

УДК 628.8

## Расчет энергопотребления для отопления и охлаждения зданий

Канд. техн. наук **Лысёв В.И.** kafedra-kv@yandex.ru

**Коцюлим Н.Н.** hbspn@mail.ru

**Кучанский В.А.** anonymk91@mail.com

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Расчет энергопотребления для отопления и охлаждения зданий проводится по методикам, предписанным государственными стандартами и другими нормативными документами. Значения годовых расходов тепловой и электрической энергии зависят от исходных условий, характеризующих объект (в данном случае здание общественного назначения), режим его функционирования и климатологических факторов, присущих географическому региону в котором расположено здание. Анализ нормативных документов позволил сформировать рабочий алгоритм проведения расчетных операций. Была разработана программа расчета, соответствующая разработанному алгоритму, и система управления базами данных. Это позволило определить потенциальную (ожидаемую) величину энергопотребления здания за отопительный и охладительный периоды. Приводится подробный расчет на примере типового здания поликлиники. Результаты расчета сопоставлены с нормируемыми энергетическими характеристиками данного типа зданий.*

**Ключевые слова:** система обеспечения микроклимата, отопительный и охладительный периоды, расход теплоты и холода, параметры наружного воздуха, энергетические характеристики и показатели, энергопотребление здания.

---

## Calculation of energy use for space heating and cooling of buildings

Ph.D. **Lysyov V.I.** kafedra-kv@yandex.ru

**Kotsyulim N.N.** hbspn@mail.ru

**Kuchansky V.A.** anonymk91@mail.com

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*The calculation of energy consumption for heating and cooling of buildings is carried out according to the methods prescribed by state standards and other normative documents. The values of the annual costs of thermal and electric energy depend on the initial conditions characterizing the object (in this case, the public building), the mode of its operation and the climatological factors inherent in the geographical region in which the building is located. Analysis of regulatory documents allowed to form a working algorithm for performing settlement operations. A calculation program has been developed that corresponds to the developed algorithm, and a database management system. This allowed us to determine the potential (expected) energy consumption of the building for the heating and cooling periods. A detailed calculation is given for the example of a typical polyclinic building. The results of the calculation are compared with the standardized energy characteristics of this type of buildings.*

**Keywords:** building environment systems, heating and cooling seasons, heat and cold consumption, outdoor air parameters, energetic characteristics and indicators, energy use of building.

---

Расчет проводится по методике, изложенной в ГОСТ Р 55656-2013 [1]. В качестве исходных условий рассматривались следующие факторы.

1. Средние значения температуры воздуха по помещениям здания [2]:

– в отопительный период  $t_{в.от} = 20$  °С;

– в охладительный период  $t_{в.охл} = 25$  °С.

2. Объемно-планировочные и теплотехнические характеристики здания представлены в табл. 1.

**Объемно-планировочные и теплотехнические характеристики здания**

Наименование расчетных величин	Ед. изм.	Величина
Отапливаемый объем здания, $V_{зд}$	м <sup>3</sup>	10000
Общая площадь наружных ограждений, $\Sigma F_{огр}$	м <sup>2</sup>	3100
Площадь наружных стен, $F_{нс}$	м <sup>2</sup>	1300
Площадь остекления, $F_{ост}$	м <sup>2</sup>	400
Площадь покрытий, $F_{покр}$	м <sup>2</sup>	700
Площадь пола первого этажа, $F_{пола}$	м <sup>2</sup>	700
Расчетная площадь помещений, $F_{расч.}$	м <sup>2</sup>	1800
Термическое сопротивление наружных стен, $R_{нс}$	(м <sup>2</sup> · °С)/Вт	1,32
Термическое сопротивление остекления, $R_{ост}$	(м <sup>2</sup> · °С)/Вт	0,50
Термическое сопротивление покрытий, $R_{покр}$	(м <sup>2</sup> · °С)/Вт	1,76
Термическое сопротивление пола 1-го этажа, $R_{пола}$	(м <sup>2</sup> · °С)/Вт	2,64

Значения термических сопротивлений теплопередаче для светонепрозрачных ограждений определялись из условия недопустимости конденсации влаги на внутренних поверхностях наружных ограждающих конструкций при нормируемых значениях температурных перепадов по данным СНиП [3]:

- для наружных стен: 4,0 °С;  $R_{нс} = (20 - (-26))/(4,0 \cdot 8,7) = 1,32 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$ ;
- для покрытий: 3,0 °С;  $R_{покр} = (20 - (-26))/(3,0 \cdot 8,7) = 1,76 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$ ;
- для перекрытий: 2,0 °С.  $R_{пола} = (20 - (-26))/(2,0 \cdot 8,7) = 2,64 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт}$ .

