

## Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий

К.т.н., докторант А.С. Горшков\*,

ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Под энергоэффективностью в жилищном строительстве будем понимать комплекс мероприятий, направленных на снижение потребляемой зданиями тепловой энергии, необходимой для поддержания в помещениях требуемых параметров микроклимата, при соответствующем технико-экономическом обосновании внедряемых мероприятий и обеспечении безопасности. Таким образом, понятие энергоэффективности неразрывно связано с вопросами энергосбережения. Но только в том случае, если мероприятия, направленные на снижение потребляемой зданиями энергии, технически осуществимы, экономически обоснованны и безопасны.

Казалось бы, данная проблема решается довольно несложным образом. Чем меньше здание теряет тепла, тем меньшее количество энергии требуется подвести для восполнения тепловых потерь. В этой связи, на первый взгляд, наиболее простым и рациональным способом экономии энергии на отопление выглядит способ повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Начиная с 70-х годов прошлого столетия в Европе, а с 2000 года и в России требования к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций были, хоть и непропорционально, но существенно увеличены. В России с 2000 года применительно к стенам и покрытиям требования к уровню тепловой защиты были увеличены на 150-200%, к окнам – на 20-30%, при этом требования к сокращению затрат энергии на вентиляцию помещений были проигнорированы. Однако, несмотря на кажущуюся простоту решения обозначенной выше проблемы, данный способ снижения энергозатрат и, как следствие, повышения энергоэффективности в принятой терминологии, имеет свои ограничения и, кроме того, не всегда оказывается эффективным с экономической точки зрения.

Во-первых, изменение тепловых потерь через  $1 \text{ м}^2$  ограждающей конструкции ( $Q$ ) в зависимости от приведенного сопротивления теплопередаче ( $R_0^{np}$ ) изменяется по гиперболической зависимости (рис. 1). Представленная на рисунке 1 зависимость соответствует климатическим условиям города Москвы (ГСОП=4943,4 °С·сут/год).

Из приведенного графика (рис. 1) видно, что по мере увеличения приведенного сопротивления теплопередаче ( $R_0^{np}$ ) теплотери ( $Q$ ) уменьшаются вначале очень быстро, затем более медленно, и при некотором значении приведенного сопротивления теплопередаче ( $R_0^{np} \geq 3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ) теплотери убывают очень незначительно. В то же время дальнейшее увеличение сопротивления теплопередаче (до  $4,0 \div 5,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ) существенным образом увеличит себестоимость возведения квадратного метра стеновой конструкции. И эти затраты могут превысить экономию, которая достигается в результате увеличения теплозащитных свойств стены. Это означает, что дальнейшее увеличение сопротивления теплопередаче снизит расходы на отопление, но с учетом высоких капитальных затрат на возведение стены может оказаться экономически неэффективным шагом.

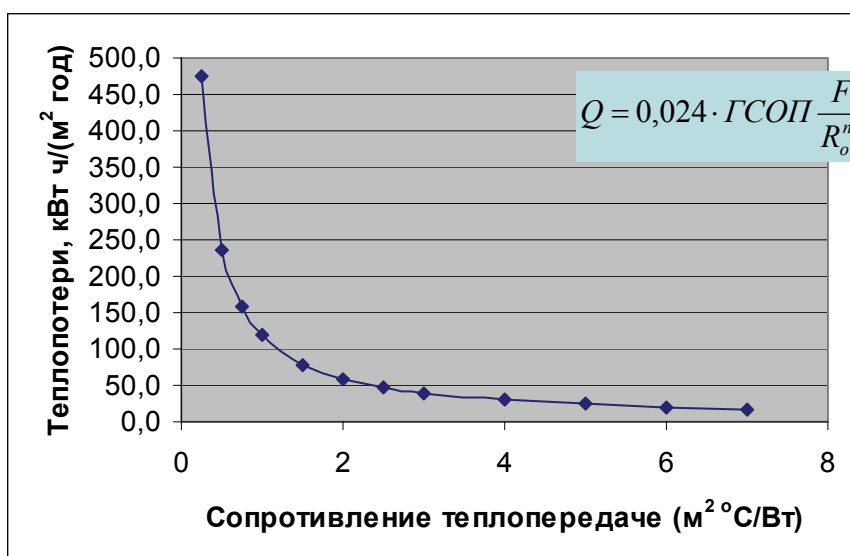


Рисунок 1. График зависимости теплотери через  $1 \text{ м}^2$  ограждающей конструкции в зависимости от приведенного сопротивления теплопередаче

