



Исходные данные для расчета годового теплотребления зданий в России

В. И. Ливчак, канд. техн. наук, otvet@abok.ru

Ключевые слова: теплотребление, теплоприток, тепlopоступления, удельная величина внутренних тепlopоступлений

В статье предлагается таблица величин удельных среднечасовых за рабочее время внутренних теплоприток и длительности их использования в жилых и общественных зданиях различного назначения, необходимые для расчета годового теплотребления помещений здания или теплотреблений помещений здания за некоторый период времени. Теплопритоки включают тепlopоступления от людей, освещения, используемых электроприборов и электрооборудования (в жилых домах и от централизованной системы горячего водоснабжения) для расчета годового теплотребления зданий, по которому в соответствии с [1] оценивается энергетическая эффективность строящихся, реконструируемых и капитально ремонтируемых зданий.

В нашей стране законодательно закреплены показатели удельных внутренних тепlopоступлений только для многоквартирных домов: в СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Для общественных зданий эти показатели отсутствуют, из-за чего расчет систем отопления этих зданий ведется в России по-прежнему, без учета этих тепlopоступлений, что приводит к значительному перерасходу тепловой энергии, как было показано в [2].

Вероятно, метод установления удельных внутренних тепlopоступлений теоретическим расчетом по отдельным составляющим, как это принято в [3] и поддержано в [4] и [5], не может быть объективным, поскольку основная часть теплопритоков связана с субъективным фактором, зависящим от человека.

Объективным решением следует считать не теоретические абстрактные расчеты, а обобщенный опыт анализа фактического теплотребления

большого количества эксплуатируемых офисов и извлечение из него усредненной величины внутренних теплопритоков, отнесенных к 1 м^2 полезной площади помещений (в многоквартирных домах – к площади жилых комнат). Такой путь принят в европейских странах, таким образом были определены нормативы бытовых тепловыделений в МКД России в 70-х годах прошлого столетия, скорректированные в начале этого века в [6].

В европейских странах, например в Германии, каждый год собираются данные об энергопотреблении всех эксплуатируемых общественных зданий, на базе этого рассчитываются общие показатели и вносятся в нормативные документы для использования в расчетах.

Примером может служить таблица G.12 ISO 13790:2008 [7], в которой приведены отдельно удельные показатели метаболических тепlopоступлений

от людей в Вт/м² и годового потребления электроэнергии, включая освещение и пользование электрическими приборами и оборудованием в кВт·ч/м². Мы дополнили эту таблицу объединением вышеприведенных данных в итоговую величину удельных

внутренних теплоступлений за отопительный период, с учетом того, что потребляемая электрическая энергия в процессе использования превращается в такое же количество тепловой энергии и что из-за короткого светового дня в этот период на

Таблица

Тип здания	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	к	л	м	н	о	п
Категория здания	Одноквартирный дом	Многоквартирный дом, категория I	Многоквартирный дом, категория II	Офисное здание, категория I	Офисное здание, категория II	Образование	Больница, категория I	Больница, категория II	Поликлиники	Предприятия общественного питания	Торгово-бытовые	Спортивные сооружения	Досуговые	Производственные здания, технопарки	Склады
Входные данные															
Внутренняя заданная температура зимой, °C	20	20	20	20	20	20	21	21	21	20	20	18	20	18	18
Кондиционируемая* площадь на человека (заселенность), A_k , м ² /чел.	60	40	20	20	8	10	20	10	10	5	10	20	5	20	100
Средняя величина метаболических теплопритоков от человека, Q_p , Вт/чел.	70	70	70	80	80	70	80	80	80	100	90	100	80	100	100
Метаболические притоки на кондиционируемую* площадь, Q_p/A_k , Вт/м ²	1,2	1,8	3,5	4	10	7	4	8	8	20	9	5	16	5	1
Рабочее время использования помещений в день, среднеемесячное, t , ч	24	24	24	6	6	5	16	16	9	10	12	10	5	6	6
Время использования метаболических притоков 100 % в день, среднеемесячное, $t_{мет}$, ч	12	12	12	6	6	5	16	16	9	3	4	6	3	6	6
Удельное годовое потребление электроэнергии** на общую кондиционируемую* площадь здания, q_E , кВт·ч/м ²	20	30	38	20	33,5	10	30	40	25	30	30	10	20	20	6
Доля потребления электроэнергии в кондиционируемой* части здания, f_E	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
Удельные среднечасовые за рабочее время внутренние теплопритоки, в т. ч. от людей, электроприборов, освещения, (для жилых домов и от ГВС), $q_{внт}$, Вт/м ²	10,0	11,4	17,0	13,4	23,8	13,1	8,5	14,0	14,0	13,1	9,8	6,1	20,6	15,2	4,1
Минимальный расход наружного воздуха на одного человека, $q_{вент/чел}$, м ³ /(ч·чел.)	42	28	28	14	14	7	30	30	20	6	7	14	5	14	30
Минимальный расход наружного воздуха на кондиционируемую* площадь, $q_{вент/м^2}$, м ³ /(ч·м ²)	0,7	0,7	1,4	0,7	1,8	0,7	1,5	3,0	2,0	1,2	0,7	0,7	1,0	0,7	0,3