3. Параметры функционирования (работы) объекта обобщены в табл. 2:

Таблица 2

**Параметры функционирования объекта**

Наименование расчетных величин	Ед. изм.	Величина
Тепловыделения от одного человека, $q_{чел.}$	Вт	90
Расчетное число персонала $n_{пер.}$ и посетителей $n_{пос.}$	чел.	50 и 150
Число часов $m_{чел.}$ присутствия людей в помещениях за неделю	ч	(5 · 12)
Заполняемость помещений людьми, $p_{чел.}$		1,0
Удельная установленная мощность освещения, $q_{осв.}$	Вт/м <sup>2</sup>	10
Среднее число часов работы освещения в неделю, $m_{осв.}$	ч	60
Среднее значение удельной установочной мощности (теплого потока) от оргтехники и других внутренних источников теплоты, $q_{орг.}$	Вт/м <sup>2</sup>	10/15
Число часов работы оргтехники и других внутренних источников теплоты в неделю, $m_{орг.}$	ч	60
Доля одновременно работающих источников теплоты, $p_{орг.}$		0,324/1,0
Число суток в неделе	сут.	168
Расчетная площадь помещений, $F_{расч.}$	м <sup>2</sup>	1800

Поликлиника работает пять дней в неделю с 8:00 до 20:00(60 часов в неделю).

4. Климатологическая информация о географическом регионе, в котором расположен объект, представлена в таблицах 3 и 4 [4, 5].

Таблица 3

**Продолжительность температуры воздуха за год**

Температура, °С	Повторяемость, %	Обеспеченность, %	Продолжительность, ч	Сумма (нарастающим итогом), ч
-38,0 ... -36,1	0,01	0,01	0,9	0,9
-36,0 ... -34,1	0,01	0,02	0,9	1,8
-34,0 ... -32,1	0,01	0,03	0,9	2,7
-32,0 ... -30,1	0,03	0,06	2,6	5,3
-30,0 ... -28,1	0,09	0,15	7,9	13,2
-28,0 ... -26,1	0,19	0,34	16,6	29,8
-26,0 ... -24,1	0,31	0,65	27,2	57,0
-24,0 ... -22,1	0,47	1,12	41,2	98,2
-22,0 ... -20,1	0,83	1,95	72,7	171
-20,0 ... -18,1	0,97	2,92	85	256
-18,0 ... -16,1	1,30	4,21	114	370
-16,0 ... -14,1	1,53	5,74	134	504
-14,0 ... -12,1	2,00	7,75	175	679
-12,0 ... -10,1	2,61	10,36	229	908
-10,0 ... -8,1	2,86	13,22	250	1158
-8,0 ... -6,1	3,61	16,83	316	1474
-6,0 ... -4,1	4,23	21,06	370	1844
-4,0 ... -2,1	5,37	26,42	470	2314
-2,0 ... 0,1	6,53	32,96	572	2886
0,0 ... 1,9	8,97	41,93	786	3672
2,0 ... 3,9	6,08	48,01	533	4205
4,0 ... 5,9	5,04	53,05	441	4646
6,0 ... 7,9	4,82	57,87	422	5068
8,0 ... 9,9	5,24	63,10	459	5527
10,0 ... 11,9	5,84	68,94	512	6039
12,0 ... 13,9	6,37	75,31	558	6597
14,0 ... 15,9	6,12	81,43	536	7 133
16,0 ... 17,9	5,62	87,05	492	7 625
18,0 ... 19,9	4,28	91,32	375	8 000
20,0 ... 21,9	3,42	94,75	300	8300
22,0 ... 23,9	2,45	97,19	215	8 515
24,0 ... 25,9	1,57	98,76	138	8 653
26,0 ... 27,9	0,80	99,56	70	8 723
28,0 ... 29,9	0,30	99,86	27	8 750
30,0 ... 31,9	0,10	99,96	8	8 758
32,0 ... 33,9	0,03	99,99	2	8 760
34,0 ... 35,9	0,01	100	1	8761

