

## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.18

*ЦВЕТКОВ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
nac.tsuab@yandex.ru*

*ТОЛСТЫХ АЛЕКСАНДР ВИТАЛЬЕВИЧ, канд. физ.-мат. наук, доцент,  
sinvintie@rambler.ru*

*ДОРОШЕНКО ЮЛИЯ НИКОЛАЕВНА, канд. техн. наук, доцент,  
kafotorvent1@rambler.ru*

*ПЕНЯВСКИЙ ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент,  
rvv.tgasu@yandex.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

### **ОЦЕНКА РЕАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ**

Разработан и апробирован метод проведения натурных испытаний по инструментальному определению энергетической эффективности систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения эксплуатируемых жилых и общественных зданий. Приведены основные результаты, полученные при его использовании. Проведенные натурные испытания по определению потребления тепловой энергии инженерными системами жилого дома, расположенного по ул. Архитекторов, 3 (г. Томск), показали, что фактическая энергоэффективность проверяемых инженерных систем соответствует заявленной в энергетическом паспорте здания. Результаты, полученные при проведении испытаний, могут быть использованы для мониторинга и регулирования работы инженерных систем зданий в целях повышения их энергоэффективности.

**Ключевые слова:** энергоэффективность здания; инженерные системы здания; отопление; вентиляция; горячее водоснабжение; натурные испытания; годовой удельный расход тепловой энергии; класс энергетической эффективности; энергопотребление.

*NIKOLAI A. TSVETKOV, DSc, Professor,  
nac.tsuab@yandex.ru*

*ALEKSANDR V. TOLSTYKH, PhD, A/Professor,  
sinvintie@rambler.ru*

*YULIYA N. DOROSHENKO, PhD, A/Professor,  
kafotopvent1@rambler.ru  
VITALII V. PENYAVSKII, PhD, A/Professor,  
pvv.tgasu@yandex.ru  
Tomsk State University Of Architecture And Building,  
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

## **ESTIMATION OF THERMAL ENERGY EFFICIENCY USED IN BUILDING OPERATION**

The paper presents the field test method for measurements of the energy efficiency of heating, ventilation and hot water supply systems of residential and public buildings. The field tests carried out in Tomsk, Russia, show the actual energy efficiency of engineering systems is consistent with that stated in the energy passport of the building. The obtained results can be used for monitoring and control for engineering systems of buildings with a view to improve their energy efficiency.

**Keywords:** energy efficiency; engineering systems; hot water supply system; ventilation system; field test; annual specific flow rate of thermal energy; energy efficiency class; power consumption.

В настоящее время все большее значение приобретают разработка и апробация способов проверки реальной энергоэффективности как вводимых в эксплуатацию, так и уже эксплуатируемых зданий и сооружений.

Согласно требованиям Федерального закона РФ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», должен быть составлен энергетический паспорт зданий, оценивающий их энергоэффективность. Энергетический паспорт зданий разрабатывается при выполнении проектных работ и корректируется на основании результатов натурных измерений сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций. Основы проектирования энергоэффективных зданий заложены в работах [1, 2]. В дальнейшем вопросы, связанные с проблемами энергосбережения в зданиях, рассматривались в работах отечественных ученых [3–9]. В работе [3] выполнен расчет энергоэффективности и проведена оценка целесообразности энергосберегающих мероприятий для нескольких административных зданий различного назначения. Авторы работы [4], изучая результаты модернизации жилых зданий, оценили эффективность проведенных энергосберегающих мероприятий. Оценка энергосберегающего потенциала систем отопления и вентиляции дана в работах [5–7]. На основе разработанной модели энергетической системы здания предложен метод учета эффективности энергосберегающих мероприятий [8]. В работе [9] рассмотрены способы оптимизации тепловой эффективности проектируемого здания с учетом всего срока эксплуатации. В работе [10] рассмотрены модели теплового комфорта в помещениях зданий. Авторы [11] предложили различные способы повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий.

