

## СОЗДАНИЕ «ЭНЕРГОПАССИВНОГО ДОМА» В УСЛОВИЯХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

*Щеклеин С.Е., Велькин В.И., Хайретдинова Л.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

Стандартизация энергопассивных домов устанавливается в зависимости от значений удельного потребления тепловой энергии (УПТЭ) на отопление ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ) в год. В Европе принята следующая классификация зданий в зависимости от их уровня энергопотребления [1]:

- «Старые здания» (здания, построенные до 1970-х годов) – УПТЭ примерно  $300 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год;
- «Новые здания» (здания, построенные с 1970-х до 2000 г.) – УПТЭ не более  $150 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год.
- «Дома низкого потребления энергии» (с 2002 г. в Европе не разрешено строительство домов более низкого стандарта) – УПТЭ  $< 60 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год.
- «Пассивный дом» (passive house)– УПТЭ не более  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год.
- «Дом нулевого энергобаланса» (zero energy buildings)-здание, архитектурно имеющее тот же стандарт, что и пассивный дом, но инженерно оснащённое таким образом, чтобы потреблять исключительно только ту энергию, которую само и вырабатывает): УПТЭ =  $0 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год.

В ходе исследования ставилась задача внедрения технологии, обеспечивающей возведение энергоэффективного дома в условиях Уральского региона [2]. В качестве исходного объекта для последующей реконструкции в жилой дом была взята заброшенная ферма КРС (крупного рогатого скота) (рис. 1), коих только в Свердловской области насчитывается около 200. Такая реконструкция была проведена (рис. 2) [3].



Рис .1.а) Заброшенная ферма крупного рогатого скота (июль 2001 г.)



Рис .1.б). Реконструированная в жилой дом ферма КРС (февраль, 2008 г)

Создание энергоэффективного дома, относящегося к категории «Пассивного», в принципе возможно для любого климатического пояса, в т.ч. и для холодных климатических зон.

Однако, каждый раз встает вопрос экономической целесообразности для конкретных территорий. Так, нулевой дом можно спроектировать и создать даже в суровых климатических условиях, используя технологические решения, например, монтируя его без окон, с толщиной стен более 1 м, в двойной оболочке с вакуумированием межстенного пространства – как термос. В то же время, в любом случае необходим приход энергии извне. Лучшим вариантом может быть использование возобновляемой энергии: солнечной, ветровой, гидро-, геотермальной, с отсутствием транспортной и топливной составляющих.

Потребность в приходе энергии для объекта напрямую зависит от климатического района и характеризуется коэффициентом ГСОП – градусо-суток отопительного периода.

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot ГСОП \cdot V_{от} \cdot K_{об}, \text{ кВт ч/год} \quad (1)$$

где, ГСОП – градусо-сутки отопительного периода,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}$ :

$$ГСОП = (t_{в} - t_{от}) z_{от}, \quad (2)$$

$t_{от}$ ,  $z_{от}$  – средняя температура наружного воздуха  $^{\circ}\text{C}$ , и продолжительность отопительного периода, сут/год, принимаемые по своду правил для периода среднесуточной температурой наружного воздуха не более  $8^{\circ}\text{C}$ .

$t_{в}$  – расчетная температура внутреннего воздуха здания,  $^{\circ}\text{C}$ ,

$k_{об}$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$  - удельная теплозащитная характеристика здания:

$$k_{об} = K_{комн} \cdot K_{общ} \quad (3)$$

$$K_{общ} = 1 / A_n^{сум} \cdot \sum (n_{t,i} \cdot A_{\phi,i} / R_{o,i}^{пп}) \quad (4)$$

где:  $R_{o,i}^{пп}$  – приведенное сопротивление теплопередаче  $i$ -го фрагмента тепловой оболочки здания,  $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ ;

$A_{\phi,i}$  – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания,  $\text{м}^2$

$V_{от}$  –отапливаемый объем здания,  $\text{м}^3$ ;

$n_{t,i}$  – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчете ГСОП.

$K_{комп}$  – коэффициент, учитывающий компактность здания:

$$K_{комп} = A_n^{сум} / V_{от}, \text{ м}^{-1}$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление здания за отопительный период  $q_{от}$ :

$$q_{от} = Q_{от}^{год} / A_{от}, \text{ кВт ч}/(\text{м}^2 \text{ год})$$

Согласно СНиП 23-02-2003, требуемое сопротивление теплопередаче  $R$ , для различных городов России, представлено в сравнительном графике (рис. 3).