Таблица 4

**Значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной) на вертикальную поверхность при безоблачном небе (кВт·ч/м<sup>2</sup>)**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Север				30	51	62	60	35	51			
Восток/Запад	29	52	91	133	147	150	150	129	102	66	39	26
Юг	118	147	187	177	150	130	139	153	169	166	139	111

Приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания определяется по формуле:

$$k_{зд} = [(F_{нс}/R_{нс}) + (F_{ок}/R_{ок}) + (F_{покр}/R_{покр}) + (F_{пола}/R_{пола})]/\Sigma F_{огр} =$$

$$=[(1300/1,32) + (400/0,50) + (700/1,76) + (700/2,64)]/3 \cdot 100 = 0,80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Удельные внутренние тепlopоступления определяются с учетом рабочих часов в неделю

$$q_{вн} = [(q_{чел} \cdot n_{чел} \cdot m_{чел} \cdot p_{чел}) + (q_{осв} \cdot F_{расч} \cdot m_{осв}) + (q_{орг} \cdot F_{расч} \cdot m_{орг} \cdot p_{орг})]/(168 \cdot F_{расч})$$

$$q_{вн.от} = [(90 \cdot 200 \cdot 60 \cdot 1,0) + (10 \cdot 1 \cdot 800 \cdot 60) + (10 \cdot 1 \cdot 800 \cdot 60 \cdot 0,324)]/(168 \cdot 1 \cdot 800) = 8,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

$$q_{вн.охл} = [(90 \cdot 200 \cdot 60 \cdot 1,0) + (10 \cdot 1800 \cdot 60) + (15 \cdot 1 \cdot 800 \cdot 60 \cdot 1,0)]/(168 \cdot 1800) = 12,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Расход наружного приточного воздуха, необходимый для жизнедеятельности людей, определяется по санитарной норме (на человека)[2]:  $L_{сн} = 60 \text{ м}^3/\text{ч}$  - для персонала и  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  - для посетителей:

$$L_{в} = [(L_{сн} \cdot n_{пер}) + (L_{сн} \cdot n_{пос})] = [(60 \cdot 50) + (20 \cdot 150)] = 3000 + 3000 = 6000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для определения температуры наружного воздуха начала/окончания отопительного (охладительного) периода необходимо вычислить соотношение, которое определяет условие равенства поступлений теплоты от внутренних источников и потерь теплоты через наружные ограждения [1]:

$$[(q_{вн} \cdot F_{расч})/(k_{зд} \cdot \Sigma F_{огр})] = [(8,3 \cdot 1 \cdot 800)/(0,80 \cdot 3 \cdot 100)] = 6,0 \text{ °C}$$

$$[(q_{вн} \cdot F_{расч})/[(k_{зд} \cdot \Sigma F_{огр} + (0,28(c_{в} \cdot p_{в})L_{в})] = [(12,5 \cdot 1 \cdot 800)/[(2,48) + (2,016)]] = 5,0 \text{ °C}$$

Тогда температура наружного воздуха начала/окончания отопительного периода составит:

$$t_{гр.от} = t_{в.от} - [(q_{вн} \cdot F_{расч})/(k_{зд} \cdot \Sigma F_{огр})] = 20 - (6,0) = 14 \text{ °C}$$

для охлаждающего периода:

$$t_{н.охл} = t_{в.охл} - [(q_{вн} \cdot F_{расч})/[(k_{зд} \cdot \Sigma F_{огр} + (0,28(c_{в} \cdot p_{в})L_{в})]] = 25 - (5,0) = 20 \text{ °C}$$

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период вычисляется по данным, приведенным в табл. 3, как среднее значение с учетом продолжительности температур наружного воздуха и составляет:  $t_{от.ср} = 0,11 \text{ °C}$ .

Общие трансмиссионные потери теплоты зданием за отопительный период:

$$Q_{огр} = (k_{зд} \cdot \Sigma F_{огр})(t_{в.от} - t_{от.ср})z_{оп} = (0,8 \cdot 3100)(20 - 0,11)6597 = 325400(\text{кВт} \cdot \text{час}) = 1170 \text{ ГДж}$$

где  $k_{зд}$  – приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;  $F_{огр}$  – общая (суммарная) площадь внутренних поверхностей всех наружных ограждений теплозащитной оболочки (ТЗО) здания,  $\text{м}^2$ ;  $z_{оп}$  – продолжительность отопительного периода, ч/год.

