

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ОТАПЛИВАЕМЫХ ЗДАНИЙ

С.В. Панфёров

ENERGY-SAVING CONTROL SYSTEM FOR THE TEMPERATURE MODE OF HEATED BUILDINGS

S.V. Panferov

Предложен алгоритм компенсации основного возмущения для температурного режима зданий - температуры наружного воздуха. Разработана процедура настройки алгоритма на реальные теплотехнические характеристики зданий и их систем отопления. Показана эффективность применения этого алгоритма для целей энергосбережения. Разработана структурная схема адаптивной системы управления, реализующей указанный алгоритм и процедуру его настройки.

Ключевые слова: энергосбережение, температурный режим зданий, алгоритмы компенсации, настройка, адаптивная система управления.

The algorithm of indemnification of the basic indignation for a temperature mode of buildings - temperatures of external air is offered. Procedure of adjustment of algorithm on real heat engineering characteristics of buildings and their systems of heating is developed. Efficiency of application of this algorithm for the purposes of energy-saving is shown. The block diagram of the adaptive control system realizing the specified algorithm and procedure of its adjustment is developed.

Keywords: energy-saving, a temperature mode of buildings, algorithms of indemnification, adjustment, an adaptive control system.

Энергосбережение в жилищно-коммунальной сфере - это одна из первоочередных проблем настоящего времени, требующая незамедлительного решения. При этом следует заметить, что даже относительно небольшой успех в решении этой задачи в силу масштабности энергозатрат приводит к ощутимым эффектам в абсолютном выражении. Данную проблему пытаются решить различными методами, например, часто утверждается, что существенный эффект можно получить за счет установки теплосчетчиков. Однако при этом необходимо учитывать следующее обстоятельство. Во-первых, нужно отчетливо понимать, что установка теплосчетчиков это вообще-то не энергосберегающее мероприятие, это то, что способствует энергосбережению, но само по себе таковым не является. Финансовый выигрыш здесь получается из-за того, что нормы потребления завышены, фактическое энергопотребление ниже расчетного, поэтому оплата за энергоснабжение снижается. Настоящее энергосбережение начинается только тогда, когда самым серьезным образом начинают заниматься тепловым режимом отапливаемых зданий, исследованием и выявлением его особенностей, разработкой и внедрением систем автоматизации отопления и теплоснабжения в целом. Объясняется это тем, что автоматическое управление позволяет экономить теплоту за счет учета (как правило, опосредованного) тех факторов, учет ко-

торых проектно-расчетными методами либо невозможен, либо достаточно проблематичен:

- 1) влияние солнечной радиации;
- 2) тепловыделений от оборудования и людей;
- 3) избыточной мощности системы отопления при данной температуре наружного воздуха;
- 4) оперативного учета колебаний температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра и других возмущений со стороны наружной среды;
- 5) хаотичности режима работы систем вентиляции и т. п.

Одним из наиболее эффективных способов решения данной проблемы является построение адаптивных систем управления тепловым режимом зданий, программное обеспечение которых учитывает как реальные теплозащитные свойства зданий, так и действительные теплотехнические характеристики их отопительных установок.

При этом следует иметь в виду, что наиболее разумным, на наш взгляд, принципом управления тепловым режимом зданий является комбинированный принцип, когда в структуру системы управления вводится канал компенсации основного возмущения — температуры наружного воздуха и одновременно при этом в системе используется сигнал обратной связи о температуре воздуха внутри так называемых представительных помещений (в представительных точках) здания [1] (рис. 1).

