

# РОЛЬ ГРАДУСО-СУТОК ОХЛАДИТЕЛЬНОГО ПЕРИОДА ПРИ РАСЧЕТЕ ПОТРЕБНОСТИ ЖИЛЫХ ДОМОВ В ОХЛАЖДЕНИИ

В. И. Ливчак, канд. техн. наук



В России и за рубежом пока нет методик, непосредственно использующих показатель градусо-суток охладительного периода (далее – ГСОхП) для определения потребности в холоде систем кондиционирования воздуха. В отличие от отопительного периода, где теплотери здания напрямую зависят от параметра градусо-суток отопительного периода (ГСОП), потребность в холоде зависит в основном от внутренних теплопоступлений в рабочих помещениях и внешних от облучения солнцем, и только частично от температуры наружного воздуха, когда она превышает внутреннюю расчетную<sup>1</sup>. Рассмотрим, как влияет значение ГСОхП на расчет потребности в холоде на кондиционирование воздуха в помещениях многоквартирных домов (МКД) в теплый период года.

## О методиках расчета

При расчете энергопотребления зданием за длительный период (обычно месяц или сезон)<sup>2</sup> для оценки энергоэффективности при известных значениях среднесуточных за месяц теплопоступлений допускается использовать метод квазистационарного состояния, позволяющий учесть динамические эффекты за счет выведенного эмпирическим путем

<sup>1</sup> За рубежом используются сложные программы моделирования почасового энергопотребления с учетом нестационарности процессов теплопередачи в помещениях и изменения климата.

<sup>2</sup> В соответствии с ISO 13790:2008(E) Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling (разделы 5.3–5.4).

показателя использования притоков или потерь. Из-за отсутствия достаточного практического опыта в наших расчетах этот показатель пока принят равным 1. Рассчитанная по предлагаемой нами методике, приведенной ниже, величина удельного годового расхода холода будет максимальной величиной, поскольку ее уточнение с использованием динамических характеристик только понизит это значение.

Также вводится ряд допущений: принята интенсивность солнечной радиации, характерная для условий Москвы, и не учитывается потребность в отдельные периоды осушки наружного воздуха, которую при реальном проектировании можно оценить индивидуальным для каждого региона климатическим коэффициентом.

По методике США число ГСОХП<sup>3</sup> определяется произведением абсолютного значения разности среднесуточной температуры наружного воздуха  $T_m$  за дни, когда она выше базовой температуры  $T_b = 65 \text{ }^\circ\text{F}$  (18,3 °C), и этой базовой температуры на количество таких дней в году. ГСОХП рассчитываются по той же формуле (1) (см. формулы), что и ГСОП, только для дней, когда  $T_m$  выше  $T_b$ .

### Оценка требуемого потребления холода для условий Москвы

Если пользоваться для расчета холода методикой США, которая едина для отопления и охлаждения, количество холода, необходимого для кондиционирования МКД в Москве с удельной мощностью системы отопления, отнесенной на 1 м<sup>2</sup> площади квартир  $q_{от}^p = 48 \text{ Вт/м}^2$ , составило бы 8,2 кВт·ч/м<sup>2</sup> (см. формулу 2).

Перед тем как рассчитать годовое потребление холода для кондиционирования МКД по предлагаемой нами методике, определим температуру наружного воздуха начала/окончания охладительного периода, исходя из уравнения теплового баланса здания (формула 3), пока без учета теплоступлений с солнечной радиацией (при пасмурной погоде).

Выполним расчеты на примере двух квартир, ориентированных на юг/север, для условий Москвы с заселенностью общей площади квартир:

- в 20 м<sup>2</sup> на человека в Квартире 1, с площадями:  $A_{кв} = 60 \text{ м}^2$ ,  $A_{ж} = 33 \text{ м}^2$ ,  $A_{ф} = 27 \text{ м}^2$ ,  $A_{ок} = 9,3 \text{ м}^2$ ;
- в 40 м<sup>2</sup> на человека в Квартире 2, с площадями:  $A_{кв} = 120 \text{ м}^2$ ,  $A_{ж} = 66 \text{ м}^2$ ,  $A_{ф} = 54 \text{ м}^2$ ,  $A_{ок} = 16,5 \text{ м}^2$ .

<sup>3</sup> Обозначаются в американской методике CDD – cooling degree days.

## РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

№	Формула	Расчет
1	$\text{ГСОП}_{\text{США}} \text{ (или ГСОХП}_{\text{США}}) = \sum_{i=1}^{12}  T_m - T_b $	Для Москвы с сайта <a href="http://www.degreedays.net">www.degreedays.net</a> $\text{ГСОХП}_{\text{США}} = 340 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$
2	$q_{\text{конд.}}^{\text{год.расч.ГСОП}} = 0,024 \cdot q_{\text{от.}}^p \times \text{ГСОХП}/(20 - t_n^p)$	$0,024 \cdot 48 \cdot 340 / (20 + 28) = 8,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$
3	$(K_{\text{тр}} \cdot A_{\text{отр.сум}} + 0,28 \cdot L_{\text{вент}} \cdot \rho_v \times c_a) \cdot (t_{\text{в.ох}} - t_{\text{н.ох}}) = q_{\text{вн.ох}} \cdot A_{\text{ж}}$	
4	$K_{\text{тр}} = (A_{\text{ст}}/R_{\text{ст}} + A_{\text{ок}}/R_{\text{ок}}^{\text{пр}}) / A_{\text{отр.сум}}$	Квартира 1: $[(27 - 9,3)/3,6 + 9,3/0,8] / 27 = 0,613 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ Квартира 2: $[(54 - 16,5)/3,6 + 16,5/0,8] / 54 = 0,575 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$
5	$t_{\text{н.ох}} = t_{\text{в.ох}} - q_{\text{вн.ох}} \cdot A_{\text{ж}} / (K_{\text{тр}} \times A_{\text{отр.сум}} + 0,28 \cdot L_{\text{вент}} \cdot \rho_v \cdot c_a)$	Квартира 1: $24 - 16,2 \cdot 33 / (0,613 \cdot 27 + 0,28 \cdot 90 \cdot 1,2 \times 1,0) = 12,6 \text{ }^\circ\text{C}$ Квартира 2: $24 - 10,8 \cdot 66 / (0,575 \cdot 54 + 0,28 \cdot 113,4 \times 1,2 \cdot 1,0) = 13,7 \text{ }^\circ\text{C}$

### Обозначения в формулах

$T_m$  – среднесуточная температура наружного воздуха

$T_b$  – базовая температура

$q_{\text{конд.}}^{\text{год.расч.ГСОП}}$  – количество холода, необходимого для кондиционирования МКД Москвы, при определении его по методике США для расчета ГСОП

$t_n^p$  – расчетная для проектирования систем отопления и вентиляции температура наружного воздуха (самой холодной пятидневки)

$K_{\text{тр}}$  – приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м<sup>2</sup>·°C)

$A_{\text{ст}}$  – площадь (по наружному обмеру) наружных стен (за исключением проемов), м<sup>2</sup>

$A_{\text{ок}}$  – площадь заполнений световых проемов (окон, витражей, фонарей)

$A_{\text{отр.сум}}$  – сумма площадей всех наружных ограждающих конструкций отапливаемой части здания, м<sup>2</sup>

$R_{\text{ст}}^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен (за исключением проемов), м<sup>2</sup>·°C/Вт

$R_{\text{ок}}^{\text{пр}}$  – приведенное сопротивление теплопередаче окон, витражей, м<sup>2</sup>·°C/Вт

$L_{\text{вент}}$  – количество приточного воздуха, поступающего в квартиру для вентиляции, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho_v$  – плотность внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>, принимают 1,2 кг/м<sup>3</sup>

$c_a$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1,006 кДж/(кг·°C)

$t_{\text{в.ох}}$  – расчетная температура внутреннего воздуха в холодный период года, °C

$t_{\text{н.ох}}$  – температура наружного воздуха начала/окончания охладительного периода, °C

$q_{\text{вн.ох}}$  – удельная величина внутренних теплоступлений в помещения в охладительный период, Вт/м<sup>2</sup>

$A_{\text{ж}}$  – жилая площадь квартиры, м<sup>2</sup>

$A_{\text{кв}}$  – общая площадь квартир без летних помещений, м<sup>2</sup>

$A_{\text{ф}}$  – площадь фасада здания от цокольного перекрытия до чердачного перекрытия, м<sup>2</sup>

Приведенное сопротивление теплопередаче стен, исходя из выполнения первого этапа повышения энергоэффективности, одинаковое для обеих квартир  $R_{ст} = 3,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ , окон<sup>4</sup>  $R_{ок} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$ .

