

## ОБ ОДНОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕЙ МОДЕЛИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ЗДАНИЯ И ЕГО СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

**С.В. Панферов, Н.А. Тренин, В.И. Панферов**

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске*

Выводится структура математической модели теплового режима здания (ТРЗ), учитывающая нестационарное распределение температуры по толщине его наружного ограждения. Подключением к данной модели разработанной ранее динамической модели системы отопления (СО) определили общую структуру математической модели ТРЗ и его СО. Входными управляющими воздействиями для общей структуры модели являются температура и расход теплоносителя на входе системы отопления, а выходными величинами – температура внутреннего воздуха и температура обратной воды. Отмечается, что ранее полученные статические и динамические модели ТРЗ и СО являются частными случаями данной структуры. Приводятся данные по решению задачи параметрической идентификации модели. Результаты работы могут быть использованы как для исследования особенностей режимов работы СО и ТРЗ, так и для разработки высококачественных управляющих устройств, в частности, для настройки погодного регулятора в системах отопления.

*Ключевые слова: структура математической модели, тепловой режим здания, система автоматического управления отоплением, температура и расход сетевой воды, температура внутреннего воздуха, идентификация параметров, помехоустойчивое дифференцирование.*

### Постановка задачи

Как известно, задача построения математической модели любого объекта управления обычно делится на две части:

- 1) синтез структуры математической модели;
- 2) определение параметров (коэффициентов) математической модели.

Каждая из этих подзадач решается неоднозначно, так как, в частности, принятые допущения, а также физические эффекты и явления, учтенные при структурном синтезе математической модели, могут быть неодинаковыми, следовательно, в итоге получаются и различные структуры моделей. Критерии количественной близости модели и объекта также могут быть разными, что приводит к разным численным значениям параметров модели одной и той же структуры.

В работах [1–3] определена и обоснована структура математической модели теплового режима зданий (ТРЗ). Основным использованным при этом допущением является предположение о квазистационарности процесса переноса теплоты через толщу наружного ограждения. Однако на самом деле температурное поле в ограждении обычно является нестационарным, поэтому интересно было бы выяснить, какая математическая модель теплового режима здания получится в этом случае, т. е. в случае учета нестационарности реального температурного поля. Данная задача и рассматривается в настоящей работе.

### Синтез структуры модели ТРЗ

Следуя [4], температурное поле в наружном ограждении здания опишем одномерным уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad 0 < x < L, \quad \tau > 0, \quad (1)$$

где  $t(x, \tau)$  – температура в точке с координатой  $x$  по толщине стены здания в момент времени  $\tau$ ;  $a$  – эквивалентная температуропроводность материала стены [4];  $L$  – толщина стены здания.

Температура в любой точке стены в начальный момент времени задается уравнением

$$t(x, 0) = t^0(x), \quad 0 \leq x \leq L, \quad (2)$$

где  $t^0(x)$  – заданная функция.

Теплообмен на внутренней и наружной поверхностях ограждения описывается граничными условиями третьего рода:

$$-\lambda \left. \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} = \alpha_B [t_B(\tau) - t(0, \tau)], \quad \tau > 0; \quad (3)$$

$$-\lambda \left. \frac{\partial t(L, \tau)}{\partial x} \right|_{x=L} = \alpha_H [t(L, \tau) - t_H(\tau)], \quad \tau > 0, \quad (4)$$

где  $\alpha_B, \alpha_H$  – коэффициенты теплоотдачи для внутренней и наружной поверхностей ограждения;  $t_B, t_H$  – соответственно температура внутреннего и наружного воздуха.

Проинтегрируем уравнение (1) по координате  $x$  в пределах от 0 до  $L$  и разделим обе его части на  $L$ , тогда получим

$$\frac{d\bar{t}}{d\tau} = \frac{a}{L} \left[ \frac{\partial t(L, \tau)}{\partial x} - \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} \right], \quad (5)$$

где  $\bar{t} = \frac{1}{L} \int_0^L t(x, \tau) dx$  – среднее значение температуры стены.

