

ПРООН/ГЭФ  
Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике  
Беларусь»

**Отчет**  
**Краткая методика определения теплоэнергетических**  
**характеристик жилых эксплуатируемых зданий**

Исполнитель,  
Эксперт по вопросам энергетической  
эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский.

Минск, 2016

# 1 Общий алгоритм

В нормативных документах Республики Беларусь предъявляются требования к следующим теплоэнергетическим показателям зданий:

- приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий [1];
- удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию [2];
- класс здания по удельному потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию [2].

Следует, однако, отметить, что эта характеристика относится не к зданию как конструктивной системе, а дает оценку энергетической системе, связанной со зданием, но включающей также климатические условия и условия эксплуатации здания. Ниже приведена упрощенная формула для расчета этой величины:

$$P = 0,024 \cdot N(\Delta T_{sr} \cdot f_1 - \xi v(f_2 + q_s)), \Delta T_{sr} = (T_{in} - T_{out}), \quad (1)$$

где  $P$  – удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию для расчетных условий, Вт/м<sup>2</sup>;

$f_1$  – удельный коэффициент тепловых потерь здания, Вт/(м<sup>20</sup>К);

$f_2$  – удельная мощность внутренних тепловыделений в здании, принимаемая для расчетов по [3] Вт/м<sup>2</sup>;

$T_{in}$  – расчетная температура воздуха в здании, равная 18 °С;

$T_{out}$  – средняя температура наружного воздуха в отопительном сезоне в соответствии с климатическими условиями местности по документу [4] °С;

$q_{sr}$  – средний поток солнечной радиации, поступающей в здание, рассчитываемый в соответствии с требованиями [2];

$N$  – количество суток в среднем отопительном сезоне;

$\zeta$  и  $v$  – коэффициенты, учитывающие тип системы регулирования и коэффициент усвоения солнечной энергии в здании, соответственно.

Следует отметить, что коэффициенты  $\zeta$  и  $v$  вводятся в предположении, что в здании постоянно поддерживается температура 18 °С.

Значение удельного коэффициента тепловых потерь здания рассчитывается по формуле:

$$f_1 = \left( \left( \frac{(1 - K_{ost})}{R_{ogr}} + \frac{K_{ost}}{R_{ost}} \right) \cdot \frac{S_{st}}{S_{ot}} + \frac{R_{per} + R_{pokr}}{R_{per} \cdot R_{pokr} \cdot k} + c_v \cdot \rho_v \cdot h_1 \cdot \frac{k_{kr}}{3600} \right), \quad (2)$$

где  $K_{ost}$  – коэффициент остекленности стены;

$R_{ogr}$  – приведенное сопротивление теплопередаче стен,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$R_{ost}$  – приведенное сопротивление теплопередаче окон,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$S_{st}$  – площадь наружных стен,  $\text{м}^2$ ;

$R_{per}$  – приведенное сопротивление теплопередаче перекрытия верхнего этажа,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$R_{pokr}$  – приведенное сопротивление теплопередаче покрытия над подвалом,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ;

$k$  – количество этажей;

$h_1$  – высота этажа, м;

$k_{kr}$  – кратность воздухообмена в единицу времени относительно объема здания, 1/ч.

Внимательное рассмотрение выражения (1) приводит к выводу, что показатель удельного потребления... является характеристикой не только здания, но и климатических условий, задаваемыми величинами  $\Delta T_{sr}$ ,  $N$ , а также условиями эксплуатации, которые определяют величины  $T_{in}$  и  $f_2$ .

Непосредственное измерение значения удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию для расчетных условий для последующего сравнения с нормативными значениями, в т. ч. с целью отнесения к определенному классу, невозможно, т. к. климатические условия и условия эксплуатации здания, как правило, отличаются от расчетных значений, которые принимались в расчет при подготовке нормативов.

