

Энергопотребление четырёх жизнеобеспечивающих систем зданий

Рецензия эксперта на статью получена 30.01.2018 [Expert review on the article was received on January 30, 2018].

В нынешнее время на разных площадках ведутся ожесточённые споры по поводу полного и корректного отображения в отечественной нормативной базе данных энергопотребляющих характеристик зданий, включающих как тепловую, так и электрическую энергии.

К сожалению, в данный момент нет единого подхода к определению энергопотребления зданий и сооружений различного назначения. Несмотря на некоторые положительные продвижения в совершенствовании нормативных документов, основные проблемы остаются. Иногда возникают новые из-за неправильной интерпретации и актуализации, вследствие непрофессиональной проработки материалов.

Также, на наш взгляд, недостаёт и различных количественных сведений для зданий различного назначения.

В настоящей статье приведены данные, полученные по методу, основанному на развитии классического определения В.М. Чаплина об удельной тепловой характеристике здания, отнесённого к наружному обмеру здания [1–4]. Его дальнейшее развитие отражено в разработке методики расчёта четырёх инженерных систем обеспечения микроклимата зданий В.И. Прохорова [3–5] и методу, присписываемому СП 50.13330.2012*.

Главными отличиями данных методов являются следующие — в первом методе используются наружный объём здания

и четыре теплопотребляющие системы жизнеобеспечения здания [6,7], сохраняющие аддитивность результатов, а во втором — внутренний объём здания и только две теплопотребляющие системы отопления и механической вентиляции, согласно СП 50.13330.2012.

Исходные данные

1. Канализационная насосная станция (город Дмитров): наружный объём здания $V_n = 37040 \text{ м}^3$; внутренний объём здания $V_{вн} = 33640 \text{ м}^3$; температура наружного воздуха $t_{н0,92} = -28^\circ\text{C}$.

В данный момент нет единого подхода к определению энергопотребления зданий и сооружений различного назначения. Несмотря на некоторые положительные продвижения в совершенствовании нормативных документов, основные проблемы остаются. Иногда возникают новые из-за неправильной интерпретации и актуализации, вследствие непрофессиональной проработки материалов

2. Трёхэтажный 18-квартирный жилой дом был построен после 2000 года (город Елабуга): в аналогичных обозначениях: $V_n = 6200 \text{ м}^3$; $V_{вн} = 4900 \text{ м}^3$; $t_{н0,92} = -32^\circ\text{C}$.

УДК 697

Энергопотребление четырёх жизнеобеспечивающих систем зданий

В.И. Прохоров, д.т.н., профессор; М.А. Разаков, бакалавр; Рио-Рита В. Чернова, бакалавр, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Рассмотрены показатели энергопотребления здания для четырёх теплопотребляющих систем здания на основе специализированной авторской методики В.И. Прохорова. Данные рассчитываются как по тепловой, так и по электрической энергии. В работе приводится величина обобщённого показателя условно-суммарных затрат обоих видов используемой энергии для зданий различного назначения. Он также учитывает качество каждого вида энергии. В статье рассмотрены два здания, характеризующиеся различными климатическими параметрами и своеобразием технологического процесса. Сравнение результатов расчётов по новым методикам и нормативным документам показывает, что в проектной практике происходит завышение показателей энергопотребления в среднем на 10 %. Предлагаемые результаты дополняют статистику по энергопотреблению зданий различного назначения. Главной причиной упомянутого завышения является использование в действующем нормативном документе при расчёте величины удельной тепловой характеристики зданий внутреннего отапливаемого объёма, в то время как при вычислении тепловой мощности системы отопления применяется наружный объём здания. То есть в нормативных документах физическая модель теплообмена не соответствует математической модели удельной тепловой характеристики здания. Второстепенной причиной является недостаточная полнота структуры показателей теплопотребляющих жизнеобеспечивающих систем здания.

Ключевые слова: показатели теплопотребления, удельная тепловая характеристика здания, годовые удельные расходы тепловой энергии, расходы электрической энергии.

