

Литература:

1. Шилиев М.И., Дорохов А.Р. Методы расчета и принципы компоновки пылеулавливающего оборудования.: Учеб. пособие. - Томск: Изд-во ТГАСУ, 1999.

УДК 658.264.001.57

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗДАНИЯ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

В.С. Андык, В.И. Рязанов

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: atp@ped.tpu.ru

Задачей автоматического регулирования теплопотребления жилых зданий является создание комфортных температурных условий проживания. Настройка систем регулирования теплопотребления представляет собой сложную задачу. В условиях практической работы стремятся получить (и иногда получают) хорошее качество работы систем регулирования путем итерационного поиска настроек регулятора. Однако итерационный поиск, ввиду большой инерционности и запаздывания объекта, чрезвычайно длителен и трудоемок. Поэтому при настройке систем автоматического регулирования теплопотребления всегда необходимо определять параметры настройки регулятора аналитически, хотя бы приближенно. Аналитический расчет настроек регулятора требует знания математической модели объекта регулирования.

В настоящей работе представлена математическая модель здания как объекта автоматического регулирования теплопотребления. Модель получена в предположении сосредоточенности объекта путем линеаризации по методу малых отклонений. Коэффициенты передачи и постоянные времени математической модели действительны только для рассматриваемого статического режима, относительно которого проводится линеаризация. Технологическая схема объекта управления представлена на рис. 1.

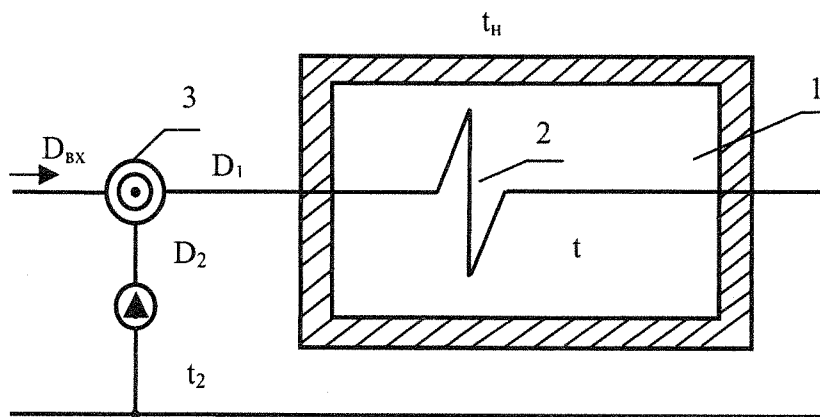


Рис. 1. Технологическая схема объекта управления

1 - помещение; 2 - теплообменник; 3 - устройство смешивания потоков теплоносителя

Регулирование температуры в помещении 1 осуществляется с помощью теплообменника 2 посредством изменения температуры или (и) изменения расхода теплоносителя на входе в теплообменник. Изменения температуры или расхода теплоносителя на входе в теплообменник может достигаться как за счет внешних факторов (теплоисточника), так и за счет смешивания прямого и обратного потоков теплоносителя в устройстве смешивания 3.

Рассмотрим динамические характеристики отдельных участков объекта управления.

1. Устройство смешивания

Перемешивание потоков теплоносителя протекает сравнительно быстро, поэтому инерционностью этого процесса при рассмотрении динамики в первом приближении можно пренебречь.

Статические зависимости между воздействием подмешиванием и изменением температуры определяются из уравнений баланса энергии и вещества.

Пренебрегая аккумулярующей емкостью зоны перемешивания, для одинакового агрегатного состояния смешиваемых потоков запишем уравнение баланса (см. рис.2).

$$D_{ex} + D_2 = D_1. \quad (1)$$

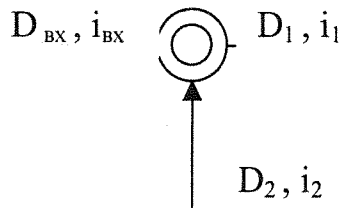


Рис. 2. Схема смешивания потоков теплоносителя

При постоянных давлении и скорости в зоне перемешивания

$$D_{ex} \cdot i_{ex} + D_2 \cdot i_2 = D_1 \cdot i_1, \quad (2)$$

где $D_{вх}$, D_2 , D_1 - расходы теплоносителя, m^3/c ; $i_{вх}$, i_2 , i_1 - энтальпии потоков, Дж / кг.