Поэтому определение удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию для расчетных условий выполняется в несколько этапов:

1. Определяют значения потребленной для целей отопления здания тепловой энергии для нескольких интервалов времени.
2. Определяют значения средней температуры наружного воздуха на этих интервалах;
3. При возможности, определяют среднее значение температуры воздуха в здании для каждого измерительного интервала;
4. Рассчитывают по измеренным величинам значение удельного

коэффициента тепловых потерь здания;

5. По значению удельного коэффициента тепловых потерь здания рассчитывают для расчетных условий значение удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию.

В качестве измерительного интервала целесообразно выбрать месяц, т. к. в этом случае можно воспользоваться архивом данных по значениям ежемесячного потребления тепловой энергии на отопление за несколько отопительных сезонов.

Среднее значение температуры наружного воздуха следует получить по данным гидрометеоцентра для этой местности или измерить.

Значение средней с температуры воздуха в здании  $T_{sr}$  целесообразно определить по измеренным значениям температуры в устьях вентиляционных шахт. В этом случае температура воздуха в здании будет равна:

$$T_{in}=T_{sr}-1 \quad (3)$$

## 2 Определение значения потребленной для целей отопления здания тепловой энергии для нескольких интервалов времени

### 2.1 Определение значения потребленной тепловой энергии в случае раздельного учета тепловой энергии на отопление и на горячее водоснабжение

В случае раздельного учета задача решается следующим образом:

- По показаниям счетчика (архивные данные или непосредственное считывание), установленного в системе отопления здания определяют значение тепловой энергии  $Q_i$  (кВтч) за месяцы анализируемого периода, создавая массив данных:

$$Q_i, i=1, \dots, NN, \quad (4)$$

где  $NN$  – общее количество рассматриваемых интервалов.

- По показаниям счетчика (архивные данные или непосредственное считывание), установленного в системе горячего водоснабжения здания (ГВС) определяют значение тепловой энергии  $Q_{gi}$  (кВтч) за месяцы анализируемого периода, создавая массив данных:

$$Q_{gi}, i=1, \dots, NN, \quad (5)$$

- По показаниям расходомера холодной воды, идущей на подогрев в систему ГВС здания (архивные данные или непосредственное считывание), определяют количество горячей воды  $M_{gi}$ , кг, потребленной из системы жильцами;
- По показаниям термометров определяют температуру холодной воды  $T_q$ , а также температуру воды в прямом  $T_{w1}$  и обратном  $T_{w2}$  трубопроводах системы ГВС;
- Количество тепловой энергии, потребленной в здании для целей отопления для  $i$ -го интервала времени определяют по формуле:

$$Q_{wi} = Q_i + Q_{gi} - M_{gi} \cdot (T_w - T_q) c_w, \quad (6)$$

где  $T_w$  и  $T_q$  – температура холодной воды и горячей воды, соответственно, °С;

$c_w$  – теплоемкость воды, Дж/(кг\*К),

$$T_w = (T_{w1} + T_{w2})/2 \quad (7)$$

## 2.2 Определение значения потребленной тепловой энергии в случае общего учета тепловой энергии на отопление и на горячее водоснабжение

В случае общего учета задача решается следующим образом:

- По показаниям счетчика  $Q_i$ , кВтч (архивные данные или непосредственное считывание), установленного в сети теплоснабжения здания определяют значение тепловой энергии за месяцы анализируемого периода, создавая массив данных:

$$Q_i, i=1, \dots, NN, \quad (8)$$

где  $NN$  – общее количество рассматриваемых месяцев.

- По показаниям расходомера холодной воды, идущей на подогрев в систему ГВС здания (архивные данные или непосредственное считывание), определяют количество горячей воды  $M_{gi}$ , потребленной из системы жильцами;
- По показаниям термометров определяют температуру холодной воды  $T_q$ , а также температуру воды в прямом  $T_{w1}$  и обратном  $T_{w2}$  трубопроводах системы ГВС;
- Количество тепловой энергии, потребленной в здании для целей отопления для  $i$ -го интервала времени определяют по формуле:

$$Q_{wi} = Q_i - M_{gi} * (T_w - T_q) c_w, \quad (9)$$

где  $T_w$  и  $T_q$  – температура холодной воды и горячей воды, соответственно, °С,

$M_{gi}$  – масса а горячей воды, потребленная на  $i$ -м интервале;

$$T_w = (T_{w1} + T_{w2})/2 \quad (10)$$

В случае отсутствия данных по значениям  $M_{gi}$ , значение потребленной в здании горячей воды определяют по количеству жильцов, проживающих в здании в расчете 70 л горячей воды на человека в сутки.