Если предположить, что ограждение можно приближенно считать термически тонким телом, то уравнения (3) и (4) можно переписать в виде:

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_B [t_B(\tau) - \bar{t}]; \quad (6)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(L, \tau)}{\partial x} = \alpha_H [\bar{t} - t_H(\tau)]. \quad (7)$$

Тогда уравнение (5) можно представить следующим образом

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{t}}{d\tau} &= \frac{a}{L} \left[ -\frac{\alpha_H}{\lambda} (\bar{t} - t_H(\tau)) + \frac{\alpha_B}{\lambda} (t_B(\tau) - \bar{t}) \right], \Rightarrow \\ \frac{L\lambda}{a(\alpha_H + \alpha_B)} \cdot \frac{d\bar{t}}{d\tau} + \bar{t} &= \frac{\alpha_H}{\alpha_H + \alpha_B} t_H(\tau) + \frac{\alpha_B}{\alpha_H + \alpha_B} t_B(\tau). \end{aligned} \quad (8)$$

Если в формуле (8) множитель перед производной обозначить следующим образом

$$T_1 = \frac{L\lambda}{a(\alpha_H + \alpha_B)}, \quad (9)$$

то уравнение (8) переписывается так:

$$T_1 \frac{d\bar{t}}{d\tau} + \bar{t} = \frac{\alpha_H}{\alpha_H + \alpha_B} t_H(\tau) + \frac{\alpha_B}{\alpha_H + \alpha_B} t_B(\tau). \quad (10)$$

Далее запишем уравнение теплового баланса для бесконечно малого промежутка времени  $d\tau$ :

$$c_B m_B \frac{dt_B}{d\tau} = W(\tau) - \alpha_B [t_B(\tau) - \bar{t}] F_{CT} - k_{OK} F_{OK} [t_B(\tau) - t_H(\tau)], \quad (11)$$

где  $c_B, m_B$  – соответственно удельная теплоемкость и масса воздуха в здании;  $F_{CT}, F_{OK}$  – площадь стен и окон здания;  $k_{OK}$  – коэффициент теплопередачи окон;  $W(\tau)$  – мощность системы отопления.

Выполнив для уравнения (11) ряд математических преобразований, получаем

$$\frac{c_B m_B}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \cdot \frac{dt_B(\tau)}{d\tau} + t_B(\tau) = \frac{1}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \cdot W(\tau) + \frac{\alpha_B F_{CT}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \bar{t} + \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} t_H(\tau). \quad (12)$$

Если в формуле (12) обозначить, что

$$T_2 = \frac{c_B m_B}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}}, \quad (13)$$

то уравнение (12) можно представить в виде

$$T_2 \cdot \frac{dt_B(\tau)}{d\tau} + t_B(\tau) = \frac{1}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \cdot W(\tau) + \frac{\alpha_B F_{CT}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \bar{t} + \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} t_H(\tau). \quad (14)$$

Таким образом, сводя предыдущие выкладки воедино, получаем систему уравнений вида:

$$\begin{cases} T_1 \frac{d\bar{t}}{d\tau} + \bar{t} = \frac{\alpha_H}{\alpha_B + \alpha_H} t_H(\tau) + \frac{\alpha_B}{\alpha_B + \alpha_H} t_B(\tau); \\ \bar{t}(0) = \bar{t}^0; \\ T_2 \cdot \frac{dt_B(\tau)}{d\tau} + t_B(\tau) = \frac{1}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \cdot W(\tau) + \frac{\alpha_B F_{CT}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \bar{t} + \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} t_H(\tau); \\ t_B(0) = t_B^0. \end{cases} \quad (15)$$

Графически полученная структура математической модели теплового режима здания может быть представлена с помощью алгоритмической структурной схемы (рис. 1). Здесь  $p$  – оператор дифференцирования.