Из уравнений (1) и (2) можно получить

$$i_1 = \frac{D_{вх}}{D_1} \cdot i_{вх} + \frac{D_2}{D_1} \cdot i_2 = (1-\gamma) \cdot i_{вх} + \gamma \cdot i_2, \quad (3)$$

где $\gamma = D_2 / D_1$ - коэффициент смешивания. Дифференцируя (3) по γ , находим

$$\frac{di_1}{d\gamma} = i_2 - i_{вх} \quad \text{или в приращениях} \quad \Delta i = (i_2 - i_{вх}) \cdot \Delta \gamma. \quad (4)$$

Тогда изменение температуры на выходе устройства смешивания

$$\Delta t_1 = \frac{i_2 - i_{\text{ВХ}}}{C_1} \cdot \Delta \gamma, \quad (5)$$

где C_1 - удельная теплоемкость теплоносителя на выходе устройства, Дж / (кг · °С).

Определим приращение γ при варьировании расходов $D_{\text{ВХ}}$ и D_2 относительно выбранных значений $D_{\text{ВХ}} = D_{\text{ВХ}0} = \text{const}$, $D_2 = D_{20} = \text{const}$.

Коэффициент смешивания с учетом (1)

$$\gamma = \frac{D_2}{D_1} = \frac{D_2}{D_2 + D_{\text{ВХ}}}.$$

Пренебрегая членами малого порядка и учитывая, что производные

$$\frac{\partial \gamma}{\partial D_2} = \frac{D_{\text{ВХ}}}{(D_2 + D_{\text{ВХ}})^2}; \quad \frac{\partial \gamma}{\partial D_{\text{ВХ}}} = - \frac{D_2}{(D_2 + D_{\text{ВХ}})^2},$$

получим

$$\Delta \gamma = \frac{D_{\text{ВХ}0}}{(D_{20} + D_{\text{ВХ}0})^2} \cdot \Delta D_2 - \frac{D_{20}}{(D_{20} + D_{\text{ВХ}0})^2} \cdot \Delta D_{\text{ВХ}}. \quad (6)$$

2. Динамика объекта управления при изменении температуры теплоносителя

2.1. Динамика помещения

Уравнение теплового баланса помещения в установившемся состоянии теплового процесса

$$Q_{\text{выд}} + Z_1 \cdot F_1 \cdot \Delta t_{\text{ср}} = Z_2 \cdot F_2 \cdot (t - t_{\text{н}}), \text{ Дж/с},$$

где $Q_{\text{выд}}$ - количество выделяемого в помещении (от оборудования или других источников) тепла в единицу времени, Дж/с;

Z_1 - коэффициент теплопередачи теплообменника, Вт/(м²·°С);

F_1 - площадь поверхности теплообменника, м²;

$t_{\text{ср}}$ - средняя разность температур между температурой поверхности теплообменника и температурой омывающего теплообменник воздуха, °С;

Z_2 - коэффициент теплопередачи внешних ограждений помещения, Вт/(м²·°С);

F_2 - площадь внешних ограждений помещения, м²;

t - температура воздуха в помещении, °С;

$t_{\text{н}}$ - температура наружного воздуха, °С.

С достаточной для практики точностью $t_{\text{ср}}$ может быть принята как средняя разность температур

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2} - t = t_c - t, \text{ °С}, \quad (7)$$

где t_1 и t_2 - температуры теплоносителя на входе и выходе теплообменника.

С учетом (7) уравнение теплового баланса помещения в установившемся состоянии

$$Q_{\text{выд}} + Z_1 \cdot F_1 \cdot (t_c - t) = Z_2 \cdot F_2 \cdot (t - t_H), \text{ Дж/с.} \quad (8)$$

При неустановившемся тепловом процессе равенство в (8) нарушается. При изменении температуры наружного воздуха t_H на величину Δt_H получают приращения температура t на величину Δt и температура t_c на величину Δt_c . Небаланс между притоком тепла в помещение и оттоком тепла из помещения вызывает аккумуляцию или отдачу тепла массой помещения. Уравнение теплового баланса в переходный период при этом будет иметь вид

$$Q_{\text{выд}} + Z_1 \cdot F_1 \cdot [t_c + \Delta t_c - (t + \Delta t)] - Z_2 \cdot F_2 \cdot [t + \Delta t - (t_H + \Delta t_H)] = \Delta Q, \text{ Дж/с.}$$

Здесь ΔQ - скорость аккумуляирования или отдачи тепла массой помещения вследствие изменения температуры Δt .