Расчеты показывают, что при нынешнем уровне цен на энергоносители экономически целесообразное сопротивление теплопередаче ( $R_{эк}$ ), соответствующее минимуму приведенных затрат на возведение квадратного метра стены с учетом эксплуатационных расходов на отопление в течение срока эксплуатации 30-50 лет, находится в диапазоне от 2 до 4  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . Экономически целесообразное значение сопротивления теплопередаче ( $R_{эк}$ ) будет зависеть от стоимости и теплофизических характеристик материалов, из которых возводится стеновая ограждающая конструкция, типа стеновой конструкции (однородная стена, вентилируемый фасад и т.д.), а также от срока ее службы (долговечности), то есть времени, в течение которого могут быть подсчитаны все эксплуатационные расходы. В монографии [1], а также пособия [2] представлены формулы, по которым можно оценить оптимальное значение сопротивления теплопередаче стеновой конструкции по минимуму приведенных затрат. На рис. 2 представлена зависимость приведенных затрат (руб/  $\text{м}^2$ ) от толщины стены при предполагаемом безремонтном сроке эксплуатации 50 лет. Представленная зависимость была рассчитана для стены, возведенной из газобетонных блоков марки по плотности D400.

Зависимость приведенных затрат от толщины стены при сроке эксплуатации 50 лет

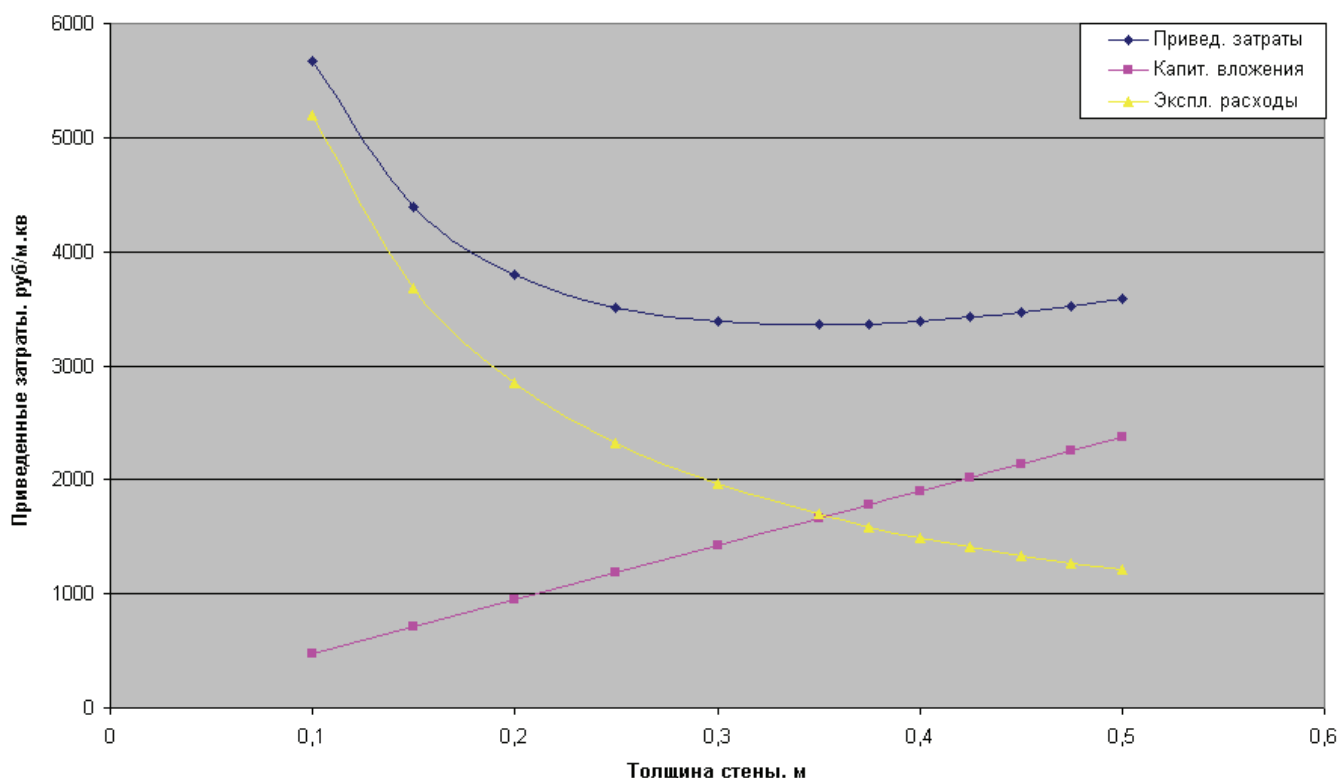
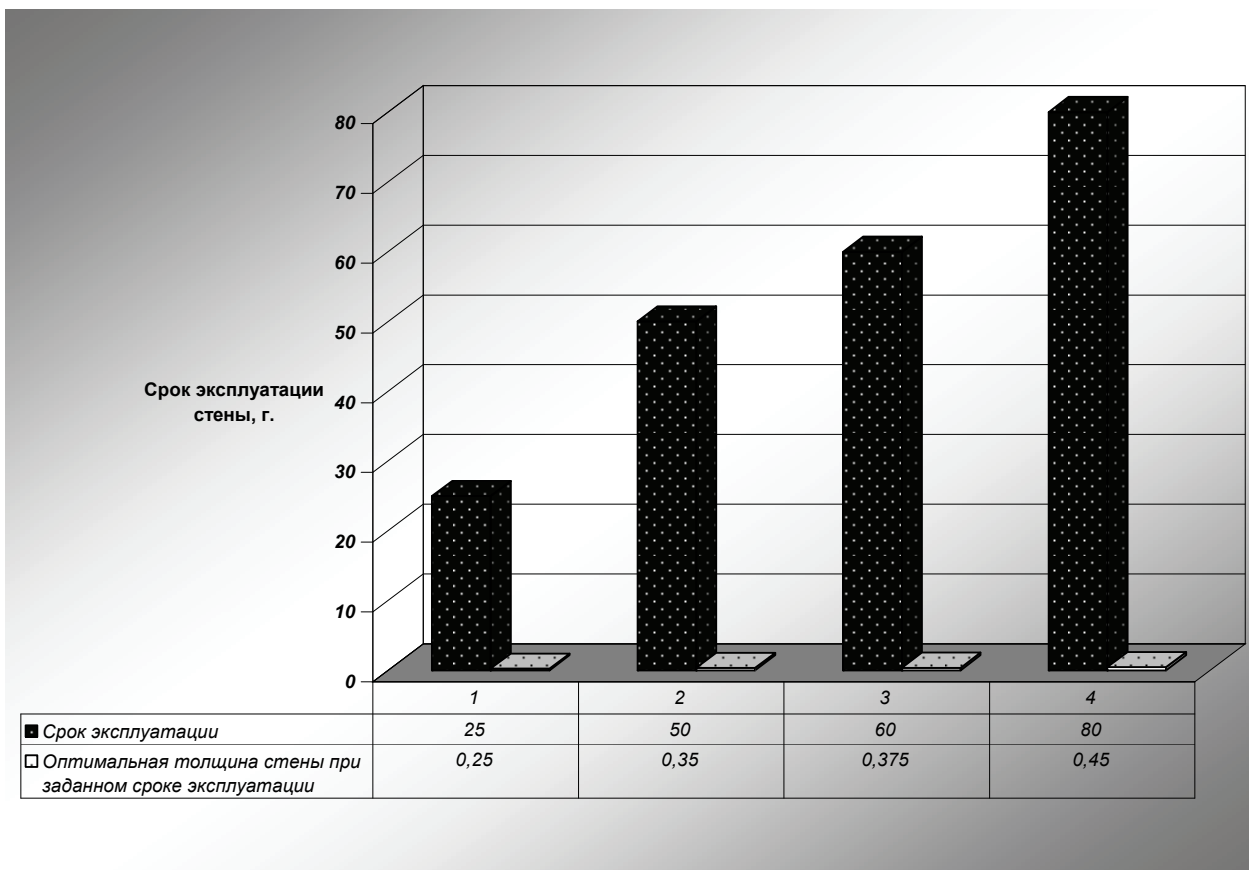


