

Новая методика оценки энергопотребления зданий

Матросов Ю.А., Бутовский И.Н., Шмаров Н.А.
Научно-исследовательский институт строительной физики
Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН),
г.Москва, Россия

Разработана новая методика определения показателей энергопотребления здания с учетом наружных ограждающих конструкций, систем отопления, теплоснабжения, горячего водоснабжения и искусственного освещения, климатических параметров района строительства и требований к микроклимату помещений. Работа выполнена по заданию РААСН.

Проектирование и строительство в последние 10-12 лет новых типов энергоэффективных зданий в соответствии с принятыми СНиП по тепловой защите зданий [1] и территориальными строительными нормами по энергосбережению в зданиях [2] позволили снизить на 35-45% расходы тепловой энергии на отопление строящихся и реконструируемых зданий. Разработанные в 1995-2005 гг. новые нормативные документы по энергосбережению в зданиях как на федеральном, так и на региональном уровнях включали новый нормируемый показатель – удельный расход тепловой энергии на отопление различных зданий, обеспечивающий существенное снижение энергопотребления зданий за счет использования при проектировании зданий высокоэффективных теплоизоляционных материалов, прогрессивных конструктивных решений наружных ограждений (расположения теплоизоляции с наружной стороны оболочки здания, повышения теплотехнической однородности наружных ограждений, применения энергоэффективных светопрозрачных конструкций, утилизации теплоты удаляемого из здания вентиляционного воздуха, оптимизации объемно-планировочного решения здания, оборудования

систем отопления устройствами автоматического регулирования подачи тепла в помещения при изменении параметров наружной среды и т.д.).

Однако не все резервы энергосбережения в зданиях были использованы при разработке норм проектирования энергоэффективных зданий. Помимо расходов тепловой энергии на отопление в зданиях тепловая энергия расходуется на горячее водоснабжение, а также электрическая энергия расходуется на искусственное освещение и бытовые нужды. Первая попытка такого учета была сделана в 1999 г. в МГСН 2.01 [3].

При разработке нормативов удельного энергопотребления зданий с учетом конструктивного решения наружных ограждений, систем отопления, теплоснабжения, горячего водоснабжения и искусственного освещения необходимо учесть следующие обстоятельства. Расход теплоты на отопление здания рассматривается в течение отопительного периода и, следовательно, зависит от района строительства. Расход теплоты на горячее водоснабжение происходит в течение всего года, он мало зависит от района строительства и на него оказывает влияние поведение обитателей, температура подводимой для нагрева воды в холодное и теплое время года. Расход электроэнергии на искусственное освещение и бытовые нужды, осуществляемый в течение всего года, зависит от потребностей обитателей, времени суток и периода года. В системах отопления и горячего водоснабжения измеряется расход тепловой энергии, а в системах искусственного освещения – расход электрической энергии.

Поэтому при совместном рассмотрении энергопотребления систем отопления, горячего водоснабжения и искусственного освещения принимается в расчет, что годовой режим эксплуатации здания и расход энергии в этих системах осуществляется в одинаковых системных единицах. Для оценки энергопотребления здания с учетом нескольких систем, использующих в условиях эксплуатации энергии для обеспечения потребностей пользователей, представляется целесообразным использовать удельный (на 1 м² площади пола помещений) годовой расход энергии зданием q_y^{des} , кВт·ч/м².

Удельный годовой расход энергии зданием определяется по формуле:

$$q_y^{des} = Q_y / A_h, \quad (1)$$

где Q_y – общий годовой расход энергии зданием, учитывающий составляющие энергопотребления на отопление, горячее водоснабжение и искусственное освещение, кВт·ч;

A_h – сумма площадей пола квартир A_i или полезной площади помещений A_j , за исключением технических этажей и гаражей, м²;

$$A_h = \sum A_i \text{ или } A_h = \sum A_j \cdot \quad (2)$$

Общий годовой расход энергии зданием Q_y , кВт·ч, учитывающий основные составляющие энергопотребления, определяется по формуле:

$$Q_y = Q_h^y + Q_{hw}^y + Q_w^y \cdot \zeta, \quad (3)$$

где Q_h^y - расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, кВт·ч, определяемый по СНиП 23-02 [1];

Q_{hw}^y - годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение, кВт·ч, определяемый по формуле (5);

Q_w^y - годовой расход электрической энергии на искусственное освещение и бытовые нужды, кВт·ч, определяемый по формуле (7);

ζ - коэффициент приведения электрической к тепловой энергии:

$$\zeta = e_o^{des} / e_o^p, \quad (4)$$

где e_o^{des}, e_o^p - расчетные коэффициенты энергетической эффективности систем тепло- и электроснабжения соответственно.

Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение с учетом выключения системы на ремонт Q_{hw}^y определяется по формуле:

$$Q_{hw}^y = [Q_{hw} / (1 + k_{hl})] \cdot \{344k_{hl} + (z_{wk} / 7)[z_{ht} + \alpha(344 - z_{ht})(55 - t_{cs}) / (55 - t_c)]\}, \quad (5)$$

где Q_{hw} - среднесуточный за годовой период расход тепловой энергии на горячее водоснабжение, кВт, определяемый по формуле (6);

k_{hl} - коэффициент, учитывающий потери теплоты трубопроводами систем горячего водоснабжения;

z_{ht} - продолжительность отопительного периода, сут;

α - коэффициент, учитывающий снижение уровня водозабора в зданиях в летний период. Для жилых зданий $\alpha=0,8$, для остальных - $\alpha=1$;

t_{cs} - температура холодной воды в летний период, принимается 15°C при водозаборе из открытых источников;

z_{wk} - число суток потребления в неделю: для жилых зданий - 7 суток, для общественных зданий - число рабочих дней в неделю;

344 - продолжительность пользования центральным горячим водоснабжением в течение года, сут;

t_c - температура холодной воды, °C, принимается равной 5 °C.

Среднесуточный за годовой период расход тепловой энергии на горячее водоснабжение Q_{hw} определяется по формуле:

$$Q_{hw} = g \cdot m(55 - t_c)(1 + k_{hl})\rho_w c_w / 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где g - средний за отопительный период расход воды одним пользователем (жителем), л/сут;

m - число пользователей (жителей), чел;

t_c, k_{hl} - то же, что и в формуле (5);

ρ_w - плотность воды, равная 1 кг/л;

c_w - удельная теплоемкость воды, равная 4,2 Дж/(кг·°С).

При определении величины Q_{hw}^y значения k_{hl} принимаются согласно разд.5 МГСН 2.01[3], а при определении величины Q_{hw} значения g принимаются согласно СНиП 2.04.01[4].

По нормам для жилых и различных групп общественных зданий все они должны оснащаться системами горячего водоснабжения, а для отдельных групп в соответствии с их назначением необходимы большие расходы горячей воды (предприятия общественного питания, бани, прачечные, больницы, спортивные сооружения). Нормами [4] предусматриваются различные минимальные температуры горячей воды перед водозаборными приборами, а именно 60°С для централизованных систем горячего водоснабжения, присоединенных по открытой схеме, и 50°С для этих систем, присоединенных по закрытой схеме. Максимальная температура воды не должна превышать 75 °С.

Годовой расход электрической энергии на искусственное освещение и бытовые нужды помещений зданий Q_w^y , кВт·ч, с учетом продолжительности ее использования определяется по формуле:

$$Q_w^y = \sum_{i=1}^n (W_i \cdot A_i \cdot z_d \cdot z_y \cdot 10^{-3}), \quad (7)$$

где n - количество видов помещений в здании;

W_i - удельная установленная мощность общего искусственного освещения i -го вида помещения здания, Вт/м², определяемая по формуле (8);

A_i - суммарная площадь помещений i -го вида помещений, м²;

z_d - среднее число часов использования искусственного освещения в сутки, ч;

z_y - число суток использования искусственного освещения в течение года, сут.

Удельная установленная мощность общего искусственного освещения i -го вида помещения W_i определяется по формуле:

$$W_i = W_o (E_n / 100)(K_s / 1,5)(100 / \eta_1)(80 / \eta_w), \quad (8)$$

где W_o – базовое значение удельной мощности общего освещения помещения, Вт/м², при освещенности 100 лк, КПД светильника 100% и коэффициенте запаса 1,5;

E_n – нормируемая освещенность помещения, лк;

K_s – нормируемый коэффициент запаса для данного вида помещения;

η_1 – коэффициент полезного действия применяемых светильников, %;

η_w – световая отдача применяемого источника света, лм/Вт.

При определении величины Q_w^y и W_i значения W_o , E_n , η_w принимаются согласно раздела 8 МГСН 2.01 [3], значение K_s – согласно СНиП 23-05 [5].

Годовая продолжительность использования электрической энергии для жилых и общественных зданий z_{yy} , ч, определяемая по формуле:

$$z_{yy} = z_d \cdot z_y, \quad (9)$$

принимается по таблице 1.