Вычтя из последнего уравнения уравнение статики (8) и обозначив через A количество тепла, которое необходимо затратить на повышение на один градус температуры в помещении, получим дифференциальное уравнение динамики температуры в помещении

$$A \frac{d \Delta t}{d \tau} = Z_1 \cdot F_1 \cdot (\Delta t_c - \Delta t) - Z_2 \cdot F_2 \cdot (\Delta t - \Delta t_H), \text{ Дж/с}$$

$$\text{или} \quad T_1 \frac{d \Delta t}{d \tau} + \Delta t = K_4 \cdot \Delta t_c + K_5 \cdot \Delta t_H, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (9)$$

где $A = C_V \cdot V_V \cdot \rho_V$, Дж/с; C_V - удельная теплоемкость воздуха, Дж / (кг · °С); V_V - объем воздуха в помещении, м³; ρ_V - плотность воздуха, кг/м³;

$$T_1 = \frac{A}{Z_1 \cdot F_1 + Z_2 \cdot F_2}, \text{ с; } K_4 = \frac{Z_1 \cdot F_1}{Z_1 \cdot F_1 + Z_2 \cdot F_2}; K_5 = \frac{Z_2 \cdot F_2}{Z_1 \cdot F_1 + Z_2 \cdot F_2}.$$

2.2. Динамика поверхностного теплообменника

Уравнение теплового баланса для теплообменника в статике имеет вид

$$D_1 \cdot \rho \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_2) = Z_1 \cdot F_1 \cdot (t_c - t), \text{ Дж/с,}$$

где D_1 - объемный расход теплоносителя через теплообменник, м³/с;

ρ - плотность теплоносителя, кг / м³;

C_1 - удельная теплоемкость теплоносителя, Дж / (кг · °С).

На основании (7) исключим из уравнения теплового баланса температуру t_2 . Тогда

$$2D_1 \cdot \rho \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_2) = Z_1 \cdot F_1 \cdot (t_c - t), \text{ Дж/с.} \quad (10)$$

При нарушении статического режима работы теплообменника за счет изменения температуры теплоносителя на входе на величину Δt_1 получают приращения температура в помещении на величину Δt , средняя температура теплоносителя на величину Δt_c . С учетом приращения температур уравнение теплового баланса в переходный период будет иметь вид

$$2D_1 \cdot \rho \cdot C_1 \cdot (t_1 + \Delta t - (t_c + \Delta t_c)) - Z_1 \cdot F_1 \cdot (t_c + \Delta t_c - (t + \Delta t)) = \Delta Q, \text{ Дж/с,}$$

где ΔQ - скорость аккумуляирования или отдачи тепла массой теплообменника.

Вычтя из последнего уравнения уравнение статики (10) и обозначив через A_1 количества тепла, которое необходимо затратить на повышение на один градус температуры массы теплообменника, получим уравнение динамики температуры в теплообменнике

$$A_1 \frac{d \Delta t_c}{d \tau} + (Z_1 \cdot F_1 + 2D_1 \cdot \rho \cdot C_1) \Delta t_c = 2D_1 \cdot \rho \cdot C_1 \cdot \Delta t_1 + Z_1 \cdot F_1 \cdot \Delta t, \text{ Дж/с}$$

или

$$T_2 \frac{d \Delta t_c}{d \tau} + \Delta t_c = K_6 \cdot \Delta t_1 (\tau - \tau_0) + K_7 \cdot \Delta t, \quad \text{С}, \quad (11)$$

где $A_1 = C_m \cdot V_m \cdot \rho_m$;

C_m - удельная теплоемкость металла теплообменника, Дж / (кг · ° С);

V_m - объем металла теплообменника, м³;

ρ_m - плотность металла теплообменника, кг/м³.

