

- crowave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013): Материалы конференции. Т. 2. Севастополь: Вебер, 2013. С. 1200-1201.
5. Калмыков А.А., Ронкин М.В. Сравнение цифровых методов определения времени прихода локационных сигналов // Радиовысотометрия-2013: Сборник трудов. Каменск-Уральский: ОАО «УПКБ «ДЕТАЛЬ», 2013. С. 413-418.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ОТОПЛЕНИЕМ

*Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет  
al.rtisheva@mail.ru*

Автоматическое управление, реализованное в зданиях, ограничивает потребление тепловой энергии на отопление таким ее количеством, которое необходимо для поддержания заданного значения температуры в помещениях. Новизну в задачах управления микроклиматом на сегодняшний день составляет применение методов теории оптимального управления, с помощью которых возможен учет влияния случайных факторов (температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, дополнительных теплопоступления, связанных с наличием осветительных приборов, компьютерной техники, промышленного или бытового оборудования, а также человека).

Под объектом управления будем понимать тепловую зону (помещение, группу помещений или здание в целом).

В основе модели объекта управления лежит уравнение теплового баланса:

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

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 [2, 3].

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. Так как наиболее распространенной в нашей стране является система водяного отопления, то в качестве регулируемого параметра рассмотрим температуру теплоносителя в отопительном приборе (радиаторе),  $t_{менл}$ .

Рассмотрим упрощенный случай, когда тепловые потери ограничиваются только тепловыми потоками теплопередачи через ограждающие конструкции, а внешние возмущения – колебаниями температуры наружного воздуха и случайным характером дополнительных теплопоступлений от человека. При этом уравнение (1) примет вид

$$c_p \rho V \frac{dt_{вн}}{dt} = K_p F_p (t_{тепл} - t_{вн}) - K_{огр} F_{огр} (t_{вн} - t_n) + Q_{чел} N, \quad (2)$$

где  $t_n$  – температура наружного воздуха;  $K_p$  – коэффициент теплопередачи отопительного прибора;  $F_p$  – площадь поверхности отопительного прибора;  $K_{огр}$  – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций;  $F_{огр}$  – площадь ограждающих конструкций;  $Q_{чел}$  – нормативное значение теплового потока от 1 человека, занятого определенным видом деятельности;  $N$  – количество людей в тепловой зоне.

Таким образом,

$$\frac{dt_{вн}}{d\tau} = -at_{вн} + bt_{тепл} + \xi, \quad (3)$$

где  $a = -\left(\frac{K_p F_p + K_{огр} F_{огр}}{c_p \rho V}\right)$ ;  $b = \frac{K_p F_p}{c_p \rho V}$ .

В общем случае выражение (3) можно представить в векторной форме:

$$\frac{d\mathbf{T}_{вн}}{d\tau} = -\mathbf{A}\mathbf{T}_{вн} + \mathbf{B}t_{тепл} + \xi. \quad (4)$$

Если задать некоторую температуру внутреннего воздуха, которую необходимо поддерживать в тепловой зоне  $t_{вн.зад}$ , то основной задачей оптимального управления будет являться нахождение коэффициента усиления регулятора  $K$ . При этом функция оптимального управления будет иметь вид

$$t_{тепл}^* = K(t_{вн} - t_{вн.зад}). \quad (5)$$

Меру ошибки можно задать в виде

$$H = (\mathbf{T}_{вн} - \mathbf{T}_{вн.зад})^T \mathbf{Q}_1 (\mathbf{T}_{вн} - \mathbf{T}_{вн.зад}) + q_2 t_{тепл}^2. \quad (6)$$

где  $\mathbf{T}_{вн.зад}$  – вектор заданных температур;  $\mathbf{Q}_1$  – весовая матрица.