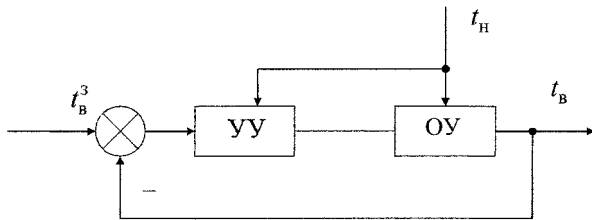


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Известно, что эффективность применения принципа компенсации во многом зависит от точности модели, отражающей влияние возмущения на выходную величину объекта управления, т. е. от характеристик канала «температура наружного воздуха - регулируемая температура». Также хорошо известно, что эти характеристики заметно меняются, например, из-за старения здания и его системы отопления, при накоплении влаги в ограждающих конструкциях и т. п. Поэтому вполне понятно, что для построения высококачественной системы управления необходимо своевременно отслеживать изменение этих характеристик, т. е. решать задачу идентификации модели канала. Вместе с тем заметим, что за счет обратной связи в рассматриваемой системе управления будут обрабатываться такие возмущения теплового режима как теплопоступления от людей, от работающего оборудования, за счет солнечной радиации, увеличение потерь теплоты из-за ветра, а также и все погрешности реализации канала компенсации основного возмущения - температуры наружного воздуха, однако известно, что быстродействие контура обратной связи заметно ниже, чем канала компенсации [2 и др.].

Подчеркнем также, что в настоящее время на практике, однако, применяются системы управления, осуществляющие только компенсацию основного возмущения - температуры наружного воздуха, это так называемые погодные регуляторы температуры (погодные компенсаторы). Обратная связь по температуре внутреннего воздуха здесь не реализуется, во многом это обуславливается некоторыми проблемами, связанными с измерением данной величины [3, 4]. В связи с этим были предложены системы управления по температуре физической модели здания [3, 4], которая якобы позволяет получить информацию о температуре внутреннего воздуха простейшим способом [4]. При этом задание погодным регуляторам температуры теплоносителя, подаваемого на вход системы отопления, вычисляется либо по упомянутой кривой Е.Я. Соколова, либо по указанной заказчиком кривой в зависимости от температуры наружного воздуха, для измерения которой могут применяться и специальные инерционные датчики [3, 4]. Причем кривую качественного регулирования можно корректировать (например, меняя ее коэффициент наклона (рассматриваемая кривая вообще-то достаточно близка к прямой) или за счет параллельного переноса), однако все это выполняется

эвристическим способом, используя накопленный опыт эксплуатации (см., например, [5; 6, с. 183]), никаких формализованных процедур, как правило, нет. Так, например, пользовательский интерфейс контроллера OUMAN EH-201/L предусматривает возможность задания и последующей корректировки графика регулирования по трем точкам: при температурах наружного воздуха -20 ; 0 ; $+20$ °С. Установка требуемой температуры теплоносителя в этих точках осуществляется «ползучим образом» с помощью клавиш «+» или «-» [7]. Очевидно, что часть графика при температурах наружного воздуха выше $+8$ °С просто не используется. У контроллеров Хеша так называемый график температуры подачи задается 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». Так, например, для г. Челябинска координаты точек графика подачи для режима «день» таковы: $(-34; 95)$; $(-10; 67)$; $(0; 53)$; $(20; 20)$, здесь первая координата указывает температуру наружного воздуха, а вторая - температуру прямой воды.

Представляя теплопотери здания уравнением Н.С. Ермолаева [8], а мощность системы отопления известной моделью [8], и используя уравнение теплового баланса, можно показать, что алгоритм компенсации основного возмущения температурного режима зданий - температуры наружного воздуха будет иметь следующий вид:

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

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.

Выбор t_{co} в качестве управляемой переменной обусловлен тем, что алгоритм компенсации, представленный в таком виде, может быть применен как при наличии автономной системы теплоснабжения здания, так и при централизованном теплоснабжении. В последнем случае на индивидуальном тепловом пункте (ИТП) здания должен быть установлен регулируемый узел смешения, позволяющий добиваться требуемого значения t_{co} , либо должна быть применена независимая

схема подключения к тепловым сетям с соответствующей системой управления. Поскольку у каждого отапливаемого здания проблемные параметры q_v и $(kF)_{co}$ имеют свои собственные значения и меняются они тоже только индивидуальным образом, то алгоритм может и должен быть реализован только на ИТП объекта управления, причем для его настройки на «реальный процесс» необходима разработка процедур оценки q_v и $(kF)_{co}$ по экспериментальным данным.

