

## Моделирование системы управления микроклиматом здания

А.С. Ртищева

Ульяновский государственный технический университет,  
г.Ульяновск. E-mail: [al.rtisheva@yahoo.com](mailto:al.rtisheva@yahoo.com)

Рассмотрены возможности реализации оптимального управления микроклиматом здания. Разработаны модели систем управления отоплением, вентиляцией и кондиционированием. Приведены результаты численного исследования влияния случайных внешних воздействий на эффективность управления.

Ключевые слова: микроклимат здания, оптимальное управление, случайное воздействие, численное моделирование.

Удорожание тепловой и электрической энергии делает необходимым повышение эффективности функционирования систем обеспечения микроклимата, что возможно при использовании автоматических систем управления. Проблема энергосбережения на объектах конечного потребления энергии (в зданиях) в настоящее время является актуальной, что подтверждается Законом РФ “Об энергосбережении”.

Основными составляющими микроклимата в помещении, от которых зависит самочувствие человека и которые можно регулировать, являются: температура воздуха, относительная влажность и загрязненность воздуха вредными примесями.

В основе модели управления температурой внутреннего воздуха в помещении лежит уравнение теплового баланса:

$$c_p \rho V \frac{dt_{вн}}{d\tau} = Q_{отопл} + \sum_{i=1}^N Q_i, \quad (1)$$

где  $t_{вн}$  – температура внутреннего воздуха;  $V$  – объем помещения;  $c_p$  – массовая изобарная теплоемкость воздуха;  $\rho$  – плотность воздуха;

$Q_{отопл}$  – тепловая мощность системы отопления;  $\sum_{i=1}^N Q_i$  – суммарные тепловые потери и теплопоступления.

Тепловые потери и теплопоступления могут быть представлены тепловыми потоками теплопередачи и инфильтрации через наружные ограждающие конструкции, тепловыми потоками, связанными с наличием системы вентиляции и осуществлением воздухообмена рассматриваемого помещения с соседними помещениями. Также дополнительные тепловые поступления могут быть связаны с наличием людей, осветительных приборов, электрооборудования, а также с солнечной радиацией [1].

В уравнении (1) регулируемым параметром является температура внутреннего воздуха. При этом регулирующим параметром может выступать тепловой поток от приборов отопления, а также температура поверхности отопительного прибора или температура теплоносителя в отопительном приборе,  $t_{менл}$  (что наиболее характерно для систем водяного отопления, широко применяемых в нашей стране).

Таким образом,

$$\frac{dt_{\dot{a}i}}{d\tau} = -a_1 t_{\dot{a}i} + b_1 t_{\dot{o}\dot{a}i\dot{v}} + \xi_1, \quad (2)$$

где  $\xi_1$  – случайное воздействие;  $a_1$ ,  $b_1$  – коэффициенты, получаемые при математической записи основных тепловых потерь и теплопоступлений.

Для относительной влажности воздуха также можно записать балансовое уравнение в виде

$$M \frac{d\omega}{d\tau} = \dot{M}_{\dot{e}i\dot{o}} (\omega_i - \omega) + \dot{M}_{\dot{a}\dot{a}i\dot{o}} (\omega_i - \omega_c) + W_{\dot{e}\dot{n}\dot{o}} + \sum_{j=1}^{\dot{o}} \dot{M}_j (\omega_j - \omega), \quad (3)$$

где  $M$  – масса воздуха в помещении;  $\dot{M}_{\dot{e}i\dot{o}}$  – массовый расход воздуха с инфильтрацией;  $\dot{M}_{\dot{a}\dot{a}i\dot{o}}$  – массовый расход воздуха, обеспеченный системой вентиляции (кондиционирования);  $\dot{M}_j$  – массовый расход воздуха при воздухообмене с соседним помещением;  $\omega$  – относительная влажность воздуха в рассматриваемом помещении;  $\omega_i$  – относительная влажность наружного воздуха;  $\omega_c$  – заданное значение относительной влажности воздуха, поставляемого системой вентиляции (кондиционирования);  $\omega_j$  – относительная влажность воздуха соседнего помещения;  $W_{\dot{e}\dot{n}\dot{o}}$  – внутренние влагопоступления.

Таким образом, уравнение управления влажностью воздуха в помещении будет иметь вид

$$\frac{d\omega}{d\tau} = -a\omega + b\dot{M}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}(\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}\dot{\alpha}) + \xi, \quad (4)$$

где  $\xi$  – случайное воздействие;  $a$ ,  $b$  – коэффициенты, получаемые из уравнения (3).

Массовый расход воздуха можно выразить как

$$\dot{M}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}(\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}\dot{\alpha}) = \rho\dot{V}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}(\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}\dot{\alpha}), \quad (5)$$

где  $\dot{V}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}(\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}\dot{\alpha})$  – объемный расход воздуха, обеспеченный системой вентиляции (кондиционирования).

