

Качан Ю.Г., Баташова Н.А.

## ОБ ОЦЕНКЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

При решении задач теплоснабжения возникают ситуации, когда экономически более целесообразно утеплять здания, чем увеличивать тепловую мощность системы и тратить в дальнейшем средства на покупку дополнительного объема топлива. Опыт развитых стран показывает, что на современном уровне развития техники потери теплоты в зданиях могут быть уменьшены более чем на 35 %. А значит и одним из приоритетных направлений энергосбережения в этой области является утепление ограждающих конструкций зданий и создание системы отопления, имеющей минимальную с экономической точки зрения тепловую мощность.

В настоящее время при проектировании котельных расчетный отпуск тепла на отопление как правило определяется по формуле [1]:

$$Q_o = \alpha \cdot q_o (t_a - t_{i1}) V_i, \quad (1)$$

где  $t_a$  – расчетная температура воздуха внутри отапливаемых помещений, °С;  $t_{i1}$  – средняя температура воздуха наиболее холодных пятидневок из восьми наиболее холодных зим за 50-ти летний период, °С;  $q_o$  – удельный расход тепла на 1 м<sup>3</sup> здания по наружному обмеру (отопительная характеристика здания, равная усредненным теплопотерям одного м<sup>3</sup> здания при разности внутренней и наружной температур в 1°), Вт/(м<sup>3</sup>К);  $V_n$  – наружный строительный объем зданий;  $\alpha$  – климатический коэффициент.

При таком расчете не учитывается возможность снижения теплопотерь за счет, например замены окон, утепления стен, верхнего и нижнего перекрытий здания, а также наличие внутренних тепловыделений. Поэтому такой расчет позволяет определить только отопительную нагрузку и его можно использовать лишь как ориентировочный, тогда как для решения вопросов энергосбережения необходимо учитывать все возможные факторы, определяющие тепловую мощность системы отопления.

В работе предложена методика оценки необходимой тепловой мощности системы, позволяющая учитывать возможность выбора изоляционных материалов, снижающих теплопотери здания, а также имеющиеся внутренние тепловыделения в здании.

Очевидно, что рассматриваемую задачу более целесообразно решать исходя из теплового баланса системы отопления:

$$Q_{\Sigma} = Q_{огр} + Q_{инф} = Q_o + Q_{быт}, \quad (2)$$

где  $Q_{\Sigma}$  – суммарные тепловые потери здания;  $Q_{огр}$  – теплопотери теплопередачей через наружные ограждения;  $Q_{инф}$  – теплопотери инфильтрацией из-за поступления холодного воздуха в помещение через неплотности наружных ограждений;  $Q_o$  – подвод теплоты в здание через отопительную систему;  $Q_{быт}$  – внутренние тепловыделения. Тогда тепловая мощность системы отопления, определяется как:

$$Q_o = Q_{огр} + Q_{инф} - Q_{быт}, \quad (3)$$

Определение первых двух составляющих не представляет собой каких-либо сложностей. Так вопрос вычисления теплотерь путем теплопередачи через наружные ограждения здания был рассмотрен проф. Н.С. Ермолаевым [2]:

$$Q_{i\bar{\alpha}\bar{\delta}} = (t_{\bar{\alpha}} - t_i) V_i \left\{ \frac{P}{S} [k_{\bar{n}} + \varphi(k_{i\bar{\epsilon}} - k_{\bar{n}})] + \frac{1}{L} [\psi_1 k_{i\bar{\delta}} + \psi_2 k_{i\bar{\epsilon}}] \right\}, \quad (4)$$