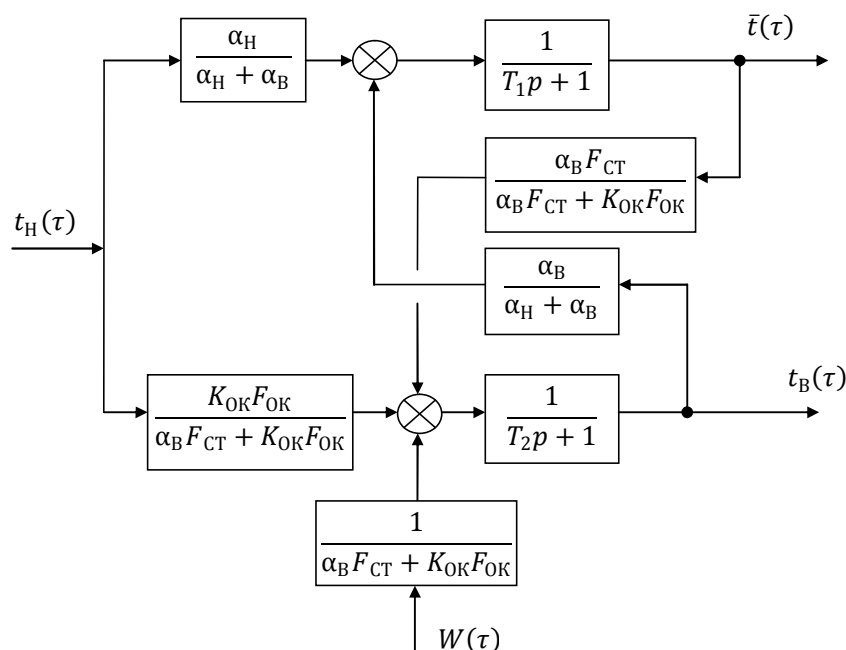


Рис. 1. Алгоритмическая структурная схема модели ТРЗ

Математическую модель (15) можно представить в виде одного дифференциального уравнения 2-го порядка. Для этого из третьего уравнения системы (15) выразим среднemasсовую температуру  $\bar{t}$ :

$$\bar{t} = \frac{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT}} \cdot \left[ T_2 \frac{dt_B}{d\tau} + t_B - \frac{1}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} W - \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} t_H \right], \quad (16)$$

а также найдем ее производную по  $\tau$ :

$$\frac{d\bar{t}}{d\tau} = \frac{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT}} \cdot \left[ T_2 \frac{d^2 t_B}{d\tau^2} + \frac{dt_B}{d\tau} - \frac{1}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \cdot \frac{dW}{d\tau} - \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \cdot \frac{dt_H}{d\tau} \right] \quad (17)$$

и подставим эти соотношения в первое уравнение системы (15). Выполнив необходимые математические преобразования, получим, что математическая модель теплового режима зданий представляется следующим дифференциальным уравнением 2-го порядка:

$$T_1 \cdot T_2 \frac{d^2 t_B}{d\tau^2} + (T_1 + T_2) \frac{dt_B}{d\tau} + t_B = \frac{\alpha_B^2 F_{CT}}{(\alpha_B + \alpha_H)(\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK})} t_B + \frac{1}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \left( T_1 \frac{dW}{d\tau} + W(\tau) \right) + T_1 \cdot \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} \cdot \frac{dt_H}{d\tau} + \left( \frac{k_{OK} F_{OK}}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}} + \frac{\alpha_B \alpha_H F_{CT}}{(\alpha_B + \alpha_H)(\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK})} \right) t_H. \quad (18)$$

Анализ уравнения (18) показывает, что объект моделирования как по каналу «мощность системы отопления – температура внутреннего воздуха», так и по каналу «температура наружного воздуха – температура внутреннего воздуха» описывается дробно-рациональными передаточными функциями, степень полиномов числителей которых равна 1, а знаменателей – 2.

### Модель системы отопления

Поскольку в алгоритмической структурной схеме ТРЗ есть вход, обозначенный как  $W(\tau)$  – мощность системы отопления, то для полного решения задачи моделирования необходимо построить модель системы отопления здания. Данная задача решалась в работах [5–7] как для стационарного, так и для динамического случаев. Динамическая модель системы отопления приведена в работе [7], ее алгоритмическая структурная схема, представлена на рис. 2.

