

МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Денисова А.Е.

(Одесский государственный политехнический университет,)

Разработана модель процесса теплообмена в объекте, входящем в состав комплексной альтернативной системы теплоснабжения, что позволяет определить необходимую тепловую мощность системы с учетом аккумулирования тепла стенами.

Уравнение теплового баланса воздуха в объекте теплоснабжения комплексной альтернативной системы теплоснабжения (КАСТ) [1]

$$V_B \cdot c_p \cdot \rho_B \cdot \frac{dT_B}{dt} = Q_T(t) - \sum Q_{CT}(t) - \sum Q_{OK}(t) - Q_{ВЕНТ} \quad (1)$$

При температуре воздуха внутри помещений $T_B = \text{const}$

$$V_B \cdot c_p \cdot \rho_B \cdot \frac{dT_B}{dt} = 0 \quad (2)$$

т.е. при заданном микроклимате уравнение (1) примет вид

$$Q_T(t) = \sum Q_{CT}(t) - \sum Q_{OK}(t) - Q_{ВЕНТ} \quad (3)$$

Рассмотрим составляющие правой части уравнения (3).

Потери вентиляции при постоянном объеме вентилируемого воздуха V_B, c учетом (2), и переменной температуре наружного воздуха $T_H(t)$

$$Q_{ВЕНТ}(t) = V_B \cdot c_p \cdot \rho_B \cdot [T_B - T_H(t)] = 0 \quad (4)$$

Потери через окна, выполненные по одинаковой технологии

$$Q_{OK}(t) = k_{OK} \cdot F_{OK} \cdot [T_B - T_H(t)] = 0 \quad (5)$$

где k_{OK} — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

F_{OK} — площадь окон, м².

Условие $T_B = \text{const}$ означает, что между внутренними стенами теплообмен отсутствует. Обозначим для внешних стен $i = 1$, для верхнего перекрытия $i = 2$; для перекрытия над подвалом $i = 3$; для внутренних стен $i = 4$, для перекрытий

между этажами $i = 5$. Тогда $Q_{CT4} = Q_{CT5} = 0$. При определении тепловых потерь через стены будем полагать, что разность температур $DT_{пот}$ воздуха в неотапливаемом помещении $T_{хол}$ и наружного воздуха T_H постоянна $DT_{пот} = T_{хол} - T_H$. Потери тепла от перекрытия к подвальным помещениям $Q_{CT3} = 0$, поэтому потери тепла сводятся к потерям наружных стен и перекрытий. С учетом способности стен к аккумулярованию тепла

$$\sum_{i=1}^2 Q_{CTi} = \sum_{i=1}^2 \alpha_B \cdot F_{CT} \cdot [T_B(t) - T_{CT}(t)|_B] \quad (6)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи от воздуха внутри дома к стене, Вт/(м²ЧК);
 F_{CT} – площадь поверхности стен дома, м².

$T_{CT}(t)|_B$ – температура стенки с внутренней стороны, К

Для решения (6) нужно определить поле температур в стене. Рассмотрим пластину бесконечной длины, толщиной δ , без внутренних источников тепла, с равномерным распределением температур по поверхности. Для этого случая поле температур можно определить по уравнению

$$\partial T_{CTi} / \partial t_{CTi} = \alpha_{CT} (\partial^2 T_{CTi} / \partial x_{CTi}^2) \quad (7)$$

где α – коэффициент температуропроводности i -ой преграды, м²/с;

T – температура i -ой стены в направлении координатной оси x , К.

Для решения уравнения (7) рассмотрим начальные условия на границах теплообмена. Распределение температур при $t_0 = 0$

$$T(x_0, t_0) = T_0(x, 0) = f_0(x).$$

Примем за начало отсчета по оси x внутреннюю поверхность стены. Тогда распределение температур в i -ой преграде

$$T_{0CTi}(x_{CTi}) = f_{0CTi}(x_{CTi}) = T_B - (T_B - T_H(t)/d_{CTi}) \chi x_{CTi} \quad (8)$$

Теплообмен на внешней и внутренней границе в произвольный момент времени можно описать с помощью граничных условий 3 рода.

