

## НАСТРОЙКА ИМПУЛЬСНЫХ ПОГОДНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

**С.В. Панферов, В.И. Панферов**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия*

Рассматривается задача настройки импульсных погодных регуляторов, рекомендуемых для исключения «перетоков» зданий при избыточной мощности систем отопления как при «плохом» температурном графике, так и в период его «срезки», а также и при некачественной настройке нерегулируемых узлов смещения. Показано, как в этом случае следует вычислять скважность и период следования управляющих импульсов. Скважность управляющих импульсов определяется по результатам измерения либо температуры сетевой воды и ее расхода, либо температуры теплоносителя на входе системы отопления и его расхода в ней. Период следования управляющих импульсов выбирается, исходя из требуемого качества регулирования в установившемся режиме. При этом учитываются как теплозащитные свойства отапливаемых зданий, так и характеристики их систем отопления. Проведен качественный анализ зависимостей скважности и периода следования управляющих импульсов от влияющих факторов. Приведено сравнение полученных результатов с ранее известными в литературе данными, показана близость их конечных результатов. Отмечено, что использованный в работе подход к решению задачи, в отличие от ранее применяемых, является более «прозрачным» и простым. Рассмотрены схемы двух вариантов технической реализации импульсной системы управления. Результаты работы могут быть использованы при автоматизации систем отопления с нерегулируемыми узлами смещения, в частности, для систем отопления с элеваторным присоединением.

*Ключевые слова: система автоматического регулирования, отопительная установка, период и скважность управляющих импульсов, температурный режим, расход теплоносителя, погодный график, теплозащитные свойства зданий, заданная температура внутреннего воздуха.*

Очевидно, что, когда фактическая мощность системы отопления  $W_{CO}$  является избыточной для данных погодных условий, в здании устанавливается некоторая максимальная температура  $t_B^{MAX}$ , которая, естественно, будет превышать свое заданное значение  $t_B^3$ . Понятно, что такая ситуация имеет место как в период «срезки» графика централизованного регулирования [1, 2], так и в любой другой период, так как «...построение графика ориентировано на обезличенное здание ... при расчетной температуре внутреннего воздуха 18 °С» [2, с. 458], и в связи с этим погодный график для данного конкретного здания может быть «плохим» [3, 4]. Кроме того, к этой же ситуации также следует отнести и случай плохо настроенного нерегулируемого узла смещения как насосного, так и элеваторного.

В таком случае с целью обеспечения приемлемой температуры внутреннего воздуха зданий и экономии расхода теплоты целесообразно применение импульсного режима отопления, при котором в течение некоторого периода длительностью  $T$  система отопления включается на полную мощность  $W_{CO}$  только на время  $\gamma T$ , а в течение времени  $(1-\gamma)T$  находится в отключенном состоянии. При этом возникает вопрос: как следует выбирать скважность управляющих импуль-

сов  $\gamma$  и длительность периода  $T$ , чтобы температура внутри здания поддерживалась в заданных пределах?

Требуемое значение скважности управляющих импульсов  $\gamma$  можно определить, исходя из следующих соображений. Согласно закону сохранения энергии в стационарном режиме мощность системы отопления  $W_{CO}$  должна равняться тепловым потерям здания при той температуре, которая установилась внутри него, и при той температуре, которая наблюдается снаружи. Когда мощность системы отопления  $W_{CO}$  избыточна и при этом система отопления работает в режиме постоянного включения, то в здании устанавливается некоторая максимальная температура  $t_B^{MAX}$ , если в этом случае для оценки потерь теплоты использовать формулу Н.С. Ермолаева, то получим, что

$$W_{CO} = q_V(t_B^{MAX} - t_H)V, \quad (1)$$

где  $t_H$  – температура наружного воздуха,  $q_V$  – удельная тепловая характеристика здания, а  $V$  – его объем. В случае же, когда скважность импульсов подобрана должным образом, получим, что

$$\gamma W_{CO} = q_V(t_B^3 - t_H)V. \quad (2)$$

Здесь  $\gamma W_{CO}$  – средняя за период  $T$  мощность системы отопления в импульсном режиме. Разделив уравнение (2) на уравнение (1), получим, что скважность импульсов необходимо определять по следующему соотношению:

$$\gamma = (t_B^3 - t_H) / (t_B^{MAX} - t_H). \quad (3)$$

Максимальную температуру внутреннего воздуха  $t_B^{MAX}$  можно определить по математической модели теплового режима здания (ТРЗ), которая, конечно, предварительно должна быть настроена на реальный процесс, т. е. должна быть решена задача параметрической идентификации модели по экспериментальным данным [5]. Это можно сделать, в частности, и по математической модели стационарного режима, которая представляется уравнением (1). Для этого только нужно иметь в виду, что мощность системы отопления, как это нетрудно показать, можно определить по следующей формуле:

$$W_{CO} = (kF)_{CO} (t_{CO} - t_H) / [1 + (kF)_{CO} / (q_V V) + (kF)_{CO} / (2cG_{CO})], \quad (4)$$

где  $c$  – теплоемкость единицы массы теплоносителя,  $t_{CO}$  – температура воды на входе системы отопления,  $(kF)_{CO}$  – произведение коэффициента теплопередачи на площадь поверхности теплообмена для всей системы отопления, это тот параметр, который подлежит определению при идентификации модели системы отопления,  $G_{CO}$  – массовый расход теплоносителя через систему отопления.

Подставляя данное выражение в (1), найдем из него формулу для вычисления  $t_B^{MAX}$ :

$$t_B^{MAX} = t_H + (kF)_{CO} (t_{CO} - t_H) / [(q_V V) + (kF)_{CO} + (kF)_{CO} / (2cG_{CO}) \cdot (q_V V)], \quad (5)$$

а затем, подставляя соотношение (5) в уравнение (3), и требуемую скважность управляющих импульсов  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{(t_B^3 - t_H)}{(t_{CO} - t_H)} \times [1 + (q_V V) / (kF)_{CO} + (q_V V) / (2cG_{CO})]. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что скважность управляющих импульсов  $\gamma$  является функцией  $t_B^3$ ,  $t_H$ ,  $t_{CO}$  и  $G_{CO}$ . Кроме того, скважность  $\gamma$  также зависит и от теплозащитных свойств и размеров здания – параметра  $(q_V V)$ , а также и от характеристики системы отопления – параметра  $(kF)_{CO}$ .

На рис. 1 для трех значений температуры на входе системы отопления  $t_{CO}$  указаны графики зависимости скважности управляющих импульсов  $\gamma$  от температуры наружного воздуха  $t_H$ : кривая 1 для  $t_{CO} = 70^\circ\text{C}$ , кривая 2 для  $t_{CO} = 50^\circ\text{C}$  и кривая 3 для  $t_{CO} = 30^\circ\text{C}$ . При этом вычисления производились по формуле (6) при  $q_V = 0,168 \text{ Вт} / (\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ,  $(kF)_{CO} = 1680 \text{ Вт} / ^\circ\text{C}$ ,  $t_B^3 = 18^\circ\text{C}$ ,  $V = 1700 \text{ м}^3$ ,  $G_{CO} = 1,57 \text{ кг} / \text{с}$ .

Дифференцируя формулу (6) по температуре наружного воздуха  $t_H$ , получим, что

$$\frac{\partial \gamma}{\partial t_H} = \frac{(t_B^3 - t_{CO})}{(t_{CO} - t_H)^2} \times [1 + (q_V V) / (kF)_{CO} + (q_V V) / (2cG_{CO})] < 0. \quad (7)$$