UDC 697

The power consumption of the four life-support systems in buildings

V.I. Prokhorov, Doctor of Technical Sciences, Professor; M.A. Razakov, the bachelor; Rio-Rita V. Chernova, the bachelor, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSEU) National Research University

Considered the energy using of the building for four heat consuming systems of a building which based on the specialized method by V.I. Prokhorov. Data are calculated as for thermal and electrical energy. The article presents the value of the general indicator of conditionally combined cost of both types of energy which used for buildings of various purposes. It also takes into account the quality of each form of energy. The article considers two buildings, characterized by different climatic parameters and originality of the technological process. Comparison of calculation results between new methods and regulatory documents shows that the design practice is the overstatement of energy consumption in average of 10 %. The proposed results complement the statistics on energy consumption in buildings. The main reason for the mentioned overestimation is the use of the regulatory document in the calculation of the values in the special thermal characteristics of buildings inside heated volume, while in the calculation of the heat power in heating system is used the outside volume of the building. It means that in normative documents the physical model of heat transfer does not match with a mathematical model of specific thermal characteristics of the building. The secondary reason is the insufficient of completeness in structure of indicators in life-support systems of the building.

Keywords: indicators of heat, specific heat characteristics of the building, the annual specific consumption of thermal energy, cost of electricity.

Порядок расчёта удельных показателей тепловой и электрической энергии

Для определения приведённого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (в соответствии с Приложением 2 Свода Правил 50.13330.2012) находим количество градусо-суток отопительного периода:

$$ГСОП = (t_b - t_{н.о}^{cp}) Z_{от}, \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}, \quad (1)$$

где t_b — средняя температура воздуха в здании, $^\circ\text{C}$; $t_{н.о}^{cp}$ — средняя температура отопительного периода, $^\circ\text{C}$; $Z_{от}$ — продолжительность отопительного периода, сут.

Расчётная балансовая мощность системы отопления:

$$Q_o^{p6} = Q_{т.пот} - Q_{т.пост}, \quad (2)$$

где $Q_{т.пот}$ — теплопотери через ограждающие конструкции, Вт; $Q_{т.пост}$ — теплоступления от технологического оборудования и других источников, Вт.

Удельные тепловые характеристики для системы отопления здания в расчётном режиме:

$$I) q_o^p = \frac{Q_o^{p6}}{(t_b - t_n) V_b}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}); \quad (3)$$

$$II) q_o^p = \frac{Q_o^{p6}}{(t_b - t_n) V_{вн}}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (4)$$

где t_n — расчётная температура для зимнего периода, $^\circ\text{C}$ (по СП 131.13330.2012).

Годовые удельные расходы тепловой энергии:

$$q_{урт}^o = 0,024 ГСОП q_o^p \frac{n}{24}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (5)$$

где q_o^p — удельная тепловая характеристика здания в расчётном режиме для отопления; n_o — число часов использования системы за сутки, ч.

Годовые удельные расходы электрической энергии на систему отопления:

$$a) N_{упз}^o = \frac{24 Z_{о.п} N_o n_o}{V_n 24}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}); \quad (6)$$

$$б) N_{упз}^o = \frac{24 Z_{о.п} N_o n_o}{V_{вн} 24}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (7)$$

где N_o — средне-суммарная мощность двигателей насосов и др. для системы отопления. Расчётная тепловая мощность системы горячего водоснабжения (ГВС) для зимнего режима:

$$Q_{гв}^{p.3} = \frac{m g_{ср}^{сyt} c_b (t_r - t_{х.3}) (1 + \beta_r)}{24 \cdot 3,6}, \text{ Вт}, \quad (8)$$

m — количество потребителей, чел.; $g_{ср}^{сyt}$ — расход горячей воды одним потребителем в сутки отопительного сезона, л/сут.; c_b — удельная теплоёмкость воды, кДж/(кг $\cdot$ $^\circ\text{C}$); t_r — средняя температура воды в водоразборных стояках системы горячего водоснабжения, $^\circ\text{C}$ (принято по СП 30.13330.2012 «Внутренний водопро-



вод и канализация зданий»); $t_{х.3}$ — расчётная температура холодной воды зимой, $^\circ\text{C}$; β_r — коэффициент, зависящий от протяжённости и мощности системы горячего водоснабжения (при изолированных водоразборных стояках принимается равным 0,30–0,35, при наличии сетей после ЦТП и изолированных водоразборных стояках — 0,15–0,25).

Расчётная тепловая мощность системы ГВС для летнего режима:

$$Q_{гв}^{p.л} = Q_{гв}^{p.3} \frac{t_r - t_{х.л}}{t_r - t_{х.3}} \beta_l, \text{ Вт}, \quad (9)$$