Разработан и апробирован по экспериментальным данным алгоритм совместной оценки параметров $(kF)_{co}$ и q_v , при этом при разработке последнего алгоритма уравнение (1) представлялось в виде общеизвестного линейного соотношения $y = a + bx$, в котором использовались следующие обозначения:

$$y = \frac{t_{co} - t_b}{t_b - t_n}; \quad x = \frac{1}{G_{co}};$$

$$a = q_v V \frac{1}{(kF)_{co}}; \quad b = q_v V \frac{0,5}{c}.$$

Адаптивный и неадаптивный алгоритмы идентификации параметров такой зависимости достаточно хорошо известны специалистам и их реализации не вызывает каких-либо затруднений. После того как значения a и b установлены значения искомым параметров определяются по соотношениям:

$$q_v = \frac{bc}{0,5V}; \quad (kF)_{co} = \frac{q_v V}{a}.$$

Настроенное по экспериментальным данным работы [9] указанным способом конкретное выражение алгоритма (1) для одного из пятиэтажных домов серии 1-464Д-105 (г. Челябинск) имеет вид:

$$t_{co} = t_b + 22536,318 \left[\frac{0,5}{cG_{co}} + \frac{1}{22686,16} \right] (t_b - t_n).$$

В данное выражение расход теплоносителя следует подставлять в т/ч. При этом средняя квадратическая погрешность аппроксимации экспериментальных данных для y равнялась 0,0225 отн. ед., а коэффициент корреляции R_{yx} оценивающий тесноту линейной связи между y и x , составил $R_{yx} = 0,727$. Качество аппроксимации экспериментальных данных для y и x зависимостью $y = a + bx$ иллюстрируется рис. 2.

Как видно из рис. 2 качество аппроксимации вполне удовлетворительное.

В данном случае теплотехнические свойства ограждающих конструкций и системы отопления оценены для здания с автоматизированным ИТП. Здесь температура воздуха внутри контрольных помещений поддерживалась с приемлемой точностью на уровне 21 °С, «потенциал» экономии теплоты был практически выбран САР. Поэтому для определения возможного сокращения расхода теплоты на отопление за счет применения разработанного алгоритма компенсации по экспериментальным данным для другого здания без системы автоматизации нашли численные значения проблемных параметров $(kF)_{co}$ и q_v , и установили, что конкретный вид алгоритма компенсации будет следующим:

$$t_{co} = t_b + 50413,76 \left[\frac{0,5}{cG_{co}} + \frac{1}{63381,27} \right] (t_b - t_n).$$

Коэффициент корреляции R_{yx} составил в данном случае $R_{yx} = 0,962$, что весьма удовлетворительно. С помощью данного выражения вычислили,