Примечания.

* Под кондиционируемой площадью понимают общую площадь квартир без летних помещений $A_k = A_{кв}$, для общественных и производственных зданий – полезную площадь всех помещений, исключая лестничные клетки, технические этажи, пандусы и автостоянки, $A_k = A_{пол}$, м²; в Примечании 4 к п. 3.2.6 ISO 13790 указано: «Кондиционируемая площадь может учитываться как полезная площадь в Разделах 5, 6 и 7 ЕРВД, если иное не определено национальными государственными нормативными документами».

** Включая освещение и пользование электрическими приборами и оборудованием (плитами), за исключением потребления электроэнергии на кондиционирование (охлаждение) и привод насосов и вентиляторов систем отопления, вентиляции, горячего водоснабжения, устройств автоматического регулирования этих систем и перемещения лифтов и эскалаторов.

освещение тратится энергии больше, чем в среднем за год.

Применительно к условиям России рассматриваемая таблица расширена, в связи с тем, что заселенность квартир в 40 м^2 на жителя, принятая в таблице G.12, у нас больше исключения, чем правило, так же как 20 м^2 на одного работающего в офисах. Таким жилым и офисным зданиям присваивается категория I и дополнительно вводится категория II с заселенностью в 20 м^2 общей площади квартир на жителя и 8 м^2 полезной площади помещений или примерно 6 м^2 расчетной площади на одного работающего в офисах, что соответствует норме заполняемости существующих зданий в России. Параметры показателей при промежуточных значениях заселенности находятся линейной интерполяцией.

Далее, учреждения здравоохранения разделены нами на больницы с меньшей площадью помещения, приходящейся на одного присутствующего: 20 и 10 вместо 30 м^2 на человека, поскольку минимальная норма площади в палатах общей терапии согласно СНиП 2.08.02–89 – $3,5 \text{ м}^2/\text{чел.}$, и поликлиники (с 10 м^2 полезной площади на человека), отличающиеся режимом эксплуатации. Измененная таблица G.12 (в тексте статьи – табл.), рекомендуемая для использования при расчете энергоэффективности в России, приведена ниже (красным шрифтом показаны изменения исходной таблицы G.12 из ISO 13790).

Следует отметить, что в статье [8] нами были проанализированы показатели для многоквартирных домов и было установлено совпадение удельных величин внутренних теплопоступлений в жилых домах, принимаемых в европейских и российских нормах, после приведения их к одному знаменателю по площади для получения удельных величин.

Для того чтобы установить, какова должна быть величина удельных внутренних теплопоступлений при вводимой нами новой колонке таблицы с нормой 8 м^2 полезной площади помещений офиса на человека, обратимся к таблице C.2 «Годовое потребление электрической энергии для офисной аппаратуры» из европейских норм EN 15603:2008.