τ_0 - время прохода теплоносителя через теплообменник, с;

$$T_2 = \frac{A_1}{Z_1 \cdot F_1 + 2D_1 \cdot \rho \cdot C_1}, \text{ с}; \quad K_6 = \frac{2D_1 \cdot \rho \cdot C_1}{Z_1 \cdot F_1 + 2D_1 \cdot \rho \cdot C_1}; \quad K_7 = \frac{Z_1 \cdot F_1}{Z_1 \cdot F_1 + 2D_1 \cdot \rho \cdot C_1}.$$

Выразим из уравнения (9) приращение средней температуры теплоносителя

$$\Delta t_c = \frac{1}{K_4} \left(T_1 \frac{d \Delta t}{d \tau} + \Delta t - K_5 \cdot \Delta t_H \right), \quad \text{°С}.$$

Дифференцируя t_c по времени

$$\frac{d \Delta t_c}{d \tau} = \frac{1}{K_4} \left(T_1 \frac{d^2 \Delta t}{d \tau^2} + \frac{d \Delta t}{d \tau} - K_5 \cdot \frac{d \Delta t_H}{d \tau} \right), \quad \text{°С/с}.$$

Подставляя найденные значения Δt_c и $\frac{d \Delta t_c}{d \tau}$ в (11) и проведя преобразования,

получим искомое дифференциальное уравнение системы «помещение - теплообменник» при возмущениях со стороны температуры теплоносителя и температуры наружного воздуха

$$T_3^2 \frac{d^2 \Delta t_c}{d \tau^2} + 2 \cdot \zeta \cdot T_3 \frac{d \Delta t_c}{d \tau} + \Delta t_c = K_8 \cdot (T_2 \cdot \frac{d \Delta t_H}{d \tau} + \Delta t_H) + K_9 \cdot \Delta t_1 (\tau - \tau_0), \quad \text{°С}, \quad (12)$$

где

$$T_3 = \sqrt{\frac{T_1 \cdot T_2}{1 - K_4 \cdot K_7}}; \quad \zeta = \frac{1}{2} \cdot \frac{T_1 + T_2}{\sqrt{T_1 \cdot T_2 \cdot (1 - K_4 \cdot K_7)}}; \quad K_8 = \frac{K_5}{1 - K_4 \cdot K_7};$$

$$K_9 = \frac{K_4 \cdot K_6}{1 - K_4 \cdot K_7}.$$

3. Динамика объекта управления при изменении расхода теплоносителя

Уравнение теплового баланса помещения в установившемся состоянии имеет вид (8). При изменении количества выделяемого (поглощаемого) в помещении (от

оборудования или других источников) тепла в единицу времени на величину $\Delta Q_{\text{выд}}$ получают приращения температура воздуха в помещении на величину Δt , средняя температура теплоносителя в теплообменнике на величину Δt_c . Уравнение теплового баланса в переходный период будет иметь вид

$$Q_{\text{выд}} + \Delta Q_{\text{выд}} + Z_1 \cdot F_1 \cdot [t_c + \Delta t_c - (t + \Delta t)] - Z_2 \cdot F_2 \cdot (t + \Delta t - t_H) = \Delta Q, \text{ Дж/с},$$

где ΔQ - скорость аккумуляирования или отдачи тепла массой помещения при изменении температуры Δt .

Вычтя из последнего уравнения уравнение статики (8) и обозначив через A количество тепла, которое необходимо затратить на повышение на один градус температуры в помещении получим уравнение динамики температуры в помещении

$$A \frac{d \Delta t}{d \tau} = Z_1 \cdot F_1 (\Delta t_c - \Delta t) - Z_2 \cdot F_2 \cdot \Delta t + \Delta Q_{\text{выд}}, \text{ Дж/с}$$

$$\text{или } T_1 \frac{d \Delta t}{d \tau} + \Delta t = K_4 \cdot \Delta t_c + K_{10} \cdot \Delta Q_{\text{выд}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (13)$$

где

$$K_{10} = \frac{1}{Z_1 \cdot F_1 + Z_2 \cdot F_2}.$$

3.1. Динамика поверхностного теплообменника

Уравнение теплового баланса для теплообменника в статике имеет вид (10). При изменении расхода теплоносителя через теплообменник на величину ΔD_1 получают приращения температура в помещении на величину Δt , средняя температура теплоносителя на величину Δt_c . Разность между поступлением и отводом тепла в теплообменнике приведет к аккумуляированию или отдаче тепла массой теплообменника. С учетом приращения температур уравнение теплового баланса в переходный период будет иметь вид

$$2 \cdot \rho \cdot C_1 \cdot (D_1 + \Delta D_1) \cdot (t_1 - (t_c + \Delta t_c)) - Z_1 \cdot F_1 \cdot (t_c + \Delta t_c - (t + \Delta t)) = \Delta Q, \text{ Дж/с},$$

где ΔQ - скорость аккумуляирования или отдачи тепла массой теплообменника.