Тогда приведенный коэффициент теплопередачи наружных ограждений находится по известной формуле (4) без учета теплопотерь через цокольное перекрытие и перекрытие теплого чердака, которыми можно пренебречь при данных расчетах.

Нормативный воздухообмен в Квартире 1, исходя из 30 м<sup>3</sup>/ч на человека, равен  $L_{вент.кв.1} = 30 \cdot 3 = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ , в Квартире 2 при 0,35 обмена в час от объема помещений квартиры<sup>5</sup> с высотой этажа 2,7 м равен  $L_{вент.кв.2} = 0,35 \cdot 120 \cdot 2,7 = 113,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

**Удельные внутренние теплоступления от жителей**, освещения, пищевого приготовления, пользования горячей водой и электроприборами принимаются по стандарту СТО НОП<sup>6</sup> с учетом сокращения теплоступлений от освещения из-за увеличения светового дня в летний период. Для этого сначала из удельной величины этих теплоступлений за отопительный период выделим вклад теплоступлений от освещения в общих внутренних теплоступлениях, разделив годовое потребление электроэнергии на число часов в году и отнеся половину из него на освещение (обоснование в [1]). Затем уменьшим эту половину на коэффициент сокращения (1 – 0,65), где 0,65 – это доля теплоступлений от освещения в летнее время по сравнению со среднегодовым значением [2]. Получим<sup>7</sup> для Квартиры 1 величину  $q_{вн.ок.кв.1}$ , равную 16,2 Вт/м<sup>2</sup>, а для Квартиры 2 – 10,8 Вт/м<sup>2</sup>.

Температура наружного воздуха начала/окончания охлаждающего периода, исходя из теплового баланса квартир, соответствует такой величине  $t_{н.ок}$ , при которой теплопотери через наружные ограждения вместе с нагревом наружного воздуха для вентиляции до внутренней расчетной температуры охлаждающего периода  $t_{в.ок} = 24 \text{ °С}$  будут равны внутренним теплоступлениям этого периода, и находится из уравнения теплового баланса по формуле (5).

Определение длительности охлаждающего периода<sup>8</sup>, в течение которого внутренние теплоступления будут избыточны, производится с использованием СП 131.13330 «Строительная климатология». Для Квартиры 1 с заселенностью 20 м<sup>2</sup>/чел.  $z_{ок.п.кв.1} = 117$  сут. с 13 мая по 7 сентября. Для Квартиры 2 при пороговой температуре наружного воздуха  $t_{н.ок.кв.2} = 13,7 \text{ °С}$  (с уменьшением доли внутренних теплоступлений температура начала/окончания охлаждающего периода смещается в сторону более высоких значений) длительность охлаждающего периода составит  $z_{ок.п.кв.2} = 105$  сут. с 20 мая по 2 сентября.

В обоих случаях между отопительным и охлаждающим периодами наблюдаются переходные периоды, в течение которых также может требоваться охлаждение. В охлаждающий период внешние солнечные теплоступления будут дополнительной нагрузкой к внутренним теплоступлениям, поэтому солнечная радиация при расчете расхода энергии на охлаждение принимается в объеме вне отопительного периода (за охлаждающий и переходные периоды). Внешние теплоступления рассчитываются, исходя из интенсивности солнечной радиации на вертикальные поверхности при действительных условиях облачности.

Таблица 1

Показатель	Ориентация Квартиры 1 (площадью 60 м <sup>2</sup> )			Ориентация Квартиры 2 (площадью 120 м <sup>2</sup> )		
	Юг	Север	Восток/запад	Юг	Север	Восток/запад
Теплоступления от солнечной радиации $Q_{ок.п.инс}$ , кВт·ч	1643	769	1508	2915	1364	2676
Теплоступления с внутренними тепловыделениями $Q_{вн.ок.п}$ , кВт·ч	540			593		
Годовые затраты холода $Q_{ок.л}$ , кВт·ч	1746*		2048	2733*		3269
Удельные годовые затраты холода на м <sup>2</sup> общей площади квартир $q_{ок.п.}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	29,1*		34,1	22,8*		27,2

\* Ориентация север/юг.

<sup>4</sup> Двухкамерный стеклопакет с заполнением аргоном и мягким селективным покрытием внутреннего стекла, коэффициент затенения непрозрачными элементами  $\tau_1 = 0,8$ , коэффициент относительного пропускания солнечной радиации  $\tau_2 = 0,54$ .

