

Лекция №2

2. ПОТРЕБЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

2.1. Виды тепловых нагрузок

В системах централизованного теплоснабжения тепло расходуется на отопление в системах отопления зданий, нагревание приточного воздуха в установках систем вентиляции, на горячее водоснабжение в системах ГВС, а также технологические процессы промышленных предприятий.

В системах отопления и вентиляции тепло расходуется не непрерывно в течение года, а только при сравнительно низких температурах наружного воздуха в отопительный период. Таких потребителей тепловой энергии принято называть сезонными, а их тепловые нагрузки - *сезонными* тепловыми нагрузками.

Тепловая энергия в системах горячего водоснабжения и в технологических процессах промышленных предприятий расходуется непрерывно в течение года и мало зависит от температуры наружного воздуха.

Тепловые нагрузки на горячее водоснабжение и технологические нужды считаются *круглогодовыми* тепловыми нагрузками.

При проектировании систем теплоснабжения расчетные данные о сезонных тепловых нагрузках следует принимать из проектов отопления и вентиляции зданий. При перспективном строительстве расчетные расходы тепла рекомендуется принимать из типовых проектов с соответствующей корректировкой по климатическим условиям района строительства.

При отсутствии проектных данных отопительные тепловые нагрузки зданий определяются одним из следующих методов:

- 1) расчетом теплопотерь через элементы ограждающих конструкций и добавления потерь на нагрев инфильтрационного воздуха ;
- 2) расчетом тепловых нагрузок по укрупненным показателям;
- 3) определением теплообмена установленного в здании отопительно-вентиляционного оборудования].

Расчет теплопотерь через ограждающие конструкции выполняется при необходимости более точного определения тепловых потерь, например, при расчетах, требующих составления теплового баланса здания и отдельных его помещений.

При отсутствии проектных данных отопительные тепловые нагрузки, как правило, определяются по укрупненным показателям.

Конечной целью расчетов является определение тепловых нагрузок (максимальных, средних для отопительного периода и т.д.) объектов системы теплоснабжения на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, расчет и построение графиков тепловых нагрузок.

2.2. Сезонные тепловые нагрузки

Величина и характер изменения сезонной нагрузки зависят главным образом от климатических условий: температуры наружного воздуха, направления и скорости ветра, солнечного излучения, влажности воздуха и др. Основное влияние на величину тепловой нагрузки оказывает наружная температура. Сезонная нагрузка имеет сравнительно постоянный суточный график и переменный годовой график нагрузки.

Расчет тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение теплопотребителей, присоединенных к источникам (ТЭЦ, котельная), предшествует тепловому расчету источников систем теплоснабжения и гидравлическому расчету тепловых сетей. Точность расчета тепловых нагрузок будет определять достоверность результатов расчета системы теплоснабжения в целом.

2.2.1. Тепловая нагрузка на отопление

Для выполнения основной функции системы отопления необходимо сохранение равновесия между тепловыми потерями здания и теплопритоком от системы отопления. Условие теплового равновесия здания может быть выражено в виде равенства

$$Q_{oc} = Q_T + Q_{и} = Q_o + Q_{тв}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.1)$$

где Q_{oc} – суммарные тепловые потери здания;

Q_T – теплопотери теплопередачей через наружные ограждения;

$Q_{и}$ – теплопотери инфильтрацией из-за поступления в помещение через неплотности наружных ограждений холодного воздуха;

Q_o – подвод тепла в здание через отопительную систему;

$Q_{тв}$ – внутренние тепловыделения.

Суммарные тепловые потери здания можно представить в виде

$$Q_{oc} = Q_m (1 + \mu), \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.2)$$

где $\mu = \frac{Q_{и}}{Q_T}$ – коэффициент инфильтрации;

Коэффициент инфильтрации μ зависит от типа зданий, герметичности наружных ограждений, свободной высоты здания (не разделенной между этажами перекрытиями), внутренней и наружной температуры воздуха и скорости ветра.

Коэффициент инфильтрации определяется по формуле

$$\mu = b \sqrt{2g L \left(1 - \frac{T_H}{T_B}\right) + w_B^2}, \quad (2.3)$$

где L – свободная высота здания, м;

$t_{в}, t_{н}$ – внутренняя и наружная температура воздуха, °C;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 $w_{в}$ – скорость ветра, м/с;
 b – постоянная инфильтрации, с/м.

