниже той температуры, которая требуется по графику подачи. Для иллюстрации данной ситуации на рис. 4 приведены кривые изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе после ЦТП T_C и требуемой в соответ-

вии с графиком подачи, температуры на входе системы отопления T_{CO} для периода с 0 часов 01.01.2010 г. по 06 часов 09.01.2010 г.

Понятно, что в данном случае система управления работает так, что так называемый клапан отопления открыт полностью и подмеса обратной воды нет. Понятно также, что в данной ситуации, если график подачи соответствует действительным характеристикам здания и его системы отопления, то задача поддержания заданного значения температуры внутреннего воздуха t_B становится невыполнимой. По всей вероятности также и этим объясняется плохое качество регулирования температурного режима здания в некоторые моменты времени. На рис. 5 и 6 приведены полученные с помощью системы контроля кривые изменения расхода теплоты, температуры внутреннего и

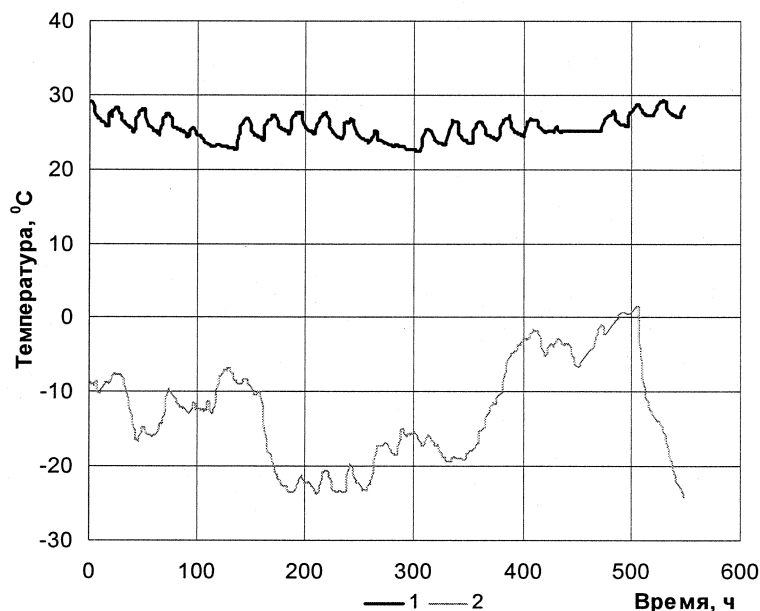


Рис. 3. Кривые изменения температуры внутреннего и наружного воздуха

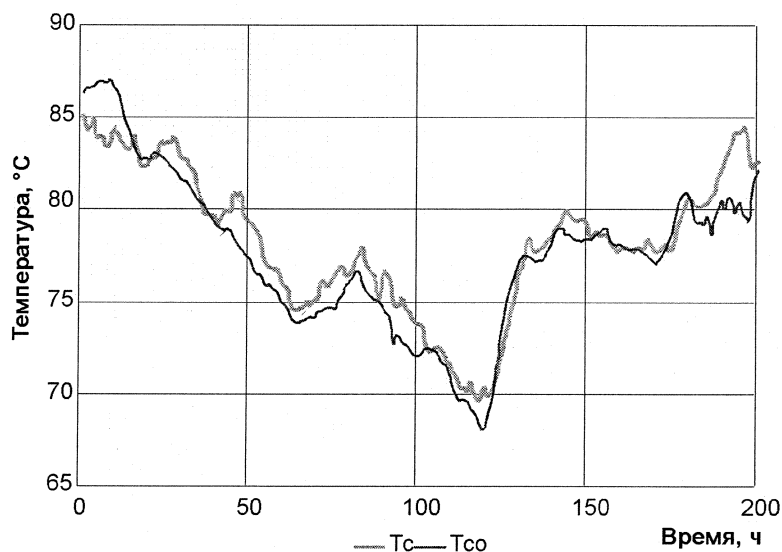


Рис. 4. Кривые изменения температуры теплоносителя

наружного воздуха в течение периода с 0 часов 01.01.2010 г. по 13 часов 08.01.2010 г. Анализ приведенных данных показал, что «выбросы» теплопотребления обусловлены большей частью включением в работу систем вентиляции, так, например, абсциссы двух граничных точек первого «выброса» таковы: 8:00 и 17:00 01.01.2010 г. Практически такие же временные точки рабочего дня характерны и для других «выбросов» теплопотребления. Кроме того, из графика следует, что расход теплоты на вентиляцию вполне соизмерим с ее расходом на отопление и даже превышает его большей частью. Анализ также показал, что система приточно-вытяжной вентиляции, по всей видимости, удовлетворительно сбалансирована, поскольку включение ее в работу, приводящее к резкому (более чем двукратному) увеличению потребляемой мощности, практически не влияет на температурный режим здания, на достигаемую температуру внутреннего воздуха.