Внутренние поступления теплоты в здании за отопительный период:

$$Q_{вн} = (q_{вн} \cdot F_{расч})z_{оп} = (8,3 \cdot 1 \cdot 800)6597 = 98560(\text{кВт} \cdot \text{час}) = 355 \text{ ГДж}$$

где  $q_{вн}$  – удельные (на  $1 \text{ м}^2$  расчетной площади) поступления теплоты,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $F_{расч}$  – расчетная площадь здания,  $\text{м}^2$ ;  $z_{оп}$  – продолжительность отопительного периода, ч/год.

Поступления теплоты солнечной радиации за отопительный период по четырем основным фасадам для рассматриваемого объекта составят [6]:

$$Q_{с.рад} = K_{р.в.} (j_{обл} \cdot k_{с/3}) \Sigma (q_{с.рад} \cdot F_{ост}),$$

где  $q_{с.рад}$  – средняя за отопительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности остекления при безоблачном небе, (кВт·ч/м<sup>2</sup>), (для отдельных фасадов здания) (см. данные в табл. 4);  $F_{ост}$  – площадь остекления отдельных фасадов здания, м<sup>2</sup>;  $K_{р.в.}, j_{обл.}, k_{с/з}$  – коэффициенты, учитывающие рабочий период, облачность и солнцезащитные мероприятия;

$$K_{р.в.}(j_{обл.} \cdot k_{с/з}) = 0,357 \cdot (0,6 \cdot 0,5).$$

$$Q_{с.рад} = 0,357 \cdot (0,6 \cdot 0,5) [(30 \cdot 50) + (600 \cdot 150) + (600 \cdot 150) + (900 \cdot 50)] = \\ = (0,11)(226\,500) = 24900 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} = 90 \text{ ГДж / (за отопительный период)}$$

Расход теплоты (за отопительный период), необходимый на отопление, с учетом теплопоступлений от внутренних источников и солнечной радиации, составит:

$$Q_{от} = [Q_{огр} - (Q_{вн} + Q_{с.рад.})Y] = [1170 - (355 + 90)0,80] = 814 \text{ ГДж}$$

где  $Y$  – коэффициент, учитывающий снижение теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций,  $Y = 0,80$ .

Расход теплоты на нагрев наружного воздуха с учетом рабочего времени функционирования здания составит:

$$Q_{вн} = 0,28(c_v \cdot p_v)L_v \cdot (t_{в.от} - t_{от.ср})z_{оп/раб.} = \\ = 0,28(1,0 \cdot 1,2)(6000)(20 - 0,11)[(6597/168)(5 \cdot 12)] = 94470 \text{ (кВт} \cdot \text{час)} = 340 \text{ ГДж}$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);  $p_v$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $L_v$  – расход воздуха (объемный часовой), м<sup>3</sup>/ч;  $z_{оп/раб.}$  – продолжительность работы системы вентиляции (и/или кондиционирования) за отопительный период, ч/(отопительный период).

Расход теплоты, необходимый на отопление и вентиляцию здания, с учетом теплопоступлений от внутренних источников и солнечной радиации, составит:

$$Q_{т(ов)} = [(Q_{огр} + Q_{вн}) - (Q_{вн} + Q_{с.рад.})Y] = \\ = [(1170 + 340) - (355 + 90)0,80] = 1154 \text{ ГДж / (за отопительный период)}$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, [кДж / м<sup>3</sup>(°С·сут)]:

$$q = Q_{т(ов)} / [V(t_{в.от} - t_{от.ср})z_{оп}],$$

где  $V$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>

Потребление теплоты происходит круглосуточно (в течение 6597 часов) из-за необходимости компенсации трансмиссионных потерь теплоты.

В рабочий период (в течение  $0,357 \cdot 6597 = 2355$  часов) часть потерь теплоты через наружные ограждения восполняется поступлениями теплоты от внутренних источников и солнечной радиации.

