

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Грахов В.П.¹, Мохначев С.А.², Якушев Н.М.¹, Назаров С.А.¹, Овсепян О.А.¹

¹ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова», Ижевск, Россия (426069, Ижевск, ул. Студенческая, 7), e-mail: pgs@istu.ru

²НОУ ВПО «Восточно-Европейский институт», (426008, Ижевск, ул. Пушкинская, 268), e-mail: sa195909@yandex.ru

В статье авторами выполнен расчет энергоэффективности индивидуального жилого дома. В современном обществе все больше уделяется внимание экологической обстановке окружающего мира. Эта тенденция коснулась и жилищного строительства. Во многих странах разрабатываются стандарты «экодомов». Приведен обзор систем, влияющих на энергоэффективность здания. На основании этих систем произведен расчет параметров индивидуального жилого дома. Расчетным методом по заранее известным характеристикам изучаемого здания выявлен класс энергоэффективности. Авторами статьи сделан вывод о том, что строения с классом энергоэффективности D менее пригодны для жилья, требуют больших вложений для поддержания уютного микроклимата внутри помещений, нежели здания, которым присвоен класс B. Здания с классом энергоэффективности B практически не требуют энергии от городских сетей, а значит, затраты на их содержание сведены к минимуму.

Ключевые слова: активный дом, пассивный дом, энергоэффективность, расчет, класс здания, энергия, проектирование, эксплуатация, энергосбережение.

CALCULATION OF PARAMETERS OF ENERGY EFFICIENCY OF THE INDIVIDUAL HOUSE

Grakhov V.P.¹, Mokhnachev S.A.², Yakushev N.M.¹, Nazarov S.A.¹, Ovsepyan O.A.¹

¹ Izhevsk state technical University named after M.L. Kalashnikov, Izhevsk, Russia (426069, Izhevsk, street Student's, 7), e-mail: pgs@istu.ru

²Eastern-European Institute, (426008, Russia, Izhevsk, Pushkinskaya street, 270), e-mail: sa195909@yandex.ru

In this article, the authors calculated the efficiency of individual houses. In modern society, more and more attention is paid to the environmental conditions of the surrounding world. This trend has affected housing construction. In many countries, standards are developed "eco homes". Provides an overview of the systems that affect the energy efficiency of the building. On the basis of these systems were calculated parameters of individual houses. Payment method known in advance the characteristics of the studied buildings identified energy efficiency class. The authors concluded that buildings with energy efficiency class D less habitable, require large investments to maintain comfortable indoor climate, rather than the building, which is assigned to the class Century Building with energy efficiency class In require virtually no energy from urban networks, and therefore the cost of isterzana minimized.

Keywords: active house, passive house, energy efficiency, calculation, building class, energy, design, exploitation, energy saving.

В современном обществе все больше уделяется внимание экологической обстановке окружающего мира. Эта тенденция коснулась и жилищного строительства [1, 6]. Во многих странах разрабатываются стандарты «экодомов», в некоторых они уже разработаны, например, в США, Германии, полным ходом идет строительство домов, не требующих энергии от городской сети и не загрязняющих окружающий мир. В Германии действует постановление правительства: «сто тысяч крыш», а в США – «миллион крыш» [5]. Это постановление для уже построенных домов, которые могут быть переоборудованы, а именно в них могут быть использованы солнечные коллекторы.

В России это направление также развивается. Существует нормативная документация (ГОСТ Р 54964-2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости»), в которой прописаны некоторые правила экологически чистого строительства, адаптированные для российского климата. В 2012 году в Подмосковье был построен первый активный дом.

Существует два типа домов – активный и пассивный дом:

Активный дом (англ. Active House) – это комплекс решений, ставящий перед собой целью создание максимального комфорта и качества проживания путём эффективного использования природных энергоресурсов и современных технологий. Базовым параметром Активного дома является объединение решений, разработанных институтом Пассивного дома (Германия), и технологий «Умного дома». Благодаря этому удаётся создать дом, который не только тратит мало энергии, но ещё и грамотно распоряжается той незначительной, которую вынужден потреблять.

Активный дом – это дом, способный снабдить энергией и теплом не только себя, но и гостевой дом, баню и обслужить бассейн. Первый в мире Активный дом построен в Дании, и он, помимо того, что потребляет мало энергии, как Пассивный дом, так ещё и вырабатывает её столько, что может отдавать её в центральную сеть, за что в большинстве стран можно получать деньги. Таким образом, дом становится источником дохода, а не затрат [2].

Пассивный дом, энергоэффективный дом или экодом (нем. Passivhaus, англ. passive house) – это сооружение, основной особенностью которого является отсутствие необходимости отопления или малое энергопотребление – в среднем около 10 % от удельной энергии на единицу объёма, потребляемой большинством современных зданий [3].