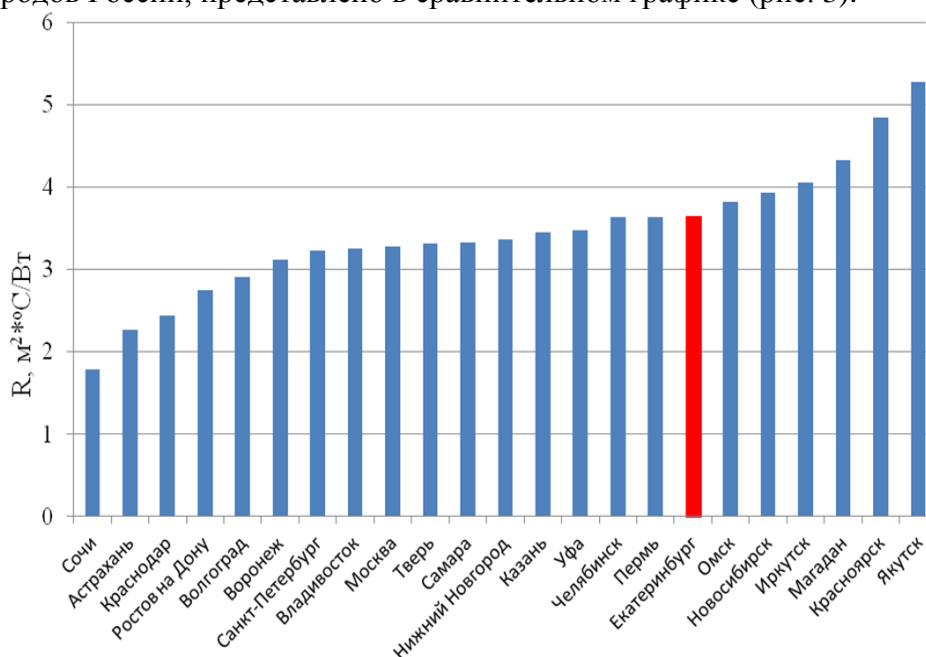


Рис. 3. Сопротивление теплопередаче для различных территорий и городов России

Потребление тепловой энергии при сопротивлении теплопередаче ограждающих конструкций  $R = 1$  представлено на (рис. 4). При сравнении с графиком энергии, приходящей от солнца (рис. 5), видно, что они находятся в «противофазе»: большое количество солнечной энергии, приходящей в летний период, диссонирует с отсутствием необходимости в ней в этот период, и наоборот: зимой, когда требуется большое количество энергии на отопление, она практически «отсутствует».

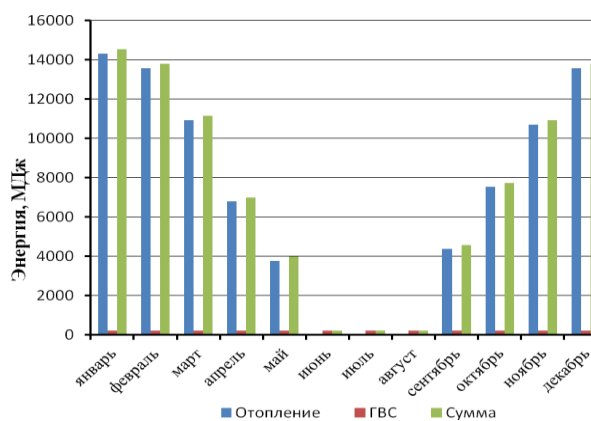


Рис. 4. Потребление энергии в течение года

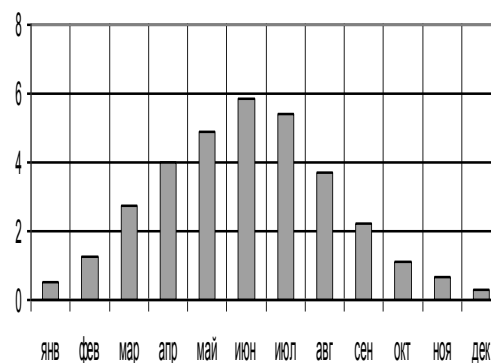


Рис. 5. Приход  $Q$  солнечной энергии в течение года при сопротивлении теплопередаче  $R = 1$ .

В связи со значительными излишками прихода энергии в летний период, естественен вопрос о необходимости аккумулирования солнечной энергии и последующего использования её в зимний. В этом случае можно было бы говорить о создании объектов с нулевым (по году) балансом («приход летом» = «расход зимой») энергии.