Для i -ой внутренней поверхности, с внутренней стороны

$$-\lambda_{CTi} (\partial T_{CTi} / \partial x_{CTi})|_B = \alpha_B [T_B - T_{CTi}(t)|_B] \quad (9)$$

Для i -ой внешней поверхности с наружной стороны

$$-\lambda_{CTi} (\partial T_{CTi} / \partial x_{CTi})|_H = \alpha_{Hi} [T_{CTi}(t)|_H - T_{Hi}(t)] \quad (10)$$

λ_{CTi} — коэффициент теплопроводности i -ой стены, Вт/(м·К);

α_{hi} – коэффициент теплоотдачи от наружной i -ой стены, Вт/(м²К);

$T_{hi}(t)$ — температура наружного воздуха, К.

Для решения уравнения (7) с учетом начальных граничных условий воспользуемся методом конечных разностей [2]. Температура $T(x_i, t_{j+1})$ в узле x_i сетки в момент времени t_{j+1} рассчитывается по температурам в узлах сетки, соответствующим моментам времени t_j и t_{j-1}

$$T_i^{j+1} - T_i^{j-1} / 2\Delta t = \alpha_{ст} \cdot (T_{i+1}^j + T_{i-1}^j - T_i^{j-1} - T_i^{j+1}) / \Delta x^2$$

откуда температура стенки $T_{ст}$ во временной плоскости, отстоящей от начала координат на расстоянии $(j+1)$ в узле сетки i , с учетом $A_{ст} = 2\lambda_{ст} \Delta t / D x_{ст}^2$, будет

$$T_{стi}^{j+1} = T_{стi}^{j-1} \cdot (1 - A_{ст}) / (1 + A_{ст}) + (T_{стi+1}^j + T_{стi-1}^j) \cdot A_{ст} / (1 + A_{ст}) \quad (11)$$

Для решения уравнения (11) функцию температуры в узлах внутренней и внешней границе представим в виде разложения в ряд Тейлора в соответствующих узлах. Для внутренней границы ($x = x_0$), представим функцию $T(x, z)$ в окрестности узлов, близким к граничным [3]. Первая производная функции $T_{ст}$ в момент t_{j+1} в узле i

$$T_i^{j+1} = \partial T / \partial x |_{x=x_0} = 4T_2^{j+1} - 3T_i^{j+1} - T_2^{j+1} / 2\Delta x \quad (12)$$

Подставляя T' в узле $(j+1, i)$ из уравнения (12) в уравнения (9) получим температуру $T_{ст}$ на внутренней поверхности для времени $(j+1)$

$$T_{стi}^{j+1} = [T_B + \frac{\lambda_{ст}}{\alpha_B 2\Delta x_{ст}} (4T_{ст2}^{j+1} - T_{ст3}^{j+1})] / (1 + \frac{3\lambda_{ст}}{\alpha_B 2\Delta x_{ст}}) \quad (13)$$

Аналогично для граничного условия (10) на внешней поверхности получим температуру $T_{ст}$ в узле n для временной плоскости $(j+1)$

$$T_{стn}^{j+1} = [T_H + \frac{\lambda_{ст}}{\alpha_H 2\Delta x_{ст}} (4T_{стn-1}^{j+1} - T_{стn-2}^{j+1})] / (1 + \frac{3\lambda_{ст}}{\alpha_H 2\Delta x_{ст}}) \quad (14)$$

С учетом уравнений (2 – 5), которые лежат в основе баланса энергии объекта теплоснабжения получено соотношение для определения тепловой мощности КАСТ

$$Q_T(t) = [V_B \cdot c_p \cdot \rho_B \cdot a + k_{ок} \cdot F_{ок}] \cdot [T_B - T_H(t)] + \{ \alpha_B \cdot F_{ст1} \cdot [T_B - T_{ст1}(t) |_B] \} + \{ \alpha_B \cdot F_{ст2} \cdot [T_B - T_{ст2}(t) |_B] \} \quad (15)$$

Уравнения (7 – 10, 15) представляют собой математическую модель

процесса теплообмена в объекте теплоснабжения КАСТ, и дают возможность рассчитать переменную во времени тепловую мощность системы, которая требуется для обеспечения нужд теплового потребителя и поддержания заданного микроклимата с учетом аккумулирования тепла стенами.

Литература

1. Денисова А. Е. Математическое моделирование процессов теплообмена в элементах комплексной альтернативной системы теплоснабжения // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 1999. – Вып. 3.(9) – С. 99 – 104.
2. Ортега Дж., Пул У. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.
3. Денисова А.Е. Математическое моделирование процессов теплообмена в грунтовой системе теплоснабжения // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2000. – Вып. 1.(10) – С. 87 – 92.