Главной особенностью таких домов являются высокие показатели теплоизоляции, которые достигаются путем использования лучших теплоизоляционных материалов, использованием рекуператоров тепла для вентиляции, которые предотвращают потерю теплого воздуха через вент каналы, так же соблюдается высокая герметичность здания.

Немаловажную роль играют автономные источники энергии, не зависящие от городской сети, а в некоторых случаях способные сбрасывать в нее излишки энергии (в России пока не реализовано). Источниками энергии в таких домах могут быть: солнечные коллекторы, солнечные колодцы, рекуператоры тепла, тепловые насосы; также в полной мере

Таблица 1

Характеристики индивидуального жилого дома

№ п/п	Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Нормативное значение показателя	Расчетное (проектное) значение показателя	Фактическое значение показателя
1	2	3	4	5	6
Геометрические показатели					
1	Общая площадь наружных ограждающих конструкций здания В том числе: стен окон и балконных дверей входных дверей чердачных перекрытий пола по грунту	$A_w, \text{м}^2$	-	410,9	410,9
		$A_F, \text{м}^2$	-	38,7	38,7
		$A_{ed}, \text{м}^2$	-	3,8	3,8
		$A_g, \text{м}^2$	-	129,3	129,3
2	Общая площадь	$A_l, \text{м}^2$		282,3	282,3
3	Расчетная площадь	$A_l, \text{м}^2$		254,7	254,7
4	Отапливаемый объем	$V_h, \text{м}^3$		931,59	931,59
5	Коэффициент остекленности фасада здания	f		0,23	0,23
6	Показатель компактности здания	k_e^{des}		0,354	0,354
Теплоэнергетические показатели: Теплотехнические показатели					
7	Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений: стен окон входных дверей перекрытий чердачных перекрытий над неотапливаемыми подвалами и подпольями	$R_o^f, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$			
		R_w	2,91	1,35	1,35
		R_F	0,48	0,58	0,58
		R_{ed}	0,48	0,58	0,58
		R_c	3,29	1,746	1,746
		R_f	3,29	1,234	1,234
8	Приведенный коэффициент теплопередачи здания	$K_m^{tr}, \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$	-	0,844	0,844
9	Кратность воздухообмена здания за отопительный период	$n_a, \text{ч}^{-1}$		0,35	0,35
10	Удельная вентиляционная характеристика здания	$K_{vent}, \text{Вт} / (\text{м}^3 \cdot \text{°C})$		0,28	0,28
11	Условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплотери за счет инфильтрации и вентиляции	$K_m^{int}, \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$		0,284	0,284
12	Общий коэффициент теплопередачи здания	$K_m, \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$		0,804	0,804
Теплоэнергетические показатели: Энергетические показатели					
13	Общие теплотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период	$Q_h, \text{МДж}$		683179	683179
14	Удельные бытовые теплотери в здании	$Q_{int}, \text{Вт} / \text{м}^2$		2	2
15	Бытовые теплоступления в здания за отопительный период	$Q_{int}, \text{МДж}$		77891	77891
16	Теплоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период	$Q_s, \text{МДж}$		34245	34245
17	Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период	$Q_h^v, \text{МДж}$		652620	652620

используются солнечные лучи, попадающие в помещение через оконные проемы, использование геотермальной вентиляции. В активных домах, также называемых «умный

дом», используются датчики и центральный компьютер. Датчики контролируют температуру, влажность, состав воздуха в помещении, отправляют эти данные на центральный компьютер, а тот в свою очередь открывает или закрывает окна, вентиляционные каналы, повышает или понижает температуру теплоносителя и контролирует другие элементы дома. Также контролирует расход электроэнергии бытовыми приборами и учитывает излучаемое или тепло.

Некоторые системы, которые влияют на энергоэффективность здания: 1) улучшенная теплоизоляция; 2) вентиляция: а) геотермальная вентиляция; б) рекуператоры тепла; 3) солнечная энергия: а) солнечные коллекторы; б) солнечные колодцы; 4) оконные проемы; 5) система управления зданием; б) ориентация здания относительно сторон света.

Цель данной исследовательской работы – расчет энергоэффективности индивидуального жилого дома. Исследования были проведены расчетным методом. По заранее известным характеристикам изучаемого здания, представленным в таблице 1.