Постоянная инфильтрации b представляет собой долю увеличения теплопотерь здания на 1 м/с скорости инфильтрации. При отсутствии опытных данных можно для ориентировочных расчетов принимать значения из табл. 2.1.

табл. 2.1

Значения постоянных коэффициентов b

п	Тип зданий	b , с/м
1.	Для отдельно стоящих промышленных зданий с большими световыми проемами	$35 \cdot 10^{-3} - 40 \cdot 10^{-3}$
2.	Для жилых и общественных зданий с двойным остеклением при сплошной застройке кварталов	$8 \cdot 10^{-3} - 10 \cdot 10^{-3}$

Основную величину тепловых потерь представляет первое слагаемое в формуле (2.1) - $Q_{т}$, которое определяется по формуле

$$Q_{т} = (t_{в} - t_{н}) V \left\{ \frac{P}{S} [k_{с} + f (k_{ок} - k_{с})] + \frac{1}{L} [z_1 k_{пт} + z_2 k_{пл}] \right\}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.4)$$

где - V – объем здания по наружному обмеру, м³;

P – периметр здания в плане, м;

S – площадь здания в плане, м²;

L – высота здания, м;

$k_{с}, k_{ок}, k_{пт}, k_{пл}$ – соответственно коэффициенты теплопередачи стен, окон, потолка верхнего этажа, пола нижнего этажа, Вт/м² °C (ккал/м² час °C);

f – коэффициент остекления, т.е. отношение площади окон к площади вертикальных ограждений;

z_1, z_2 – поправочные коэффициенты на расчетный перепад температур для верхнего ($z_1 = 0,75 \div 0,9$) и нижнего ($z_2 = 0,5 \div 0,7$) горизонтальных ограждений здания.

Выражение, взятое в формуле (2.4) в фигурные скобки, называется удельной теплопотерей здания и обозначается q_0 Вт/(м³ °C) (ккал/м³ час °C). С учетом инфильтрации выражение (2.4) для определения $Q_{т}$ записывается в виде

$$Q_0 = (1 + \mu) q_0 V (t_{в} - t_{н}), \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.5)$$

Для жилых и общественных зданий максимальное значение коэффициента инфильтрации в большинстве случаев не превосходит 3-6 %, что лежит в пределах точности расчета тепловых потерь. В некоторых случаях для упрощения инфильтрацию не вводят в расчет, т.е. принимают $\mu = 0$. Для учета инфильтрации принимают величину удельных тепловых потерь q_0 с небольшим запасом.

Тепловые потери инфильтрацией промышленных зданий составляют заметную величину, нередко достигающую 25-30 % тепловых потерь через наружные ограждения, и ее необходимо учитывать при расчете.

Тепловые потери Q_T через наружные ограждения при отсутствии проектных данных определяются по укрупненным показателям: общей площади F или наружному объему здания V_H , соответственно по формулам (2.6) и (2.7). Максимальный тепловой поток на отопление жилых и общественных зданий без учета инфильтрации

$$Q_{of}^p = q_{of} F (1 + K_1) 10^{-6}, \quad \text{МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.6)$$

$$Q_{ov}^p = \beta q_{ov} V_H (t_B - t_o^p) 10^{-6}, \quad \text{МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.7)$$

где q_{of} , q_{ov} - соответственно удельный тепловой поток, Вт/м² (ккал/ч м²), на отопление 1 м² общей площади, удельная отопительная характеристика, кДж/(м³ ч К), (ккал/(м³ ч °С));

F - общая площадь жилых зданий, м²;

K_1 - коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий, при отсутствии данных принимается равным 0,25;

β - поправочный коэффициент, учитывающий климатические условия района;

V_H - наружный объем здания, м³;

t_B - расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С;

t_o^p - расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления для данного климатического района, °С;

Средний тепловой поток на отопление для средней t_H^{cp} за отопительный сезон температуры наружного воздуха

$$Q_o^{cp} = Q_o^p \frac{(t_B - t_H^{cp})}{(t_B - t_o^p)}, \quad \text{МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.8)$$

где t_H^{cp} - средняя температура воздуха за отопительный период °С.

Формулой (2.8) можно воспользоваться для определения тепловой нагрузки при температуре наружного воздуха в диапазоне $t_o^p \leq t_{HВ} \leq 8$ °С.

2.2.2. Расчет теплопотерь через наружные ограждения

Определение потерь тепла отапливаемых помещений через наружные ограждения сводится к расчету суммы основных потерь теплоты через наружные ограждения и добавочных затрат теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха.