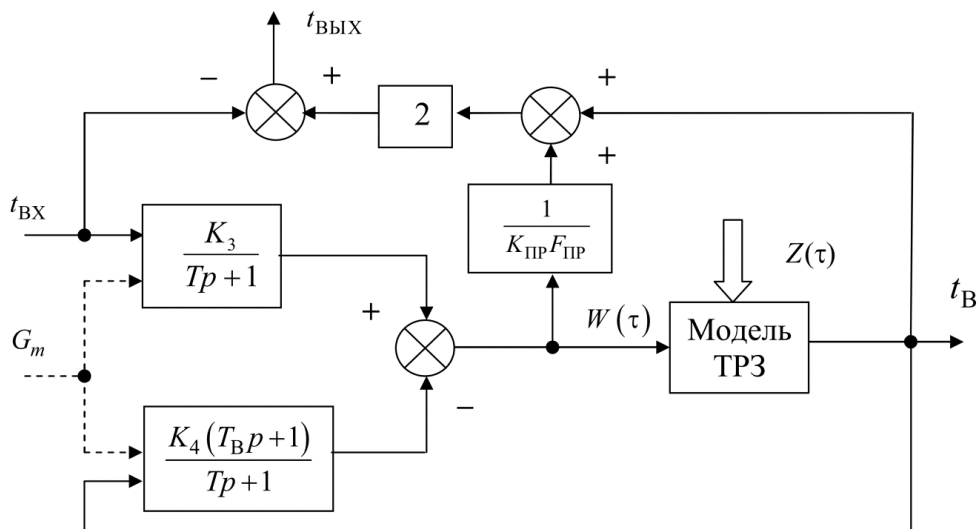


Рис. 2. Алгоритмическая структурная схема модели системы отопления

На рис. 2  $Z(\tau)$  – вектор возмущающих воздействий ТРЗ, основным из которых является  $t_H$  – температура наружного воздуха, сплошными линиями обозначены сигнальные воздействия, а штриховыми – параметрические, т. е. воздействия, определяющие численные значения параметров (коэффициентов) модели.

Поскольку теплоотдача (мощность системы отопления  $W(\tau)$ ) зависит от температуры внутреннего воздуха  $t_B$ , то структурная схема включает модель ТРЗ. В результате видно, что математическая модель системы отопления вместе с моделью ТРЗ составляют замкнутую систему уравнений, полностью описывающую поведение объекта управления, который в данном случае включает систему отопления и собственно ТРЗ. Входными величинами для данного объекта являются температура теплоносителя на входе системы отопления  $t_{ВХ}(\tau)$ , расход теплоносителя через систему отопления  $G_m(\tau)$  и вектор возмущений ТРЗ  $Z(\tau)$ . Выходные величины объекта –

## Управление в технических системах

это мощность (тепловой поток) системы отопления (эквивалентного отопительного прибора)  $W(\tau)$ , температура внутреннего воздуха  $t_B(\tau)$  и температура обратной воды (на выходе системы отопления)  $t_{\text{ВЫХ}}(\tau)$ .

Адекватность моделей ТРЗ и СО оценена в работах [2–3, 5–7]. Показано, что разработанные структуры моделей допускают удовлетворительную настройку на «реальный процесс». При этом применялись разные подходы и различные процедуры решения задачи идентификации. Например, при прямом решении задачи, когда мерой количественной близости модели и объекта моделирования является квадрат или модуль невязки между правыми и левыми частями уравнений, в которые подставлены экспериментальные данные, требуется вычислять производные сигналов температуры внутреннего и наружного воздуха, а также и сигнала мощности СО. Как это хорошо известно, задача дифференцирования сигналов является некорректной, поэтому необходима определенная проработка конкретного способа реализации процедуры дифференцирования. Здесь представляется целесообразным использовать следующий алгоритм [3].

Пусть средняя величина сигнала в  $(i+1)$ -й момент времени определена по четырем точкам, т. е.

$$\bar{x} = (x_{i+1} + x_i + x_{i-1} + x_{i-2}) / 4. \quad (19)$$

Отнесем  $\bar{x}$  к середине временного интервала, на котором располагаются рассматриваемые точки, т. е. картина расположения точек будет такой, как это представлено на рис. 3.

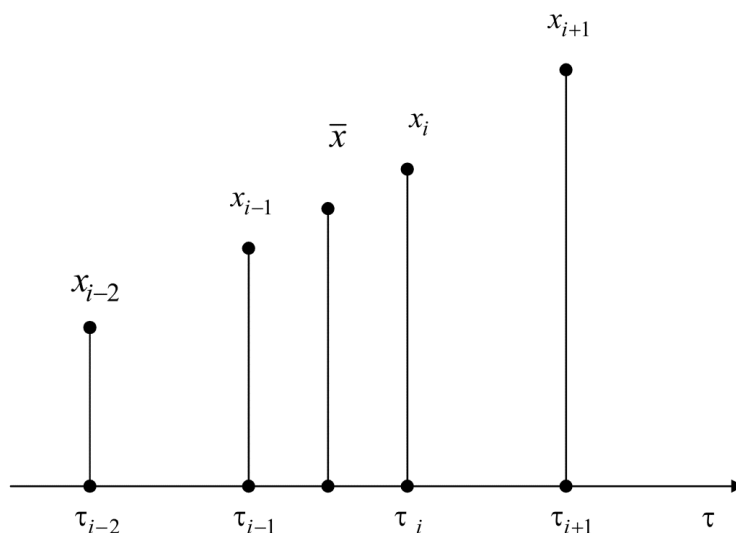


Рис. 3. Расположение точек, используемых при дифференцировании

Очевидно, что в этом случае можно пользоваться следующими четырьмя оценками производной:

$$\frac{dx(\tau_{i+1})}{d\tau} \approx \frac{x_{i+1} - \bar{x}}{1,5\Delta\tau}, \quad (20)$$

$$\frac{dx(\tau_{i+1})}{d\tau} \approx \frac{x_i - \bar{x}}{0,5\Delta\tau}, \quad (21)$$

$$\frac{dx(\tau_{i+1})}{d\tau} \approx \frac{\bar{x} - x_{i-1}}{0,5\Delta\tau}, \quad (22)$$

$$\frac{dx(\tau_{i+1})}{d\tau} \approx \frac{\bar{x} - x_{i-2}}{1,5\Delta\tau}. \quad (23)$$

Здесь  $\Delta\tau$  – промежуток времени между моментами считывания сигналов  $\Delta\tau = \tau_{i+1} - \tau_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$

Понятно, что лучшей оценкой будет среднее арифметическое найденных величин, т. е.

$$\begin{aligned} \frac{dx(\tau_{i+1})}{d\tau} &= \left[ \frac{x_{i+1} - \bar{x}}{1,5\Delta\tau} + \frac{x_i - \bar{x}}{0,5\Delta\tau} + \frac{\bar{x} - x_{i-1}}{0,5\Delta\tau} + \frac{\bar{x} - x_{i-2}}{1,5\Delta\tau} \right] / 4 = \\ &= \frac{1}{\Delta\tau} \left[ \frac{2}{3}(x_{i+1} - \bar{x}) + 2(x_i - \bar{x}) + 2(\bar{x} - x_{i-1}) + \frac{2}{3}(\bar{x} - x_{i-2}) \right] / 4 = \\ &= \frac{1}{\Delta\tau} \left[ \frac{1}{6}(x_{i+1} - \bar{x}) + \frac{1}{2}(x_i - \bar{x}) + \frac{1}{2}(\bar{x} - x_{i-1}) + \frac{1}{6}(\bar{x} - x_{i-2}) \right] = \\ &= \frac{1}{6\Delta\tau} [(x_{i+1} - \bar{x}) + 3(x_i - \bar{x}) + 3(\bar{x} - x_{i-1}) + (\bar{x} - x_{i-2})] = \\ &= \frac{1}{6\Delta\tau} [x_{i+1} + 3x_i - 3x_{i-1} - x_{i-2}]. \end{aligned} \quad (24)$$

Данная формула для вычисления производных применяется в составе адаптивного алгоритма идентификации параметров, в том числе и коэффициента передачи по каналу «мощность системы отопления – температура внутреннего воздуха»  $k_{\Pi} = \frac{1}{\alpha_B F_{CT} + k_{OK} F_{OK}}$ . На рис. 4 приведены

кривые, иллюстрирующие процедуру отслеживания параметра  $k_{\Pi}$  как при отсутствии, так и при наличии помех в исходных данных. При этом истинное значение коэффициента передачи  $k_{\Pi}$  составляло  $3,103 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ . Начальные значения параметра  $k_{\Pi}$ , как это видно из рис. 2, составляли  $2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$  и  $4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ , причем начальное значение  $k_{\Pi} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$  исправлялось как по данным без помех, так и по данным с помехами.