Потребление тепловой энергии  $Q_{от}^{год}$  дома в зависимости от сопротивления теплопередаче  $R$  ограждающих конструкций представлено на (рис. 6.)

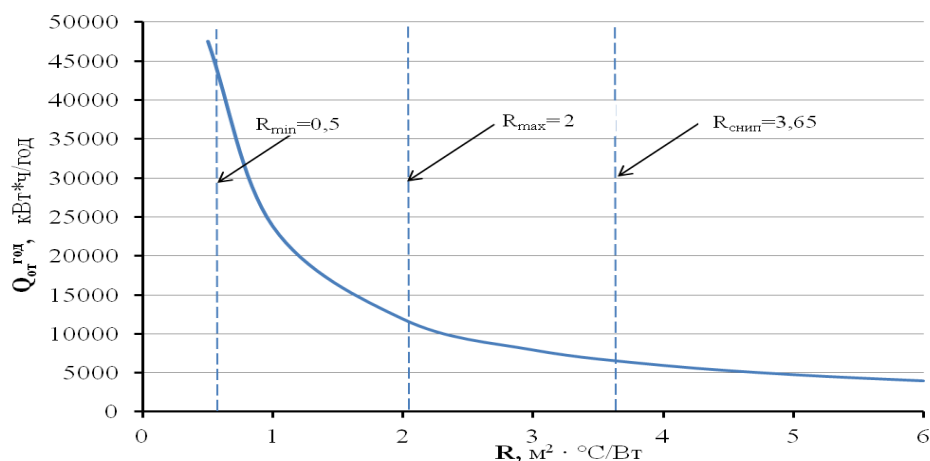


Рис. 6. Потребление тепловой энергии  $Q_{от}^{год}$  дома в зависимости от сопротивления теплопередаче  $R$

Из графика следует, что чем выше значение коэффициента сопротивления теплопередаче  $R$ , тем меньше энергии требуется на отопление объекта. В предельном случае, потребление энергии могло бы быть сведено к «нулю», однако подобный дом стал бы в результате мероприятий по теплозащите «золотым».

В (табл. 1) представлены удельные энергетические затраты на создание материалов и конструкций, используемых при строительстве зданий [4].

Таблица 1.

#### Энергетические затраты на производство материалов для жилого объекта

Материалы и конструкции	Общие энергозатраты, МДж
Цемент, т	7250
Кирпич глиняный, 1000 шт.	8903
Стекло листовое, т (1000 м²)	90190
Керамзит гравийный, м³	3538
Минеральная вата товарная, м³	2320
Пенобетон, м³	3451
Плитка керамическая облицовочная, 1000 м²	368880
Трубы канализационные чугунные, т	28710
Трубы пластмассовые из поливинилхлорида, т	140331
Трубы стальные, т	55941
Гипсокартонные листы, 1000 м²	54549
Железобетонные сборные стеновые конструкции из легкого бетона, м³	9106
Бетонные сборные конструкции, м³	5858
Железобетонные монолитные	7830

Для оптимизации затрат при проектировании «нулевого дома» получен график выбора эффективной толщины тепловой защиты здания с учетом ГСОП по критерию капитальных затрат на (рис. 7).

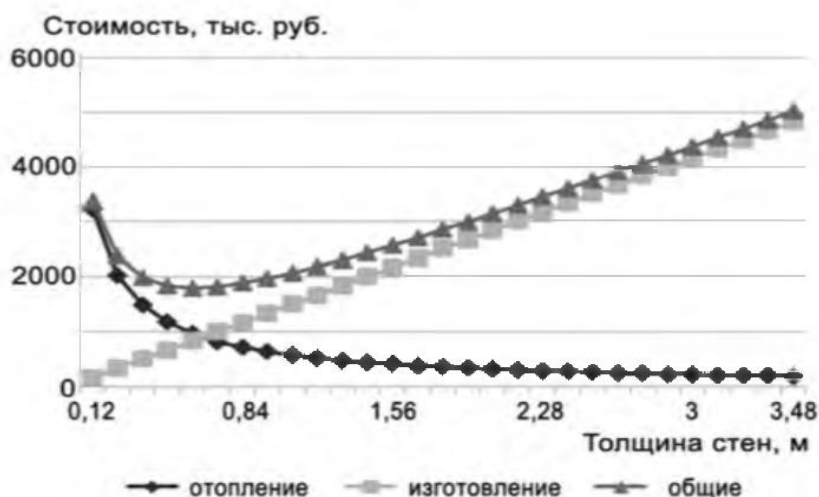


Рис. 7. Оптимизация затрат при определении варианта энергоэффективного дома.