Из уравнения Беллмана и Гамильтона-Якоби следует выражение для оптимального управления:

$$t_{тепл}^* = -q_2^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}(\tau) (\mathbf{T}_{вн} - \mathbf{T}_{вн.зад}), \quad (7)$$

где  $\mathbf{K}(\tau) = -q_2^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{P}(\tau)$  – матричный коэффициент усиления.

Выражение для матрицы  $\mathbf{P}(\tau)$  можно найти из уравнения Риккати [1, 2].

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  $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Дополнительные случайные воздействия в виде периодического пребывания в помещении человека вызывает увеличение указанного промежутка варьирования температуры внутреннего воздуха до  $\pm 0,4 \text{ }^\circ\text{C}$  (рисунок).

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

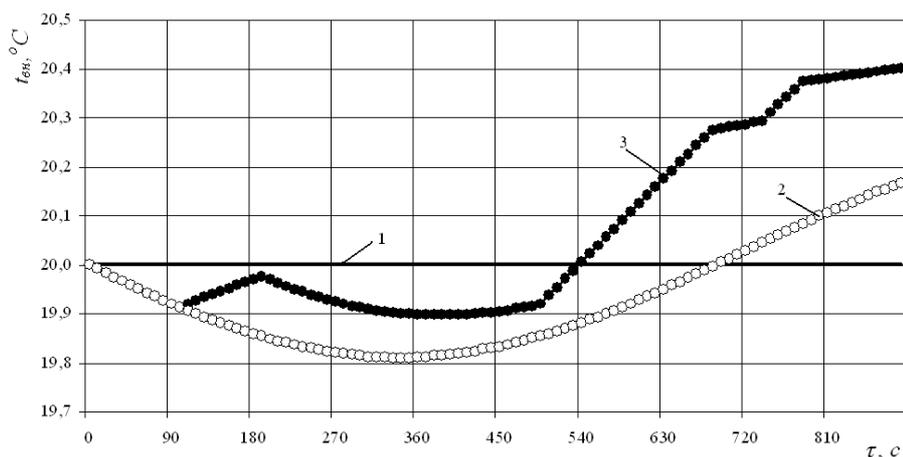


График изменения температуры внутреннего воздуха в помещении: заданное значение температуры – 1; при наличии колебаний температуры наружного воздуха – 2; при наличии колебаний температуры наружного воздуха и дополнительных тепловых поступлений от человека, присутствие которого имеет случайный характер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

Представленные модели и алгоритмы определяют процедуру оптимального управления температурой теплоносителя для поддержания заданного значения температуры внутреннего воздуха в тепловой зоне. Они синтезируют методы динамического программирования теории оптимального управления и методы расчета отопительных систем.

#### *Библиографический список*

1. Оптимизация и оптимальное управление: учеб. пособие / Э.К. Аракелян, Г.А. Пикина; под ред. Т.Е. Щедеркиной. М.: МЭИ, 2003. 356 с.
2. Оптимальное управление системами / Э.П. Сейдж, Ч.С. Уайт, III; под ред. Б. Р. Левина. – М.: Радио и связь, 1982. 392 с.
3. Ртищева А.С. Моделирование теплового режима и оптимизация теплопотребления здания высшего учебного заведения / А.С. Ртищева // Проблемы теплообмена и гидродинамики в энергомашиностроении : материалы 5-й науч.-техн. конф. Казань, 2006. С. 247-250.

## **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНОМ В ЗДАНИИ**

*Ртищева А.С.*

*Ульяновский государственный технический университет*

*al.rtisheva@mail.ru*

Важными параметрами комфортного микроклимата в здании, которые можно регулировать, являются: относительная влажность воздуха и концентрация вредных веществ в воздухе. Автоматическое управление воздухообменом в общественных, административных или промышленных зданиях ограничивает потребление как электрической, так и тепловой энергии на создание комфортных параметров микроклимата в помещениях таким ее количеством, которое необходимо для поддержания некоторых заданных значений или заданного графика их изменения во времени (реализация суточного или недельного регулирования). Новизну в задачах управления воздухообменом на сегодняшний