где $t_{х.3}$ и $t_{х.л}$ — соответственно, зимняя и летняя температуры воды в водопроводе, $^\circ\text{C}$; β_l — коэффициент, учитывающий снижение летнего расхода тепла на систему горячего водоснабжения по отношению к зимнему (для курортных и южных городов — 1,2, при отсутствии данных — 0,8). Удельные тепловые характеристики зданий в расчётных режимах для системы ГВС:

$$I) q_{гв}^{p.3} = \frac{Q_{гв}^{p.3}}{(60 - t_{гв}^{p.3}) V_b}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}); \quad (10)$$

$$II) q_{гв}^{p.3} = \frac{Q_{гв}^{p.3}}{(60 - t_{гв}^{p.3}) V_{вн}}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}); \quad (11)$$

$$I) q_{гв}^{p.л} = \frac{Q_{гв}^{p.л}}{(60 - t_{гв}^{p.л}) V_b}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}); \quad (12)$$

$$II) q_{гв}^{p.л} = \frac{Q_{гв}^{p.л}}{(60 - t_{гв}^{p.л}) V_{вн}}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (13)$$

где $t_{гв}^{p.3}$ — температура водопроводной воды в зимний период года, принимается 5–8 $^\circ\text{C}$; $t_{гв}^{p.л}$ — температура водопроводной воды в летний период года, принимается 12–15 $^\circ\text{C}$.

Годовые удельные расходы тепловой энергии на систему ГВС:

$$q_{урт}^{гв.3} = 0,024 (60 - t_{гв}^{p.3}) \times Z_{о.п} q_{гв}^{p.3}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}); \quad (14)$$

$$q_{урт}^{гв.л} = 0,024 (60 - t_{гв}^{p.л}) \times Z_{т.п} q_{гв}^{p.л}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (15)$$

где $q_{гв}^{p.3}$ и $q_{гв}^{p.л}$ — удельная тепловая характеристика здания в расчётном периоде года

для системы ГВС зимой и летом, соответственно; $Z_{о.п}$ — количество дней отопительного периода; $Z_{т.п}$ — количество дней тёплого периода года:

$$Z_{т.п} = 365 - Z_{о.п}. \quad (16)$$

Суммарные годовые удельные расходы тепловой энергии на систему ГВС:

$$q_{урт}^{гв.сум} = (q_{урт}^{гв.3} + q_{урт}^{гв.л}) \frac{n_{гв}}{24}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (17)$$

где $q_{урт}^{гв.3}$ и $q_{урт}^{гв.л}$ — годовой удельный расход тепловой энергии в расчётном режиме для системы ГВС.

Годовые удельные расходы электроэнергии на систему ГВС

Принято, что нагрев воды осуществляется от системы теплоснабжения. Электрическая энергия затрачивается только на привод насосов и автоматику:

$$N_{упз}^{гв.3} = \frac{24 Z_{о.п} N_{гв}^3 n_{гв}}{V_i 24}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}); \quad (18)$$

$$N_{упз}^{гв.л} = \frac{24 Z_{т.п} N_{гв}^л n_{гв}}{V_i 24}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}); \quad (19)$$

$$\sum N_{упз}^{гв.сум} = N_{упз}^{гв.3} + N_{упз}^{гв.л}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}), \quad (20)$$

где $N_{гв}$ — средне-суммарная мощность двигателей насосов и др. в системе горячего водоснабжения, Вт. Расчётная тепловая мощность механической системы вентиляции (для зимнего периода):

$$Q_b^p = 0,278 c_b G_n (t_n - t_n), \text{ Вт}, \quad (21)$$

где G_n — расход воздуха для приточной вентиляции, кг/ч; t_n — температура приточного воздуха, $^\circ\text{C}$; t_n — температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$.

Удельные тепловые характеристики зданий в расчётных режимах для механической вентиляции:

$$I) q_b^p = \frac{Q_b^p}{(t_n - t_n) V_n}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}); \quad (22)$$

$$II) q_b^p = \frac{Q_b^p}{(t_n - t_n) V_{вн}}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \quad (23)$$

где Q_b^p — теплота, необходимая для подогрева вентиляционного воздуха зимой.

Сводные данные об удельных тепловых характеристиках зданий*

табл. 1

Наименование здания	Объём здания, м ³	Отопление q_p^p	Вентиляция $q_{в.з}^p$ / $q_{в.л}^p$	ГВС $q_{гв.з}^p$ / $q_{гв.л}^p$
1. Канализационная насосная станция (г. Дмитров)	а) 37040	0,0408	0,44 / 0,85	—
		0,0423	0,85 / 2,04	—
	б) 33640	0,043	0,48 / 0,91	—
		0,0446	0,91 / 2,12	—
2. Трёхэтажный 18-квартирный жилой дом (г. Елабуга)	а) 6200	0,6573	—	0,6040
	б) 4900	0,8317	—	0,4942



Годовой удельный расход тепловой энергии на вентиляцию:

$$q_{урт}^в = 0,024 GCOП q_{в.з}^п \frac{n_v}{24}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{год}), \quad (24)$$

где $q_{в.з}^п$ — удельная тепловая характеристика здания в расчётном режиме для вентиляции, рассчитывается для вариантов I и II, соответственно.