Расчетная мощность электроэнергии в жилых зданиях W_h , кВт, определяется по формуле:

$$W_h = P \cdot n, \quad (10)$$

где P – удельная нагрузка электроприемников квартир, принимаемая по таблице 2 в зависимости от числа квартир, типа кухонных плит, кВт, на одну квартиру;

n – количество квартир, присоединенных к линии.

В последние 15-20 лет проектируется элитное жилье с квартирами повышенной комфортности. Решающим параметром является заявленная мощность на одну квартиру. В настоящее время по данным ОАО “Тяжпромэлектропроект” даже в муниципальных домах с электрическими плитами установленная мощность $P = 14$ кВт.

Таблица 1. Годовое число часов использования электрической энергии для жилых и общественных зданий

Объект	Режим работы	Географическая широта	Z_{yy} , ч
Освещение и бытовые нужды жилых квартир	--	Любая	2920
Освещение в помещениях общественных зданий: помещения с естественным освещением	1 смена	Южнее 50° с.ш. От 50° до 60° с.ш. Севернее 60° с.ш.	700 750 850
помещения без естественного освещения	2 смены	Любая	2250
	3 смены	Любая	4150
	3 смены, непрерывная работа	Любая	4800
	1, 2, 3, смены	Любая	4800
	1 смена	Любая	2150
	2 смены	Любая	4300
Освещение прилегающих территорий общественных зданий: включается ежедневно	До 24 ч	Любая	2100
	До 1 ч	Любая	2450
	Всю ночь	Любая	3600
включается в рабочие дни	До 24 ч	Любая	1750
	До 1 ч	Любая	2060
	Всю ночь	Любая	3000
Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов	До 24 ч	Любая	1950
	До 1 ч	Любая	2350
	Всю ночь	Любая	3500

Таблица 2. Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий, кВт на одну квартиру

Потребители электроэнергии	Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве квартир													
	1-5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
Квартиры с плитами на природном газе	4,5	2,8	2,3	2	1,8	1,65	1,4	1,2	1,05	0,85	0,77	0,71	0,69	0,67
Квартиры с электрическим и плитами, мощностью 8,5 кВт	10	5,1	3,8	3,2	2,8	2,6	2,2	1,95	1,7	1,5	1,36	1,27	1,23	1,19

Расчетное потребление электроэнергии в кВт для жилых зданий повышенной комфортности определяется по формуле:

$$W_h = P \cdot n \cdot k_i \cdot k_o, \quad (11)$$

где P – нагрузка электроприемников квартир повышенной комфортности (таблица 3);

n – количество квартир;

k_i – коэффициент спроса для квартир повышенной комфортности (таблица 3);

k_o – коэффициент одновременности для квартир повышенной комфортности (таблица 4).

Таблица 3. Коэффициенты спроса для квартир повышенной комфортности k_i

Заявленная мощность, кВт	До 14	20	30	40	50	60	70 и более
Коэффициенты спроса k_i	0,8	0,65	0,6	0,55	0,5	0,48	0,45

Таблица 4. Коэффициенты одновременности для квартир повышенной комфортности k_o

Характеристика квартир	k_o при числе квартир													
	1-5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600 и более	
С электроплитами	1	0,51	0,38	0,32	0,29	0,26	0,24	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	

На базе разработанной методики были проведены расчеты удельного годового энергопотребления многоэтажных жилых домов повышенной комфортности в условиях г.Москвы с наличием нежилого первого этажа для размещения учреждений общественно-бытового назначения и подземной автостоянки:

1. Трехсекционный жилой дом с различной этажностью секций (9, 11 и 12 этажей).
2. Двухсекционный жилой дом с разной этажностью секций (6, 7 этажей).

В первом доме в цокольном этаже предусмотрены технические помещения, приточные и вытяжные камеры для вентиляционных систем здания, а также техническое пространство для прокладки инженерных коммуникаций. На первом этаже предусмотрены нежилые помещения общественного назначения и учреждения бытового обслуживания. Входы в нежилые помещения самостоятельные и изолированы от жилой части дома.

Жилые этажи высотой 3,3 м включают 80 квартир, рассчитанные на 252 человека.

Над жилыми этажами располагается технический (теплый) чердак. Такой чердак является конструктивным элементом энергосбережения в оболочке здания, поскольку для повышения теплозащиты он использует вентиляционный воздух удаляемый из жилых помещений. Покрытие теплового чердака в виде несущей монолитной железобетонной плиты, утепленной минераловатными плитами.