В таблице C.2 приводится указанное энергопотребление в расчете на рабочее место в зависимости от энергоэффективности этой аппаратуры и полезной площади помещений, приходящейся на одного работника. При $20 \text{ м}^2/\text{чел.}$ эта величина составляет от 6 (с энергоэффективной аппаратурой) до $12 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Примем наполовину энергоэффективную аппаратуру с удельным годовым

энергопотреблением $9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ и сравним с показателем удельного годового потребления электрической энергии на освещение и пользование электрическими приборами и оборудованием из таблицы G.12 при тех же $20 \text{ м}^2/\text{чел.}$: $q_E = 20 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ (все обозначения в табл.). Отсюда следует, что на освещение приходится $20 - 9 = 11 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ годового энергопотребления.

При уменьшении полезной площади помещений на работника из таблицы C.2 следует, что удельное энергопотребление офисной аппаратурой возрастает во столько же раз, во сколько происходит уменьшение площади. А удельные теплопоступления от источников света останутся практически неизменными, поскольку они определяются нормой освещенности, приходящейся на 1 м^2 площади пола помещения, и не зависят от количества работников в этом помещении.

Тогда при заявленной ранее минимальной норме заполнения помещений офиса из расчета 8 м^2 полезной площади на человека удельное годовое потребление электрической энергии на освещение и пользование электрическими приборами и оборудованием составит: $q_E = 9 \cdot 20 / 8 + 11 = 33,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Такое значение и включено в дополнительную колонку к гармонизируемой нами таблице G.12 для офисов категории II.

Для установления удельной величины внутренних теплопоступлений надо объединить теплопоступления от людей, от освещения и от пользования электроприборами и офисным оборудованием, причем удельное годовое потребление энергии необходимо преобразовать в часовое за рабочее время в отопительном периоде, поскольку внутренние теплопоступления неодинаковы в зимнее и летнее время из-за разной длительности светового дня.

Принимая увеличение теплопоступлений от освещения в отопительный период на 25% по отношению к годовому, получаем повышающий коэффициент K_{qE} на величину q_E для офисов категорий I и II соответственно:

$$K_{qE.1} = (9 + 11 \cdot 1,25) / 20 = 1,14$$

$$\text{и } K_{qE.2} = (9 \cdot 20 / 8 + 11 \cdot 1,25) / 33,5 = 1,08.$$

Сначала определим величину внутренних теплопоступлений за отопительный период $Q_{\text{вн.от.п}}$, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, по формуле, выведенной в [8] (обозначения и вставляемые цифровые показатели из таблицы G.12 ISO 13790):

$$Q_{\text{вн.от.п}} = (Q_P / A_{\text{пол}}) \cdot t_{\text{мет}} \cdot z_{\text{от}} \cdot 10^{-3} + K_{qE} \cdot (q_E \cdot f_E) \times z_{\text{от}} / 365,$$

где Q_p – средняя величина метаболических теплопоступлений от человека, Вт/чел., принимаемая по табл.;

$A_{пол}$ – полезная площадь помещений на человека, м²/чел.;

$t_{мет}$ – время использования метаболических притоков в день, ч;

$z_{от}$ – длительность отопительного периода в регионе, сут.;

q_E – удельное годовое потребление электрической энергии на освещение, использование электрическими приборами и оборудованием, кВт·ч/м²;

f_E – доля потребления электрической энергии в кондиционируемой части здания (в помещениях, относящихся к полезной площади здания).

Поделив оба слагаемых на длительность отопительного периода $z_{от}$ и время использования помещения в день (среднемесячное) при односменной работе в течение 5 дней в неделю $t = 6$ ч, а также пересчитав кВт в Вт, получим удельные внутренние теплопоступления в течение отопительного периода $q_{вн.от}$, Вт/м², которые при заданной в таблице полезной площади помещений офиса 20 м²/чел. и включенной нами 8 м²/чел. будут:

$$q_{вн.от.20} = (Q_p / A_{пол}) \cdot t_{мет} / t + K_{qE.1} \cdot (q_E \cdot f_E) \cdot 10^3 / (t \cdot 365) = (80 / 20) \cdot 6 / 6 + 1,14 \cdot (20 \cdot 0,9) \cdot 10^3 / (6 \cdot 365) = \mathbf{13,4} \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{вн.от.8} = (80 / 8) \cdot 6 / 6 + 1,08 \cdot (33,5 \cdot 0,9) \cdot 10^3 / (6 \cdot 365) = \mathbf{23,8} \text{ Вт/м}^2.$$