<sup>5</sup> Для Квартиры 2, исходя из 30 м<sup>3</sup>/ч на человека, оказалось меньше 90 м<sup>3</sup>/ч.

<sup>6</sup> СТО НОП 2.01–2014 «Требования к содержанию и расчету показателей энергетического паспорта проекта жилого и общественного здания», см. табл. В.4 (последняя строка).

<sup>7</sup> Для Квартиры 1  $q_{вн.ок.кв.1} = 17 - [38 \cdot 10^3 / 365 / 24 / 2 \cdot (1 - 0,65)] = 16,2 \text{ Вт/м}^2$ ; для Квартиры 2  $q_{вн.ок.кв.2} = 11,4 - [30 \cdot 10^3 / 365 / 24 / 2 \cdot (1 - 0,65)] = 10,8 \text{ Вт/м}^2$ .

<sup>8</sup> Расчет приводится в приложении 1 к статье на сайте: [www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6239](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6239).

**Таблица 2** Зависимость удельного годового расхода холода для кондиционирования в кВт•ч/м<sup>2</sup> площади квартир с заселенностью 20 м<sup>2</sup>/чел. для различных регионов России от ГСОХП, определенных по методике США (все обозначения в тексте)

Город	ГСОХП <sub>США</sub> <sup>9</sup> град•сут.	ГСОП, град•сут.	Z <sub>от</sub> <sup>7</sup> сут.	R <sub>окон</sub> <sup>7</sup> м <sup>2</sup> •°С/Вт	R <sub>стен</sub> <sup>7</sup> м <sup>2</sup> •°С/Вт	q <sub>огр+вен</sub> <sup>*,7</sup> Вт/°С	t <sub>н.ок.</sub> <sup>7</sup> °С	Z <sub>ок.п.</sub> <sup>7</sup> сут.	q <sub>ок.п.с/ю</sub> <sup>7</sup> кВт•ч/м <sup>2</sup>	q <sub>ок.п.в/з</sub> <sup>7</sup> кВт•ч/м <sup>2</sup>
Новосибирск	240	6 210	221	0,61	3,6	50,40	13,4	94	31,4	37,4
Москва	340	4 551	205	0,55	3,0	53,05	13,9	100	34,5	41,2
Хабаровск	366	6 018	204	0,60	3,5	50,80	13,5	113	35,7	42,4
Казань	387	5 158	208	0,55	3,2	52,68	13,9	104	34,3	40,9
Самара	469	5 116	203	0,55	3,2	52,68	13,9	119	36,3	43,1
Воронеж	515	4 275	190	0,47	2,9	56,13	14,5	117	38,3	45,7
Ставрополь	565	3 276	168	0,39	2,5	61,17	15,3	125	42,6	50,9
Оренбург	609	5 090	195	0,55	3,2	52,68	13,9	132	38,6	45,8
Сочи	753	1 260	94	0,30	1,8	71,07	16,5	143	56,4	67,8
Краснодар	779	2 538	145	0,34	2,3	65,29	15,8	143	47,9	57,1
Волгоград	777	3 925	176	0,45	2,8	57,23	14,7	138	42,3	50,2
Астрахань	1019	3 411	164	0,40	2,6	60,30	15,1	141	44,5	53,0

\* q<sub>огр+вен</sub> – теплотери через наружные ограждающие конструкции и на нагрев наружного воздуха в объеме нормативного воздухообмена для вентиляции квартир, отнесенные к разности температур между внутренним и наружным воздухом.

Для Москвы<sup>9</sup> за период с 1 мая по 30 сентября, т.е. в течение 153 сут., интенсивность солнца равна: на юге I<sub>юг</sub> – 391 кВт•ч/м<sup>2</sup>; востоке/западе I<sub>в/з</sub> – 359 кВт•ч/м<sup>2</sup> и севере I<sub>сев</sub> – 183 кВт•ч/м<sup>2</sup>. При длительности отопительного периода менее 7 мес. интенсивность этих теплопоступлений пересчитывается пропорционально увеличению количества дней вне отопительного периода.

Для Москвы учитываемые при определении расхода холода теплопоступления от солнечной радиации Q<sub>ок.п.инс</sub> для двух вариантов квартир в зависимости от их ориентации сведены<sup>10</sup> в табл. 1.