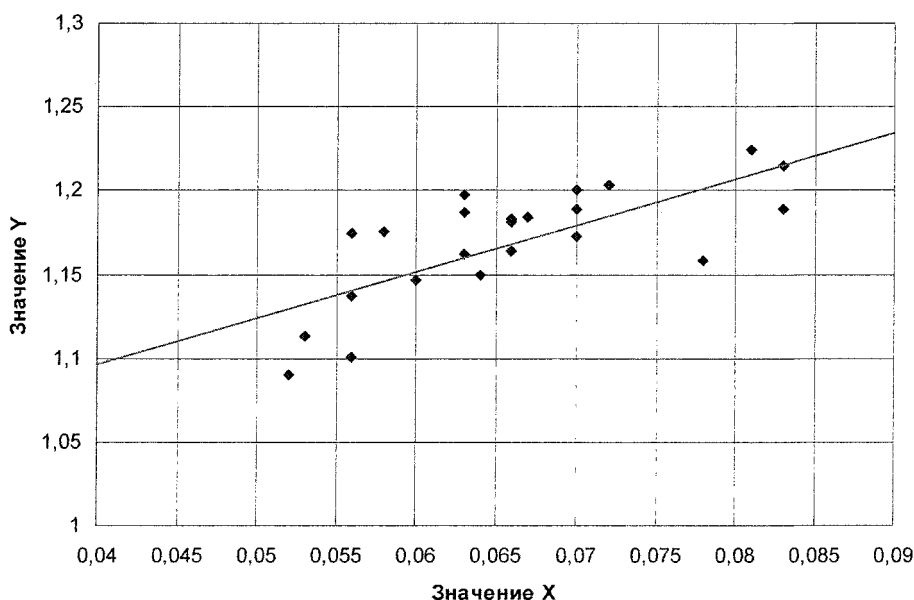


Рис. 2. Аппроксимация экспериментальных данных

какой должна быть температура теплоносителя на входе системы отопления для того, чтобы температура воздуха внутри контрольных помещений при имевшем место в реальных условиях расходе G_{co} равнялась $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Графики рассчитанной кривой и той кривой, которая имела место в реальных условиях, приведены на рис. 3.

На рис. 3 кривая 1 указывает фактическую температуру теплоносителя на входе системы отопления, а кривая 2 - температуру теплоносителя достаточную для выполнения условия $t_b=21\text{ }^{\circ}\text{C}$ при том его расходе, который имел место в реаль-

ных условиях. В реальных условиях температура внутреннего воздуха контрольных помещений здания без автоматики изменялась в диапазоне от $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из рис. 3 видно, что требуемая по условию $t_b=21\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура t_{co} заметно ниже фактической. На рис. 4 приведены график фактического расхода воды на систему отопления G_{co} (кривая 1) и график такого расхода теплоносителя (кривая 2), при котором при фактическом значении t_{co} обеспечивается температура $t_b=21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

