

# ГЛАВА I

## ПОТРЕБЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

### § 1.1. ВИДЫ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

В системах централизованного теплоснабжения тепло расходуется на отопление зданий, нагревание приточного воздуха в установках вентиляции и кондиционирования, горячее водоснабжение, а также технологические процессы промышленных предприятий. Тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию зависят от температуры наружного воздуха и других климатических условий района теплоснабжения (солнечной радиации, скорости ветра, влажности воздуха). Если температура наружного воздуха равна или выше нормируемой температуры воздуха в отапливаемом помещении, то тепловая энергия для отопления и вентиляции не требуется.

Таким образом, в системах отопления и вентиляции тепло расходуется не непрерывно в течение года, а только при сравнительно низких температурах наружного воздуха. Поэтому 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. Поэтому тепловые нагрузки на горячее водоснабжение и технологические нужды считаются круглогодичными тепловыми нагрузками. Только некоторые технологические процессы (сушка зерна, фруктов, консервирование сельскохозяйственных продуктов и т. д.) связаны с сезонным потреблением тепловой энергии.

В системах вентиляции с двухступенчатым подогревом воздуха расходы тепла в калориферах первого и второго подогревов отличаются не только количественно, но и качественно. Если расход тепла в калориферах первой ступени изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха, то потребление тепла калориферами второй ступени подогрева часто не зависит от температуры наружного воздуха и по характеру приближается к технологической тепловой нагрузке.

### § 1.2. СЕЗОННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ

Для сезонного теплового потребления характерны следующие особенности: 1) в течение года тепловые нагрузки изменяются в зависимости от температуры наружного воздуха; 2) годовые расходы тепла, определяемые метеорологическими особенностями текущего года в районе теплоснабжения (холодная или теплая зима), имеют значительные колебания; 3) изменения тепловой нагрузки на отопление в течение суток в основном за счет теплоустойчивости наружных ограждений зданий незначительны; 4) расходы тепловой энергии для вентиляции по часам суток могут отличаться большим разнообразием в зависимости от сменности и режимов работы предприятий.

При проектировании систем теплоснабжения для существующих городов и поселков расчетные данные о сезонных тепловых нагрузках следует принимать из проектов отопления и вентиляции. Однако проектную документацию использовать удается далеко не всегда, так как проекты отопления и вентиляции зданий, построенных в разное время различными организациями, как правило, не сохраняются. При перспективном строительстве расчетные расходы тепла рекомендуется принимать из типовых проектов с соответствующей корректировкой по климатическим условиям района строительства. Если проектные материалы отсутствуют, то расходы тепла на отопление и вентиляцию допускается определять по укрупненным показателям.

Расчетную тепловую мощность (Вт) систем отопления жилых и общественных зданий определяют по формуле

$$Q'_0 = Q_0^{\text{ж}} (1 + \kappa), \quad (1.1)$$

где  $Q_0^{\text{ж}} = q_0 F$  — расчетная мощность систем отопления жилых зданий, Вт;  $q_0$  — укрупненный показатель мощности системы отопления, приходящийся на 1 м<sup>2</sup> жилой площади, Вт/м<sup>2</sup> (принимают по приложению 1);  $F$  — жилая площадь, м<sup>2</sup>;  $\kappa$  — коэффициент, учитывающий расход тепла на отопление общественных зданий, ( $\kappa \approx 0,25$ ).

Для определения жилой площади рекомендуется пользоваться данными о плотности жилого фонда на 1 га городской застройки, приведенными в приложении 2.

Если объемы зданий известны, то расчетные тепловые нагрузки (Вт) систем отопления определяют по укрупненным измерителям по формуле

$$Q'_0 = (1 + \mu) x_0 V (t_{\text{в}} - t_{\text{п.о}}), \quad (1.2)$$

где  $\mu$  — коэффициент инфильтрации, учитывающий долю расхода тепла на подогрев наружного воздуха, поступающего в помещение через неплотности ограждений;  $x_0$  — удельная тепловая характеристика здания на отопление, Вт/м<sup>3</sup> · °С;  $V$  — объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $t_{\text{в}}$  — температура воздуха в помещении, °С;  $t_{\text{п.о}}$  — расчетная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления, °С.