Несущий каркас здания выполнен в виде пространственной структуры из монолитного железобетона, включающий междуэтажные перекрытия, наружные и внутренние стены и перегородки. Такая структура несущей основы здания позволяет возводить самонесущие (в пределах одного этажа) стены, что позволяет реализовывать энергоэффективные конструктивные решения наружных стен с применением многослойных решений, включающих эффективные теплоизоляционные материалы, мелкоштучные изделия, реализуя как наружную теплоизоляцию (наиболее эффективную) с тонким штукатурным слоем, так и различные модификации вентилируемых фасадных систем.

В данном доме стены выполнены многослойными с внутренним слоем в виде кладки из керамзитобетонных блоков, с средним слоем из минераловатных плит и облицовочным слоем в виде кладки в полкирпича из пустотного керамического кирпича, размещенной на отnose, образуя с наружной поверхностью утеплителя воздушную прослойку.

Окна и балконные двери деревянные с двухкамерными стеклопакетами.

Все конструктивные решения наружных ограждающих конструкций характеризуют оболочку здания как энергоэффективную.

Во втором жилом доме применены другие энергоэффективные ограждающие конструкции, обеспечивающие снижение энергопотребления здания.

Наружные стены многослойные с внутренним слоем из монолитного железобетона (несущая часть стен) и кладки из сплошного глиняного кирпича (само-несущая часть стен). Средний слой – минераловатные плиты ВЕНТИ БАТТС с устройством вентилируемой фасадной системы с облицовкой из алюминиевых кассетных плит. Светопроемы заполнены деревоалюминиевыми оконными блоками с двухкамерными стеклопакетами.

Покрытие – совмещенное по монолитному железобетонному перекрытию с утеплителем из экструзионного полистирола.

Для обеспечения эффективности регулирования температуры теплоносителя в системах отопления и горячего водоснабжения применены на вводах в здания пластинчатые теплообменники с автоматизацией установления температуры подаваемой воды в зависимости от изменения условий наружной среды; на вводах отопительных приборов установлены термостатические краны.

При расчетах расходов тепловой энергии на отопление были учтены теплотери через наружные ограждающие конструкции, инфильтрационные теплотери в процессе поступления наружного воздуха при вентиляции помещений. В тепловом балансе учитывались теплопоступления от солнечной радиации и бытовые тепловыделения. При расчете годового расхода тепловой энергии на горячее водоснабжение принималась во внимание степень заселенности здания, неравномерность потребления горячей воды в течение суток и времени года, учитывалось плановое отключение горячей воды при проведении профилактического ремонта. При определении расхода электроэнергии на искусственное освещение и бытовые нужды учитывались степень спроса в зависимости от заявленной мощности на квартиру, коэффициенты одновременности включения в зависимости от числа квартир в жилом доме.

Проведенные по данной методике расчеты удельного энергопотребления зданий позволили получить следующие результаты

В результате проведенных расчетов удельные (на 1 м² полезной площади) годовое энергопотребление многоэтажных жилых домов повышенной комфортности в условиях г.Москвы с учетом расходов энергии на отопле-

ние, горячее водоснабжение, электроосвещение и электропотребление на бытовые нужды q_y^{des} составило 170-180 кВт·ч/м² (таблица 5).

Таблица 5. Удельное энергопотребление многоэтажных жилых зданий

Жилые здания	Показатели энергопотребления здания, кВт·ч/м ²		
	на отопление	на горячее водоснабжение	на искусственное освещение
9-12-тиэтажный трехсекционный	73,7	47,94	32,64
6-7-миэтажный двухсекционный	88,5	48,1	28,4

В заключении следует отметить, что предложенная методика может быть основой для разработки нормативов удельного годового расхода энергии жилых и общественных зданий для климатических условий Российской Федерации с учетом основных энергопотребляющих систем здания: отопления, горячего водоснабжения и искусственного освещения.

Перечень ссылок

1. **СНиП 23-02-2003.** Тепловая защита зданий [Текст] // Госстрой России. - М., 2004.
2. **Осипов Г.Л., Матросов Ю.А., Бутовский И.Н.** Территориальные нормы по теплозащите зданий [Текст]. – БСТ, №8, 1999.
3. **МГСН 2.01-99.** Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоснабжению [Текст]. – Правительство Москвы. - М., 1999.
4. **СНиП 2.04.01-85.** Внутренний водопровод и канализация зданий [Текст] // Госстрой СССР. - М., 1986.
5. **СНиП 23-05-95.** Естественное и искусственное освещение [Текст]// Минстрой России. - М., 1995.

Получено 12.01.09