Тогда уравнение управления примет вид

$$\frac{d\omega}{d\tau} = -a_2\omega + b_2\dot{V}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}(\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}\dot{\alpha}) + \xi_2. \quad (6)$$

Для концентрации вредных веществ (к примеру, углекислого газа) в воздухе помещения также можно записать балансовое уравнение в виде

$$V \frac{dn}{d\tau} = \dot{V}_{\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}}(n_f - n) + \dot{V}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}(\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}\dot{\alpha})(n_f - n_{\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}) + M_{\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}} + \sum_{j=1}^{\dot{\alpha}} \dot{V}_j(n_j - n), \quad (7)$$

где  $V$  – объем помещения;  $\dot{V}_{\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}}$  – объемный расход воздуха с инфильтрацией;  $\dot{V}_j$  – объемный расход воздуха при воздухообмене с соседним помещением;  $n$  – концентрация вредных веществ в воздухе рассматриваемого помещения;  $n_f$  – концентрация вредных веществ в наружном воздухе;  $n_{\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}$  – допустимая (заданная) концентрация вредных веществ в воздухе помещения;  $n_j$  – концентрация вредных веществ в воздухе соседнего помещения;  $M_{\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}}$  – внутренние поступления вредных веществ.

Таким образом, уравнение управления концентрацией вредных веществ в воздухе помещения будет иметь вид

$$\frac{dn}{d\tau} = -a_3n + b_3\dot{V}_{\dot{\alpha}\dot{\alpha}\dot{\tau}\dot{\tau}}(\dot{\epsilon}\dot{\tau}\dot{\tau}\dot{\alpha}) + \xi_3, \quad (8)$$

где  $\xi_3$  – случайное воздействие;  $a_3$ ,  $b_3$  – коэффициенты, получаемые из уравнения (7).

Выражения (2), (6) и (8) представляют собой систему уравнений управления микроклиматом в помещении.

На основе принципа максимума Понтрягина, а также дифференциального уравнения Беллмана и уравнения Гамильтона-

Якоби могут быть получены функции оптимального управления перечисленными параметрами микроклимата.

Для систем автоматического управления важным фактором качества является инерционность исполнительных механизмов, так как заданное управление отрабатывается не сразу, а только через определенное время и с определенной погрешностью. Системы управления микроклиматом здания практически лишены указанного недостатка, что связано, прежде всего, с инерционностью самого объекта управления.

На основе полученных моделей было проведено исследование влияния случайных воздействий на температуру внутреннего воздуха. В качестве примера был рассмотрен идеальный объект (без учета инерционных свойств) – помещение, объемом  $67,5 \text{ м}^3$ , которое имеет только внешние ограждающие конструкции, выполненные из бетона с плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  и коэффициентом теплопроводности  $0,33 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Расчеты показали, что колебания температуры наружного воздуха в пределах  $\pm 0,8 \text{ }^\circ\text{C}$  (от некоторого среднего значения), вызовут отклонение температуры внутреннего воздуха от заданной в пределах  $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

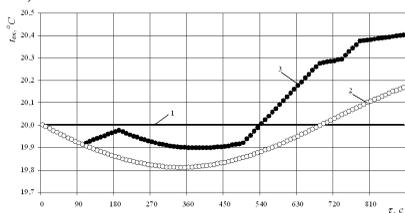


Рис. 1. График изменения температуры внутреннего воздуха в помещении: заданное значение температуры – 1; при наличии колебаний температуры наружного воздуха – 2; при наличии колебаний температуры наружного воздуха и дополнительных тепловых поступлений от человека, присутствие которого имеет случайный характер – 3

Дополнительные случайные воздействия в виде периодического пребывания в помещении человека вызывает увеличение указанного промежутка варьирования температуры внутреннего воздуха до  $\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис.1).

Следует отметить, что для реальных инерционных объектов колебания температуры внутреннего воздуха за рассматриваемый промежуток времени менее значительны.

Таким образом, создание систем оптимального автоматического управления микроклиматом приведет к экономии тепловой и электрической энергии, а также повысит уровень комфорта в зданиях.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ртицева А. С. Создание моделей теплового состояния здания с помощью программного пакета TRNSYS / А. С. Ртицева // Наука. Технологии. Инновации : материалы науч. конф. – Новосибирск, 2009. – С.80-82.

## **Modeling of a control system of a building microclimate**

**A.S. Rtishcheva**

**Ulyanovsk state technical university, Ulyanovsk.**

**E-mail: al .rtisheva@yahoo.com**

Possibilities of realization of optimum control of a building microclimate are considered. Models of control systems of heating, ventilation and conditioning are developed. Results of numerical research of influence of casual external impacts on control efficiency are given.

Keywords: building microclimate, optimum control, casual influence, numerical modeling.

### **References**

1. Rtishcheva A. S. Sozдание modeley teplovogo sostoyaniya zdaniya s pomosh'yu programmnoy paketa TRNSYS. Nauka, technologii, innovatsii: materialy naychnoy konf. [Creation of Models of a thermal Condition of the Building by Means of a Software Package TRNSYS]. *Proc of scientific conf. Science. Technologies. Innovations*, Novosibirsk, 2009, pp. 80–82.