Во всех вышеперечисленных исследованиях для оценки энергоэффективности зданий и сооружений применяются расчетные методы. Однако для того, чтобы оценить реальную энергоэффективность здания, нужно определить фактический удельный годовой расход тепловой энергии на отопление,

вентиляцию и горячее водоснабжение, для чего необходимо использовать экспериментальные методы. Практическое применение нашли два метода определения энергетических характеристик зданий: основанный на показаниях приборов учета энергоносителей [12] и расчетно-экспериментальный. В работе [12] на основании показаний приборов учета энергопотребления определен класс энергоэффективности эксплуатируемого жилого дома. В качестве примера использования расчетно-экспериментального метода можно привести экспериментальные исследования по определению энергоэффективности жилого многоквартирного дома [13]. В отличие от работы [12], авторы [13] используют данные приборов учета тепловой энергии не за год, а за двухнедельный период, полученные данные затем экстраполируются на весь годовой период. Способ определения энергоэффективности здания, предложенный в работе [13], не предусматривает измерения температуры внутреннего воздуха в квартирах зданий или в каналах вентиляционных систем, также не учитывается влагосодержание воздуха, удаляемого системами вентиляции, и такие климатические параметры, как интенсивность солнечной радиации, скорость ветра в период проведения измерений. Кроме того, не оцениваются затраты тепла на горячее водоснабжение.

Целью настоящей статьи является описание метода проведения и результатов натурных испытаний по инструментальному определению энергетической эффективности систем отопления, вентиляции и ГВС вводимых в эксплуатацию и эксплуатируемых жилых и общественных зданий, основанного на способах и методиках, разработанных в ГУП «НИИМосстрой»<sup>1</sup>.

В ходе испытания была выполнена проверка соответствия фактических показателей энергетической эффективности и энергопотребления систем отопления, вентиляции и ГВС многоквартирного двухподъездного 10-этажного жилого дома, расположенного по адресу г. Томск, ул. Архитекторов, 3, нормативным значениям, определенным по энергетическому паспорту здания.

Испытания систем отопления и вентиляции проводились в течение восьми суток, при этом были обеспечены нормальные климатические условия в помещениях здания, согласно требованиям ГОСТ 30494–96. Продолжительность испытаний энергопотребления в системе ГВС составила одни сутки.

В ходе инструментального этапа испытаний были проведены почасовые измерения и регистрация в компьютерной системе накопления данных:

- расхода тепловой энергии на отопление здания;
- потребления тепловой энергии на вводе водяной системы отопления здания;
- температуры, относительной влажности и скорости воздуха на выходах вентиляционных шахт, через которые осуществляется удаление воздуха из санузлов и кухонь квартир данного здания;
- температуры, относительной влажности и скорости воздуха на общей вытяжной шахте, предназначенной для удаления воздуха с теплого чердака;

<sup>1</sup> База нормативных документов. Методика проведения натурных теплотехнических испытаний по инструментальному определению энергопотребления вводимых в эксплуатацию зданий и оценки их соответствия требованиям энергетической эффективности. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293771/4293771176.pdf>

– температуры, относительной влажности наружного воздуха, скорости ветра;  
 – потребления тепловой энергии системой горячего водоснабжения здания;  
 – значений расходов и температур горячей и холодной воды;  
 – значений циркуляционных расходов и температур воды;  
 – значений температур в местах, приближенных к точкам водоразбора горячей воды.

Для того чтобы провести оценку удельного годового расхода тепловой энергии зданием, необходимо выполнить обработку полученных экспериментальных данных, предусматривающую определение фактического количества энергии, расходуемого зданием на нужды отопления и вентиляции, приведенного к градусо-часу периода испытаний, а также провести расчет удельных затрат энергии на нагрев холодной сетевой воды для целей горячего водоснабжения без учета потерь тепловой энергии при циркуляции и в водяных полотенцесушителях.

Количество энергии, расходуемое зданием на цели отопления в заселенном доме, может быть определено из уравнения теплового баланса здания за период испытаний<sup>2</sup>:

$$Q_{\text{от,изм}} = [Q_{\text{вент,изм}} + Q_{\text{тр}}(1 + \beta_{\text{акк}}) - (Q_{\text{быт}} + Q_{\text{рад,изм}})v\xi]\beta_h, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{от,изм}}$  – полученное по результатам измерений количество энергии, фактически израсходованное зданием на цели отопления за период испытаний, кВт·ч;  $Q_{\text{вент,изм}}$  – полученное по результатам измерений количество энергии, фактически израсходованное зданием на подогрев приточного и/или инфильтрационного воздуха за период испытаний, кВт·ч;  $Q_{\text{рад,изм}}$  – полученное по результатам измерений количество энергии, поступившее в здание за счет солнечной радиации за период испытаний, кВт·ч;  $Q_{\text{тр}}$  – количество энергии, теряемое зданием через ограждающие конструкции (трансмиссионные потери), кВт·ч;  $\beta_{\text{акк}}$  – коэффициент аккумуляции, учитывающий расход тепловой энергии, связанной с теплоаккумуляционной способностью ограждающих конструкций здания за период испытаний;  $v$  – коэффициент, учитывающий снижение использования теплоступлений в период превышения их над теплопотерями;  $\xi$  – коэффициент эффективности авторегулирования системы отопления;  $\beta_h$  – коэффициент учета дополнительных теплопотерь системы отопления.