С учетом того, что внутренние теплопоступления при температурах наружного воздуха ниже расчетной внутренней температуры 24 °С будут частично компенсировать теплотери через наружные ограждения и с вентиляционным воздухообменом, при определении потребности в охлаждении будет участвовать оставшаяся часть, пропорциональная отношению разности внутренней температуры и средней наружной за охлаждающий период t<sub>н.ок.п.</sub><sup>ср</sup> к разности (t<sub>в.ок.</sub> – t<sub>н.ок.</sub>)<sup>11</sup>. Выполнив расчет, получаем Q<sub>вн.ок.п.</sub> для Квартиры 1 равным 540 кВт•ч, для Квартиры 2 – 593 кВт•ч.

Из табл. 1 следует, что удельные годовые затраты холода на 1 м<sup>2</sup> общей площади квартир для компенсации внутренних теплопоступлений за охлаждающий период и внешних за внеотопительный период, если принимать условно для дома в целом при ориентации юг/север (половина квартир ориентирована на юг, половина на север) и при ориентации восток/запад, оказались значительно выше полученной по методике США величины 8,2 кВт•ч/м<sup>2</sup>, исходя из ГСОХП = 340 °С•сут.

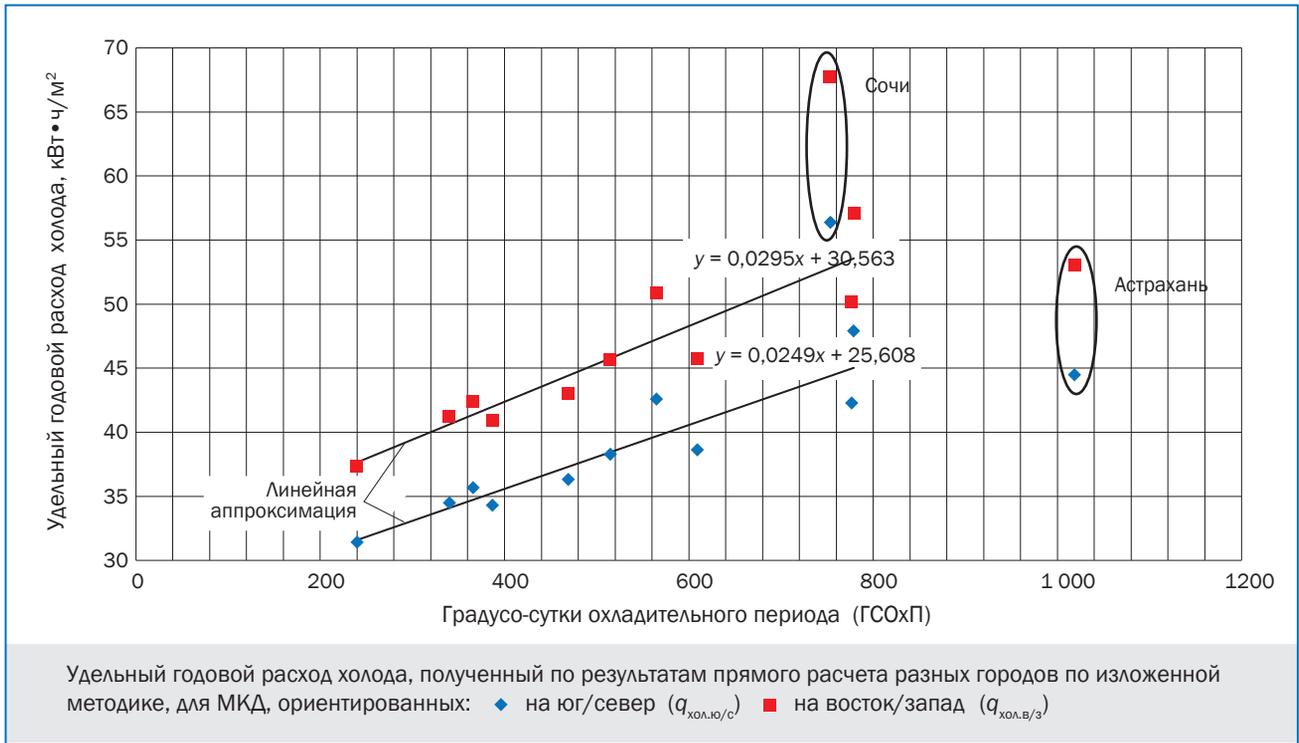
### Зависимость между ГСОХП и удельными затратами холода в различных городах России