Рисунок 2. Определение оптимальной толщины стеновой конструкции по методу приведенных затрат

Из рисунка 2 видно, что по мере увеличения толщины стеновой конструкции, и как следствие, ее сопротивления теплопередаче, эксплуатационные затраты через 1  $\text{м}^2$  конструкции, рассчитанные на период 50 лет, уменьшаются в соответствии с законом, показанном на рисунке 1. В то же время капитальные вложения по мере увеличения толщины стены возрастают по линейному закону. Как следует из графика, минимум приведенных затрат соответствует толщине стены 0,35 м, что соответствует сопротивлению теплопередаче 3,15  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  ( $\lambda_B=0,117 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$  по ГОСТ 31359 [3]). При меньшем эксплуатационном сроке минимум приведенных затрат будет соответствовать меньшей толщине стеновой конструкции, при большем – большей (рис. 3). Например, при сроке эксплуатации 25 лет оптимальная толщина стены составит 0,25 м, при сроке эксплуатации 60 лет – 0,375 м. Однако при сроках эксплуатации свыше 50 лет необходимо будет учитывать также затраты на проведение капремонтов, что неизменно скажется на расчетах.



**Рисунок 3. Оптимальная толщина стен из газобетона при различном рассматриваемом сроке эксплуатации**

Все вышесказанное указывает на то, что при оценке экономической эффективности энергосберегающих мероприятий или внедрения энергосберегающих технологий необходимо учитывать их срок службы или эффективной эксплуатации. Это второе обстоятельство, на которое необходимо обращать внимание при выборе параметров теплозащиты ограждающих конструкций. Многие типы современных стеновых конструкций с более высокими показателями тепловой защиты оказываются неремонтопригодными, а применяемые в их составе материалы – недолговечными. Затраты на проведение капитальных ремонтов недолговечных ограждающих конструкций зданий могут частично или полностью компенсировать то уменьшение эксплуатационных расходов, которое обеспечивается за счет увеличения их теплозащитных качеств. Не стоит забывать о том, что затраты на проведение ремонтов (текущих, капитальных) по сути также представляют собой затраты энергии: на производство новых материалов, добычу полезных ископаемых для их изготовления, расход топлива при их перевозке, работу машин и механизмов и т.д. В этой связи не только уровень тепловой защиты ограждающих конструкций, но и показатели их капитальности (долговечности) следует относить к критериям энергоэффективности.

Последнее утверждение базируется на том основании, что при использовании материалов с низким сроком службы могут сложиться экономические условия, при которых все сэкономленные в результате энергосбережения средства после износа недолговечных материалов будут потрачены на их замену. На прошедшей в декабре 2009 года II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий» (релиз конференции см. на стр. 55) среди прочих было озвучено предложение установить зависимость между сопротивлением теплопередаче и классом капитальности (долговечности) ограждающих стеновых конструкций. Для стеновых конструкций с более низким классом капитальности было предложено установить более высокие требования к уровню тепловой защиты.