Предлагаемый алгоритм компенсации основ-

ного возмущения температурного режима зданий – температуры наружного воздуха [3] имеет следующий вид:

$$t_{CO} = t_B \cdot \{1 + q_V V \cdot [0,5 / (cG_{CO}) + 1 / (kF)_{CO}]\} - q_V \cdot V [0,5 / (cG_{CO}) + 1 / (kF)_{CO}] \cdot t_H,$$

где t_{CO} и G_{CO} – соответственно температура и массовый расход воды на входе системы отопления, $(kF)_{CO}$ – параметр, подлежащий определению при идентификации модели системы отопления и представляющий собой произведение коэффициента теплопередачи k на площадь поверхности теплообмена F для всей системы отопления (систему отопления здания представляем эквивалентным отопительным прибором), c – удельная теплоемкость теплоносителя, q_V – удельная тепловая характеристика здания, V – его объем, t_B и t_H – соответственно температура внутреннего и наружного воздуха.

Для настройки этого алгоритма помимо счи-

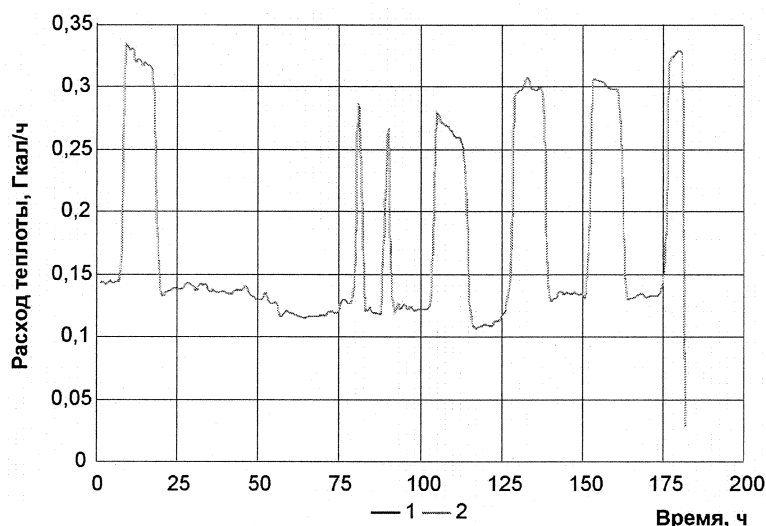


Рис. 5. Расход теплоты на абонентский ввод

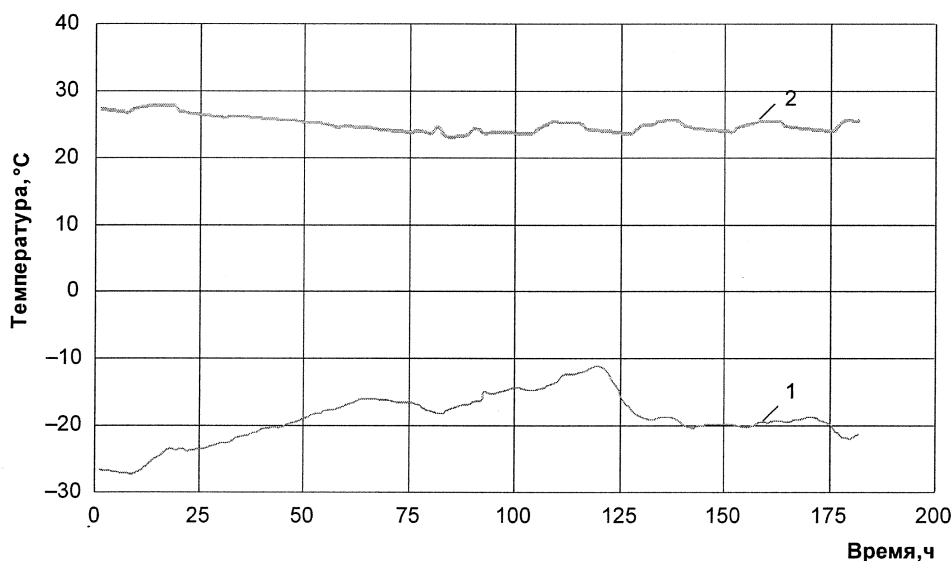


Рис. 6. Температура наружного (кривая 1) и внутреннего (кривая 2) воздуха

тываемой информации необходимы еще и экспериментальные данные о расходе теплоносителя собственно в системе отопления, о его температуре на входе системы отопления и о ее мощности. Напрямую эти данные системой контроля не представляются, однако возможность получения этих данных имеется, укажем, как это можно сделать.