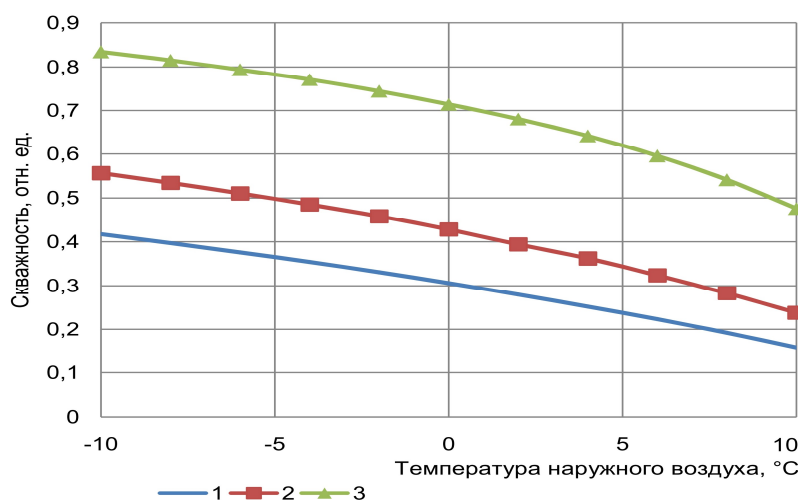


Рис. 1. Кривые зависимости скважности управляющих импульсов  $\gamma$  от температуры наружного воздуха  $t_H$

Из формулы (7), а также и из рис. 1 следует, что с увеличением температуры наружного воздуха  $t_H$  скважность управляющих импульсов  $\gamma$  уменьшается, что согласуется и с простыми физическими соображениями: чем теплее на улице, тем меньше теплопотери здания, тем меньшее количество теплоты требуется для отопления здания.

Кроме того, непосредственный анализ формулы (6) показывает, что скважность управляющих импульсов  $\gamma$  растет в следующих случаях:

- 1) с ухудшением теплотехнической характеристики системы отопления – с уменьшением параметра  $(kF)_{CO}$  и, вследствие этого, мощности (теплового потока) системы отопления;
- 2) с увеличением параметра  $(q_V V)$ , т. е. с ухудшением теплозащитных свойств здания и увеличения, вследствие этого, его тепловых потерь;
- 3) с уменьшением температуры воды на входе системы отопления;
- 4) с уменьшением расхода воды  $G_{CO}$  через систему отопления.

Из формулы (6) видно, что для вычисления скважности управляющих импульсов  $\gamma$  требуется измерять температуру наружного воздуха  $t_H$ , температуру воды на входе системы отопления (после элеваторов или каких-либо других нерегулируемых узлов смешения)  $t_{CO}$ , а также и расход воды через систему отопления  $G_{CO}$  [6, 7]. Схема системы управления, реализующей данный алгоритм импульсного управления, приведена на рис. 2.

Если же по каким-то причинам удобнее изме-

рять температуру  $t_C$  и расход  $G_C$  сетевой воды в подающей магистрали, то в этом случае мощность системы отопления  $W_{CO}$  следует выразить через температуру  $t_C$ , как это сделано в [3, 4]. Данное соотношение имеет вид

$$W_{CO} = cG_C \frac{(t_C - t_H)}{\frac{\chi + 0,5}{1 + \chi} + \frac{cG_C}{(kF)_{CO}} + \frac{cG_C}{q_V V}}, \quad (8)$$

где  $\chi$  – коэффициент смешения. Схема импульсной системы управления для случая измерения таких величин приведена на рис. 3.

Для определения длительности периода следования импульсов  $T$  можно использовать способ, предложенный в работе [8]. Способ обеспечивает указанную погрешность  $\Delta^3$  поддержания заданной температуры внутреннего воздуха  $t_B^3$  после окончания переходного процесса, т. е. в установившемся режиме. В данной работе для решения этой же задачи предлагается использовать несколько иной подход, как нам представляется, более «прозрачный» и простой.

Как известно [9, 10], динамические свойства ТРЗ можно описать следующим дифференциальным уравнением:

$$T_B \frac{dt_B(\tau)}{d\tau} + t_B(\tau) = t_B^{MAX}. \quad (9)$$

Здесь  $T_B$  – постоянная времени. Предположим, что в установившемся режиме температура внутреннего воздуха изменяется в соответствии с (9) в зоне