Сказанное выше подтверждает правильность прямых расчетов затрат холода на кондиционирование воздуха, исходя из внутренних и внешних теплопоступлений, а градусо-сутки охлаждающего периода могут быть использованы для сопоставления потребности холода в разных регионах. Например, в Волгограде, находящемся южнее Москвы, определенные по той же методике ГСОХП равны 777 °С•сут., а в Сочи – 753 °С•сут. В Нью-Йорке (Бруклин), находящемся примерно на той же широте, что и Сочи, ГСОХП равны 827 °С•сут., а в Майами – самом южном городе

<sup>9</sup> Согласно МГСН 4.19–2005 «Временные нормы и правила проектирования multifunctionальных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве».

<sup>10</sup> Расчет приводится в приложении 2 к статье на сайте: [www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6239](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6239).

<sup>11</sup> См. формулу в приложении 2 к статье на сайте: [www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6239](http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6239).



**Рис. 1.** График изменения удельного годового расхода холода  $q_{\text{хол}}$  для кондиционирования МКД с ориентацией юг/север и восток/запад в соответствии с градусо-сутками охладительного периода, определенными по методике США

США – 2 560 °С•сут. (среднее измерение между двумя аэропортами), что свидетельствует о большей нагрузке на кондиционирование в этом городе.

Проанализируем, есть ли зависимость между ГСОхП, рассчитанными по методике США, и удельными затратами холода для компенсации внутренних и внешних теплопоступлений, определенными по вышеприведенной методике. Для этого рассмотрим те же квартиры, но построенные в разных регионах России (12 городов), с учетом базовых показателей теплозащиты (для Москвы отличаются от предыдущего примера, рассчитанного по первому этапу), нормативных значений воздухообмена и удельной величины внутренних теплопоступлений. Результаты расчета приведены в табл. 2.

По результатам расчета построен график (рис. 1) изменения величины удельного годового расхода холода для кондиционирования МКД с ориентацией север/юг и восток/запад в соответствии с градусо-сутками охладительного периода, который показывает довольно приличную зависимость для десяти городов<sup>12</sup>. По графику для определения энергоэффективности строящегося здания или ожидаемого энергопотребления эксплуатируемого жилого дома в зависимости от величины градусо-суток охладительного периода региона строительства, определенного

по методике США по программе «www. degreedays.net», можно найти величины удельного годового расхода холода для кондиционирования МКД. Например, с заселенностью 20 м<sup>2</sup>/чел. и ориентацией север/юг по зависимости  $q_{\text{ох.п.МКД,с/юг}}^{\text{ГОД}} = 25,6 + 0,025 \cdot \text{ГСОхП}_{\text{США}}$ ; то же с ориентацией восток/запад:  $q_{\text{ох.п.МКД,в/з}}^{\text{ГОД}} = 30,6 + 0,03 \cdot \text{ГСОхП}_{\text{США}}$ .

Итак, предлагается методика расчета удельного годового расхода холода  $q_{\text{хол}}$  для кондиционирования воздуха в многоквартирных домах центрального региона<sup>13</sup> России с учетом заселенности квартир, меридиональной или широтной ориентации здания с обеспечением нормативного воздухообмена и комфортного микроклимата в помещениях. На базе этой методики установлена зависимость  $q_{\text{хол}}$  от ГСОхП при норме заселенности 20 м<sup>2</sup>/чел. Также данную методику можно принять за основу при определении удельного годового расхода холода для кондиционирования воздуха общественных зданий, используя исходные данные из [1].

#### Литература

1. Ливчак В. И. Исходные данные для расчета годового теплопотребления зданий в России // АВОК. 2015. № 5.
2. Ливчак В. И. Учет внутренних теплопоступлений в жилых домах // АВОК. 2013. № 6. ■

<sup>12</sup> Астрахань с максимальным значением ГСОхП и Сочи с минимальным значением ГСОП выпали из этой зависимости и исключены как показатели с максимальными отклонениями от аппроксимирующей линии в большую и меньшую стороны.

<sup>13</sup> Для регионов, где интенсивность солнечной радиации и влажность наружного воздуха отличаются от центрального района России, следует вводить поправочный региональный коэффициент.