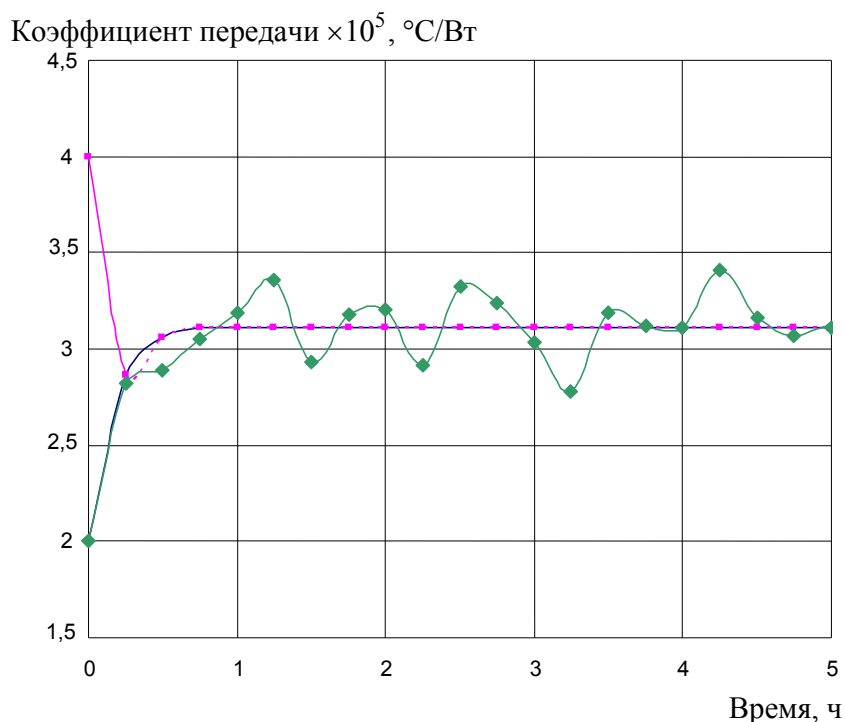


Рис. 4. Отслеживание численного значения параметра  $k_{\Pi}$

Как видно из рис. 4, коэффициент передачи  $k_{\Pi}$  исправляется с помощью адаптивного алгоритма в целом достаточно быстро, только при наличии помех в экспериментальных данных наблюдается некоторое колебание его текущего значения вблизи истинного значения  $k_{\Pi} = 3,103 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/Вт}$ .

## Управление в технических системах

Для большей точности оценки параметра  $k_{\Pi}$  в схему обработки экспериментальных данных помимо помехоустойчивого алгоритма дифференцирования (24) включили еще и предварительный алгоритм фильтрации сигнала о температуре внутреннего воздуха.

Задача фильтрации сводилась к следующей задаче оптимизации:

$$\psi_1(x_i - x_i^{\Phi})^2 + \psi_2(x_i^{\Phi} - x_{i-1}^{\Phi})^2 \rightarrow \min_{x_i^{\Phi}}, \quad (25)$$

где  $x_i$  – фактическое значение сигнала в  $i$ -й момент (отсчет),  $x_i^{\Phi}$  – оценка полезного сигнала для  $i$ -го момента времени,  $\psi_1$  и  $\psi_2$  – весовые коэффициенты.

Решая данную задачу оптимизации, нашли, что оптимальная оценка полезного сигнала должна определяться по следующей формуле

$$x_i^{\Phi} = \frac{\psi_1 x_i + \psi_2 x_{i-1}^{\Phi}}{\psi_1 + \psi_2}. \quad (26)$$

Удобно данное соотношение записать в следующем виде

$$x_i^{\Phi} = x_{i-1}^{\Phi} + \frac{\psi_1}{\psi_1 + \psi_2} (x_i - x_{i-1}^{\Phi}). \quad (27)$$

Данный алгоритм позволяет отслеживать изменение полезного сигнала во времени. Как видно из последнего уравнения, если сигнал не изменился за промежуток времени между  $(i-1)$ -м и  $i$ -м моментами, то оценки  $x_i^{\Phi}$  и  $x_{i-1}^{\Phi}$  будут совпадать.

Для примера на рис. 5 приведены кривые, иллюстрирующие работу алгоритма: кривая 1 – это оценка параметра  $k_{\Pi}$  при отключенном алгоритме фильтрации (27), кривые 2 и 3 – оценки, найденные с включенным алгоритмом фильтрации соответственно для  $\psi_1 = 0,3$ ;  $\psi_2 = 0,7$  и для  $\psi_1 = 0,1$ ;  $\psi_2 = 0,9$ . Кривую 1 можно рассматривать как оценку, найденную для  $\psi_2 = 0$ .