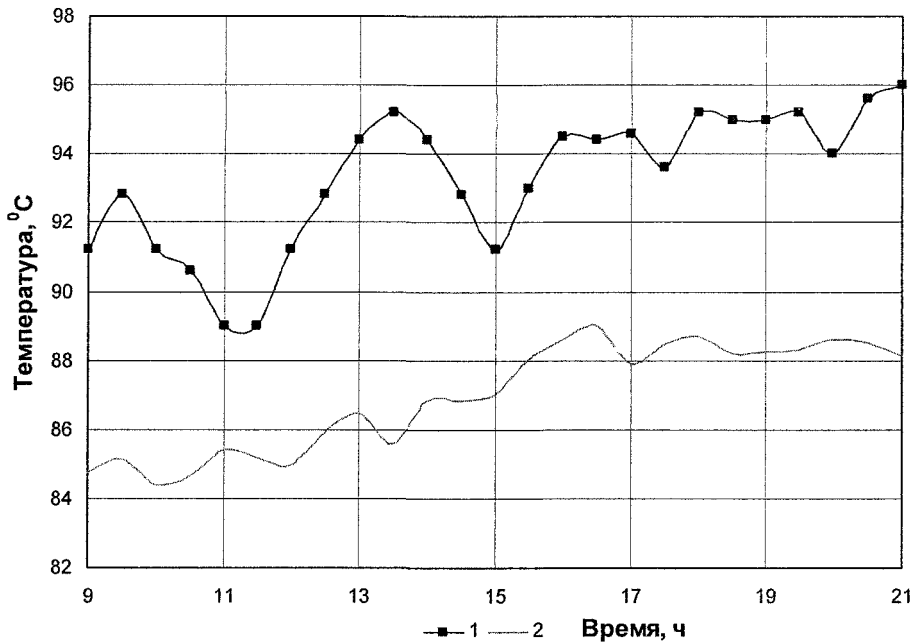


Рис. 3. Изменение температуры теплоносителя

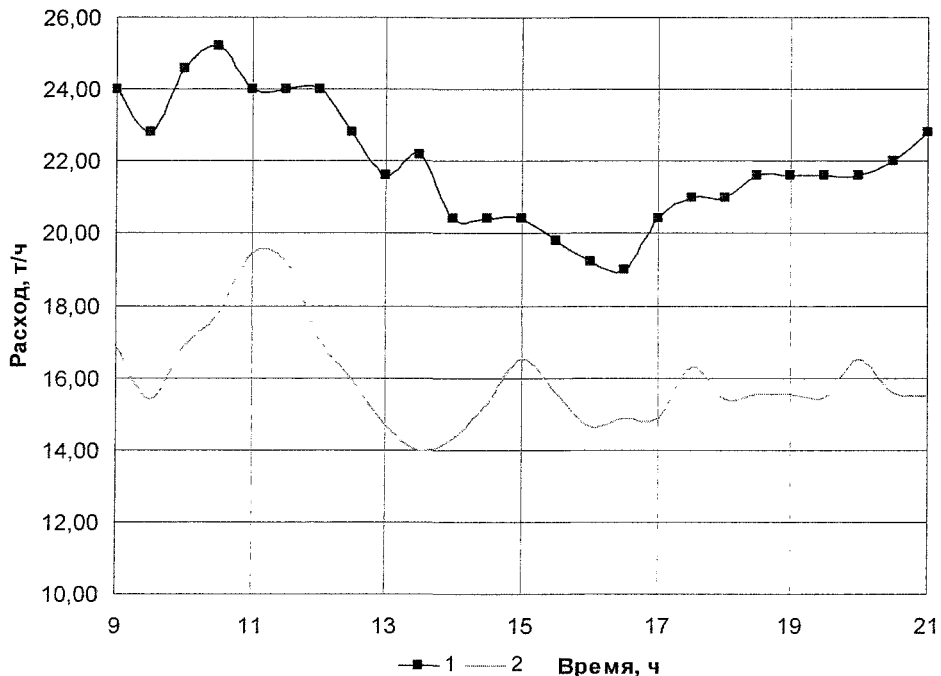


Рис. 4. Изменение расхода теплоносителя

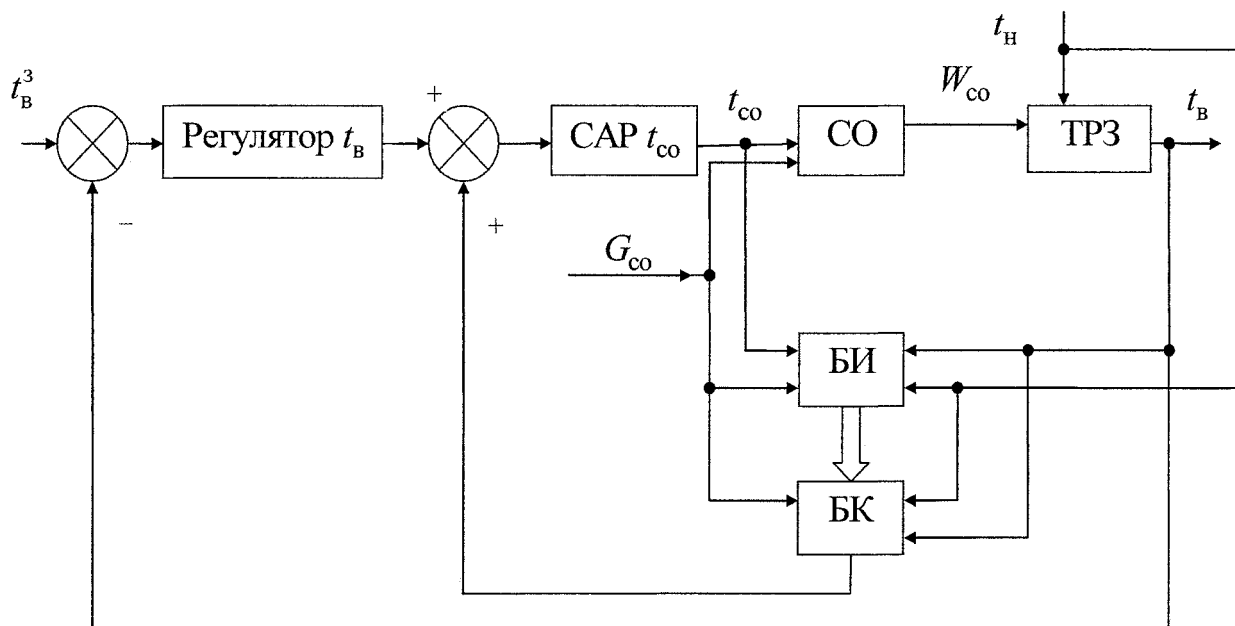


Рис. 5. Структура адаптивной системы управления

Как видно из рис. 4, требуемый по условию $t_B = 21^\circ\text{C}$ расход воды G_{co} также заметно ниже фактического, следовательно, применение данного способа управления ТРЗ позволит существенно сократить расход теплоты на отопление.

Разработано несколько вариантов структурной схемы адаптивной системы управления тепловым режимом зданий, базирующихся либо на раздельной, либо на совместной оценке проблемных параметров здания и его системы отопления. В частности, структурная схема системы управления для вышеуказанного случая приведена на рис. 5.

На рис. 5 использованы следующие обозначения: ТРЗ - тепловой режим здания, БИ - блок идентификации, в этом блоке определяются настраиваемые параметры, БК - блок компенсации, в этом блоке формируется сигнал компенсации в соответствии с формулой (1).

Выводы

Разработана процедура настройки алгоритма компенсации основного возмущения для температурного режима зданий - температуры наружного воздуха на реальные теплотехнические характеристики зданий и их систем отопления. Показана эффективность применения этого алгоритма для целей энергосбережения. Разработана структурная схема адаптивной системы управления, реализующей указанный алгоритм и процедуру его настройки.