где  $q_0 = \frac{P}{S} [k_{\bar{n}} + \varphi(k_{i\bar{\epsilon}} - k_{\bar{n}})] + \frac{1}{L} [\psi_1 k_{i\bar{\delta}} + \psi_2 k_{i\bar{\epsilon}}]$  и есть удельный расход тепла. Здесь  $[k_{\bar{n}} + \varphi(k_{i\bar{\epsilon}} - k_{\bar{n}})]$ ,  $[\psi_1 k_{i\bar{\delta}} + \psi_2 k_{i\bar{\epsilon}}]$  – средние коэффициенты теплопередачи вертикальных и горизонтальных ограждений здания, Вт/(м<sup>2</sup>·К), а  $k_c$ ,  $k_{ок}$ ,  $k_{nl}$ ,  $k_{nm}$  – коэффициенты теплопередачи стен, окон, пола нижнего этажа, потолка верхнего этажа;  $\varphi$  – коэффициент остекления, т.е. отношение площади окон к площади вертикальных ограждений (стен);  $P$ ,  $L$  – периметр и высота здания, м;  $S$  – его площадь, м<sup>2</sup>;  $\psi_1$  и  $\psi_2$  – поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего и нижнего горизонтальных ограждений здания. Коэффициенты  $\psi_1$  и  $\psi_2$  меньше единицы, так как в отопительный период температура воздуха на чердаке здания и температура грунта под полом нижнего этажа выше наружной температуры. В большинстве случаев  $\psi_1 = 0,75-0,9$ ;  $\psi_2 = 0,5-0,7$ .

Как видно из формулы (4), максимальные теплотери теплопередачей через наружные ограждения соответствуют минимальному значению  $t_n$ , т.е. наименьшей температуре наружного воздуха, которая имеет, как правило, кратковременный характер. Поэтому при определении тепловой мощности системы отопления по выражению (1) и исходят не из минимального значения наружной температуры, а из другого, более высокого, так называемого расчетного значения наружной температуры  $t_{но}$ , равного, как указано выше, средней температуре наиболее холодных пятидневок, взятых из восьми наиболее холодных зим за 50-летний период. Очевидно, что для удобства и простоты сравнения вариантов теплотерь зданий с различными утеплителями и при подборе оборудования для мини-котельной целесообразно использовать именно эту температуру.

Для учета возможности «утепления» здания, а также последующей экономической оценки такого мероприятия необходимо, чтобы в методике расчета рассматриваемой тепловой мощности в явном виде присутствовали толщины каждого слоя ограждения и их коэффициенты теплопроводности. Это достигается, если коэффициенты теплопередачи  $k_c$ ,  $k_{nl}$ ,  $k_{nm}$  в (4) представить в виде [3]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\hat{A}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_f}}, \quad (5)$$

где  $\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха к поверхности ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждения, м;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности  $i$ -го слоя ограждения, Вт/(м·К);  $\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности к окружающему воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·К). Коэффициенты  $\alpha_B$ ,  $\alpha_H$  – определяются по

СниП II – 3 –79\*\*. В случае выбора варианта конструкции окон можно поменять предыдущие значения коэффициента  $k_{ок}$  их теплопередачи на последующие.

При определении теплопотерь через наружные ограждения коэффициентом  $k_{аиr}$  учитываются также добавочные потери, которые нормируются СниП – 2.04.05 – 91, а также изменением №1 к СниП 2.04.05 – 91. Проанализировав данные указанных норм, становится очевидным, что  $k_{аиr}$  находится в пределах 1–1,35.

Определение теплопотерь на нагревание инфильтрирующего воздуха относится к вопросам отопления и вентиляции [2]:

$$Q_{инф} = \omega F c_a (t_a - t_i),$$

где  $F$  – площадь суммарного сечения неплотностей в наружных ограждениях, м<sup>2</sup>;

$c_a$  – объемная теплоемкость воздуха, Дж/(м<sup>3</sup>К);  $\omega = \sqrt{2gL_{ac}(1 - \frac{t_i}{t_a}) + \omega_a^2}$  – скорость про-

хождения инфильтруемого воздуха через рассматриваемые сечения неплотностей, м/с.

Здесь  $\omega_a$  – скорость ветра, м/с;  $L_{ac}$  – высота здания (для жилых и общественных зданий – высота этажа), м;  $g$  – ускорение свободно падающего тела, м/с.