Определим отдельно трансмиссионные потери теплоты в рабочее и не рабочее время.

$$Q_{огр} = (k_{зд} \cdot \Sigma F_{огр})(t_{в.от} - t_{от.ср})z_{оп/р.в.} = \\ = (0,8 \cdot 3100)(20 - 0,11)(2355) = 116165 \text{ (кВт} \cdot \text{час)} = 418 \text{ ГДж}$$

В нерабочий период:

$$Q_{огр} = (0,8 \cdot 3100)(20 - 0,11) \cdot (6597 - 2355) = 209245 \text{ (кВт} \cdot \text{час)} = 753 \text{ ГДж}$$

С учетом ранее вычисленных поступлений теплоты, расход теплоты в рабочий период составит:

$$Q_{т(ов)} = [(Q_{огр} + Q_{вн}) - (Q_{вн} + Q_{с.рад.})Y] = [(418 + 340) - (355 + 90) \cdot 0,80] = 402 \text{ ГДж}$$

$$q = [Q_{т(ов)} / (V(t_{в.от} - t_{от.ср})z_{оп/р.п.})] = [402 / (10000(20 - 0,3)(2355/24))] = 20 \text{ [кДж / (}^\circ\text{С} \cdot \text{сут.)]}$$

В нерабочий период:

$$q = [753/(10000(20 - 0,3) \cdot (6\,597 - 2\,355)/24) = 21[\text{кДж}/(\text{°C}\cdot\text{сут.})]$$

Нормируемое (требуемое) значение удельного расхода тепловой энергии для данного типа зданий (поликлиника) составляет, согласно данных СНиП [7]:  $q_{\text{тр}} = 31,0 [\text{кДж}/\text{м}^3(\text{°C}\cdot\text{сут.})]$ .

Величина отклонения от нормируемой величины:

$$\Delta q = [(q - q_{\text{тр}})/q_{\text{тр}}]100 = [(20 + 21) - 31,0]/31,0 \cdot 100 = 32\%$$

Данной величине отклонения соответствует для существующих (эксплуатируемых) зданий класс энергетической эффективности здания Д(пониженный) [7].

### Расчет теплового потока солнечной радиации за охладительный период

Последовательность (алгоритм) расчета состоит из следующих этапов (операций).

1. По данным табл. 3.2 [8] (при известном значении географической широты района расположения объекта и ориентации светопрозрачной вертикальной поверхности) вычисляется путем суммирования суточное значение величины плотности теплового потока прямой и рассеянной солнечной радиации ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) за часы работы объекта (см. табл. 5).

2. Среднесуточное часовое значение плотности теплового потока ( $\text{Вт}/\text{час}$ ) определяется путем деления суммарной за сутки величины (см. п. 1) на продолжительность работы объекта (например, с 8:00 до 20:00 – 12 час/сут) в течение календарных суток.

3. При известном значении числа рабочих дней в неделю (например, 5 дней), вычисляется число часов поступления солнечной радиации за рабочий период в течение календарного месяца:  $(30/7 \cdot 5) \cdot 12 = 257 \text{ час} / \text{мес}$ .

4. Суммарное (итоговое) значение плотности теплового потока прямой и рассеянной солнечной радиации за календарный месяц, поступающее на светопрозрачную конструкцию (остекление), вычисляется умножением величин, ранее определенных в п.п. 2 и 3.

Поясним использование данного алгоритма на конкретном примере.

Объект (здание поликлиники) находится г. Москва (56 град. с.ш.). Наружные ограждения (имеющие оконные проемы) ориентированы на: Север, Восток, Запад, Юг. Часовые значения плотности теплового потока прямой и рассеянной солнечной радиации ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) по часам «светового дня» (с 4:00 до 20:00 – 16 часов), поступающей на вертикальную поверхность световых проемов с разной ориентацией по странам света представлены в табл. 5. Там же приводятся результаты расчетов. Для каждого из четырех основных фасадов приводятся суммарные значения плотности теплового потока за 12 часов работы объекта в течение (световых) суток (см. п. 1):

$$\begin{aligned} &1,262(\text{кВт}\cdot\text{ч})/\text{м}^2 - \text{для Севера} \\ &2,402(\text{кВт}\cdot\text{ч})/\text{м}^2 - \text{для Востока} \\ &4,632(\text{кВт}\cdot\text{ч})/\text{м}^2 - \text{для Запада} \\ &4,166(\text{кВт}\cdot\text{ч})/\text{м}^2 - \text{для Юга} \end{aligned}$$

Среднесуточные значения плотности теплового потока за 1 час работы объекта (см. п. 2):

$$\begin{aligned} &1,262/12 = 1,05(\text{Вт}\cdot\text{час})/\text{м}^2 - \text{для Севера} \\ &2,402/12 = 2,00(\text{Вт}\cdot\text{час})/\text{м}^2 - \text{для Востока} \\ &4,632/12 = 3,86(\text{Вт}\cdot\text{час})/\text{м}^2 - \text{для Запада} \\ &4,166/12 = 3,47(\text{Вт}\cdot\text{час})/\text{м}^2 - \text{для Юга} \end{aligned}$$