Удельная тепловая характеристика здания  $x_0$  равна средним потерям тепла 1 м<sup>3</sup> здания при разности температур внутреннего и наружного воздуха в 1 °С. За расчетную температуру наружного воздуха при проектировании систем отопления принимают среднюю температуру самой холодной пятидневки, определенную из восьми наиболее холодных зим за 50 лет наблюдений.

Для определения коэффициента инфильтрации можно пользоваться формулой

$$\mu = b \sqrt{2gH \left(1 - \frac{t_{p.o} + 273}{t_{в} + 273}\right) + \omega^2}, \quad (1.3)$$

где  $b$  — постоянная инфильтрации, учитывающая коэффициент остекления наружных стен и конструкцию оконных проемов, с/м; для отдельно стоящих промышленных зданий с большими световыми проемами  $b = (35 \div 40) 10^{-3}$ , для жилых и общественных зданий с двойным остеклением  $b = (8 \div 10) 10^{-3}$ ;  $g$  — ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $H$  — высота помещения, м;  $\omega$  — расчетная скорость ветра в холодный период года, м/с.

При расчетной температуре наружного воздуха, равной  $-30^\circ\text{C}$ , величины удельных тепловых характеристик  $x'_0$  в зависимости от объемов зданий различного назначения приведены в приложении 3. Так как коэффициенты теплопередачи наружных ограждений принимаются в зависимости от климатических условий, то значения удельных тепловых характеристик при расчетных температурах наружного воздуха, отличающихся от  $-30^\circ\text{C}$ , должны корректироваться коэффициентом  $\beta$ .

$$X_0 = \beta x'_0$$

Значения коэффициента  $\beta$  приведены ниже.

$t_{p.o}, \text{ }^\circ\text{C}$	-10	-20	-30	-40
$\beta$	1,2	1,1	1,0	0,9

Для нетиповых зданий удельную тепловую характеристику на отопление с учетом теплотехнических свойств ограждений и конфигурации здания можно достаточно точно определить по формуле проф. Н. С. Ермолаева

$$x_0 = 1,06 \frac{P}{S} [k_c + \delta_o (k_o - k_{co})] + \frac{1}{H} (n_{пл} k_{пл} + n_{пт} k_{пт}), \quad (1.4)$$

где  $k_c, k_o, k_{nl}, k_{nm}$  — коэффициенты теплопередачи соответственно стен, окон, полов и потолков, Вт/м<sup>2</sup>·°С;  $b_0$  — коэффициент остекления наружных стен;  $n_{nl}, n_{nm}$  — поправочные коэффициенты к расчетной разности температур для пола и потолка;  $P, H$  — периметр и высота здания, м;  $S$  — площадь здания в плане, м<sup>2</sup>.

Габаритные размеры здания принимают по наружному обмеру.

Расчетную тепловую нагрузку на вентиляцию общественных зданий определяют по формуле

$$Q''_B = k_1 Q''_O, \quad (1.5)$$

где  $k_1$  — коэффициент, учитывающий расход тепла на вентиляцию, принимают  $k_1 = 0,4$ .

Расчетная тепловая нагрузка на вентиляцию отдельных зданий может быть найдена по укрупненным измерителям

$$Q''_B = x_B V (t_B - t_{p.в}), \quad (1.6)$$

где  $x_B$  — удельный расход тепла на вентиляцию здания, Вт/м<sup>3</sup>·°С (принимают по приложению 4);  $t_{p.в}$  — расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, °С.

За расчетную температуру наружного воздуха для проектирования общеобменной вентиляции принимают среднюю температуру наиболее холодного периода, составляющего 15% от продолжительности отопительного сезона.

В системах кондиционирования воздуха, а также в системах вентиляции, предназначенных для борьбы с вредными веществами или при компенсации приточным воздухом вытяжки от местных отсосов, расчетную температуру наружного воздуха для проектирования вентиляции принимают равной расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления.

Расходы тепла на отопление и вентиляцию промышленных зданий определяют по тепловым балансам, учитывающим дополнительные потери тепла на нагревание холодных материалов и транспортных средств, поступающих в производственные помещения, а также тепловыделения от технологического оборудования. Поэтому при проектировании систем теплоснабжения промышленных предприятий расчетные расходы тепла следует принимать из проектных документов отопления и вентиляций. Ориентировочные данные о сезонных тепловых нагрузках промышленных зданий можно рассчитать по формулам (1.2), (1.6).