При современном уровне развития строительных технологий неплотностей в наружных ограждениях практически нет, поэтому можно сказать, что теплопотери на нагревание инфильтрирующего воздуха во вновь строящихся зданиях отсутствуют. В связи с этим данный вид теплопотерь предлагается определять как теплопотери на вентиляцию:

$$Q_a = n \cdot c_a \cdot V_a \cdot (t_a - t_{ii}), \quad (6)$$

где  $n$  – кратность воздухообмена, 1/с (берется по типовым проектам зданий, а для действующих установок – по эксплуатационным данным, либо по нормам проектирования соответствующих зданий СниП 2.08.01 – 89\*, СниП 2.08.02 – 89\*, СниП 2.09.04 – 87\*, СниП 2.04.05 – 91\*),  $V_a$  – вентилируемый объем помещения, м<sup>3</sup>,  $c_a$  – объемная теплоемкость воздуха, Дж / (м<sup>3</sup>К).

Не менее важно учесть и внутренние тепловыделения. Для жилых зданий удельная мощность тепловых потоков, поступающих в комнаты и кухни в виде указанных тепловыделений, принимается в настоящее время равными в количестве 10Вт на 1м<sup>2</sup> площади пола. Т.е. суммарные тепловыделения данного вида равны  $Q_{быт} = 10 \cdot F_n$ , где  $F_n$  – площадь пола отапливаемого помещения, м<sup>2</sup>. Очевидно, что такое определение тепловыделений весьма приблизительно и не учитывает ни энергонасыщенности здания, ни числа проживающих или работающих в нем людей. В настоящей работе предлагается использовать для определения мощности бытовых тепловыделений выражение вида:

$$Q_{быт} = Q_l + Q_{осв} + Q_{газ}, \quad (7)$$

где  $Q_l$ ,  $Q_{осв}$ ,  $Q_{газ}$  – тепlopоступления от людей, осветительных приборов и газового нагревательного оборудования, Вт.

Первое слагаемое в (7) можно определить из выражения:

$$Q_{л} = m Q_{чел} k_m k_{в.н.}, \quad (8)$$

где  $m$  – количество проживающих или работающих в здании людей;  $Q_{чел}$  – тепловыделение человека (в спокойном состоянии взрослый человек отдает окружающей среде 120 Вт [1]);  $k_m$  – коэффициент степени тяжести труда: 1 – для легкой работы, 1,07 – для работы средней тяжести и 1,15 – для тяжелой работы [4];  $k_{в.н.}$  – коэффициент времени пребывания людей в рассматриваемом здании  $k_{в.н.} = \frac{t_{\Sigma}}{24}$ . Здесь  $t_{\Sigma}$  – среднесуточное пребывание людей в здании (берется в зависимости от назначения здания), ч.

Теплопоступления от осветительных приборов предлагается определять следующим образом:

$$Q_{осв} = P_{осв} (1 - \eta) k_{осв}, \quad (9)$$

где  $P_{осв}$  – суммарная мощность осветительных приборов, Вт;  $\eta$  – средневзвешенный КПД осветительных приборов;  $k_{осв}$  – коэффициент времени использования осветительных приборов  $k_{\hat{\eta}\hat{a}} = \frac{24 - t_{\hat{\eta}\hat{a}} - t_{i.\hat{a}}}{24}$ . Здесь  $t_{\hat{\eta}\hat{a}}$  – продолжительность светового дня, ч;  $t_{i.\hat{a}}$  – время, когда освещение не используется, ч (берется по статистическим данным как ночной провал потребления электроэнергии, либо с момента окончания рабочего дня). Очевидно, что коэффициент времени использования осветительных приборов зависит не только от продолжительности светового дня для рассматриваемой местности, но и непродолжительного времени использования осветительных приборов еще до его окончания и использования освещения в помещениях, где отсутствуют окна. Поэтому рассматриваемый коэффициент требует уточнения, но тем не менее очевидно, что он может находиться в диапазоне 1,05–1,5.