Из уравнения (1) получим выражение для трансмиссионных потерь тепла, отнесенных к градусо-часам периода испытаний  $D_z$ :

$$H_{\text{тр,ф}} = \frac{Q_{\text{тр}}}{D_z} = \frac{1}{(1 + \beta_{\text{акк}})D_z} \left[ \frac{Q_{\text{от,изм}}}{\beta_h} - Q_{\text{вент,изм}} + v\xi(Q_{\text{быт}} + Q_{\text{рад,изм}}) \right], \quad (2)$$

<sup>2</sup> База нормативных документов. Методика проведения натуральных теплотехнических испытаний по инструментальному определению энергопотребления вводимых в эксплуатацию зданий и оценки их соответствия требованиям энергетической эффективности. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293771/4293771176.pdf>

где 
$$D_z = (t_b^{cp} - t_n^{cp})\tau_z, \quad (3)$$

$t_b^{cp}$ ,  $t_n^{cp}$  – средние температуры внутреннего и наружного воздуха, °С;  $\tau_z$  – продолжительность периода испытаний, ч.

Величина  $H_{тр,ф}$  определяется только теплотехническими свойствами ограждающих конструкции здания, поэтому  $H_{тр,ф} = H_{тр}^{год}$ , и уравнение баланса энергии за отопительный период можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} Q_{от}^{год} &= [H_{тр,ф} D_h + Q_{вент}^{год} - (Q_{быт}^{год} + Q_{рад}^{год}) v \xi] \beta_h = \\ &= Q_{от,изм} \frac{D_h}{D_z (1 + \beta_{акк})} + \Delta Q_{вент} - \Delta Q_{быт} - \Delta Q_{рад}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $D_h$  – градусо-часы отопительного периода. Исходя из формулы (4), можно найти удельное потребление энергии на отопление и вентиляцию

$$q_{от} = \frac{Q_{от,изм} D_h}{A_h D_z (1 + \beta_{акк})} + \Delta q_{вент} - \Delta q_{быт} - \Delta q_{рад}, \quad (5)$$

где  $\Delta q_{вент} = \frac{\beta_h c_a \rho_a D_h}{3600 A_h} \left[ L - \frac{V_{вент}^h}{\tau_z (1 + \beta_{акк})} \right]$ ;  $A_h$  – площадь квартир или помещений

здания, м<sup>2</sup>;  $c_a$ ,  $\rho_a$  – теплоемкость и плотность воздуха, удаляемого системами вентиляции, кДж/(кг · °С), кг/м<sup>3</sup>;  $L$  – среднее за отопительный сезон часовое количество приточного воздуха, необходимого для вентиляции помещений, м<sup>3</sup>/ч;  $V_{вент}^h$  – количество приточного воздуха, нагретого системой отопления здания и удаляемого через общедомовые вытяжные вентиляционные шахты и шахты дымоудаления за период испытаний, м<sup>3</sup>/ч;  $\Delta q_{быт} = v \xi \beta_h q_{быт} \left( 1 - \frac{\tau_z D_h}{\tau_h D_z (1 + \beta_{акк})} \right)$ ;  $\tau_h$  – продолжительность отопительного периода, ч;  $q_{быт} = 17 \cdot 10^{-3} \tau_h A_r / A_h$  – удельные бытовые тепловыделения в здании за отопительный период, кВт · ч / м<sup>2</sup>;  $A_r$  – площадь жилых помещений, м<sup>2</sup>;  $\Delta q_{рад} = v \xi \beta_h q_{рад} \left( 1 - \frac{I_{F,изм}^{cp} D_h}{I_S^{cp} D_z (1 + \beta_{акк})} \right)$ ;

$q_{рад} = \tau_F k_F A_F I_S^{cp} / A_h$ ;  $I_S^{cp} = 395$  кВт · ч / м<sup>2</sup> – средняя величина интенсивности солнечной радиации через светопрозрачные конструкции здания для г. Томска;  $\tau_F$  – коэффициент, учитывающий затенение непрозрачными элементами заполнения светопрозрачных конструкций;  $A_F$  – площадь светопрозрачных конструкций, м<sup>2</sup>;  $k_F$  – коэффициент относительного проникания солнечной радиации для светопрозрачной конструкции;  $I_{F,изм}^{cp}$  – фактически измеренная величина интенсивности солнечной радиации через светопрозрачные конструкции здания, кВт · ч / м<sup>2</sup>.