Таблица 5

**Удельный поток прямой и рассеянной теплоты солнечной радиации, (Вт/м<sup>2</sup>)**

Истинное солнечное время, ч	Ориентация ограждений по странам света								Горизонтальная поверхность
	Север		Восток		Запад		Юг		
	Пр./Расс.	Сумма	Пр./Расс.	Сумма	Пр./Расс.	Сумма	Пр./Расс.	Сумма	
Начало светового дня									Начало светового дня
4–5	136/26		258/36		–/13		–/16		
5–6	159/76		482/101		–/39		–/46		
6–7	64/90		594/156		–/59		–/78		
7–8	–/87		621/165		–/72		83/101		
Начало рабочего дня									Начало рабочего дня
8–9	–/83	83	579/155	734	–/77	77	207/114	321	
9–10	–/78	78	461/121	582	–/77	77	327/120	447	
10–11	–/77	77	283/102	385	–/81	81	428/122	550	
11–12	–/74	74	105/91	195	–/87	87	479/124	603	
После полудня									После полудня
12–13	–/74	74	–/87	87	105/91	196	479/124	603	
13–14	–/77	77	–/81	81	283/102	385	428/122	550	
14–15	–/78	78	–/77	77	461/121	582	327/120	447	
15–16	–/83	83	–/77	77	579/155	734	207/114	321	
16–17	–/87	87	–/72	72	621/165	786	83/101	184	
17–18	64/90	134	–/59	59	594/156	750	–/78	78	
18–19	159/76	235	–/39	39	482/101	583	–/46	46	
19–20	136/26	162	–/13	13	258/36	294	–/16	16	
Конец светового и рабочего дня									Конец светового и рабочего дня
	Сумма:	1262	Сумма:	2402	Сумма:	4632	Сумма:	4166	

Примечание: до черты (числитель) – прямая радиация, после черты (знаменатель) – рассеянная.

Общее (суммарное) число часов за календарный месяц (30 суток) при 5-дневной рабочей неделе и 12-часовом рабочем дне составят:  $(30/7 \cdot 5)12 = 257$  час/мес.

Суммарное (итоговое) значение плотности теплового потока прямой и рассеянной солнечной радиации за календарный месяц (с учетом рабочего периода), поступающее на светопрозрачную конструкцию (остекление):

$$105 \cdot 257 = 27(\text{кВт} \cdot \text{ч})/\text{м}^2 \text{ – для Севера}$$

$$200 \cdot 257 = 51(\text{кВт} \cdot \text{ч})/\text{м}^2 \text{ – для Востока}$$

$$386 \cdot 257 = 99(\text{кВт} \cdot \text{ч})/\text{м}^2 \text{ – для Запада}$$

$$347 \cdot 257 = 90(\text{кВт} \cdot \text{ч})/\text{м}^2 \text{ – для Юга}$$

По данным [9, 10] наличие облачности снижает плотность теплового потока более чем в два раза, а затенение объекта может происходить в летние месяцы порядка 2-х часов за световой день.

Если принять значение коэффициента солнцезащиты оконного проема, равным 0,5, то общий коэффициент, снижающий поступление солнечной радиации, возможно оценить как:  $(j_{\text{обл}} \cdot k_{\text{с/з}}) = (0,6 \cdot 0,5)$ .

Поступление теплоты солнечной радиации по четырем основным фасадам для рассматриваемого объекта составит[11]:

$$Q_{с.рад} = (j_{обл} \cdot k_{с/з}) \cdot \Sigma(q_{с.рад} \cdot F_{ост}) = (0,6 \cdot 0,5) \cdot [(27 \cdot 50) + (51 \cdot 150) + (99 \cdot 150) + (90 \cdot 50)] =$$

$$= 0,30(28350) = 8500 \text{ (кВт}\cdot\text{ч/мес.)}(3 \text{ мес.)} =$$

$$25500 \text{ (кВт}\cdot\text{час)} = 92 \text{ МДж/за охладительный период}$$

где  $q_{с.рад}$  – средняя за охладительный период величина солнечной радиации на вертикальные поверхности остекления при безоблачном небе, (кВт·ч/м<sup>2</sup>/мес.), (для отдельных фасадов здания) (см. данные в табл. 5);  $F_{ост}$  – площадь остекления отдельных фасадов здания, м<sup>2</sup>;  $(j_{обл} \cdot k_{с/з})$  – коэффициенты, учитывающие облачность и солнцезащитные мероприятия;  $(j_{обл} \cdot k_{с/з}) = (0,6 \cdot 0,5)$ .