$$t_B = t_B^3 \pm \Delta^3. \quad (10)$$

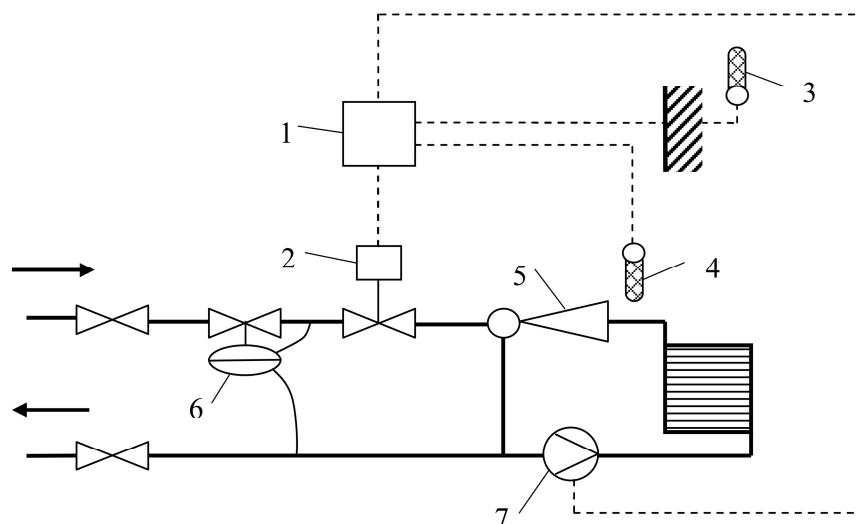


Рис. 2. Схема 1-го варианта импульсной системы управления с измерением температуры воды на входе системы отопления: 1 – контроллер, 2 – двухходовой клапан с электроприводом, 3 – датчик температуры наружного воздуха, 4 – датчик температуры прямой воды, 5 – элеватор, 6 – регулятор перепада давления, 7 – расходомер

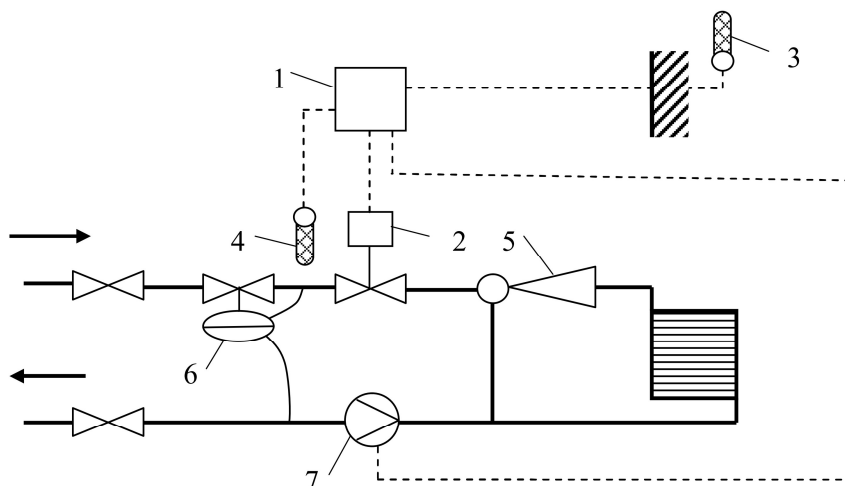


Рис. 3. Схема 2-го варианта импульсной системы управления с измерением температуры сетевой воды

Если свойства объекта управления описываются уравнением (9), то, как это хорошо известно [11, 12], система отопления включится в работу (на нагрев) тогда, когда будет  $t_B = t_B^3 - \Delta^3$ , выключится же она тогда, когда будет  $t_B = t_B^3 + \Delta^3$ . Решая уравнение (9), для этих условий найдем, что продолжительность времени включения системы отопления  $\tau_{\text{ВКЛ}}$  будет удовлетворять следующему уравнению:

$$2\Delta^3 = (t_B^{\text{MAX}} - t_B^3 + \Delta^3) \times [1 - \exp(-\tau_{\text{ВКЛ}}/T_B)]. \quad (11)$$

Из (11) следует, что

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ВКЛ}} &= -T_B \times \ln\left(1 - \frac{2\Delta^3}{t_B^{\text{MAX}} - t_B^3 + \Delta^3}\right) = \\ &= -T_B \times \ln\left(\frac{t_B^{\text{MAX}} - t_B^3 - \Delta^3}{t_B^{\text{MAX}} - t_B^3 + \Delta^3}\right). \end{aligned} \quad (12)$$

Вспоминая, что скважность управляющих импульсов равна

$$\gamma = \tau_{\text{ВКЛ}} / T_{\text{СЛЕД}}, \quad (13)$$

найдем, что

$$T_{\text{СЛЕД}} = \tau_{\text{ВКЛ}} / \gamma. \quad (14)$$

Здесь  $T_{\text{СЛЕД}}$  – период следования управляющих импульсов, обеспечивающих удержание температуры внутреннего воздуха в зоне  $t_B = t_B^3 \pm \Delta^3$ .