Теплопотери помещений через ограждающие конструкции

$$Q_{тп} = \sum Q_o + Q_d - Q_{тв}, \quad \text{МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.9)$$

где $Q_{\text{тп}}$ – полные тепловые потери помещения;

ΣQ_o – сумма основных тепловых потерь через ограждающие конструкции;

Q_d – добавочные потери тепла для нагрева инфильтрующегося через ограждения конструкции наружного воздуха;

$Q_{\text{тв}}$ – тепловыделения в помещении.

Основные тепловые потери в помещениях определяются по формуле

$$Q_o = A \cdot (t_b^p - t_o^p) \cdot (1 + \Sigma \beta) \cdot n / R, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.10)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ;

R – сопротивление теплопередаче конструкции ограждения, $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ($\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ч/ккал}$) [23];

t_b^p – расчетная температура внутреннего воздуха помещения, $^\circ\text{C}$;

t_o^p – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления или температура воздуха более холодного помещения (при расчете потерь теплоты через внутренние ограждения), $^\circ\text{C}$;

β – добавочные потери теплоты в долях от основных для различных типов помещений и ограждений;

n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху.

Добавочные потери теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции помещений

$$Q_d = Q_{\text{и}} = 0,28 \cdot \Sigma G_{\text{и}} c (t_b^p - t_{\text{н}}^p) \cdot K, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.11)$$

где $G_{\text{и}}$ – расход инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещения

$$G_{\text{и}} = 0,216 \cdot \frac{\Sigma A_1 \Delta p_i^{0,67}}{R_u} + \Sigma A_2 G_{\text{н}} \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + 3456 \Sigma A_3 \Delta p_1^{0,5} + 0,5 \cdot \frac{\Sigma l \Delta p_i}{\Delta p_1}, \text{ кг/ч}, \quad (2.12)$$

где A_1, A_2 – площади наружных ограждающих конструкций, световых проемов (окон, балконных дверей фонарей) и других ограждений, м^2 ;

A_3 – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях, м^2 ;

$\Delta p_i, \Delta p_1$ – расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на расчетном этаже и на уровне пола первого этажа, Па;

$R_{\text{и}}$ – сопротивление воздухопроницанию проемов, $\text{м}^2 \text{ ч Па/кг}$;

G_n – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, кг/м² ч.

l – длина стыков стеновых панелей, м.

Расчетная разность давлений определяется по формуле

$$\Delta P_i = (H - h_i)(\gamma_n - \gamma_v) + 0,5 \rho_i w^2 (c_{nc} - c_{nc}) K_1 - p_v, \text{ Па} \quad (2.13)$$

где H – высота здания от уровня средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты, м;

h_i – расчетная высота от уровня земли до верха окон, балконных дверей, ворот, проемов или до оси горизонтальных и середины вертикальных стыков стеновых панелей, м;

γ_n, γ_v – удельный вес, соответственно наружного воздуха и воздуха в помещении, определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{3464}{273+t}, \text{ кг/(м}^2 \text{ с}^2\text{)}, \quad (2.14)$$

где ρ_i – плотность наружного воздуха, кг/м³;

w – скорость ветра, м/с;

c_{nc}, c_{nc} – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания;

K_1 – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания;

p_v – условно постоянное давление воздуха в здании, Па.

Для определения отношения теплотерь инфильтрацией к теплотерям теплопередачей через наружные ограждения можно использовать приближенную формулу

$$\mu = \frac{Q_i}{Q_t} = b \sqrt{2 g L \left(1 - \frac{T_n}{T_v} \right) + K_a (w \beta)^2}, \quad (2.15)$$

где L – расчетная высота для среднего этажа здания

$$L = 0,25H, \text{ м}, \quad (2.16)$$

где H – высота здания, м;

T_v, T_n – температура внутреннего и наружного воздуха, К;

K_a – аэродинамический коэффициент;

w – расчетная скорость ветра для холодного периода для соответствующей местности, м/с;

β – поправочный коэффициент;

b – постоянная величина ($b = 0,035 \div 0,040$ – для отдельно стоящих промышленных зданий с большими световыми проемами; $b = 0,008 \div 0,010$ – для жилых и общественных зданий с двойным остеклением при сплошной застройке кварталов).

2.2.3. Тепловая нагрузка на вентиляцию

Расход тепла на вентиляцию жилых зданий, не имеющих, как правило, специальной приточной системы, невелик. Он обычно не превышает 5-10 % расхода тепла на отопление и учитывается величиной удельной тепловой потери q_o .