Внутренние поступления теплоты в здании за охладительный период:

$$Q_{вн} = (q_{вн} \cdot F_{расч})z_{охл} = (12,5 \cdot 1800)760 = 17100 \text{ (кВт}\cdot\text{час)} = 62 \text{ ГДж}$$

где  $q_{вн}$  – удельные (на 1 м<sup>2</sup> расчетной площади) поступления теплоты, Вт/м<sup>2</sup>;  $F_{расч}$  – расчетная площадь здания, м<sup>2</sup>;  $z_{охл}$  – продолжительность охладительного периода, ч/(за охладительный период).

Когда температура наружного воздуха выше, чем в помещениях, необходимо учитывать поступления теплоты через наружные ограждения и с наружным вентиляционным воздухом. Эти расходы теплоты определяются по известным уравнениям, соответственно, теплопередачи и теплового баланса:

$$Q_{огр} = (k_{зд} \cdot \Sigma F_{огр}) \cdot \Sigma[(t_{н.срj} - t_{в.охл})z_j]k_{рв} = (0,8 \cdot 3 \cdot 100) \{[(27 - 25) \cdot 70] + [(29 - 25) \cdot 27] + [(31 - 25) \cdot 8] +$$

$$+ [(33 - 25) \cdot 3]\} 0,357 = 280 \text{ (кВт}\cdot\text{час)}$$

$$Q_{вен} = 0,28(c_v \cdot p_v)L_v \Sigma[(t_{н.срj} - t_{в.охл})z_j]k_{рв} = 0,28(1,0 \cdot 1,2)(6 \cdot 000) \{[(27 - 25) \cdot 70] + [(29 - 25) \cdot 27] +$$

$$+ [(31 - 25) \cdot 8] + [(33 - 25) \cdot 3]\} 0,357 = 230 \text{ (кВт}\cdot\text{час)}$$

где  $t_{н.срj}$  – среднее значение в интервале температур наружного воздуха (см. табл. 3);  $z_j$  – продолжительность температуры наружного воздуха в этом интервале.

Общий (суммарный) расход холода составит:

$$\Sigma Q_x = Q_{с.рад} + Q_{вн} + Q_{огр} + Q_{вен} = (25500 + 17100 + 280 + 230) = 43110 \text{ (кВт}\cdot\text{час)}$$

### Годовые затраты на тепловую и электрическую энергию

При значении холодильного коэффициента, равным  $\kappa_x = 3,00$ , расход электроэнергии на «производство» холода составит:

$$\mathcal{E}_x = (25500 + 17100 + 280 + 230)/3,0 = (43110/3,0) = 14370 \text{ (кВт}\cdot\text{час)}$$

При мощности приточного и вытяжного вентиляторов, равной 3,0 кВт, и времени их работы:

$$[(8766/168)(5 \cdot 12)] = 3130 \text{ часов,}$$

годовой расход электроэнергии составит:

$$\mathcal{E}_в = (3,0 \cdot 3130) = 9390 \text{ (кВт}\cdot\text{час)}$$

При тарифе на электроэнергию, равном  $\mathcal{C}_э = 4,0$  руб/(кВт·час), получим величину затрат:

$$\mathcal{Z}_э = \mathcal{C}_э (\mathcal{E}_x + \mathcal{E}_в) = 4,0(14370 + 9390) = 4,0(23760) = 95040 \text{ руб.}$$

При потреблении тепловой энергии, равной  $\Sigma Q_T = 1154$  (гДж) =  $(1154/4,2) = 274,8$  Гкал, и при тарифе за тепловую энергию  $\Pi_T = 1600$  (руб/Гкал) получим:

$$Z_T = \Pi_T \cdot \Sigma Q_T = 1600(1154/4,2) = 439600 \text{ (руб/год)}$$

Таким образом, итоговые (ожидаемые) годовые расходы на тепловую и электрическую энергию для системы обеспечения микроклимата здания составят [12]:

$$Z_T + Z_3 = (439600 + 95040) = 534640 \text{ руб}$$

т.е. более 0,500 (млн. руб/год)

### Заключение

Расход энергии на отопление и охлаждение зданий зависит, прежде всего, от исходных условий, характерных для конкретного здания, и климатических параметров региона в котором расположен данный объект. Существующая тенденция герметизации воздухопроницаемых фрагментов (окон, дверей и т.п.) зданий приводит к весьма незначительной величине инфильтрации наружного воздуха, что приводит к расходу теплоты на его нагрев в пределах точности проводимых расчетов.