### 3 Определение коэффициента удельных тепловых потерь

#### 3.1 Определение коэффициента удельных тепловых потерь при измеренных значениях температуры воздуха в здании

Следует отметить, что этот вариант определения коэффициента тепловых потерь здания используется редко.

В этом случае при определении удельного коэффициента тепловых потерь предполагается выполнение двух условий:

- Значение мощности бытовых тепловыделений в процессе эксплуатации в отопительных сезонах остается постоянной;
- Солнечная энергия по сравнению с величиной бытовых тепловыделений пренебрежимо мала.

С целью минимизации влияния солнечной энергии целесообразно для расчета значения удельного коэффициента тепловых потерь использовать показания счетчика тепловой энергии на отопление здания с ноября по март месяцы.

В этом случае удельный коэффициент тепловых потерь рассчитывается по формуле:

$$f_1 = \frac{NN \cdot P_1 + a_2 \cdot P_2}{a_1 \cdot NN - a_2^2}, \quad (11)$$

где  $a_1 = \sum_{i=1}^{NN} (\Delta T_i)^2$ ,  $a_2 = \sum_{i=1}^{NN} (\Delta T_i)$

$$P_1 = \sum_{i=1}^{NN} \Delta T_i q_i, \quad P_2 = - \sum_{i=1}^{NN} q_i$$

$$\Delta T_i = T_{iin} - T_{iout}, \quad q_i = 1000 \cdot Q_{wi} / (A_{от} \cdot N_i \cdot 24);$$

где  $N_i$  – количество суток в измерительном интервале;

$T_{iin}$ ,  $T_{iout}$  – средняя температура воздуха на  $i$ -м измерительном интервале внутри и снаружи здания, соответственно, °С;

$A_{от}$  – отапливаемая площадь здания м<sup>2</sup>.

### 3.2 Определение коэффициента удельных тепловых потерь без измерения температуры воздуха в здании.

Считая коэффициент удельных теплотерь здания и среднюю мощность внутренних источников теплоты в здании константами, а значение температуры воздуха в здании постоянным во время измерений, значение удельного коэффициента теплотерь вычисляется по следующей формуле:

$$f_1 = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{NN-1} q_{ji} \cdot \Delta T_{ji}}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{NN-1} \Delta T_{ji}^2}, \quad (12)$$

где  $f_1$  – коэффициент удельных теплотерь здания, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$$q_{ji} = q_{ji} - q_j, \quad (13)$$

$q_{ji}$  - значение средней удельной мощности источника в отоплении здания на  $i$ -м интервале измерений в  $j$ -м отопительном сезоне, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_j$  - значение средней удельная мощности источника в отоплении здания на выбранном интервале измерений в  $j$ -м отопительном сезоне, Вт/м<sup>2</sup>;

$$\Delta T_{ji} = T_{jiout} - T_{jout}, \quad (14)$$

$T_{jiout}$  и  $T_{jout}$  – средние значения температуры наружного воздуха на соответствующих интервалах измерений, °С.