1.1 Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период q_h^{des} , кДж/(м³°C сут) определяется по формуле:

$$q_h^{des} = \frac{10^3 Q_h^y}{V_h D_d} [1]$$

Где Q_h^y – расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, МДж;

V_h – отапливаемый объем здания, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений, м³;

D_d – градусо-сутки отопительного периода, °C сут.

$$q_h^{des} = 10^3 \times \frac{118105}{(932 \times 6127)} = 20.7 \text{ кДж/(м}^3 \text{ °C сут)} [2]$$

1.2 Расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода Q_h^y МДж определяется по формуле:

$$Q_h^y = [Q_h - (Q_{int} + Q_s) v \zeta] \beta_h [3]$$

Где Q_h – общие теплопотери здания через наружные ограждающие конструкции, МДж, определяемые по п.1.3;

Q_{int} – бытовые теплопоступления в течение отопительного периода, МДж, определяемые по п.1.6;

Q_s – теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода, МДж, определяемые по п.1.7;

v – коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций, $v = 0,8$;

ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления, $\zeta = 0,5$;

β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системы отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, их дополнительными теплопотерями через радиаторные участки

ограждений, повышенной температурой воздуха в угловых помещениях, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения, $\beta_h = 1,13$

$$Q_h^y = [137207 - (48414 + 33310) 0,8 \times 0,5] 1,13 = 118105 \text{ МДж} [4]$$

1.3 Общие теплопотери здания Q_h МДж за отопительный период определяется по формуле:

$$Q_h = 0,0864 K_m D_d A_e^{sum} [5]$$

Где K_m – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м² °С), определяемый по формуле:

$$K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf} [6]$$

K_m^{tr} – приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции здания, Вт/(м² °С), определяемый по формуле:

$$K_m^{tr} = \frac{\frac{A_w}{R_w^r} + \frac{A_F}{R_F^r} + \frac{A_{ed}}{R_{ed}^r} + \frac{A_c}{R_c^r} + \frac{A_f}{R_f^r}}{A_e^{sum}} [7]$$

$\frac{A_w}{R_w^r}$ – площадь, м², и приведенное сопротивление теплопередаче, Вт/(м² °С), наружных стен (за исключением проемов);

$\frac{A_F}{R_F^r}$ – то же, заполнения светопроемов (окон, стеклопакетов)

$\frac{A_{ed}}{R_{ed}^r}$ – то же, наружных дверей и ворот;

$\frac{A_c}{R_c^r}$ – то же, покрытий;

$\frac{A_f}{R_f^r}$ – то же, полов по грунту

A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, м²;

K_m^{inf} – условный коэффициент теплопередачи здания, учитывающий теплопотери за счет инфильтрации и вентиляции Вт/(м² °С), определяемый по формуле:

$$K_m^{inf} = \frac{0,28 c n_a \beta_v V_h p_a^{ht} k}{A_e^{sum}} [8]$$

Где c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг °С),

β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций, принимается $\beta_v = 0,85$;

p_a^{ht} – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период кг/м³.

$$p_a^{ht} = \frac{353}{[273 + 0,5 (t_{int} + t_{ext})]} [9]$$

n_a – средняя плотность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹, определяемый по п 1,4.;

t_{int} – расчетная средняя температура воздуха здания, °С

t_{ext} – расчетная средняя температура наружного воздуха в холодный период года, °С, принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

$$p_a^{ht} = \frac{353}{[273 + 0.5(20 + (-34))]} = 1,26 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [10]$$

$$K_m^{inf} = \frac{0,28 \times 1 \times 0,38 \times 0,85 \times 932 \times 1,26 \times 0,8}{735,7} = 0,1154 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad [11]$$

$$K_m^{tr} = \frac{\frac{410,9}{3,7} + \frac{38,7}{0,55} + \frac{3,8}{0,55} + \frac{153}{5,05} + \frac{129,3}{2,1}}{735,7} = 0,321 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad [12]$$

$$K_m = 0,382 + 0,1154 = 0,4974 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad [13]$$

$$Q_h = 0,0864 \times 0,4974 \times 6127 \times 735,7 = 193717 \text{ МДж} \quad [14]$$

1.4 Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждений:

$$R_o^r, (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad [15]$$

$$R_o^r = \frac{1}{\alpha_s} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_n} \quad [16]$$

Где α_s – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}).

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}).

R_s – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/Вт, определяется для невентилируемых воздушных прослоек по таблице Е.1, для материальных слоев по формуле:

$$R_s = \delta_s / \lambda_s$$

δ_s – толщина слоя, м;

λ_s – теплопроводность материала слоя Вт/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}).

Наружные стены: $R_w = 3,7 (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}$

$$R_w = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,16}{0,052} + \frac{0,25}{0,81} + \frac{0,01}{0,776} + \frac{1}{23} = 3,7 (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт} \quad [17]$$

Оконные блоки: $R_F = 0,55 (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}$

Входные двери при отсутствии сертификационных испытаний и наличии теплого тамбура, принимаем: $R_{gd} = 0,55 (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}$

Перекрытие (кровля): $R_c = 5,05 (\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})/\text{Вт}$

1.5 Средняя кратность воздухообмена жилой части здания за отопительный период

$$N_{B1} = \frac{L_{\text{вент}}}{\beta v \cdot V_{\text{от}}} = \frac{350}{(0,85 \cdot 932)} = 0,44 \text{ ч}^{-1} \quad [18]$$

Где βv – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций.