Из формулы (12) следует, что

$$\frac{\partial \tau_{\text{ВКЛ}}}{\partial t_B^{\text{MAX}}} = -T_B \times \frac{2\Delta^3}{(t_B^{\text{MAX}} - t_B^3)^2 - (\Delta^3)^2}. \quad (15)$$

Понятно, что для реальных значений аргументов  $\frac{\partial \tau_{\text{ВКЛ}}}{\partial t_B^{\text{MAX}}} < 0$ , это означает, что с увеличением

$t_B^{\text{MAX}}$  продолжительность времени включения системы отопления  $\tau_{\text{ВКЛ}}$  будет уменьшаться, что согласуется с простыми физическими соображениями. Кроме того, напрямую из формулы (12) видно, что с увеличением инерционности объекта управления  $T_B$  продолжительность времени включения системы отопления  $\tau_{\text{ВКЛ}}$ , наоборот, будет расти, что тоже хорошо согласуется с простыми физическими соображениями.

Из формулы (12) также следует, что

$$\frac{\partial \tau_{\text{ВКЛ}}}{\partial \Delta^3} = T_B \times \frac{2(t_B^{\text{MAX}} - t_B^3)}{(t_B^{\text{MAX}} - t_B^3)^2 - (\Delta^3)^2}. \quad (16)$$

Для реальных значений аргументов будет  $\frac{\partial \tau_{\text{ВКЛ}}}{\partial \Delta^3} > 0$ , т. е. с увеличением допустимой погрешности поддержания заданной температуры внутреннего воздуха –  $\Delta^3$  как продолжительность времени включения системы отопления  $\tau_{\text{ВКЛ}}$ , так и период следования импульсов будут расти, что также сообразуется со здравым смыслом.

Для вышеприведенных условий определим параметры импульсного управления ТРЗ. Так, если  $t_{\text{CO}} = 50^\circ\text{C}$ , а  $t_{\text{H}} = 4^\circ\text{C}$ , то будет  $t_B^{\text{MAX}} = 42,35^\circ\text{C}$ ; если же  $t_{\text{CO}} = 40^\circ\text{C}$ , а  $t_{\text{H}} = 4^\circ\text{C}$ , то будет  $t_B^{\text{MAX}} = 34,01^\circ\text{C}$ ; если же  $t_{\text{CO}} = 30^\circ\text{C}$ , а  $t_{\text{H}} = 4^\circ\text{C}$ , то будет  $t_B^{\text{MAX}} = 25,67^\circ\text{C}$ . Кроме того, будем считать, что  $t_B^3 = 20^\circ\text{C}$ , а  $\Delta^3 = 1^\circ\text{C}$ . В этом случае соответственно будет  $\tau_{\text{ВКЛ}} = 0,08954 \times T_B$ ;  $\tau_{\text{ВКЛ}} = 0,14299 \times T_B$ ;  $\tau_{\text{ВКЛ}} = 0,35646 \times T_B$ . Период следования импульсов при этом должен быть со-

ответственно таким:  $T_{\text{СЛЕД}} = 0,216 \times T_B$ ;  $T_{\text{СЛЕД}} = 0,2699 \times T_B$ ;  $T_{\text{СЛЕД}} = 0,4861 \times T_B$ , при этом скважность импульсов соответственно равна  $\gamma = 0,4145$ ;  $\gamma = 0,5296$ ;  $\gamma = 0,7333$ .

Далее, необходимо отметить, что под  $T_B$  следует понимать постоянную времени нагрева или охлаждения собственно самого воздуха, которая, как это известно [9, 10, 13], значительно меньше, чем постоянная времени, так называемой второй стадии, когда скорость изменения температуры воздуха становится равной скорости изменения средней температуры внутренних ограждений и предметов в помещениях. В соответствии с данными работ [9, 10, 13] эта постоянная времени  $T_B$  составляет порядка нескольких часов. Поэтому период следования импульсов будет составлять от долей часа до нескольких часов, что вполне приемлемо с точки зрения режима работы коммутационного оборудования и гидравлического режима системы отопления.