#### 4 Определение удельного потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию и соответствующего класса здания

Удельное потребление тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания при нормализованных условиях эксплуатации,  $P$ , кВт·ч/(м<sup>2</sup>год), составит

$$P = 0,024 \cdot N(\Delta T_{sr} \cdot f_1 - \xi v(f_2 + q_s)), \quad (15)$$

где  $q_s$  – расчетные теплоступления в здание за счет солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;

$f_2$  – расчетные бытовые теплоступления в течение отопительного периода, Вт/м<sup>2</sup>;

$v$  – коэффициент снижения теплоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций, принимаемый в соответствии с ТКП 45-2.04-196;

$\xi$  – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системе отопления, принимаемый в соответствии с ТКП 45-2.04-196 (табл. 1);

$\beta_h$  – коэффициент, учитывающий дополнительные тепловые потери, связанные с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными тепловыми потерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, тепловыми потерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения, принимаемый в соответствии с ТКП 45-2.04-196.

Расчетные теплоступления в здание за счет солнечной радиации,  $q_s$ , Вт/м<sup>2</sup>, определяют по формуле

$$q_s = \frac{Q_s}{A_{от} \cdot 0,024N}, \quad (16)$$

где  $A_{от}$  – отапливаемая площадь здания;

$$Q_s = 0,28 \cdot \tau_F k_F \cdot (A_{F1} l_1 + A_{F2} l_2 + A_{F3} l_3 + A_{F4} l_4), \quad (17)$$

$\tau_F$  – коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами их конструкции; принимаемый по проектным данным; при отсутствии данных принимают в соответствии с ТКП 45-2.04-196 (приложение Г);

$k_F, k_c$  – коэффициенты относительного пропускания солнечной радиации светопрозрачной конструкции; принимают по паспортным данным соответствующих изделий; при отсутствии данных допускается принимать в соответствии с ТКП 45-2.04-196 (приложение Г); мансардные окна с углом наклона к горизонту  $45^\circ$  и более следует рассчитывать как вертикальные, с углом наклона менее  $45^\circ$  – как зенитные фонари;

$A_{F1}, A_{F2}, A_{F3}, A_{F4}$  – площадь световых проемов окон по сторонам света соответственно,  $m^2$ ;

$I_1, I_2, I_3, I_4$  – суммарная солнечная радиация на горизонтальную и вертикальные поверхности различной ориентации при средних условиях облачности за расчетный отопительный период,  $MДж/m^2$ , принимаемая в соответствии с ТКП 45-2.04-196 (приложение Г).

Расчетные бытовые теплопоступления в здании при нормализованных условиях эксплуатации,  $Q_{int}$ , кВт·ч, определяют по формуле

$$f_2 = \frac{Q_{int}}{A_{от} \cdot 0,024N}, \quad (18)$$

где  $A_{от}$  – отапливаемая площадь здания;

$$Q_{int} = 0,024 \cdot (A_i + A_k) \cdot q_{int} \cdot z_{ht}, \quad (19)$$

$q_{int}$  – удельные бытовые теплопоступления в здании приходящиеся на единицу площади жилых помещений и кухонь,  $Вт/m^2$ , равные:

- при обеспеченности жильем на 1 чел.  $20 m^2$  общей площади квартир и менее – 9;
- то же,  $45 m^2$  общей площади квартир и более – 3;
- для других значений обеспеченности жильем – интерполяцией по значениям 3 и 9.

$A_i, A_k$  – площадь жилых помещений и кухонь, соответственно,  $m^2$ ;

$z_{ht}$  – расчетная продолжительность отопительного периода, сут, определяемая в соответствии с СНБ 2.04.02.

Общий расход тепловой энергии на ОВ здания при нормализованных условиях эксплуатации,  $Q$ , кВт·ч, определяют по формуле

$$Q = P \cdot A_{от}, \quad (20)$$

Значение удельного расхода тепловой энергии на ОВ,  $P$ , кВт·ч/ $m^2$  при нормализованных условиях эксплуатации указывают в теплоэнергетическом паспорте в разделе «Фактическое значение».