Если отключить вентиляцию и ГВС (это реализуется в ночное время, а также в выходные и праздничные дни), то теплосчетчик будет регистрировать расход теплоты собственно на нужды отопления. В этом случае почасовой архив данных позволяет без каких-либо проблем определить фактическое значение удельной тепловой характеристики здания, для этого следует воспользоваться экспериментальными данными о расходе теплоты зданием Q при температурах внутреннего t_B и наружного воздуха t_H , полученными при отключенных системах вентиляции и ГВС, формулой Н.С. Ермолаева $Q = q_V \cdot (t_B - t_H) \cdot V$ и методом наименьших квадратов.

Далее, что касается задачи получения экспериментальных данных о расходе теплоносителя собственно в системе и о его температуре t_{CO} , то эта задача решается так. При отключенном контуре коррекции по фактической температуре внутреннего воздуха и удовлетворительном потенциале теплоносителя, поступающего из ЦТП, температура воды на входе системы отопления t_{CO} с достаточной точностью выдерживается контроллером в соответствии с графиком подачи. Поэтому, зная температуру наружного воздуха t_H по графику подачи можно определить и t_{CO} . После этого расход теплоносителя собственно в системе отопления G_{CO} можно определить по соотношению $G_{CO} = \frac{G_C \times (t_C - t_{OБП})}{(t_{CO} - t_{OБП})}$, где G_C и t_C – соответственно расход теплоносителя и его темпе-

ратура до узла смешения, $t_{OБП}$ – температура обратной воды. Данное соотношение нетрудно получить из уравнения теплового баланса и 1-го закона Кирхгофа, записанных для узла смешения системы отопления.

Системы отопления конструируются обычно так, что расход теплоносителя в них G_{CO} не меняется в процессе эксплуатации. Поэтому, если предположить, что это действительно имеет место и для системы отопления здания химического факультета, то уравнение (1) может быть переписано так:

$$t_{CO} - t_B = a \cdot (t_B - t_H),$$

где $a = q_V \cdot V \cdot [0,5/(cG_{CO}) + 1/(kF)_{CO}] = \text{const}$.

Если ввести обозначения $y = t_{CO} - t_B$; $x = t_B - t_H$, то это уравнение переписывается в стандартном виде $y = ax$. Далее, решая задачу параметрической идентификации данного соотношения методом наименьших квадратов, по экспериментальным данным, полученным с помощью системы контроля для периода времени с 18 часов 01.01.2010 г., определили, что $a = 1,189$, т. е. $y = 1,189x$. Построив график прямой $y = 1,189x$ и отметив на нем экспериментальные точки, обнаружили, что такую аппроксимацию сложно признать удовлетворительной, вместе с тем из графика было отчетливо видно, что экспериментальные точки достаточно хорошо укладываются на прямую. Поэтому изменили структуру модели и стали считать, что $y = a + bx$. Тем же методом наименьших квадратов по тем же экспериментальным данным нашли, что $y = 24,912 + 0,622x$. На рис. 7 приведен график данной прямой $y = 24,912 + 0,622x$ и соответствующие экспериментальные точки. При этом вычисленное значение коэффициента корреляции составило $R_{yx} = 0,90$, что вполне удовлетвори-