Кроме того, как это известно [13–15], колебания температуры воздуха около своего оптимального значения с амплитудой в  $2 \div 3$  °С в жилых и общественных зданиях оказывает благоприятное воздействие на самочувствие людей, что тоже указывает на целесообразность предлагаемого решения.

Также можно отметить, что полученное соотношение для определения периода следования импульсов, как это нетрудно видеть, качественно и количественно близко к результатам работы [8]. Покажем, что это действительно так. В принятых обозначениях конечная формула работы [8] имеет вид

$$T_{\text{СЛЕД}} = \frac{2\Delta^3}{\gamma(1-\gamma) \cdot dt_B(0)/d\tau}. \quad (17)$$

При этом в работе [8] полагается, что при  $\tau = 0$   $t_B = t_H$ , поэтому из уравнения (9) следует, что

$$\frac{dt_B(0)}{d\tau} = (t_B^{\text{MAX}} - t_H) / T_B, \quad (18)$$

если дополнительно учесть, что

$$1 - \gamma = 1 - (t_B^3 - t_H^3) / (t_B^{\text{MAX}3} - t_H^3) = (t_B^{\text{MAX}3} - t_B^3) / (t_B^{\text{MAX}3} - t_H^3), \quad (19)$$

то формула (17) (формула работы [8]) – переписывается в следующем виде:

$$T_{\text{СЛЕД}} = T_B \times \frac{2\Delta^3}{\gamma(t_B^{\text{MAX}3} - t_B^3)}. \quad (20)$$

Вместе с тем если в формуле (12) логарифм разложить в ряд и взять только первый член ряда, то полученная в данной работе формула (14) приближенно запишется так:

$$T_{\text{СЛЕД}} = T_B \times \frac{2\Delta^3}{\gamma(t_B^{\text{MAX}3} - t_B^3 + \Delta^3)}. \quad (21)$$

Как видно из (20) и (21), формулы достаточно близки, можно считать, что они практически совпадают. К месту заметим также, что в процессе вывода формулы работы [8] использовались некоторые приближенные соотношения, а при выводе формулы (12), как это следует из вышеизложенного, нет, поэтому предпочтительно для настройки импульсного погодного компенсатора использовать результаты данной работы.

## Выводы

Разработан способ настройки алгоритма импульсного управления температурным режимом здания с избыточной мощностью системы отопления. Приводятся формулы для вычисления скважности и периода управляющих импульсов. Результаты работы могут быть использованы при создании систем автоматизации отоплением зданий.

## Литература

1. Зингер, Н.М. Повышение эффективности работы тепловых пунктов / Н.М. Зингер, В.Г. Бестолченко, А.А. Жидков – М.: Стройиздат, 1990. – 188 с.
2. Сканава, А.Н. Отопление: учебник / А.Н. Сканава, Л.М. Махов – М.: Издательство АСВ, 2002. – 576 с.
3. Панферов, В.И. О некоторых решениях проблемы управления централизованным теплоснабжением / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Труды Академэнерго. – 2016. – № 2. – С. 95–108.
4. Панферов, В.И. Об особенностях вывода уравнений регулирования систем централизованного теплоснабжения / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2016. – Том 16. – № 1. – С. 21–30. DOI: 10.14529/ctcr160102.
5. Панферов, С.В. Структурно-параметрический синтез адаптивной системы управления температурным режимом отапливаемых зданий: автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011 – 20 с.
6. Панферов, С.В. Погодный компенсатор для систем отопления с элеваторным присоединением / С.В. Панферов, В.И. Панферов // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: сб. докл. V Междунар. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во МГСУ, 2013. – С. 140–144.
7. Панферов, С.В. Импульсный погодный компенсатор для элеваторных систем отопления / С.В. Панферов, В.И. Панферов // С.О.К. (Сантехника. Отопление. Кондиционирование): ежемесячный специализированный журнал. – 2013. – № 12. – С. 45–47. – [www.c-o-k.ru](http://www.c-o-k.ru), [www.forum.c-o-k.ru](http://www.forum.c-o-k.ru)
8. Васильев, Ю.С. Об определении скважности и периода при импульсном режиме отопления зданий / Ю.С. Васильев, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ, серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2009. – Вып. 8. – № 16(149). – С. 38–42.