Вычтя из последнего уравнения уравнение статики (10) и опуская малые высшего порядка, получим уравнение динамики температуры в теплообменнике

$$A_1 \frac{d \Delta t_c}{d \tau} + (2\rho \cdot C_1 \cdot D_1 + Z_1 \cdot F_1) \cdot \Delta t_c = 2\rho \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_c) \cdot \Delta D_1 + Z_1 \cdot F_1 \cdot \Delta t, \text{ Дж/с}$$

$$\text{или } T_2 \frac{d \Delta t_c}{d \tau} + \Delta t_c = K_{11} \cdot \Delta D_1 + K_7 \cdot \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (14)$$

$$\text{где } K_{11} = \frac{2\rho \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_c)}{2\rho \cdot C_1 \cdot D_1 + Z_1 \cdot F_1}, \text{ } ^\circ\text{C}/(\text{м}^3/\text{с}).$$

Параметры T_2 , K_7 имеют те же расчетные формулы, что и в уравнении (11).

Из уравнения (13) определим приращение средней температуры теплоносителя

$$\Delta t_c = \frac{1}{K_4} \cdot (T_1 \cdot \frac{d\Delta t}{d\tau} + \Delta t - K_{10} \cdot \Delta Q_{\text{ВЫД}}), \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Производная приращения средней температуры теплоносителя по времени

$$\frac{d\Delta t_c}{d\tau} = \frac{1}{K_4} \cdot (T_1 \cdot \frac{d^2\Delta t}{d\tau^2} + \frac{d\Delta t}{d\tau} - K_{10} \cdot \frac{d\Delta Q_{\text{ВЫД}}}{d\tau}), \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}.$$

Подставляя найденные значения Δt_c и $\frac{d\Delta t_c}{d\tau}$ в (14) получим искомое

дифференциальное уравнение системы «помещение – теплообменник» при возмущениях со стороны изменения расхода теплоносителя через теплообменник и со стороны изменения количества выделенного (поглощаемого) в помещении тепла.

$$T_3^2 \frac{d^2\Delta t}{d\tau^2} + 2 \cdot \zeta \cdot T_3 \frac{d\Delta t}{d\tau} + \Delta t = K_{12} \cdot \Delta D_1(\tau - \tau_0) + K_{13} \cdot (T_2 \cdot \frac{d\Delta Q_{\text{ВЫД}}}{d\tau} + \Delta Q_{\text{ВЫД}}), \text{ } ^\circ\text{C},$$

где

$$K_{12} = \frac{K_4 \cdot K_{11}}{1 - K_4 \cdot K_7}; \quad K_{13} = \frac{K_{10}}{1 - K_4 \cdot K_7}.$$

Параметры T_3 , ζ , τ_0 имеют те же расчетные формулы, что и в уравнении (12).

УДК 621.791.754

ПРИРАЩЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОЧКЕ КОНТАКТА КАПЛИ РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА С ПОВЕРХНОСТЬЮ СВАРИВАЕМОГО ИЗДЕЛИЯ ПРИ СВАРКЕ В CO_2

С.Б. Сапожков, В.Т. Федько

Филиал Томского политехнического университета, г. Юрга

Существенным недостатком способа сварки в CO_2 является повышенное разбрызгивание металла и связанное с ним набрызгивание поверхности свариваемых изделий, сборочно-сварочных приспособлений и деталей сварочной аппаратуры. Набрызгивание изделий, деталей сварочной аппаратуры и сборочно-сварочных приспособлений при сварке в углекислом газе увеличивает трудоемкость операции очистки их поверхностей от брызг расплавленного металла до 30 - 40 %, расход виброинструмента и энергии, что повышает себестоимость изготовления сварных конструкций.

Снижение набрызгивания обеспечивается тем, что поверхность металла, подлежащего сварке, покрывается защитным слоем или в виде экрана, или в виде раствора веществ - защитного покрытия, высыхающего перед сваркой и препятствующего сцеплению брызг с основным металлом.