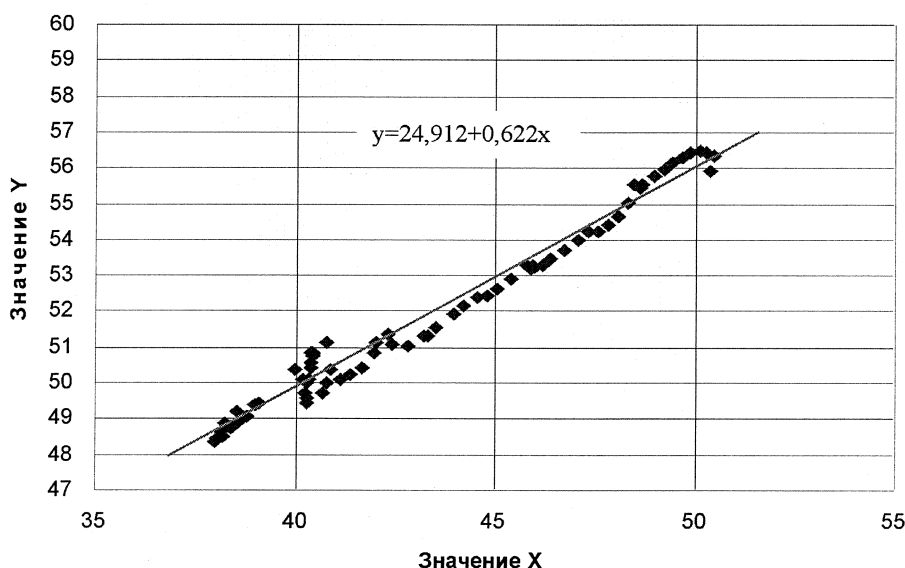


Рис. 7. Аппроксимация экспериментальных данных прямой $y = a + bx$

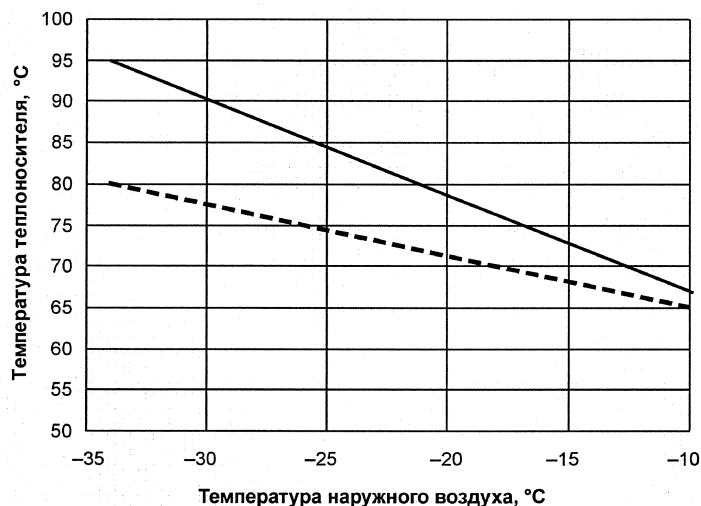


Рис. 8. Рекомендуемый ЧТС (сплошная линия)
и адаптированный (штриховая линия) графики подачи

тельно и свидетельствует о хорошем качестве аппроксимации.

Если вернуться к прежним переменным, то получится, что аппроксимирующая зависимость имеет вид $t_{CO} = 24,912 + 1,622t_B - 0,622t_H$. Эта зависимость позволяет построить так называемый график подачи, адаптированный к реальным характеристикам здания и его системы отопления, этот график для $t_B = 21^\circ\text{C}$ вместе с рекомендуемым Челябинскими тепловыми сетями (ЧТС) графиком подачи приведен на рис. 8.

При этом заметим, что не известно, на какое значение t_B рассчитан график ЧТС, обычно при построении таких графиков полагают, что $t_B = 18^\circ\text{C}$ [4]. Тем не менее, даже в такой ситуации, как это видно из рис. 8, адаптированный график подачи располагается ниже графика ЧТС, следовательно, имеется реальная экономия теплоты. Заметим также, что графики (см. рис. 8) приведены только для температур наружного воздуха $t_H \leq -10^\circ\text{C}$, объясняется это тем, что использованные экспериментальные данные принадлежат именно этому диапазону. Поэтому, как это хорошо

известно, использование аппроксимирующей зависимости $t_{CO} = 24,912 + 1,622t_B - 0,622t_H$ за пределами указанного диапазона не правомерно.

Литература

1. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / под ред. А.С. Ключева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 464 с.
2. Зингер, Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков. — М.: Стройиздат, 1990. — 188 с.
3. Панферов, С.В. Адаптивная система управления тепловым режимом зданий / С.В. Панферов, А.И. Телегин, В.И. Панферов // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: труды VII Всероссийской научно-практической конференции. — Новокузнецк: СибГИУ, 2009. — С. 224–228.
4. Гершкович, В.Ф. Сто пятьдесят... Норма или перебор? (Размышления о параметрах теплоносителя) / В.Ф. Гершкович // Энергосбережение. — 2004. — № 5. — С. 14–19.

Поступила в редакцию 10.09.2009 г.

Панферов Владимир Иванович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» ЮУрГУ. Область научных интересов: моделирование и оптимизация технологических процессов и систем, автоматизация технологических объектов. Контактный телефон: (351) 267-96-88.

Panferov Vladimir Ivanovich — Dr.Sci.Tech., the professor managing faculty «Heat, gas and ventilation» SUSU. Area of scientific interests: modelling and optimization of technological processes and systems, automation of technological objects. Contact phone: (351) 267-96-88.

Панфёров Сергей Владимирович — аспирант кафедры «Системы управления и математическое моделирование» Миасского филиала ЮУрГУ. Область научных интересов: моделирование процессов в сложных системах управления. Контактный телефон: (351) 267-91-44.

Panferov Sergey Vladimirovich — Post-graduate student of student of the Control Systems and Mathematical Simulation department of the Miass branch of SUSU. Scientific interests: simulation of processes in difficult control systems. Contact phone: (351) 267-91-44.