Удельное потребление энергии на горячее водоснабжение определяется по формуле

$$q_{\text{ГВС}} = [Q_{\text{цир}} + q_{\text{ГВ}} (t_{\text{ГВ}}^{\text{норм}} - t_{\text{ХВ}}^{\text{норм}}) V_{\text{ГВ}}^{\text{норм}} m_{\text{ж}}] \frac{365}{A_{\text{н}}} \xi_{\text{ГВС}}, \quad (6)$$

где  $t_{\text{ГВ}}^{\text{норм}}$ ,  $t_{\text{ХВ}}^{\text{норм}}$ ,  $V_{\text{ГВ}}^{\text{норм}}$  – нормированные значения температур и количества горячей воды, °С, м<sup>3</sup>;  $m_{\text{ж}}$  – количество жителей;  $Q_{\text{цир}}$  – тепловая энергия, расходуемая на компенсацию тепловых потерь в трубопроводах системы ГВС и в полотенцесушителях, кВт·ч;  $q_{\text{ГВ}}$  – удельные затраты энергии на нагрев холодной сетевой воды для целей горячего водоснабжения без учета потерь тепловой энергии при циркуляции и в водяных полотенцесушителях, кВт·ч/(м<sup>3</sup>·°С);  $\xi_{\text{ГВС}}$  – коэффициент, учитывающий снижение удельных затрат энергии на ГВС.

Алгоритм обработки данных, полученных при проведении натуральных испытаний, был реализован в таблицах Microsoft Excel. В результате расчетов было установлено фактическое количество энергии, расходуемое зданием на цели отопления, приведенное к градусо-часу периода испытаний  $H_{\text{от.ф}}$ , Вт/°С.

Значения  $H_{\text{от.ф}}$  и другие важные характеристики, найденные при обработке результатов измерений потребления тепловой энергии системами отопления и вентиляции, представлены в табл. 1.

В результате обработки электронных отчетов систем контроля ГВС были найдены удельные затраты энергии на нагрев на 1 °С 1 м<sup>3</sup> холодной сетевой воды для целей горячего водоснабжения без учета потерь тепловой энергии при циркуляции и в водяных полотенцесушителях. Основные данные, связанные с энергопотреблением на ГВС, приведены в табл. 2.

Полученные в инструментальных испытаниях данные по энергоэффективности и энергопотреблению здания были пересчитаны на нормированные условия типового климатического года г. Томска, при этом использовались показатели энергетического паспорта здания.

Таблица 1

**Результаты натуральных испытаний по инструментальному определению энергетической эффективности и энергопотребления системы отопления здания**

№ п/п	Показатель	Обозначение, ед. измерения	Фактическое значения	Формула для расчета
1	Количество энергии, фактически израсходованное зданием на цели отопления за период испытаний	$Q_{\text{от.изм}}$ , кВт·ч	13 155,9	Определяется по результатам фактических измерений за период испытаний $\tau_z$
2	Средняя за период испытаний температура наружного воздуха	$t_{\text{н}}^{\text{ср}}$ , °С	-3,77	Определяется по результатам испытаний $t_{\text{н}}^{\text{ср}} = \frac{1}{\tau_z} \sum_{k=1}^{\tau_z} t_{\text{н},k}$ усреднением почасовых значений $t_{\text{н},k}$ температуры наружного воздуха