Сельскохозяйственные населенные районы отличаются малой плотностью застройки и небольшими объемами зданий. Поэтому тепловое потребление сельских объектов характеризуется небольшими масштабами, рассредоточенностью и малыми единичными мощностями. При проектировании крупных сельскохозяйственных комплексов тепловое потребление следует определять по типовым проектам и ведомственным нормам.

Текущие сезонные тепловые нагрузки при любых температурах наружного воздуха  $t_n$ , отличающихся от расчетных определяют по формуле

$$Q = Q_p \frac{t_B - t_n}{t_B - t_{н.р}} \quad (1.7)$$

Средние тепловые нагрузки за отопительный период рассчитывают по формулам:

для отопления

$$Q_{ср.о} = Q_o \frac{t_B - t_{ср.о}}{t_B - t_{р.о}} \quad (1.8)$$

для вентиляции

$$Q_{ср.в} = Q_v \frac{t_B - t_{ср.о}}{t_B - t_{в.с}} \quad (1.9)$$

где  $t_{ср.о}$  — средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С.

Годовые расходы тепла (в кВт·ч) для жилых и общественных зданий определяют по формулам:

на отопление

$$Q_{год.о} = 24n_o Q_{ср.о} \cdot 10^{-3}; \quad (1.10)$$

на вентиляцию

$$Q_{год.в} = zn_o Q_{ср.в} \cdot 10^{-3}, \quad (1.11)$$

где  $n_o$  — продолжительность отопительного периода, ч;  $z$  — коэффициент, зависящий от продолжительности отопительного периода, за отопительный период число часов работы вентиляции, в течение суток (при отсутствии данных рекомендуется  $z=16$  ч).

Продолжительность отопительного сезона для жилых в общественных зданий определяют числом дней с устойчивой температурой наружного воздуха ниже  $+8^{\circ}\text{C}$ .

Из уравнения (1.7) следует, что зависимость сезонных тепловых нагрузок от температуры наружного воздуха линейная. Графики часового расхода тепла на отопление и вентиляцию приведены на рис. 1.1. Минимальный расход тепла определяют при  $t_H = +8^{\circ}\text{C}$ . Участок прямой соответствует тому случаю, когда максимальный расход тепла на вентиляцию определяется по расчетной температуре наружного воздуха для проектирования систем отопления.

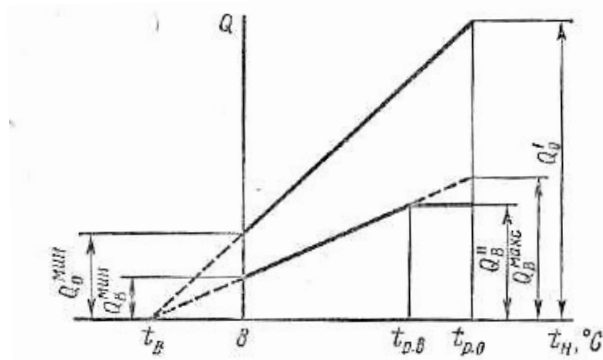


Рис. 1.1. График расхода тепла на отопление и вентиляцию

### § 1.3. КРУГЛОГODOВЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ

Тепловое потребление для целей горячего водоснабжения в течение года 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  $10—12^{\circ}\text{C}$  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.

На рис. 1.2 приведен ориентировочный график расхода тепла на горячее водоснабжение жилого района, из которого следует, что тепловые нагрузки на горячее водоснабжение имеют не только резкие колебания внутри суток, но и в течение недели. В жилых домах, оборудованных ваннами, максимальные расходы тепла зимой наблюдаются в предвыходные и предпраздничные дни. В промышленности

технологические аппараты нередко потребляют тепло в больших количествах и весьма разнообразно по времени. Это, например, различные сушильные и пропарочные камеры, варочные котлы, гальванические ванны и др.

Удельные нормы технологического потребления тепла относят к единице продукции; они непрерывно изменяются в связи с постоянным совершенствованием технологических процессов. Поэтому расходы тепла на производственные нужды следует определять по материалам технологических проектов или по ведомственным нормам проектирования.