Из графика следует, что на вогнутой части результирующей кривой, описывающей общие затраты, существует точка глобального минимума, которая характеризует наименьший уровень суммарных затрат и на приобретение материалов, и на отопление объекта в течение эксплуатации.

«Энергоэффективный дом» был сдан Государственной приемочной комиссии в декабре 2005 года и первоначально соответствовал классу энергоэффективности «С» по СНиП 23-02-2003 и СП 50.13300.2012 [5], что соответствовало показателям «Дома низкого потребления энергии» с УПТЭ < 60 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год.

С целью достижения объектом показателей более высокого уровня («Пассивный дом» (passive house) и, в перспективе, «Дом нулевого энергобаланса» (zero energy buildings)), были проведены мероприятия по термографированию с последующим устранением недостатков (тепловых утечек) [6] и оснащение объекта энергонезависимыми источниками энергии (ветроустановки, ветронасос, солнечные фотоэлектрические преобразователи, солнечные коллекторы, тепловой насос, микро ГЭС) [7] (рис. 8).



Рис. 8. Реконструированный объект «Энергоэффективный дом» с комплексом возобновляемых источников энергии (январь 2015 г.)

В ходе проведенных мероприятий (замена утеплителя, ликвидация утечек) было достигнуто значение термического коэффициента для тепловой защиты  $R=3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , что привело к снижению тепловых потерь и, как следствие, уменьше-

нию затрат на теплообеспечение объекта. Внедрение возобновляемых источников энергии и теплового насоса ещё на один шаг приблизило объект к «пассивному дому», т.к. удельное потребление тепловой энергии составило 20 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год. Третьим шагом стало наращивание аккумулирующих мощностей на объекте суммарно с 500 до 7000 Аh, что позволило решить проблему отопления части здания в моменты отключений централизованных систем (газ, электричество).

Ещё одним (четвертым) шагом станет использование, как теплоаккумулятора, объема близлежащего пруда ( $V=2000 \text{ м}^3$ ), выполняющего функцию пожарного резервуара и имеющегося в каждом коллективном саду (как требование пожарслужб). Кроме того, актуальным и перспективным является использование грунтового аккумулятора тепла. [8].

#### **Выводы**

Для создания энергопассивного дома в условиях Уральского климата требуется выполнение следующих условий:

- Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R$  должно иметь высокие значения ( для РФ от 6-8 м<sup>2</sup>\*С/Вт),
- Здание должно иметь системы энергоснабжения от возобновляемых источников соответствующей мощности;
- Здание должно иметь системы сезонного аккумулирования и последующего (компенсирующего) использования энергии.

#### **Литература**

1. Директива Европейского Союза по энергоэффективности зданий ЕВРО-2010/31/EU
2. Патент РФ №2005106435, 09.03.2005 Щеклеин С. Е., Тягунов Г. В., Велькин В. И., Ухов А. Л. Энергоэффективный дом / Патент России № 61760, 2007.
3. Velkin V.I., Vlasov V.V. Shcheklein S.E. Energy-efficient building with the integrated use of renewable energy sources in severe weather condition. WIT Transaction on The Built Environment. Vol.168.2015, WIT Press. Sustainable Development. Vol. 1 pp.191-199.
4. Щелоков Я.М., Данилов Н.И. Энергетическое обследование: Теплоэнергетика. Т.1., Справочное издание, Екатеринбург, 2011, 264 с.
5. ТСН 23-301-2004. Энергетическая эффективность жилых и общественных зданий. Нормы по энергопотреблению и теплозащите. // НИИ строительной физики РААСН. М., 2004.
6. Щеклеин С. Е., Тягунов Г. В., Велькин В. Е., Ефимова А. В. Тепловизионный мониторинг теплозащитных характеристик здания в рамках проекта «Энергоэффективный дом» //ж. Альтернативная энергетика и экология № 3, 2012. С. 113–118.
7. Velkin V. I. Research efficiency of complex systems with spread spectrum renewable energy for electric power supply decentralized objects in Russia. Proceedings of the scientific-practical conference «Energy Qwest», Ekaterinburg. 2014. PP. 357–362.
8. Корнеева И.А., Низовцев М.И. Расчет грунтового аккумулятора для системы солнечного теплоснабжения/ В сборнике: Наука, технологии, инновации: Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых: в 10 частях. Новосибирский государственный технический университет. 2013. С. 160-164.