Продолжение табл. 1

№ п/п	Показатель	Обозначение, ед. измерения	Фактическое значения	Формула для расчета
3	Средняя за период испытаний температура удаляемого внутреннего воздуха в отапливаемом здании	$t_{удал}^{cp}, ^\circ C$	24,9	<p>Определяется по результатам измерений <math>t_{удал}^{cp} = \frac{\sum_{k=1}^{\tau_z} \left( \sum_{i=1}^n V_{вент,i,k} t_{i,k}^{вых} \right)}{\sum_{k=1}^{\tau_z} \left( \sum_{i=1}^n V_{вент,i,k} \right)}</math></p> <p>как средневзвешенное значение температуры внутреннего воздуха по всем почасовым значениям <math>t_{i,k}^{вых}</math>, измеренным на выходе каждой из вытяжных вентиляционных шахт, с весами <math>V_{вент,i,k} = 3600 A_i v_{i,k}</math> соответствующих объемов вытяжного воздуха; <math>n</math> – суммарное количество вентиляционных шахт</p>
4	Количество энергии, израсходованное на подогрев приточного воздуха, нагретого системой отопления за период испытаний	$Q_{вент,изм}, кВт \cdot ч$	9972	<p>Определяется по формуле <math>Q_{вент,изм} = \frac{c_a \rho_a V_{вент}^h}{3600} (t_{удал}^{cp} - t_n^{cp})</math></p>
5	Градусо-часы периода испытаний	$D_z, ^\circ C \cdot ч$	5505	Определяются по формуле (3)
6	Количество приточного воздуха, нагретого системой отопления здания и удаляемого через общедомовые вытяжные вентиляционные шахты за период испытаний	$V_{вент}^h, м^3$	1 041 059	<p><math>V_{вент}^h = 3600 \tau_z \sum_{i=1}^m A_i V_i</math>, где <math>A_i, м^2</math> – площадь вытяжного отверстия;</p> <p><math>V_i = \frac{1}{\tau_z} \sum_{k=1}^{\tau_z} V_{i,k}</math> – средняя за период испытаний скорость удаляемого воздуха для <math>i</math>-й шахты, м/с; <math>V_{i,k}</math> – усредненная по площади <math>i</math>-й шахты скорость удаляемого воздуха для <math>k</math>-го испытания, м/с; <math>m</math> – суммарное количество вентиляционных шахт</p>
7	Количество энергии, израсходованное зданием за период испытаний на нагрев приточного воздуха, отнесенное к градусо-часу периода испытаний	$H_{вент,изм}, кВт/^\circ C$	1,81	<p>Определяется по формуле <math>H_{вент,изм} = \frac{Q_{вент,изм}}{D_z}</math></p>

Окончание табл. 1

№ п/п	Показатель	Обозначение, ед. измерения	Фактическое значение	Формула для расчета
8	Количество энергии, израсходованное зданием за период испытаний на цели отопления, отнесенное к градусо-часу периода испытаний	$H_{от,изм}$ , кВт/°С	2,39	Определяется по формуле $H_{от,изм} = \frac{Q_{от,изм}}{D_z}$
9	Количество энергии, расходуемое зданием на компенсацию тепловых потерь через ограждающие конструкции (трансмиссионные потери), отнесенное к градусо-часу периода испытаний	$H_{тр,ф}$ , кВт/°С	1,79	Определяется по формуле (2)
10	Количество энергии, расходуемое зданием на цели отопления, приведенное к градусо-часу периода испытаний	$H_{от,ф}$ , кВт/°С	3,60	Определяется по формуле $H_{от,ф} = H_{тр,ф} + H_{вент,изм}$

Таблица 2

**Результаты натуральных испытаний по инструментальному определению энергетической эффективности и энергопотребления системы ГВС здания**

№ п/п	Показатель	Обозначение, ед. измерения	Фактическое значение	Формула для расчета
1	Усредненная за сутки испытаний температура горячей воды в подающем трубопроводе	$t_{г}^{cp}$ , °С	55,66	Определяется по результатам испытаний по формуле $t_{г}^{cp} = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^n t_{г,m}$
2	Усредненная за сутки испытаний температура холодной воды в трубопроводе	$t_{хв}^{cp}$ , °С	13,6	Определяется по результатам испытаний по формуле $t_{хв}^{cp} = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^n t_{хв,m}$
3	Усредненный за сутки испытаний расход холодной воды в трубопроводе	$G_{хв}^{cp}$ , м <sup>3</sup> /ч	2,46	Определяется по результатам испытаний по формуле $G_{хв}^{cp} = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^n G_{хв,m}$



