



О СКОРОСТИ ОСТЫВАНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

О. Д. САМАРИН, доцент, канд. техн. наук
МГСУ

Задача о расчете скорости остывания помещения возникает обычно при анализе аварийных режимов работы системы теплоснабжения здания для решения вопроса о достаточности располагаемого времени для ликвидации аварии. Иначе говоря, в этих случаях речь идет о вычислении срока, в течение которого температура воздуха и поверхностей ограждений помещения снизится до опасного значения, определяемого санитарно-гигиеническими требованиями и соображениями теплотехнической безопасности, например, до нуля или температуры начала выпадения конденсата, и о сравнении этого срока с необходимой продолжительностью ремонта системы.

Данная задача исследовалась рядом авторов как аналитическими, так и численными методами. При этом для получения наиболее простых и наглядных результатов целесообразно представлять исходные данные и выходные параметры в безразмерном виде. В частности, можно ввести безразмерную избыточную темпера-

$$\theta(z) = \frac{t(z) - t_n}{t_0 - t_n},$$

где $t(z)$ – фактическая температура воздуха или поверхности в помещении в момент времени z , °С; t_0 – их исходная температура при $z = 0$, т.е. при отключении теплоснабжения; t_n – расчетная температура наружного воздуха, принимаемая по данным [1]. Если рассматривать решения, имеющие инженерную форму, они в основном

имеют вид $\theta(z) \approx \exp(-z/Z_{\text{пом}})$ [2]. Экспоненциальная зависимость для θ

получается, если пренебречь неравномерностью температурного поля в массиве наружных стен и покрытия и считать, что объект охлаждается как единое целое. Здесь $Z_{\text{пом}}$ – некоторая величина, имеющая так же, как и z , размерность времени. Ее можно условно назвать постоянной времени помещения [3], поскольку в данном случае наблюдается типичный переходный процесс от одного стационарного состояния здания к другому, и можно воспользоваться общепринятой терминологией теории автоматического регулирования.

При определении величины $Z_{\text{пом}}$ по данным [2] в явном виде учитываются теплофизические характеристики массивных и безынерционных ограждений здания, но воздухообмен помещений в расчетные формулы не входит, хотя в [2] и признается, что он заметно влияет на фактическую скорость охлаждения. В работе [4] была предложена зависимость для температуры на внутренней поверхности наружной стены в виде

$$\theta(z) = \theta_0 - A\sqrt{z/Z_{\text{пом}}},$$

полученная по результатам численных расчетов с помощью разработанной автором программы для ЭВМ, осуществляющей решение дифференциального уравнения теплопроводности стены методом конечных разностей. Пропорциональность изменения θ

величине \sqrt{z} представляет другой крайний случай, когда мы непосредственно рассматриваем действительное температурное поле массивной стенки со всеми его особенностями. Однако данное выражение так же нельзя признать совершенным,

поскольку оно не учитывает наличие других ограждений, в том числе и безынерционных (главным образом светопрозрачных), и опять-таки не включает величину воздухообмена. Аналогичными особенностями отличается и численное решение, приведенное в [5].

Поэтому для получения максимально достоверной зависимости, учитывающей все основные факторы, влияющие на скорость понижения температуры, необходимо решение общей системы дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих теплообмен в помещении в целом и теплопередачу во всех его ограждающих конструкциях. Если не учитывать начальный период нерегулярного режима, результаты расчетов по разработанной автором программе для ЭВМ, решающей данную систему конечно-разностным методом, достаточно хорошо описываются следующей зависимостью:

$$\theta(z) = \theta_0 - \Delta\theta - (z/Z_{\text{пом}})^{2/3}, \quad (1)$$

где

$$Z_{\text{пом}} = f(\Sigma KF_{\text{нар}}; \Sigma SF_{\text{нар}}; \Sigma SF_{\text{вн}}; Lc\rho), \quad \text{с},$$

где L – неорганизованный воздухообмен в помещении, м³/с, т.е. расход инфильтрующегося наружного воздуха; c и ρ – соответственно удельная теплоемкость, Дж/(кг·К), и плотность, кг/м³, этого воздуха; $\Sigma KF_{\text{нар}}$, Вт/К – сумма произведений коэффициентов теплопередачи наружных ограждений помещения K , Вт/(м²·К), на их площади F , м²; $\Sigma SF_{\text{нар}}$, Вт/К – для тех же ограждений сумма произведений площадей F на коэффициенты теплоусвоения материала конструкцион-

ного слоя S , Вт/(м²·К), принимаемые по данным [6]; $\Sigma SF_{\text{вн}}$, Вт/К – то же для внутренних ограждений. Поправку $\Delta\theta$ можно принимать равной нулю для безразмерной температуры внутренних ограждений $\theta_{\text{вс}}$ и примерно 0.05 для температуры воздуха $\theta_{\text{в}}$ и поверхности наружных массивных ограждений $\theta_{\text{нс}}$.