Процент расхождения по вариантам I и II:

$$\Delta = \frac{\sum \bar{N}_{э(б)}^{сум} - \sum \bar{N}_{э(а)}^{сум}}{\sum \bar{N}_{э(а)}^{сум}} 100 \%. \quad (29)$$

Авторами работы рассчитаны величины расхода энергии канализационной насосной станции и жилого дома в двух вариантах каждое: I — наружный обмер;

Выводы

1. Различия в подсчётах условно-суммарных энергозатрат по различным методам обмера здания составляет от 5 до 21 %.
2. Самое большое количество тепловой энергии в здании канализационной насосной станции расходуется на вентиляционную систему — 97 %, на систему

Сводная таблица расходов тепловой и электрической энергии*

табл. 2

Наименование здания	Объём здания, м³	Условные энергетические затраты								$\sum \bar{N}_9^{сум}$	Δ , %
		Отопление		Вентиляция		ГВС		Сумма			
		T	Э	T	Э	T	Э	T	Э		
1. Канализационная насосная станция (г. Дмитров)	а) 37040	6,87	1,89	277,7	12,27	0,16	0,26	284,7	14,42	99,8	5,4
	б) 33640	7,23	2,04	292,3	13,24	0,17	0,28	299,7	15,56	105,5	
2. Трёхэтажный 18-квартирный жилой дом (г. Елабуга)	а) 6200	86	7,28	—	—	225,5	15,26	311,5	22,5	116	21
	б) 4900	108,8	9,21	—	—	285,3	19,31	394,1	28,5	147	

* Условные обозначения: q_p — удельная тепловая характеристика в расчётном режиме для определённой системы, кВт·ч/(м³·°C); T и Э — суммарный расход тепловой и электрической энергии на инженерные системы, кВт·ч/(м³·год).

Годовые удельные расходы электрической энергии на вентиляцию

Принято, что воздух нагревается в водяных воздухонагревателях и электрическая энергия используется на привод вентиляторов:

$$N_{упз}^{в.з} = \frac{24 Z_{о.л} N_{в.з}^3}{V_i} \frac{n_v}{24}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{год}); \quad (25)$$

$$N_{упз}^{в.л} = \frac{24 Z_{т.л} N_{в.л}^3}{V_i} \frac{n_v}{24}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{год}); \quad (26)$$

$$N_{упз}^{в.сум} = N_{упз}^{в.з} + N_{упз}^{в.л}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{год}), \quad (27)$$

где $N_{в.з}$ — средне-суммарная мощность двигателей вентиляторов и др. в системах механической вентиляции.

Относительная величина условных энергозатрат по инженерным системам:

$$\sum \bar{N}_{э}^{сум} = 0,3 \sum q_{урт}^{сист} + \sum N_{упз}^{сист}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\cdot\text{год}), \quad (28)$$

где 0,3 — нормирующий коэффициент, представляющий среднюю величину отношения стоимостей тепловой и электрической энергии для данного объекта [3]; $\sum q_{урт}^{сист}$ — годовые удельные расходы тепловой энергии по каждой конкретной системе; $\sum N_{упз}^{сист}$ — годовые удельные расходы электроэнергии системами.

II — внутренний обмер (табл. 1). В здании насосной используется механическая приточно-вытяжная система вентиляции, в жилом здании используется естественная вентиляция. Инфильтрационные тепловые потери в нём учитываются в нагрузке системы отопления.

Уникальностью КНС является различный тепловой режим помещений. Например, машинный зал с подвальной частью, в котором 43 % объёма занимает технологический процесс (перекачка сточных вод), имеет температуру 5°C [8]. Административный блок имеет свой тепловой режим — средняя температура помещений 18°C. В жилом же доме в каждой квартире установлены котлы, работающие на газовом топливе. Результаты по расчёту расходов тепловой и электрической энергии представлены в табл. 2.



отопление — 2,9 %, на систему горячего водоснабжения — 0,1 %.

3. В жилом здании на отопление расходуется 57 % тепловой энергии, на горячее водоснабжение — 43 %.