В табл. 2 из [3] приводятся величины от 40 до 60 Вт/м² – в 2,5–3,0 раза больше, чем по европейским нормам! Соответственно, в летний период с учетом понижения теплопоступлений от освещения на 35% по отношению к годовому из-за увеличения длительности светового дня понижающие коэффициенты на величину q_E будут:

$$K_{qE.1.л} = (9 + 11 \cdot 0,65) / 20 = 0,81 \text{ и } K_{qE.2.л} = (9 \cdot 20 / 8 + 11 \cdot 0,65) / 33,5 = 0,89, \text{ а удельные внутренние теплопоступления } q_{вн.ох}, \text{ Вт/м}^2, \text{ составят:}$$

$$q_{вн.ох.20} = (80 / 20) \cdot 6 / 6 + 0,81 \cdot (20 \cdot 0,9) \cdot 10^3 / (6 \cdot 365) = \mathbf{10,7} \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_{вн.ох.8} = (80 / 8) \cdot 6 / 6 + 0,89 \cdot (33,5 \cdot 0,9) \cdot 10^3 / (6 \cdot 365) = \mathbf{22,3} \text{ Вт/м}^2.$$

Показатели удельных внутренних теплопоступлений за отопительный период включены нами дополнительной строкой в гармонизируемую таблицу G.12 ISO 13790. Там же приводятся такие же показатели для образовательных учреждений, больниц, поликлиник, предприятий общественного питания,

складов, торговых, досуговых и спортивных сооружений. В отношении учреждений, работающих без выходных, часы их работы, в течение которых включено освещение и используются электрические приборы, значительно больше, чем 3–4 ч, указанные в таблице. Не работает же ресторан только 3 ч в день, а магазин 4 ч! Эти здания имеют нестабильную заполняемость; указанное количество часов соответствует длительности максимального заполнения зданий людьми в часах за целые сутки и относится к длительности теплопритоков от метаболических тепловыделений находящихся в помещениях людей.

В связи с изложенным в табл. добавлена строка «Время использования метаболических теплопритоков при 100%-ной заполняемости в средний день месяца, $t_{мет}$, ч.», значения которых перекочевали из строки «Время использования в день», а последняя строка совпадает по значениям с добавленной для зданий, которые имеют практически постоянную заполняемость в течение рабочего дня, с увеличением до фактического времени открытия с нестабильной заполняемостью. Применительно к нашим российским условиям увеличено число часов использования общеобразовательных школ с 4 до 5 ч в средний день за месяц.

Эти уточнения позволяют грамотно подойти к определению теплопотребления на отопление и охлаждение зданий и выполнять сравнение наших зданий с европейскими по показателю энергоэффективности, пока без учета климатических различий. В таком виде эта таблица вошла в стандарт СТО НОП 2.1–2014 «Требования к содержанию и расчету показателей энергетического паспорта проекта жилого и общественного здания», разработанный НП «АВОК» по заданию НОП, информация о котором приведена в [9].

Рассмотрим рекомендуемый воздухообмен для вентиляции помещений, приведенные в таблице G.12 ISO 13790. По многоквартирным домам величины минимального расхода наружного воздуха на человека практически совпадают с российскими нормами: в таблице G.12 $q_{вент} = 28 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$, по СП 60.13330 – $30 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$. В офисах по таблице G.12 $q_{вент} = 14 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$, что ниже не только наших норм: 40–60 м³/(ч·чел.) в зависимости от наличия естественного проветривания, – но и рекомендаций таблицы В.2 EN 15251:2007, где при средней величине загрязнения от самого здания и для категории требований II (новые здания) воздухообмен должен составлять 50 м³/(ч·чел.); правда, для категории

требований III (существующие здания) минимальный воздухообмен определен в $28 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$.