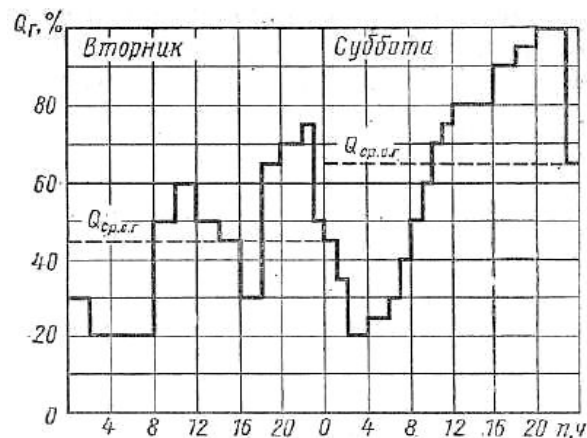


Рис. 1.2. Примерный суточный график расхода тепла на горячее водоснабжение для жилого района

Большое разнообразие тепловых нагрузок различных промышленных предприятий, жилых и общественных зданий, несовпадение по времени их максимумов приводит к необходимости построения графиков теплового потребления как для отдельных зданий, так и для района теплоснабжения в целом. Графики теплового потребления характеризуют изменение тепловых нагрузок по времени. На рис. 1.3 представлен график изменения тепловой нагрузки  $Q$  от времени  $n$  за некоторый период  $n_0$ . Площадь  $abcd$ , ограниченная линией изменения, тепловой нагрузки и осями координат, представляет собой расход тепла за весь период времени  $n_0$ :

$$Q_n = \int_0^{n_0} Q dn. \quad (1.12)$$

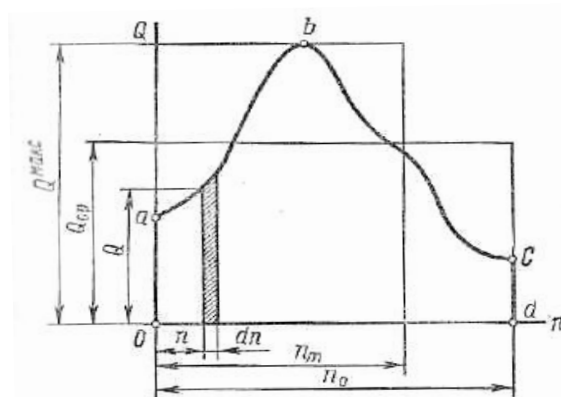


Рис. 1.3. График изменения тепловой нагрузки по времени

Если данную площадь заменить равновеликой площадью прямоугольника с основанием  $n_0$ , то высота прямоугольника (ордината  $Q_{\text{ср}}$ ) будет соответствовать средней тепловой нагрузке в течение  $n_0$ :

$$Q_{\text{ср}} = \frac{1}{n_0} \int_0^{n_0} Q dn. \quad (1.13)$$

Замена площади  $abcd$  равновеликим прямоугольником с высотой, равной  $Q^{\text{макс}}$ , позволит определить число часов  $n_m$  использования максимума тепловой нагрузки

$$n_m = \frac{1}{Q^{\text{макс}}} \int_0^{n_0} Q dn. \quad (1.14)$$

Числом часов использования максимума тепловой нагрузки, в течение которого суммарное количество тепловой энергии будет израсходовано при максимальной нагрузке.

Отношение  $Q^{\text{макс}}/Q_{\text{ср}} = k_{\text{ч}}$  — коэффициент часовой неравномерности расхода тепла за период времени  $n_0$ . При этом

$$k_{\text{ч}} = n_0/n_m.$$



Параметры  $n_m$  и  $k_q$  характеризуют неравномерность потребления тепла за некоторый период времени  $n_p$ , определяются для отдельных зданий и населенных пунктов на основании практического опыта и позволяют производить расчеты, не прибегая к построению графиков. Например, максимальную тепловую нагрузку на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий определяют по формуле

$$Q_{\text{г}}^{\text{макс}} = k_q Q_{\text{ср.г}}, \quad (1.15)$$

где  $k_q$  — коэффициент часовой неравномерности расхода тепла в течение суток,  $k_q = 2 \div 2,4$ .