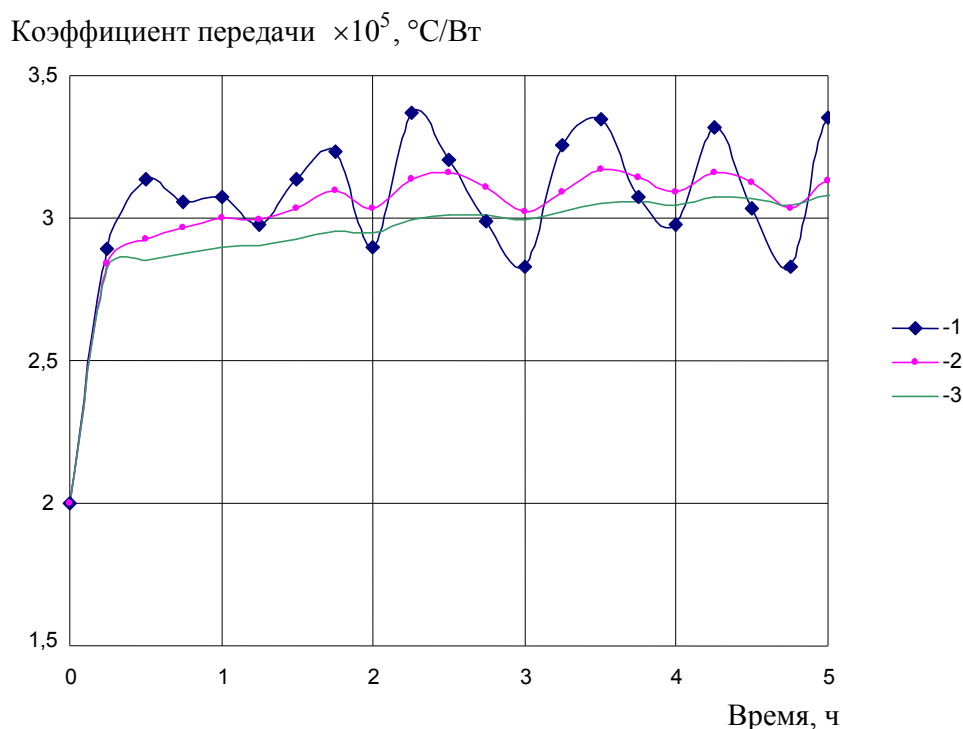


Рис. 5. Отслеживание численного значения параметра  $k_{\Pi}$  при использовании алгоритма фильтрации

Как видно из рис. 5, алгоритм (15) обладает заметными фильтрующими свойствами. При этом, как и следовало ожидать, уменьшение  $\psi_1$  и увеличение  $\psi_2$  приводит к усилению фильт-

рующих свойств алгоритма. Отклонение получаемых оценок от истинного значения  $k_{II}$  заметно уменьшается. В наших расчетах это отклонение всегда удавалось за счет настроек алгоритма фильтрации (за счет выбора  $\psi_1$  и  $\psi_2$ ) довести до допустимого значения. Таким образом, дополнительное использование алгоритма фильтрации позволяет получить вполне работоспособную процедуру оценивания коэффициентов модели.

### Выводы

Рассмотрено решение задачи структурной идентификации общей математической модели теплового режима здания и его системы отопления. При этом в модели ТРЗ учтена нестационарность температурного поля по толщине его наружного ограждения. Приведены данные по параметрической идентификации, в частности, по решению подзадачи дифференцирования используемых при этом экспериментальных сигналов. Настроенная на «реальный процесс» математическая модель может быть использована как для исследования особенностей режимов работы СО и ТРЗ, так и для разработки высококачественных управляющих устройств, в частности, для настройки погодного регулятора отопления.

### Литература

1. Панферов, В.И. Моделирование и управление тепловым режимом здания / В.И. Панферов, А.Н. Нагорная, Е.Ю. Пашина // *Материалы Международной науч.-техн. конф. «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции»*. – М.: Изд-во МГСУ, 2005. – С. 143–147.

2. Панферов, С.В. К задаче параметрической идентификации математической модели теплового режима зданий / С.В. Панферов, В.И. Панферов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2012. – Вып. 14, № 17 (276). – С. 73–76.

3. Панферов, С.В. Адаптивная идентификация математической модели теплового режима зданий / С.В. Панферов, В.И. Панферов // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах* – 2013. – № 1. – С. 6–11. – <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=37245>.

4. Приведение многослойных ограждающих конструкций к однослойным при тепловых расчетах / Ю.С. Васильев, Д.В. Крестьянкин, А.Н. Нагорная, В.И. Панферов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2008. – Вып. 6, № 12 (112). – С. 49–57.

5. Панферов, С.В. Адаптивная идентификация параметров систем отопления зданий / С.В. Панферов, В.И. Панферов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2014. – Т. 14, № 2. – С. 33–37.

6. Панферов, В.И. Об одном решении задачи построения динамической математической модели отопительных приборов и систем / В.И. Панферов, А.Н. Нагорная, Ю.В. Кунгурцева // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2012. – Вып. 15, № 38 (297). – С. 46–49.