В-третьих, нельзя забывать о таком важном параметре, как требуемый воздухообмен помещений, необходимый для поддержания требуемого уровня микроклимата в помещениях (иначе говоря, вентиляция). При вентиляции происходит удаление пыли, бактерий, лишней влаги, поддерживается уровень кислорода в необходимой для нормальной жизнедеятельности и работоспособности концентрации. В зимний и, в общем случае, в любой период, в течение которого производится отопление помещений, энергия затрачивается, в том числе, на подогрев вентилируемого воздуха. Затраты на вентиляцию современных зданий при составлении энергетических паспортов оцениваются в 40÷50% всех затрат на отопление. При этом требуемый

уровень воздухообмена необходим как в «холодных» домах, так и «теплых». Отсюда следует, что как бы мы ни утепляли здание, расходы тепла на вентиляцию, без использования специальных инженерных методов, уменьшаться от этого не будут, и чем теплее у здания будет «шуба», тем большими в относительном выражении будут затраты на вентиляцию.

Подтверждением данного утверждения является следующий пример. В 2005 году сотрудниками ОАО «СПбЗНИИПИ» и ООО «НТЦ «Технологии XXI века» проводилось комплексное обследование здания в историческом центре города, в котором после реконструкции сопротивление теплопередаче было увеличено до  $5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . При этом никаких инженерных решений по оптимизации затрат энергии на отопление, например, регулирования параметров теплоносителя по температуре воздуха в помещениях, не производилось. В результате в здании зимой регулярно происходил перетоп. Для уменьшения последствий перетопы, сотрудники, работающие в здании, также регулярно в течение всего отопительного периода по приходу на работу открывали окна, и в прямом смысле слова отапливали улицу вокруг здания.

Таким образом, становится понятным, что рациональным и экономически целесообразным способом повышения энергоэффективности является только сочетание различных конструктивных и инженерных мероприятий, например, увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций (при условии, что срок эффективной эксплуатации внедряемых материалов, технологий и конструкций превышает период их окупаемости) при одновременном использовании современных инженерных энергосберегающих методов и технологий.

Однако, как показывает практика, и этих мер может оказаться недостаточно. Связано это в первую очередь с тем, что во многих случаях фактические и расчетные параметры энергоэффективности могут существенно отличаться друг от друга. В расчетах закладываются одни значения теплотехнических параметров (например, того же приведенного сопротивления теплопередаче), а на практике с учетом качества строительно-монтажных работ получаются совершенно другие. Кроме того, в проектах часто не учитывается теплотехническая неоднородность стеновых конструкций. В результате собственники жилых помещений вынуждены использовать для обогрева дополнительные источники энергии (электронагреватели, масляные радиаторы, тепловентиляторы и т.д.), дополнительно потребляя при этом энергию на отопление.

Для повышения степени соответствия расчетных и фактических затрат энергии на отопление зданий необходим контроль за энергопотреблением, достигаемый за счет совокупного выполнения следующих условий:

- обязательная установка во всех зданиях приборов учета всех видов энергии;
- наличие комплексной методики учета и контроля потребляемой зданием энергии;
- разработка норм потребления зданиями энергии.

Что касается последнего условия из представленного перечня, то наиболее рациональным способом их установления является потребительский подход к оценке уровня теплозащиты (показатель «в» требований тепловой защиты зданий по СНиП 23-02-2003 [4]). К сожалению, в практике проектирования чаще применяется предписывающий подход, а именно установление заданных численных значений сопротивления теплопередаче (показатель «а» требований по СНиП 23-02-2003 [4]). Однако последний показатель не всегда оказывается эффективным, а часто и достаточно спекулятивным. Рассчитываемое сопротивление теплопередаче зависит от толщины стеновой конструкции и коэффициентов теплопроводности входящих в ее состав материалов. При этом, чем меньше коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ), тем выше термическое сопротивление ( $R_T$ ) соответствующего слоя стены. В этих условиях производители строительных материалов соревнуются по принципу: у кого  $\lambda$  (лямбда) меньше. По сравнению с данными 20÷30-летней давности практически для всех теплоизоляционных материалов численные значения коэффициентов теплопроводности при неизменной плотности уменьшились, что само по себе достаточно непонятно с физической точки зрения.

Для оценки коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов из них вырезаются фрагменты размером  $250 \times 250$  мм, высушиваются и лишь затем испытываются. Наличие эксплуатационной влаги в порах материала учитывается расчетным путем. Но не учитывается наличие инфильтрации воздуха через конструкцию, смятие или разрыхление утеплителя в процессе эксплуатации, наличие теплопроводных включений и т.д. Более того, в рекламных материалах отдельных производителей до сих пор встречаются расчетные значения коэффициента теплопроводности меньшие, чем коэффициент теплопроводности воздуха, что в реальных условиях эксплуатации стеновой конструкции вообще абсурдно.