9. Панферов, В.И. Решение задачи параметрической идентификации модели теплового режима помещений / В.И. Панферов, А.Н. Нагорная // Вестник УГТУ-УПИ. Строительство и образование: сборник научных трудов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. – 2006. – № 12(83). – С. 359–363.
10. Панферов, В.И. К теории математического моделирования теплового режима зданий / В.И. Панферов, А.Н. Нагорная, Е.Ю. Анисимова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2006. – Вып. 4 – № 14 (69). – С. 128–133.
11. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: справочное пособие / А.С. Клюев, А.Т. Лебедев, С.А. Клюев, А.Г. Товарнов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 368 с.
12. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами (справочное пособие) / А.С. Клюев, А.Т. Лебедев, Н.П. Семенов, Н.Г. Товарнов; под ред. А.С. Клюева – М.: Энергия, 1977. – 400 с.
13. Строй, А.Ф. Управление тепловым режимом зданий и сооружений / А.Ф. Строй. – Киев: Вища школа, 1993. – 154 с.
14. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: учеб. для вузов / А.А. Калмаков, Ю.Я. Кувишинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов. – М.: Стройиздат, 1986. – 479 с.
15. Dounis, A.I. Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review / A.I. Dounis, C. Caraiscos // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – No. 13. – P. 1246–1261.

**Панферов Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры градостроительства, инженерных сетей и систем, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), tgsiv@mail.ru.

**Панферов Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), tgsiv@mail.ru.

Поступила в редакцию 24 ноября 2017 г.

DOI: 10.14529/build180106

## ADJUSTMENT OF IMPULSE WEATHER REGULATORS FOR HEATING OF BUILDINGS

S.V. Panferov, tgsiv@mail.ru

V.I. Panferov

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The problem of adjustment of impulse weather regulators recommended for the elimination of overheating of buildings with excessive heating power both in the case of a "bad" temperature chart and during its "cutting off", as well as with poor-quality tuning of uncontrolled mixing units is considered. It is shown how in this case it is necessary to calculate the duty ratio and the period of succession of the control pulses. The duty ratio of the control pulses is determined by the measurement results of either the system water temperature and its flow or the temperature of the heat carrier at the input of the heating system and its flow in it. The control pulse period is selected based on the desired quality of regulation in the steady state. At that, both the heat-shielding properties of heated buildings and the characteristics of their heating systems are taken into account. A qualitative analysis of dependences of the duty ratio and the repetition period of the control pulses from the influencing factors is carried out. Comparison of the obtained results obtained with the previously discovered data contained in literature sources is given; the proximity of their final results is shown. It is noted that the approach used in the research for solving the problem is more "transparent" and simple compared the previously used ones. Schemes of two variants of the technical implementation of a pulse control system are considered. The results of the work can be used in the automation of heating systems with uncontrolled mixing units, in particular for heating systems with elevator connection.

**Keywords:** automatic control system, heating unit, period and duty ratio of control pulses, temperature regime, flow ratio of heat carrier, weather graph, heat-protective properties of buildings, set temperature of internal air.