7. Панферов, В.И. К решению задачи моделирования отопительных приборов и систем / В.И. Панферов, С.В. Панферов // *Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. X Всерос. науч.-практ. конф.* – Новокузнецк: СибГИУ, 2015. – С. 384–388.

**Панферов Сергей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске.

**Тренин Николай Александрович**, канд. воен. наук, начальник кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске.

**Панферов Владимир Иванович**, д-р техн. наук, профессор, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», филиал в г. Челябинске; [tgsv@mail.ru](mailto:tgsv@mail.ru).

Поступила в редакцию 28 января 2017 г.



## ABOUT ONE SOLUTION TO THE PROBLEM DEVELOPMENT OF GENERAL MODEL OF THERMAL REGIME OF THE BUILDING AND ITS HEATING SYSTEM

**S.V. Panferov,**  
**N.A. Trenin,**  
**V.I. Panferov,** *tgshiv@mail.ru*

*Russian Air Force Military Educational and Scientific Center "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin", Chelyabinsk branch, Russian Federation*

It displays the structure of the mathematical model of the thermal regime of the building, taking into account the time-dependent temperature distribution in the thickness of its outer fence. Connecting to this model, the dynamic model of the heating system previously developed determined the overall structure of the mathematical model of the thermal regime of the building and its heating system. The input control actions for the general structure of the model are tamper-round and coolant flow rate of the heating system input and output values – internal air temperature and return water temperature. It is noted that previously received the static and dynamic models of the thermal regime of the building and the heating system are special cases of this structure. The data on the solution of the problem of parametric identification model. The results can be used for studies of the modes of operation of the heating system and the thermal conditions of the building and for the development of high quality control devices, in particular weather regulator to adjust the heating system.

*Keywords: structure of the mathematical model, the thermal regime of the building, the system of automatic control of heating, temperature and flow rate of heating water, indoor air temperature, parameter identification, error control differentiation.*

### References

1. Panferov V.I., Nagornaya A.N., Pashnina E.Yu. [Modeling and Control of Thermal Regime of the Building]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauch.-tehn. konferentsii "Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzheniya i ventilyatsii"* [International Scientific Conference "Theoretical Foundations of Heat and Ventilation"]. Moscow, Publ. House of the MGRS, 2005, pp. 143–147. (in Russ.)
2. Panferov S.V., Panferov V.I. [To the Problem of Parametric Identification of Mathematical Model of the Thermal Regime of Buildings]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2012, vol. 14, no. 17 (276), pp. 73–76. (in Russ.)
3. Panferov S.V., Panferov V.I. [Adaptive Identification of a Mathematical Model the Thermal Regime of Buildings]. *Mathematical and Software Systems in the Industrial and Social Spheres*, 2013, no. 1, pp 6–11. (in Russ.)
4. Vasil'ev Yu.S., Krest'yankin D.V., Nagornaya A.N., Panferov V.I. [Bringing Multilayer Walling to the Single Layer in Thermal]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2008, vol. 6, no 12 (112), pp 49–57.
5. Panferov V.I., Panferov S.V. [Adaptive Parameter Identification of Buildings Heating Systems]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2014, vol. 14, no. 2, pp. 33–37. (in Russ.)
6. Panferov V.I., Nagornaya A.N., Kungurtseva Yu.V. [A Solution of the Problem of Constructing a Dynamic Mathematical Model of Heating Devices and Systems]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2012, vol. 15, no. 38 (297), pp. 46–49. (in Russ.)

7. Panferov V.I., Panferov S.V. [To Solution of the Problem of Modeling Heating Devices and Systems]. *Sistemy avtomatizatsii v obrazovanii, nauke i proizvodstve: trudy X Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf* [Automation Systems in Education, Science and Production: Proceedings of X All-Russian Scientific-Practical Conference]. Novokuznetsk: SibGIU, 2015, pp. 384–388. (in Russ.)

*Received 28 January 2017*

---

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Панферов, С.В. Об одном решении задачи построения общей модели теплового режима здания и его системы отопления / С.В. Панферов, Н.А. Тренин, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 3. – С. 24–33. DOI: 10.14529/ctcr170303

**FOR CITATION**

Panferov S.V., Trenin N.A., Panferov V.I. About One Solution to the Problem Development of General Model of Thermal Regime of the Building and Its Heating System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 24–33. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr170303