Окончание табл. 2

№ п/п	Показатель	Обозначение, ед. измерения	Фактическое значение	Формула для расчета
4	Количество тепловой энергии, израсходованное системой ГВС, включая потери тепла при циркуляции и в полотенцесушителях	$Q_{\text{сум}}$ , кВт·ч	2883	Определяется по формуле $Q_{\text{сум}} = G_{\text{хв}}^{\text{ср}} (h_{\text{г}}^{\text{ср}} - h_{\text{хв}}^{\text{ср}}) \tau / 3600$ , где $(h_{\text{г}}^{\text{ср}} - h_{\text{хв}}^{\text{ср}})$ – усредненная за сутки разность энтальпий холодной и горячей воды
5	Период испытаний	$\tau$ , ч	24	$\tau = 24$ ч
6	Усредненный за сутки испытаний расход горячей воды в циркуляционном трубопроводе	$G_{\text{цир}}^{\text{ср}}$ , м <sup>3</sup> /ч	1,87	Определяется по результатам испытаний по формуле $G_{\text{цир}}^{\text{ср}} = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^n G_{\text{цир},m}$
7	Усредненная за сутки испытаний температура горячей воды в циркуляционном трубопроводе	$t_{\text{цир}}^{\text{ср}}$ , °С	47,75	Определяется по результатам испытаний по формуле $t_{\text{цир}}^{\text{ср}} = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^n t_{\text{цир},m}$
8	Тепловая энергия, расходуемая на компенсацию тепловых потерь в трубопроводах системы ГВС и в полотенцесушителях	$Q_{\text{цир}}$ , кВт·ч	2489,80	Определяется по формуле $Q_{\text{цир}} = G_{\text{цир}}^{\text{ср}} h_{\text{цир}}^{\text{ср}} \tau / 3600$ , где $h_{\text{цир}}^{\text{ср}}$ – усредненная энтальпия горячей воды в циркуляционном трубопроводе
9	Количество горячей воды, непосредственно использованной потребителями	$V_{\text{гв}}^{\text{ср}}$ , м <sup>3</sup>	14,10	Определяется по формуле $V_{\text{гв}}^{\text{ср}} = (G_{\text{хв}}^{\text{ср}} - G_{\text{цир}}^{\text{ср}}) \tau$
10	Усредненная за сутки испытаний температура горячей воды в подающем трубопроводе вблизи водоразборов	$t_{\text{гв}}^{\text{ср}}$ , °С	52,66	Определяется по результатам испытаний по формуле $t_{\text{гв}}^{\text{ср}} = \frac{1}{\tau} \sum_{m=1}^n t_{\text{гв},m}$
11	Удельные затраты энергии на нагрев на 1 °С 1 м <sup>3</sup> холодной сетевой воды для целей горячего водоснабжения без учета потерь тепловой энергии при циркуляции и в водяных полотенцесушителях	$q_{\text{гв}}$ , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3 \cdot \text{°С}}$	0,66	Определяется по формуле $q_{\text{гв}} = \frac{Q_{\text{сум}} - Q_{\text{цир}}}{V_{\text{гв}} (t_{\text{гв}}^{\text{ср}} - t_{\text{хв}}^{\text{ср}})}$

На основании результатов натурных испытаний и данных, представленных в табл. 1, 2, была проведена оценка соответствия нормативным показате-

лям энергетической эффективности фактического энергопотребления систем отопления, вентиляции и ГВС. Эти результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты оценки соответствия нормативным показателям энергетической эффективности фактического энергопотребления здания**

Оцениваемые параметры	Единицы измерения	Нормативное значение параметра	Фактическое значение, приведенное к нормативным условиям	Формула для расчета
1. Удельное потребление энергии на отопление, вентиляцию горячее водоснабжение общедомовых систем, в т. ч.:	кВт·ч/ (м <sup>2</sup> год)	447,21	428,56	$q = q_{от} + q_{ГВС}$
1.1. Удельное потребление энергии на отопление и вентиляцию, включая:	кВт·ч/ (м <sup>2</sup> год)	135,99	130,75	Определяется по формуле (5)
1.1.1. Удельное потребление энергии на компенсацию трансмиссионных потерь	кВт·ч/ (м <sup>2</sup> год)	97,42	85,91	$q_{тр} = H_{тр,ф} \frac{D_h}{A_h}$
1.1.2. Удельное потребление энергии на вентиляцию (инфильтрацию)	кВт·ч/ (м <sup>2</sup> год)	38,57	91,96	$q_{вент} = H_{вент,изм} \times \frac{D_h L \tau_z}{A_h V_{вент}^h}$
1.2. Удельное потребление энергии на горячее водоснабжение	кВт·ч/ (м <sup>2</sup> год)	311,22	297,81	Определяется по формуле (6)

Как видно из данных табл. 3, основные фактические показатели энергопотребления здания не превышают соответствующих нормативных характеристик, определенных по данным, представленным в энергетическом паспорте. Таким образом, в результате проведенных натурных испытаний установлено, что фактическая энергоэффективность проверяемых инженерных систем жилого дома, расположенного по адресу г. Томск, ул. Архитекторов, 3, соответствует заявленной в энергетическом паспорте здания.