1. Чаплин В.М. Отопление и вентиляция. Ч. 1. Отопление. — М.: Госиздат, 1923.
2. Аше Б.М. Отопление и вентиляция. Т. 1. — М.: Стройиздат, 1939.
3. Ермолаев Н.С. Проблемы теплоснабжения и отопления многоэтажных зданий. — М.: Гос. изд-во строит. лит-ры, 1949.
4. Максимов Г.А. Отопление и вентиляция. Ч. 1. — М.: Высшая школа, 1963.
5. Прохоров В.И. Топливосбережение и энергопотребление в инженерных системах зданий // Жилищное строительство, 2012. №10. С. 2–5.
6. Прохоров В.И. Границы рассмотрения в задачах теплотехники и теплосбережения зданий // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая, 2014. №2. С. 17.
7. Прохоров В.И., Латушкин А.П. Удельная тепловая характеристика здания для теплотребляющих систем жизнеобеспечения // Промышленное и гражданское строительство, 2016. №12. С. 72–75.
8. Прохоров В.И., Разаков М.А. Энергопотребление жизнеобеспечивающих систем зданий, рассчитанное по двум методам // Промышленное и гражданское строительство, 2016. №12. С. 97–100.
9. Prokhorov V.I. Method of systematic determination of specific thermal characteristics of building. Papers of the 5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education". MATEC Web of Conferences. IPICSE-2016. Moscow. October 2016. Vol. 86. Pp. 04068.
10. Рымаров А.Г., Разаков М.А., Чернова Р.В. Управление работой системой отопления на канализационных насосных станциях // Естественные и технические науки, 2017. №12. С. 2–5.

References — see page 95.

**The power consumption of the four life-support systems in buildings.
Pp. 88–90.**

V. I. Prokhorov, Doctor of Technical Sciences, Professor; **M. A. Razakov**, the bachelor; **Rio-Rita V. Chernova**, the bachelor, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) National Research University

1. Chaplin V.M. *Otoplenie i ventiljacija. Chast 1. Otoplenie* [Heating and ventilation. Part 1. Heating]. Moscow. Gosizdat ["State Publishing House"]. 1923.
2. Ashe B.M. *Otoplenie i ventiljacija* [Heating and ventilation]. Vol. 1. Moscow. Strojizdat ["Building Publishing House"]. 1939.
3. Ermolaev N.S. *Problemy teplosnabzhenija i otoplenija mnogoetazhnyh zdaniy* [Problems of heat supply and heating of multi-storey buildings]. Moscow. Gosudarstvennoe izdatel'stvo stroitel'noj literatury ["State Publishing House of Constructional Literature"]. 1949.
4. Maksimov G.A. *Otoplenie i ventiljacija* [Heating and ventilation]. Part 1. Moscow. Vysshaja shkola ["High School"] Publishers]. 1963.
5. Prohorov V.I. *Toplivoberezenie i jenergopotreblenie v inzhenernyh sistemah zdaniy* [Fuel saving and energy consumption in building engineering systems]. *Zhishishnoe stroitel'stvo* ["Housing construction" Magazine]. 2012. No. 10. Pp. 2–5.
6. Prohorov V.I. *Granicy rassmotrenija v zadachah teplozashhity i teploberezenija zdaniy* [The boundaries of consideration in the tasks of heat protection and heat-saving of buildings]. *Vestnik VolgGASU. Serija: Politematicheskaja* [Papers of Institute of Architecture and Civil Engineering of Volgograd State Technical University (IACE of VSTU). Series: Polythematic]. 2014. No. 2(33). P. 17.
7. Prohorov V.I., Latushkin A.P. *Udel'naja teplovaja harakteristika zdaniya dlja razlichnyh teplopotrebljajushhih sistem zhizneobespechenija* [Specific heat characteristic of the building for various heat-consuming life-support systems]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* ["Industrial and civil construction" Magazine]. 2016. No. 11. Pp. 72–75.
8. Prohorov V.I., Razakov M.A. *Jenergopotreblenie zhizneobespechivajushhih sistem zdaniy, rasschitannoe po dvum metodam* [Energy consumption of life-supporting building systems, calculated by two methods]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* ["Industrial and civil construction" Magazine]. 2016. No. 12. Pp. 97–100.
9. Prokhorov V.I. *Method of systematic determination of specific thermal characteristics of building*. Papers of the 5th International Scientific Conference "Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education". *MATEC Web of Conferences. IP-ICSE-2016*. Moscow. October 2016. Vol. 86. Pp. 04068.
10. Rymarov A.G., Razakov M.A., Chernova R.V. *Upravlenie rabotoj sistemoy otoplenija na kanalizacionnyh nasosnyh stancijah* [Control of the heating system at sewage pumping stations]. *Estestvennye i tehicheskie nauki* ["Natural and technical sciences" Magazine]. 2017. No. 12. Pp. 2–5.