## 5 Оценка погрешности метода определения

Оценку случайной погрешности метода определения удельного расхода тепловой энергии на ОВ здания производят:

- а) проверкой коэффициента детерминации  $R^2$  зависимости  $q_{ji}(\Delta T_{ji})$ ;
- б) определением среднеквадратической погрешности  $\sigma_q$ ;

Критерием корректности найденного значения  $f_1$  является условие

$$R > 0,75 \quad (21)$$

По коэффициенту детерминации можно судить об адекватности зависимости (21). Коэффициент детерминации  $R^2$  определяют по формуле

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{NN} (q_{ji} - q_{ji}(f_1))^2}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{NN} (q_{ji} - \bar{q}_{ji})^2}, \quad (22)$$

где

$$q_{ji}(f_1) = f_1 * \Delta T_{ji} \quad (23)$$

$$\bar{q}_{ji} = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{NN} q_{ji}}{J \cdot NN} \quad (24)$$

Критерием корректности найденного значения  $f_1$  является условие

$$R > 0,75 \quad (25)$$

При невыполнении данного условия увеличивают продолжительность анализируемого периода.

Среднеквадратичную погрешность отклонения величины  $q_{jL}$  определяют по формуле

$$\sigma_{q_{jL}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{NN} (q_{ji} - q_{ji}(f_1))^2}{N-1}. \quad (26)$$

Среднеквадратичную погрешность отклонения показателя удельных теплопотерь,  $f_1$  определяют по формуле

$$\sigma_{f_1} = \sqrt{\frac{\sigma_{q_{jL}}^2}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{NN-1} \Delta T_{ji}^2}} \quad (27)$$

где  $f_1$  – найденное значение удельного коэффициента теплопотерь.

С увеличением продолжительности анализируемого периода погрешность определения теплоэнергетических характеристик снижается.

## 6 Информация, необходимая для определения теплоэнергетических характеристик зданий.

- Ежемесячные показания счетчика  $Q_i$ , кВтч (архивные данные или непосредственное считывание), установленного в сети теплоснабжения здания.
- (\*) Ежемесячные значения тепловой энергии в системе отопления здания  $Q_i$  (кВтч) за месяцы анализируемого периода.
- (\*) Ежемесячные значения тепловой энергии в системе горячего водоснабжения здания (ГВС)  $Q_{gi}$ (кВтч) за месяцы анализируемого периода.
- Температуру холодной воды  $T_q$ , а также температуру воды в прямом  $T_{w1}$  и обратном  $T_{w2}$  трубопроводах системы ГВС °С.
- Массу горячей воды  $M_{gi}$ , потребленной из системы жильцами, кг.
- $N$  – количество суток в среднем отопительном сезоне.
- $T_{iin}$  и  $T_{iout}$  – средняя температура воздуха на  $i$ -м измерительном интервале внутри и снаружи здания, соответственно, °С.
- $A_{от}$  – отапливаемая площадь здания.
- $A_i, A_k$  – площадь жилых помещений и кухонь, соответственно, м<sup>2</sup>.
- $z_{ht}$  – расчетная продолжительность отопительного периода, сут, определяемая в соответствии с СНБ 2.04.02.
- $\tau_F$  – коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами их конструкции; принимаемый по проектным данным; при отсутствии данных принимают в соответствии с ТКП 45-2.04-196 (приложение Г).
- $k_F, k_c$  – коэффициенты относительного пропускания солнечной радиации светопрозрачной конструкции; принимают по паспортным данным соответствующих изделий; при отсутствии данных допускается принимать в соответствии с ТКП 45-2.04-196 (приложение Г); мансардные окна с углом наклона к горизонту 45° и более следует рассчитывать как вертикальные, с углом наклона менее 45° – как зенитные фонари.

- $A_{F1}, A_{F2}, A_{F3}, A_{F4}$  – площадь световых проемов окон по сторонам света соответственно, м<sup>2</sup>.
- $\nu$  – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций, принимаемый в соответствии с ТКП 45-2.04-196.
- $\xi$  – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системе отопления, принимаемый в соответствии с ТКП 45-2.04-196 (таблица 1).
- $\beta_h$  – коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери, связанные с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплотерями через радиаторные участки ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения, принимаемый в соответствии с ТКП 45-2.04-196.

(\*) – для систем теплоснабжения с раздельным учетом энергии.