В то же время, как уже было указано в [10], европейские показатели выше американского стандарта ASHRAE 62-1–2004 «Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality», по которому в офисах расход наружного воздуха принимается $20 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$, включающий $9 \text{ м}^3/ч$ ($2,5 \text{ л/с}$) непосредственно на человека плюс $1,08 \text{ м}^3/ч$ ($0,3 \text{ л/с}$) на 1 м^2 площади пола помещений, или при той же норме $10 \text{ м}^2/\text{чел.}$ $9 + 1,08 \cdot 10 = 20 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{чел.})$. Обоснование такого разительного расхождения в [11] представляется недостаточно убедительным.

На наш взгляд, противоречия заключаются в том, что определяющим вредным веществом в помещении является выдыхаемый людьми углекислый газ, CO_2 , и он же принимается эквивалентом вредных веществ, генерируемых помещением (ограждения, мебель, ковры и т. п.). Но, в отличие от тепловыделений, которые мы суммируем, нельзя так же суммировать показатели выдыхаемого людьми углекислого газа с его эквивалентом, равным по вредности для здоровья человека, но представляющим собой различные газы, пары, микроорганизмы, табачный дым или некоторые аэрозоли, возникающие от продуктов жизнедеятельности людей, технологических процессов, мебели, ковров, строительных и декоративных материалов, поскольку нарушением является превышение заданной концентрации каждого вредоносного вещества. И количество наружного приточного воздуха, направляемого в помещение для разбавления до нужной концентрации углекислого газа, выдыхаемого людьми, может оказаться достаточным для разбавления других вредных веществ, например выделяемых от ограждений и мебели.

В подтверждение сказанного и в [11] указывается, что «весомость углекислого газа в суммарном показателе токсичности не превышает 20–40%. Помимо традиционного изучения содержания углекислоты целесообразно исследование: а) продуктов метаболизма организма человека; б) токсичных выделений из строительных материалов; в) запыленности; г) бактериальной обсемененности; д) ионного режима помещений».

По изложенному выше принципу построена методика определения нормы воздухообмена для жилых зданий, приведенная в [12] и перешедшая в СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» – при заселенности здания в 20 м^2 и более общей площади квартир на жителя

принимается норма воздухообмена в $30 \text{ м}^3/ч$ на человека, но не менее $0,35 \text{ об./ч}$ от объема квартиры. До заселенности чуть больше $30 \text{ м}^2/\text{чел.}$ преобладающими являются выделения вредностей от людей, а при меньшей плотности заселения – от строительных материалов, мебели, ковров.

В табл. сохраняются нормы воздухообмена для вентиляции из таблицы G.12, дополненные увеличенными значениями на 1 м^2 общей площади при более плотном размещении сотрудников в офисах и пациентов в больницах, что позволяет методом интерполяции находить искомые значения с большей точностью.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 25 января 2011 года № 18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов».
2. Ливчак В. И. Почему перегреваются офисные здания и что делать? // АВОК. 2014. № 7.
3. Наумов А. Л. Оценка и роль теплозащиты общественных зданий // АВОК. 2009. № 7.
4. Малявина Е. Г. и др. Теплозащита офисного здания // АВОК. 2010. № 8.
5. Табунщиков Ю. А., Миллер Ю. В. Оценка годового расхода энергии на отопление и охлаждение // АВОК. 2013. № 3.
6. Ливчак В. И. Учет внутренних тепlopоступлений в жилых домах // АВОК. 2013. № 6.
7. ISO 13790:2008 «Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling» («Энергетическая эффективность зданий. Расчет потребления энергии для отопления и охлаждения»).
8. Ливчак В. И. Гармонизация исходных данных российских норм, определяющих величину внутренних тепlopоступлений, с европейскими нормами // АВОК. 2014. № 1.
9. Ливчак В. И. Стандарт СТО НОП 2.1–2014 как практическая реализация повышения энергоэффективности зданий // Энергосбережение. 2015. № 2.
10. Ливчак В. И. О нормах воздухообмена общественных зданий и последствиях их завышения // АВОК. 2007. № 6.
11. Шилькрот Е. О., Губернский Ю. Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // АВОК. 2008. № 4.
12. Стандарт АВОК-1–2004 «Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена». ■