На Рис.1 показаны результаты вычислений по упомянутой программе для помещения, имеющего параметры $\Sigma KF_{\text{нар}} = 6.88$ Вт/К, $\Sigma SF_{\text{нар}} = 18.15$ Вт/К, $L_{\text{ср}} = 14$ Вт/К, $\Sigma SF_{\text{вн}} = 484$ Вт/К. По оси абсцисс отложена величина $z^{2/3}$, по оси ординат – θ . Черной линией показан ход величины $\theta_{\text{в}}$, красной – $\theta_{\text{нс}}$, синей – $\theta_{\text{вс}}$. Прямые изображают аппроксимацию по формуле (1). По построению значение постоянной времени $Z_{\text{пом}}$ оказывается здесь равным около $9.7 \cdot 10^5$ с, или примерно 11.2 суток. Поэтому интервал времени, в пределах которого можно с достаточной уверенностью пользоваться соотношением (1), можно оценить как $Z_{\text{пом}}/2$, т.е. порядка 5.6 суток. Легко видеть, что при $z^{2/3} > 400$, т.е. для $z > 8000$ с или всего 2.2 часа, расхождение между значениями θ , получаемыми расчетом и аппроксимацией, даже для $\theta_{\text{в}}$ не превышает 0.01, или не более 0.5°C, если принимать $t_0 = +20^\circ$ [7] и $t_n = -28^\circ$ по данным [1] для Москвы, а для $\theta_{\text{нс}}$ и $\theta_{\text{вс}}$ такое совпадение имеет место уже начиная с $z^{2/3} > 250$, т.е. 1.1 часа. В дальнейшем разница становится уже порядка толщины линии на графике и практически не заметна. Можно показать, что при иных исходных параметрах картина будет аналогичной. Если за опасное принять нулевое значение температуры, тогда для наружной стены

$$\theta_{\text{нс}} = \frac{0 + 28}{20 + 28} = 0.583, \text{ откуда}$$

по Рис.1 $z^{2/3} = 3200$, или $z = 1.81 \cdot 10^5$ с, т.е. 50.3 часа. Это величина того же порядка, что и в решении, представленном в [5], поэтому можно говорить о достаточной достоверности представленных здесь результатов.

Следовательно, изменение θ действительно во всех случаях оказывается пропорциональным $z^{2/3}$, то есть

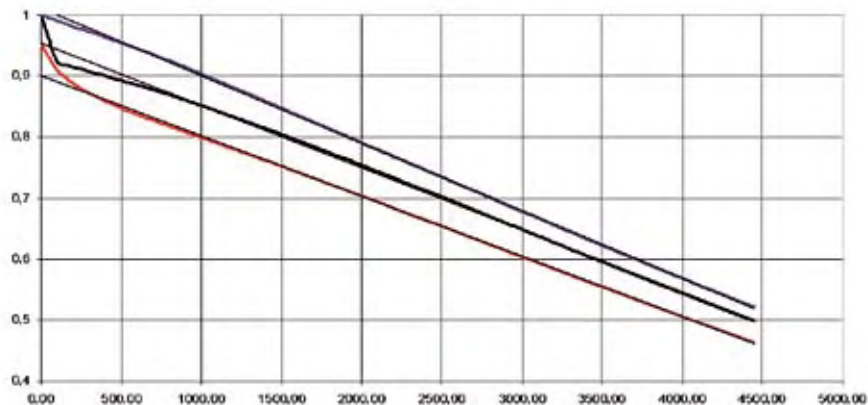


Рис. 1. Зависимость безразмерной температуры в помещении от времени

показатель степени является промежуточным между рассмотренными выше крайними случаями, а именно 1/2 для массивной конструкции и 1 без учета неравномерности температурного поля, если иметь в виду, что экспоненциальная функция при малых z хорошо приближается линейной. Данный результат в определенной степени аналогичен известной зависимости для определения количества воздуха, инфильтрующегося через щели и неплотности наружных ограждений [2], когда расход воздуха связан с располагаемым перепадом давлений опять-таки в степени 2/3. Так получается, потому что здесь тоже имеет место сочетание двух процессов – ламинарной и турбулентной фильтрации, описываемых степенными уравнениями с теми же показателями 1 и 1/2.

Конкретный вид зависимости для $Z_{\text{пом}}$ от параметров $\Sigma KF_{\text{нар}}$, $\Sigma SF_{\text{нар}}$, $\Sigma SF_{\text{вн}}$ и $L_{\text{ср}}$ должен определяться по результатам дальнейших многовариантных расчетов, но из общих соображений и с учетом предложенного ранее автором приближенного аналитического решения [8] следует, что величина $Z_{\text{пом}}$ должна определяться комплексным параметром вида

$$\left(\frac{\Sigma SF_{\text{нар}} + \Sigma SF_{\text{вн}}}{\Sigma KF_{\text{нар}} + L_{\text{ср}}} \right).$$

Таким образом, мы получили достаточно простое и наглядное соотношение, описывающее скорость остывания помещения при отключении теплоснабжения и учитывающее

все основные факторы, влияющие на особенности данного процесса. Соответствующая формула имеет инженерный вид и доступна для использования в практике проектирования и на этапе предпроектных изысканий.

Библиографический список:

1. СНиП 23-01-99' «Строительная климатология». – М.: ГУП ЦПП, 2004.
2. В. Н. Богословский, А. Н. Скани. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
3. А. А. Калмаков и др. Автоматика и автоматизация систем теплоснабжения и вентиляции. / под ред. В.Н.Богословского. – М.: Стройиздат, 1986. – 479 с.
4. О. Д. Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 296 с.
5. Е. Г. Малявина, А. С. Маркевич. Теплотехнический расчет наружных ограждений и расчет теплового режима здания. – М.: МГСУ, 2009. – 72 с.
6. СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты здания». – М.: ГУП ЦПП, 2004.
7. ГОСТ 30494-96'. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
8. О. Д. Самарин. О рациональном режиме начального прогрева помещения. // Известия вузов. Строительство., 1997, №3, с.83 – 85.