Литература

1. Зингер, Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, ВТ. Бестолченко, А.А. Жидков. - М.: Стройиздат, 1990. - 188 с.
2. Автоматика и автоматизация систем теплогасоснабжения и вентиляции: учеб. для вузов / А.А. Калмаков, Ю.Я. Кувшинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов. - М.: Стройиздат, 1986. - 479 с.
3. Сафонов, А.П. Регулирование отпуска тепла на отопление по соотношению температур воды и наружного воздуха / А.П. Сафонов, Н.А. Воронкова, В.А. Воронов // Водоснабжение и санитарная техника. - 1978. - № 6. - С. 18-20.
4. Соколов, Е.Я. Групповое регулирование отопительной нагрузки / Е.Я. Соколов, А.В. Извеков, А.С. Булычев // Теплоэнергетика. - 1985. - № 3. - С. 50-56.
5. Одноконтурные регуляторы температуры и давления для систем теплоснабжения. - <http://WWW:www.kontel.ru>. - E-mail: kontel@visnet.ru
6. Монахов, Г.В. Моделирование управления режимами тепловых сетей / Г.В. Монахов, Ю.А. Войтинская. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 223 с.
7. OUMAN EH-201/L: инструкция. - <http://www.ouman.fi>
8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. - 7-е изд., стер. - М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 472 с.
9. Туркин В.П. Автоматическое управление отоплением жилых зданий / В.П. Туркин, П.В. Туркин, Ю.Д. Тыщенко. - М.: Стройиздат, 1987. - 192 с.

Поступила в редакцию 12 января 2010 г.