Удельное годовое потребление энергии на компенсацию трансмиссионных потерь тепла, определенное по результатам натурных измерений, составляет 85,91 кВт·ч/м<sup>2</sup>, что также не превышает соответствующей нормативной величины 97,42 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Однако удельное потребление энергии на вентиляцию (инфильтрацию) 91,95 кВт·ч/м<sup>2</sup> существенно превосходит соответствующий нормативный показатель 38,56 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Возможная причина этого несоответствия заключается в том, что прогностическая формула для определения затрат удельной энергии на вентиляцию (инфильтрацию) за год спра-

ведлива только при проведении испытаний в незаселенном доме, т. к. она не учитывает возможное несанкционированное подключение к системам естественной вытяжной вентиляции бытовых накладных вентиляторов или кухонных вытяжек, степень открытия оконных приточных клапанов, а также приток воздуха через открытые окна или балконные двери.

На основе проведенных натурных испытаний по определению реального энергопотребления жилого дома показано практическое применение основных положений и методов, предложенных в Методике проведения натурных теплотехнических испытаний по инструментальному определению энергопотребления вводимых в эксплуатацию зданий и оценки их соответствия требованиям энергетической эффективности. Разработанная методика контроля реального энергосбережения эксплуатируемых жилых зданий позволяет выполнять оценку достигнутой эффективности комплекса энергосберегающих мероприятий. Результаты, полученные при проведении испытаний, целесообразно применять при регулировании работы эксплуатируемых инженерных систем для повышения их энергоэффективности, а также при мониторинге энергопотребления и энергоаудите зданий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Богословский, В.Н.* Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. – М. : Стройиздат, 1979. – 248 с.
2. *Табунщиков, Ю.А.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бородач. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
3. *Расчет энергоэффективности зданий и сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий / О.Д. Самарин, П.С. Васин, Н.Н. Зайцев, Р.Ф. Гарифуллин, Н.В. Загорцева // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 5. – С. 32–36.*
4. *Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий / Ю.А. Табунщиков, В.И. Ливчак, В.Г. Гагарин, Н.В. Шилкин // АВОК. – 2009. – № 5. – С. 38–47.*
5. *Грановский, В.Л.* Энергоэффективные здания – комплексное решение для систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения / В.Л. Грановский // АВОК. – 2014. – № 4. – С. 20–28.
6. *Балмазов, М.В.* Энергосберегающие системы отопления, вентиляции и кондиционирования в квартирах многоэтажных зданий / М.В. Балмазов, О.Я. Кокорин // Сантехника Отопление Кондиционирование (СОК) [официальный сайт]. – Условия доступа : <http://www.c-o-k.ru/articles/energoberegayuschie-sistemy-otopleniya-ventilyacii-i-kondicionirovaniya-v-kvartirah-mnogoetazhnyh-zdaniy>
7. *Куликов, В.В.* Сравнение энергоэффективности различных вариантов организации вентиляции в зданиях системы «КУПАСС» / В.В. Куликов, А.В. Толстых, В. В. Пенявский // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 5. – С. 151–160.
8. *Табунщиков, Ю.А.* Принципы определения годового энергопотребления на климатизацию зданий / Ю.А. Табунщиков, Ю.В. Миллер // АВОК. – 2008. – № 5. – С. 4–11.
9. *Федюк, Р.С.* Системное проектирование энергоэффективных зданий / Р.С. Федюк // Вестник РУДН. Инженерные исследования. – 2011. – № 3. – С. 19–23.
10. *Cheng, Y.* Thermal comfort models: A review and numerical investigation / Y. Cheng, J. Nin, N. Gao // Building and Environment. – 2012. – V. 47. – P. 13–22.
11. *Technical note: Airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon / H. Orr, J. Wang, D. Fetsch, R. Dumont // Journal of Building Physics. – 2013. – V. 36. – P. 294–307.*
12. *Наумов, А.Л.* Определение класса энергетической эффективности эксплуатируемых жилых многоквартирных домов / А.Л. Наумов, Д.В. Капко // Энергосбережение. – 2015. – № 8. – С. 24–29.