Среднюю за отопительный период тепловую нагрузку на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий определяют по формулам

$$Q_{\text{ср.г}} = \frac{cm(g_H + b)(t_r - t_x)\rho}{3,6 \cdot 24 \cdot 10^3}, \quad (1.16)$$

или

$$Q_{\text{ср.г}} = q_r \bar{m}, \quad (1.17)$$

где  $c$  — удельная теплоемкость воды, кДж/кг·°С;  $\bar{m}$  — количество жителей в районе;  $g_H$  — норма расхода горячей воды для жилых зданий на 1 жителя, л/сут;  $B$  — норма расхода воды для общественных зданий района,  $b = 20$  л/чел·сут;  $t_r, t_x$  — температуры горячей и холодной водопроводной воды, °С;  $\rho$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $q_r$  — укрупненный показатель среднечасовой тепловой нагрузки на горячее водоснабжение, приходящийся на 1 чел., Вт/чел (приложений 5).

Нормы расхода воды зависят от благоустроенности жилых домов, гостиниц и приводятся в соответствующих указаниях на проектирование горячего водоснабжения. Для отдельных жилых домов, общежитий, гостиниц и больниц расчетные тепловые нагрузки на горячее водоснабжение можно определять по формуле (1.16), полагая  $b = 0$ .

В летнее время тепловые нагрузки на горячее водоснабжение определяют по формуле

$$Q_{\text{ср.г.л}} = Q_{\text{ср.г}} \frac{t_r - t_{x.л}}{t_r - t_x} \beta_1, \quad (1.18)$$

где  $t_{x.l} = 15^{\circ}\text{C}$  — температура водопроводной воды в летний период времени,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\beta_1$  — коэффициент, учитывающий снижение расхода горячей воды летом по сравнению с зимой, принимается равным 0,8; для курортных, южных городов и для промпредприятий  $\beta_1 = 1$ .

Годовой расход тепла на горячее водоснабжение следует определять по формуле

$$Q_{\text{год.г}} = 24Q_{\text{ср.г.н.о}} + 24Q_{\text{ср.г.л}}(350 - n_o). \quad (1.19)$$

## § 1.4. ГОДОВЫЕ ГРАФИКИ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК

Исследование характера изменения тепловых нагрузок в течение года крайне важно для определения расходов топлива, рационального использования станционного оборудования, а также для технико-экономических расчетов при проектировании и эксплуатации системы теплоснабжения.

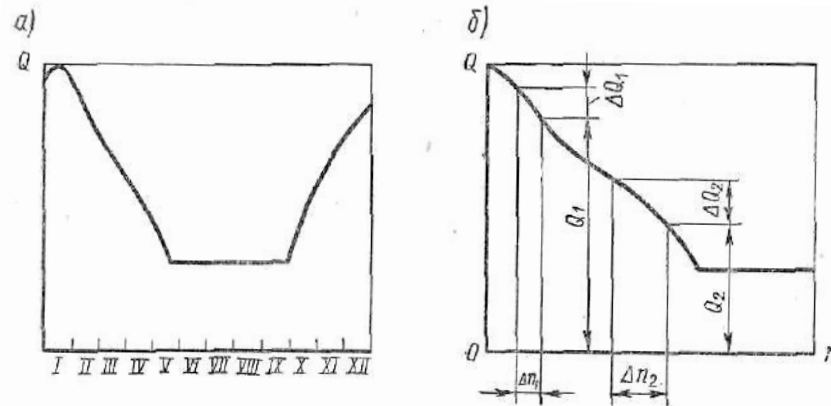


Рис. 1.4. Годовые графики расхода тепла:  
а — по месяцам; б — по продолжительности

На рис. 1,4 приведены два годовых графика потребления тепла для одного и того же района. На графике рис. 1.4, а расхода тепла по месяцам года изменение тепловых нагрузок представлено в той хронологической последовательности, в которой оно имеет место в действительности. На рис. 1.4, б тепловые нагрузки расположены в порядке убывания. В этом случае время  $n$  приобретает особый смысл. Здесь  $n$  такое время, в течение которого тепловые нагрузки района не меньше (больше или равны) данной тепловой нагрузки. Если на рис. 1.4, б в начале и в середине выделить одинаковые отрезки  $\Delta Q$ , то соответствующие им промежутки времени в общем случае будут различны —  $\Delta n_1 \neq \Delta n_2$ . Это значит, что продолжительность тепловых нагрузок  $Q_1 + \Delta Q$ , соответствующих интервалу  $\Delta n_1$ , больше или меньше продолжительности тепловых нагрузок  $Q_2 + \Delta Q$ .