Теплота солнечной радиации существенно зависит от интенсивности ее изменения в течение суток, продолжительности светового дня, рабочего времени и ориентации светопрозрачных ограждений.

Для анализа энергопотребления при отоплении и охлаждении зданий необходимо иметь данные о расходах теплоты, холода и электроэнергии различных типов зданий [13, 14, 15]. Именно в этом направлении нами будет продолжена работа по рассматриваемой проблеме.

### Литература

1. Сотников А.Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС (в 2-х томах с продолжением). Т. 1. СПб., 2013. 423 с.: ил.
2. Рымкевич А.А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат, 1990. – 300 с.
3. Белова Е.М. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат, 2006. – 640 с.
4. EN15255 Энергоэффективность зданий. – Расчет потребления энергии на цели охлаждения – Общие критерии и процедуры.
5. Лысёв В.И., Чурюмов М.С., Шилин А.С. Энергетические показатели зданий учебных корпусов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2015. № 1. С. 33–37.
6. Лысёв В.И., Чурюмов М.С., Шилин А.С. Оценка потенциала теплотребления для зданий общежитий. В сборнике: У11 Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». Материалы конференции. Санкт-Петербург, Россия, 2015, С. 394–397.
7. Лысёв В.И., Шилин А.С. Результаты энергетического обследования здания общежития. В сборнике: У11 Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». Материалы конференции. Санкт-Петербург, Россия, 2015, С. 398 - 401.
8. Усков А.Е., Гиркин А.С., Дауров А.В. Солнечная энергетика: состояние и перспективы // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 98(04).
9. Алехина Е.В. Перспективы ветроэнергетики // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013.
10. Ховалыг Д.М., Бараненко А.В. Методы расчета градиента давления двухфазного потока при течении в малых каналах // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1. С. 3–10.

### References

1. Sotnikov A.G. Proektirovanie i raschet sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha // Polnyi kompleks trebovaniy, iskhodnykh dannyykh i raschetnoi informatsii dlya SO, SPV, SKV, SGVS i SKhS (v 2-kh tomakh s prodolzheniem). T. 1. SPb., 2013. 423 p.: il.

2. Rymkevich A.A. Sistemnyi analiz optimizatsii obshcheobmennoi ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha. –М.: Stroizdat, 1990. – 300 p.
3. Belova E.M. Tsentral'nye sistemy konditsionirovaniya vozdukha v zdaniyakh. –М.: Evroklimat, 2006. –640 p.
4. EN15255 Energoeffektivnost' zdanii. – Raschet potrebleniya energii na tseli okhlazhdeniya – Obshchie kriterii i protsedury.
5. Lysev V.I., Churyumov M.S., Shilin A.C. Energeticheskie pokazateli zdanii uchebnykh korpusov // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovanie*. 2015. № 1. P. 33–37.
6. Lysev V.I., Churyumov M.S., Shilin A.C. Otsenka potentsiala teplopotrebleniya dlya zdanii obshchezhitii. V sbornike: U11 Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v KhKh1 veke». Materialy konferentsii. Sankt-Peterburg, Rossiya, 2015, P. 394–397.
7. Lysev V.I., Shilin A.C. Rezul'taty energeticheskogo obsledovaniya zdaniya obshchezhitii. V sbornike: U11 Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Nizkotemperaturnye i pishchevye tekhnologii v KhKh1 veke». Materialy konferentsii. Sankt-Peterburg, Rossiya, 2015, P. 398 - 401.
8. Uskov A.E., Girkin A.S., Daurov A.V. Solnechnaya energetika: sostoyanie i perspektivy // *Nauchnyi zhurnal KubGAU*. 2014. № 98(04).
9. Alekhina E.V. Perspektivy vetroenergetiki // *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2013.
10. Khovalyg D.M., Baranenko A.V. Metody rascheta gradienta davleniya dvukhfaznogo potoka pri techenii v malykh kanalakh // *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2012. № 1. P. 3–10.

*Статья поступила в редакцию 13.03.2018 г.*