13. Корниенко, С.В. Расчетно-экспериментальный контроль энергосбережения зданий / С.В. Корниенко // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 8. – С. 24–30.

## REFERENCES

1. *Bogoslovskii V.N.* Teplovoi rezhim zdaniya [Thermal behavior of building]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1979. 248 p. (rus)
2. *Tabunshchikov Yu.A., Brodach M.M.* Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teplovoi effektivnosti zdaniy [Mathematical simulation and optimization of building thermal efficiency]. Moscow: ABOK Association Publ., 2002, 194 p. (rus)
3. *Samarin O.D., Vasin P.S., Zaitsev N.N., Garifullin R.F., Zagortseva N.V.* Raschet energoeffektivnosti zdaniy i sravnitel'naya effektivnost' energosberegayushchikh meropriyatii [Energy efficiency of buildings and comparative efficiency of energy-saving measures]. *Novosti teplosnabzheniya*. 2004. No. 5. Pp. 32–36. (rus)
4. *Tabunshchikov Yu.A., Livchak V.I., Gagarin V.G., Shilkin N.V.* Puti povysheniya energoeffektivnosti ekspluatiruemykh zdaniy [Efficiency improvement of building operation]. *ABOK*. 2009. No. 5. Pp. 38–47. (rus)
5. *Granovsky V.L.* Energoeffektivnyye zdaniya – kompleksnoe reshenie dlya sistem otopeniya, ventilyatsii i goryachego vodosnabzheniya [Energy efficient buildings as complex decision for heating supply and ventilation systems]. *AVOK*. 2014. No. 4. Pp. 20–28. (rus)
6. *Balmazov M.V., Kokorin O.Ya.* Santekhnika Otoplenie Konditsionirovanie (COK). Energosberegayushchie sistemy otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya v kvartirakh mnogoetazhnykh zdaniy [Plumbing, heating and conditioning systems. Energy saving systems of heating, ventilation and conditioning in multi-storey buildings]. Available at: [www.c-ok.ru/articles/energoberegayushchie-sistemy-otopeniya-ventilyatsii-i-konditsionirovaniya-v-kvartirah-mnogoetazhnykh-zdaniy/](http://www.c-ok.ru/articles/energoberegayushchie-sistemy-otopeniya-ventilyatsii-i-konditsionirovaniya-v-kvartirah-mnogoetazhnykh-zdaniy/) (rus)
7. *Kulikov V.V., Tolstykh A.V., Penyavskii V.V.* Sravnenie energoeffektivnosti razlichnykh variantov organizatsii ventilyatsii v zdaniyakh sistemy KUPASS [Energy efficiency of different ventilation types in the universal prefabricated antiseismic building system]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 5. Pp. 151–160. (rus)
8. *Tabunshchikov Yu.A., Miller Yu.V.* Printsipy opredeleniya godovogo energopotrebleniya na klimatizatsiyu zdaniy [Determination principles of annual energy consumption of air conditioning]. *ABOK Association Publ.*, 2008. No. 5. Pp. 4–11. (rus)
9. *Fedyuk R.S.* Sistemnoe proektirovanie energoeffektivnykh zdaniy [System design of energy efficient buildings]. *Vestnik RUDN, seriya Inzhenernyye issledovaniya*. 2011. No 3. Pp. 19–23. (rus)
10. *Cheng Y., Nin J., Gao N.* Thermal comfort models: A review and numerical investigation. *Building and Environment*. 2012. V. 47. Pp. 13–22.
11. *Orr H., Wang J., Fetsch D., Dumont R.* Technical note: Airtightness of older-generation energy-efficient houses in Saskatoon. *Journal of Building Physics*. 2013. V. 36. Pp. 294–307.
12. *Naumov A.L., Kapko D.V.* Opredelenie klassa energeticheskoi effektivnosti ekspluatiruemykh zhilykh mnogokvartirnykh domov [Class determination of energy efficiency of houses]. *Energoberezhenie*. 2015. No. 8. Pp. 24–29. (rus)
13. *Korniienko S.V.* Raschetno-eksperimental'nyi kontrol' energosberezheniya zdaniy [Analysis and experimental control of building energy saving]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No. 8. Pp. 24–30. (rus)