Теплопоступления от газовых нагревательных приборов можно определить как:

$$Q_{газ} = G_2 C_2 k_{н.т} / 3600, \quad (10)$$

где  $G_2$  – среднечасовой расход газа, м<sup>3</sup>/ч,  $C_2$  – теплотворная способность газа, Дж/м<sup>3</sup>;  $k_{н.т}$  – коэффициент неучтенных потерь тепла, например, связанных с работой вытяжек. Определение величины последнего затруднено, но очевидно, что он будет находиться в диапазоне 0,5–1, т.к. даже при постоянной работе вытяжки большой мощности не может быть выброшено более половины объема данного теплопоступления.

Таким образом, окончательно зависимость для определения тепловой мощности системы отопления принимает вид:

$$Q_o = (t_a - t_{ii}) k_{\dot{a}i} V_i \left\{ \frac{P}{S} \left[ \frac{1}{\alpha_{\dot{A}\dot{n}}} + \sum \frac{\delta_{i.c}}{\lambda_{i.c}} + \frac{1}{\alpha_{H.c}} \right] + \varphi \left[ k_{o\dot{e}} - \frac{1}{\alpha_{\dot{A}\dot{n}} + \sum \frac{\delta_{i.c}}{\lambda_{i.c}} + \frac{1}{\alpha_{H.c}}} \right] \right\} + \left\{ \frac{1}{L} \left[ \psi_1 \frac{1}{\alpha_{\dot{A}\dot{i}\dot{o}}} + \sum \frac{\delta_{i.\dot{i}\dot{o}}}{\lambda_{i.\dot{i}\dot{o}}} + \frac{1}{\alpha_{H.\dot{i}\dot{o}}} + \psi_2 \frac{1}{\alpha_{\dot{A}\dot{i}\dot{e}}} + \sum \frac{\delta_{i.\dot{i}\dot{e}}}{\lambda_{i.\dot{i}\dot{e}}} + \frac{1}{\alpha_{H.\dot{i}\dot{e}}} \right] \right\} + (11)$$

$$+ n \cdot c_{\dot{a}} V_{\dot{a}} (t_a - t_{ii}) - [m Q_{\dot{a}\dot{e}} k_{\dot{o}} k_{\dot{a}\dot{i}} + P_{i\dot{n}\dot{a}} (1 - \eta) k_{i\dot{n}\dot{a}} + G_{\dot{a}} C_{\dot{a}} k_{i.\dot{o}} / 3600].$$

Выражение (11) может рассматриваться как основа математической модели системы отопления, учитывающей возможность «утепления», параметры здания, количество человек, проживающих или работающих в нем, энергонасыщенность помещений. В данной модели неоднозначными (калибровочными) коэффициентами являются  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ ,  $k_m$ ,  $k_{в.п.}$ ,  $k_{осв.}$ ,  $k_{н.т.}$ ,  $k_{дон.}$ , оптимальное соотношение которых может быть подобрано известными методами информационных технологий [5].

В случае использования в здании еще какого-либо энергетического оборудования, связанные с этим дополнительные тепловыделения могут быть легко учтены в зависимости (11) путем добавления соответствующего слагаемого.

#### Литература

1. Гусев В.М., Ковалев Н.И. и др., Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Ленинград.: Стройиздат, Ленинское отделение, 1981, 344 с.
2. Соколов Е.Я., Теплофикация и тепловые сети. – М.: Энергоиздат, 1982, 360с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А. и др., Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981 г., 416 с.
4. Отопление и вентиляция в двух частях, ч.II, под ред. д.т.н., проф. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976, 440 с.
5. Гулятьев А.К. MATLAB 5.2 Имитационное моделирование в среде Windows. – СПб.: КОРОНАпринт, 1999, 288 с.

УДК 697.1

Качан Ю.Г., Баташова Н.А.

#### ПРО ОЦІНКУ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

У роботі запропонована методика оцінки необхідної теплової потужності системи опалення, що дозволяє враховувати можливість вибору ізоляційних матеріалів, які

знижують тепловтрати, а також параметри будівлі, кількість людей, що проживають або працюють у ній та енергонасиченість приміщень.