Преимуществом потребительского подхода является более гибкий выбор материалов для ограждающих конструкций и инженерных методов для реализации требуемых параметров энергопотребления (удельных затрат энергии с квадратного метра площади или с кубического метра строительного объема здания). Кроме того, данный подход при наличии комплексной методики контроля и учета затрат энергии на отопление позволяет сравнивать расчетные и фактические параметры энергопотребления зданий, а после апробации и

отработки системы контроля и учета – регулировать нормы потребления в сторону их постепенного снижения, например, один раз в пять лет.

Таким образом, до сих пор, несмотря на увеличение требований по тепловой защите, энергоэффективность в нашей стране остается «бумажной».

Для реального уменьшения затрат энергии на отопление зданий необходимо:

- 1) разработать и установить нормативы энергопотребления в рамках потребительского подхода к уровню теплозащиты зданий;
- 2) для утепления зданий применять долговечные, проверенные климатическими условиями района строительства материалы;
- 3) более интенсивно и эффективно использовать инженерные методы и способы повышения энергоэффективности;
- 4) применять проверенные на практике архитектурные методы повышения энергоэффективности (например, уменьшение коэффициентов компактности зданий, регулирование планов при застройке жилых кварталов и т.д.);
- 5) разработать эффективную методику комплексного учета и контроля энергии, расходуемой на отопление здания;
- 6) законодательно установить меры ответственности застройщика при выявлении несоответствия между расчетными и фактическими параметрами энергопотребления зданий;
- 7) по мере внедрения и апробации системы контроля и учета потребляемой зданиями энергии, при условии соответствия расчетных и фактических параметров энергопотребления, постепенно, с заданной регулярностью, снижать нормативы энергопотребления.

Безусловно, при условии выполнения всех перечисленных выше инженерных мероприятий, количество затрачиваемой потребителями энергии будет уменьшаться, но насколько это будет выгодно потребителю, неизвестно. Для нейтрализации возможного повышения цен на энергоносители необходимо также принимать меры по увеличению энергоэффективности оборудования и устройств в самих генерирующих компаниях, уменьшению потерь энергии при транспортировке теплоносителя конечному потребителю, жесткому регулированию и контролю со стороны государства тарифов на тепловую энергию.

Проблему энергосбережения нужно решать. Но ее не решить каким-либо одним методом или способом, например, одним лишь утеплением зданий или заменой ламп накаливания на энергоэффективные. Для этого нужна комплексная государственная программа, разработка соответствующих законов, пропаганда этой программы населению. Нужны усилия не только со стороны государственных органов управления, ученых, средств массовой информации, но и участие в этом процессе обычных жителей страны. Только тогда эта программа станет действенной. А для этого нужно, чтобы людям было выгодно экономить на снижении энергопотребления. Как, например, выгодно стало заменять традиционные лампы накаливания на энергоэффективные [5-7].

## Литература

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). учебник для вузов. 3-е изд. // СПб.: Изд-во «АВОК-Северо-Запад», 2006. 400 с.
2. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов // ЦНИИСК им. А.В. Кучеренко. М., 1987. – 98 с.
3. ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
5. Горшков А.С. Оценка экономической эффективности при использовании энергоэффективных источников света // Общероссийская газета «Энергетика», 2009. № 11-12 (23-24). – С. 9.
6. Войлоков И.А., Горшков А.С. Экономический анализ использования энергоэффективных источников света с точки зрения потребителя // Инженерно-строительный журнал, №5, 2009. – Стр. 47-50.
7. Савельев А.В. Итоги эксперимента по замене ламп накаливания на энергосберегающие в Москве // Энергосбережение, №4 М., 2008.

*\*Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербург*

*Тел. раб.: +7(812) 297-59-49; эл. почта: alsgor@yandex.ru*