1.6 Бытовые тепlopоступления в течение отопительного периода Q_{int} , МДж

$$Q_{int} = 0,0864 q_{int} z_{ht} A_t \quad [19]$$

Где q_{int} – величина бытовых тепловыделений на 1 \text{ м}^2 площади жилых помещений – или расчетной площади общественного здания, Вт/\text{м}^2

z_{ht} – продолжительность, сут, отопительного периода для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 \text{ } ^\circ\text{C}, с учетом рабочих дней в течение отопительного периода;

A_t – то же, что и в п. 1.4

$$Q_{int} = 0,0864 \times 10 \times 220 \times 254,7 \times 48414 \quad [20]$$

1.7 Теплопоступления через окна от солнечной радиации в течение отопительного периода Q_s , МДж, для двух фасадов здания, ориентированных по двум направлениям, определяются по формуле:

$$Q_s = T_F k_F (A_{F1} I_1 + A_{F2} I_2 + A_{F3} I_3 + A_{F4} I_4) \quad [21]$$

Где T_F – коэффициент, учитывающий затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения.

A_{F1} A_{F2} A_{F3} A_{F4} – площадь светопроемов фасадов здания, соответственно ориентированных по двум направлениям, m^2

$$I_{1,2 (В/В)} = 835 \text{ МДЖ/М}^2 \quad I_3 (Ю) = 1984 \text{ МДЖ/М}^2 \quad I_{4 (С)} = 43 \text{ МДЖ/М}^2$$

$$Q_s = 0,75 \times 0,65 \times (835 \times 12,4 + 835 \times 15,5 + 1984 \times 4,95 + 43 \times 4,95) = 16248 \quad [22].$$

1.8 Определение энергетической эффективности здания

Величина расчетного удельного расхода тепловой энергии на отопление здания в процентах от нормируемого удельного расхода тепловой энергии на отопление здания:

$$\frac{q_h^{des}}{q_h^{reg}} \times 100\% \quad [23]$$

$$\frac{20,7}{31} \times 100\% = 66,7\% \quad [24]$$

Величина отклонения расчетного значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормируемого: $66,7\% - 100\% = -33,3\%$

Это соответствует классу энергетической эффективности здания – Высокий (класс В).

По результатам этого же расчета для здания с такими же геометрическими параметрами, с тем же количеством окон и находящегося в той же точке, но с показателями энергоэффективности как у обычного здания, мы получим класс энергоэффективности D. Строения с таким классом менее пригодны для жилья, требуют больших вложений для поддержания уютного микроклимата внутри помещений, нежели здания, которым присвоен класс В. Здания с классом энергоэффективности В практически не требуют энергии от городских сетей, а значит, затраты на содержание сведены к минимуму. Единственный минус – стоимость строительства выше примерно на 10 % по сравнению с обычным строительством, но это окупается за первые несколько лет эксплуатации.

В связи с этим необходимы интенсивные усилия проектировщиков, застройщиков, инвесторов в применении этих новых систем.

Список литературы

1. Грахов В.П., Мохначев С.А., Колупаев А.В. Внедрение экологического маркетинга в объекты недвижимости // European student scientific journal. – 2014. – № 2; URL: sjes.esrae.ru/ru/21-252 (дата обращения: 22.11.2014).

2. Активный дом. Электронный ресурс.
URL:http://ru.pages.wikia.com/wiki/%D0%90%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%BE%D0%BC (дата обращения: 23.11.2014).
3. Энергосберегающий дом. Электронный ресурс.
URL:<http://aeroteh.info/uslugi/vnedrenie-energoberegayushhix-texnologij/passivnyj-dom-ekodom/> (дата обращения: 24.11.2014).
4. Экологический паспорт жилого здания. ООО «Рубикон», СРО НП «Союз «Энергоэффективность» Свидетельство №276-2012-5920007508-01 от 29.06.12.
5. Давидьянц А. Солнечный ветер для холодной страны // Гудок. Выпуск №25 от 29.03.2013.
6. Мохначев С.А., Грахова Е.В., Пряженникова Л.В. Варианты развития реконструкции промышленной застройки // European student scientific journal. 2014. № 3; URL: <http://sjes.esrae.ru/22-275> (дата обращения: 18.11.2014).

Рецензенты:

Щетинина Е.Д., д.э.н., профессор, зав. кафедрой маркетинга, ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород;

Родимцев С.А., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности на производстве», Орловский государственный аграрный университет, г. Орел.