## References

1. Zinger N.M., Bestolchenko V.G., Zhidkov A.A. *Povyshenie effektivnosti raboty teplovykh punktov* [Improving the Efficiency of Heat Points]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990. 188 p.
2. Skanavi A.N., Makhov L.M. *Otoplenie* [Heating]. Moscow, Izdatel'stvo ASV Publ., 2002. 576 p.
3. Panferov V.I., Panferov S.V. *O nekotorykh resheniyakh problemy upravleniya tsentralizovannym teplosnabzheniem* [On Some Solutions to the Problem of Centralized Heat Supply Management]. *Trudy Akademenergo* [Proceedings of AcademEnergo], 2016, no. 2, pp. 95–108 (in Russ.).
4. Panferov V.I., Panferov S.V. [On the Features of the Derivation of the Equations of Regulation of District Heating Systems]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control & Radioelectronics*, 2016. vol. 16, no. 1, pp. 21–30 (in Russ.). DOI: 10.14529/ctcr160102.
5. Panferov S.V. *Strukturno-parametricheskiiy sintez adaptivnoy sistemy upravleniya temperaturnym rezhimom otaplivayemykh zdaniy*. Avtoref. kand. diss. [Structurally-Parametrical Synthesis of Adaptive Control System for Temperature Control of Heated Buildings. Abstract of kand. diss.]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2011. 20 p.
6. Panferov S.V., Panferov V.I. [Weather Compensator for Heating Systems with Elevator Connection]. *Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzheniya i ventilyatsii: sb. dokl. V Mezhdunarodnoy nauchno-tekhn. konf.* [Theoretical Foundations of Heat and Gas Supply and Ventilation: Sat. Doc. V International Scientific and Technical. Conf]. Moscow, Izd-vo MGSU Publ., 2013. pp. 140–144 (in Russ.).
7. Panferov S.V., Panferov V.I. [Pulsed Weather Compensator for Elevator Heating Systems]. *Santekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie* [Plumbing, Heating, Air Conditioning], 2013, no. 12, pp. 45–47 (in Russ.). Available at: [www.c-o-k.ru](http://www.c-o-k.ru), [www.forum.c-o-k.ru](http://www.forum.c-o-k.ru)
8. Vasil'ev Yu.S., Panferov V.I. [On Determination of the Duty Cycle and Period for Pulsed Mode of Heating Buildings]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control & Radioelectronics*, 2009, iss. 8, no. 16(149), pp. 38–42 (in Russ.).
9. Panferov V.I., Nagornaya A.N. [Solution of the Problem of Parametric Identification of the Model of the Thermal Conditions of Premises]. *Vestnik UGTU-UI. Stroitel'stvo i obrazovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Bulletin of the Ural State Technical University. Construction and Education: a Collection of Scientific Papers]. Ekaterinburg, GOU VPO UGTU-UI Publ., 2006, no. 12(83), pp. 359–363 (in Russ.).
10. Panferov V.I., Nagornaya A.N., Anisimova E.Yu. [To the Theory of Mathematical Modeling of Thermal Conditions of Buildings]. *Bulletin of South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control & Radioelectronics*, 2006, iss. 4, no. 14 (69), pp. 128–133 (in Russ.).
11. Klyuev A.S., Lebedev A.T., Klyuev S.A., Tovarnov A.G. *Naladka sredstv avtomatizatsii i avtomaticheskikh sistem regulirovaniya: spravochnoe posobie* [Adjustment of Means of Automation and Automatic Control Systems: a Reference Book]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989. 368 p.
12. Klyuev A.S., Lebedev A.T., Semenov N.P., Tovarnov N.G. *Naladka avtomaticheskikh sistem i ustroystv upravleniya tekhnologicheskimi protsessami (spravochnoe posobie)* [Adjustment of Automatic Systems and Devices for Control of Technological Processes (Reference Manual)]. Moscow, Energiya, 1977. 400 p.
13. Stroy A.F. *Upravlenie teplovym rezhimom zdaniy i sooruzheniy* [Thermal Management of Buildings and Structures]. Kiev, Vishcha shkola, 1993. 154 p.
14. Kalmazov A.A., Kuvshinov Yu.Ya., Romanova S.S., Shchelkunov S.A. *Avtomatika i avtomatizatsiya sistem teplogazosnabzheniya i ventilyatsii: ucheb. dlya vuzov* [Automation and Automation Systems of Heat and Ventilation: a Textbook for High Schools]. Moscow, Stroyizdat, 1986. 479 p.
15. Dounis A. I., Caraiscos C. [Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, no. 13, pp. 1246–1261.

Received 24 November 2017

## ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Панферов, С.В. Настройка импульсных погодных регуляторов отопления зданий / С.В. Панферов, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 62–68. DOI: 10.14529/build180106

## FOR CITATION

Panferov S.V., Panferov V.I. Adjustment of Impulse Weather Regulators for Heating of Buildings. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2018, vol. 18, no. 1, pp. 62–68. (in Russ.). DOI: 10.14529/build180106