Расход тепла на вентиляцию производственных и коммунальных предприятий, а также общественных и культурных учреждений составляет значительную долю от суммарного теплоснабжения объекта. В производственных предприятиях расход тепла на вентиляцию часто превышает расход на отопление.

Ориентировочно максимальный тепловой поток на вентиляцию общественных зданий определяется по укрупненным показателям: общей площади F или наружному объему здания V_n соответственно по формулам (2.17) и (2.18):

$$Q_B^p = K_2 \cdot K_1 \cdot q_o \cdot F \cdot 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.17)$$

$$Q_B^p = \beta \cdot q_B \cdot V_n \cdot (t_B - t_{нв}) \cdot 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.18)$$

где K_2 - коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий, принимается для построек до 1985 г. – 0,4, после 1985 г. – 0,6;

q_B – удельная вентиляционная характеристика $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot \text{К})$ ($\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$) [6];

$t_{нв}$ - расчетная температура наружного воздуха для вентиляции, $^\circ\text{C}$.

Средний тепловой поток на вентиляцию для средней температуры воздуха за отопительный сезон

$$Q_B = Q_B^p \frac{(t_B - t_{нсп})}{(t_B - t_{но})}, \text{ МВт (Гкал/ч)}. \quad (2.19)$$

2.3. Круглогодичные тепловые нагрузки

2.3.1. Технологическая нагрузка

В промышленности технологические аппараты нередко потребляют тепло в больших количествах и весьма разнообразно во времени. Это, например, различные сушильные и выпарные установки, пропарочные камеры, варочные котлы, гальванические ванны, ректификационные аппараты и др.

Удельные нормы технологического потребления тепла относят к единице продукции. Поэтому расходы тепла на производственные нужды

следует определять по материалам технологических проектов или по ведомственным нормам проектирования.

Усовершенствование и рационализация технологического процесса могут существенно повлиять на размеры и характер тепловой нагрузки.

2.3.2. Тепловая нагрузка на горячее водоснабжение

Тепловое потребление для целей горячего водоснабжения в течение отопительного периода изменяется сравнительно мало, но отличается большой неравномерностью по часам суток. Летом расход тепла в системах горячего водоснабжения жилых зданий по сравнению с зимой уменьшается на 30-35 %. Это объясняется тем, что в летнее время температура воды в холодном водопроводе на 10-12 °С выше, чем в зимний период. Кроме того, значительная часть городского населения летом, в субботные и воскресные дни, выезжает в загородные зоны, т.е. в те дни, когда в жилом секторе зимой наблюдаются максимальные разборы горячей воды.

По своему значению во многих жилых районах крупных городов нагрузка на ГВС становится сопоставимой с отопительной нагрузкой. В ряде районов годовой отпуск тепла на горячее водоснабжение достигает 40 % суммарного отпуска тепла по жилому району.

Средний тепловой поток на горячее водоснабжение (ГВС) жилых и общественных зданий

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a + b) \cdot (55 - t_x) \cdot c}{24 \cdot 3,6} \cdot 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.20)$$

где m – расчетное число потребителей горячей воды;

a – норма расхода воды на ГВС при температуре 55 °С на одного человека в сутки, проживающего в здании с горячим водоснабжением, принимаемая в зависимости от степени комфортности, л/сут;

b – норма расхода воды на ГВС в общественных зданиях при температуре 55 °С, принимаемая в размере 25 л/сут на 1 чел;

c – удельная теплоемкость воды равная 4,187 кДж/(кг °С) (1 ккал/(кг °С));

t_x – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии других данных принимается равной 5 °С);

Максимальный тепловой поток на ГВС жилых и общественных зданий

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{max}} = 2,4 \cdot Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} \cdot 10^{-6}, \text{ МВт (Гкал/ч)}, \quad (2.21)$$

Средний тепловой поток на ГВС в неотопительный (летний) период

$$Q_{\text{ГВС л}}^{\text{ср}} = Q_{\text{ГВС}}^{\text{ср}} \cdot \frac{(55 - t_{\text{л}})}{(55 - t_3)}, \text{ МВт (Гкал/ч)}. \quad (2.22)$$

где t_3 , $t_{\text{л}}$ – соответственно температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (при отсутствии данных принимается равной 5 °С) и неотопительный (летний) период (принимается равной 15 °С);

β - коэффициент, учитывающий изменение расхода воды на ГВС.