Поэтому рис. 1.4,б принято называть графиком расхода тепла по продолжительности. Здесь  $\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q$ .

При построении графика расхода тепла по продолжительности сезонных тепловых нагрузок на оси абсцисс откладывают время  $n$ , в течение которого температура наружного воздуха не бывает выше данной  $t_n$ . Ординаты тепловых нагрузок, соответствующие  $t_n$  определяют по формуле (1.7). На рис. 1.5 иллюстрируется графический метод построения графика продолжительности тепловой нагрузки.

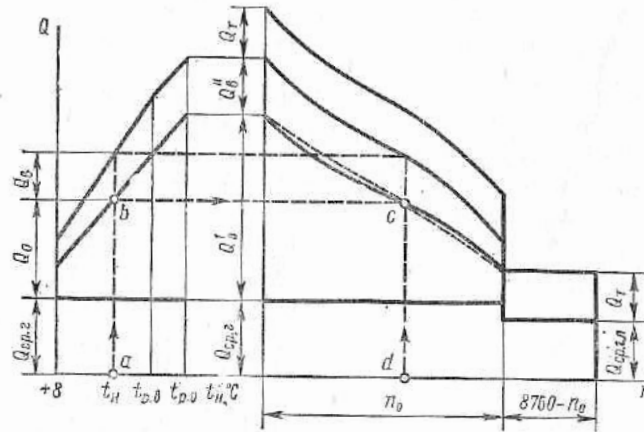


Рис. 1.5. Суммарный график расхода тепла по продолжительности для района

В левой части строится вспомогательный график, отражающий линейную зависимость расхода тепла от температуры наружного воздуха.

Точки графика расхода тепла по продолжительности (точка  $c$ ) определяют следующим образом. По  $t_n$  (точка  $a$ ) находят величину тепловой нагрузки (отрезок  $ab$ ), которую переносят на правую часть графика (линия переноса  $bc$ ). На оси абсцисс  $n$  находят точку  $d$ , соответствующую данной температуре наружного воздуха  $t_n$ . Из точки  $d$  к оси абсцисс проводят перпендикуляр до пересечения с линией  $bc$ . Точка  $c$  и является точкой на кривой графика продолжительности тепловой нагрузки, так как  $ab = dc$ . Расположение точек  $d$  на оси  $n$  зависит от климатических условий местности.

При отсутствии данных по продолжительности температур наружного воздуха график продолжительности отопительной нагрузки можно с достаточной для практики точностью построить по методике проф. Б. Л. Шифринсона и проф. Б. Я. Хасилева. В этом случае исходными данными являются: расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления  $t_{p,0}$ ; средняя температура за отопительный период  $t_{ср,0}$ ; продолжительность отопительного периода  $n_0$ .

Кривая расхода тепла по продолжительности, выраженная в относительных величинах, характеризуется следующей зависимостью:

$$R = 1 - BN^\Theta, \quad (1.20)$$

где  $R$  — отношение тепловой нагрузки при данной температуре наружного воздуха  $t_H$  к расчетной тепловой нагрузке на отопление;  $N$  — относительное число часов (суток), при котором относительный расход тепла не бывает меньше  $R$ ;  $B, \Theta$  — постоянные коэффициенты, зависящие от климатических условий. Здесь

$$R = \frac{Q_0}{Q'_0} = \frac{t_B - t_H}{t_B - t_{p.o}}; \quad B = \frac{8 - t_{p.o}}{t_B - t_{p.o}}; \quad \Theta = \frac{8 - t_{cp.o}}{t_{cp.o} - t_{p.o}}. \quad (1.21)$$

В графике расхода тепла по продолжительности важны не столько абсолютные значения тепловых нагрузок, сколько конфигурация кривой  $Q$  как функция от  $n$ . Поэтому данный график целесообразно строить в относительных величинах, долях от единицы или процентах.

На рис. 1.5 пунктирной линией приведена кривая изменения расхода тепла на отопление по продолжительности, построенная по методике Шифринсона — Хасилева. Хорошая сходимость результатов подтверждает возможность использования аналитического метода построения графика продолжительности сезонных тепловых нагрузок.