ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДАНИЯ

О. Д. САМАРИН, доцент, канд. техн. наук,
С. А. БЕЛАШ, студент (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)

Как известно, проблема энергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий различного назначения в настоящее время является чрезвычайно актуальной в связи с исчерпанием запасов ископаемого органического топлива и его постоянным удорожанием. Особое значение эта проблема приобретает в связи с принятием Закона РФ «Об энергосбережении…» №261-ФЗ от 23 ноября 2009 года, который существенно ужесточает требования к энергоэффективности выпускаемой продукции и делает обязательными ряд мероприятий по снижению энергопотребления и его контролю. В то же время, с учетом имеющейся экономической ситуации, основное внимание при этом необходимо уделять малозатратным и быстроокупаемым энергосберегающим мероприятиям и экономическому обоснованию принимаемых решений по экономии энергии.

Рассмотрим характерный пример такого обоснования и проведем технико-экономическое сравнение двух вариантов теплозащиты несветопрозрачных наружных ограждений для здания средней школы в г. Москве. Размеры ограждающих конструкций для расчета определяем по архитектурно-строительным чертежам. Тогда площадь наружных утепленных стен здания составляет A_w = 5015 м^2, оконных блоков и витражей A_F = 1424 м^2, входных наружных дверей: A_{ed} = 48 м^2, неутепленных стен и пола по грунту на цокольном этаже A_f = 363 м^2 и утепленного бесчердачного покрытия общественной части здания A_c = 2524 м^2.

Сопротивления теплопередаче R всех ограждений, кроме наружных стен, в обоих вариантах принимаем по действующим нормативным документам для климатических условий Москвы [1], [2] с учетом функционального назначения объекта. При этом в качестве заполнений светопроемов использованы однокамерные стеклопакеты с мягким селективным покрытием и R^r_F = 0.56 м^2·К/Вт, входные двери являются металлическими с R^r_{ed} = 0.25 м^2·К/Вт, для пола по грунту имеем эквивалентное значение R^r_f = 2.08 м^2·К/Вт и, наконец, для покрытия R^r_c = 4.54 м^2·К/Вт.

Особо следует остановиться на конструкции наружной стены. Начиная от внутренней поверхности, ее устройство можно представить следующим образом:

Слой 1. Сложный раствор: плотность ρ = 1700 кг/м^3, теплопроводность λ = 0.87 Вт/(м·К), толщина δ = 0.015 м.

Слой 2. Керамический пустотный кирпич: ρ = 1400 кг/м^3, λ = 0.64 Вт/(м·К), δ = 0.12 м.

Слой 3. Минеральная вата: ρ = 100 кг/м^3, λ = 0.052 Вт/(м·К).

Слой 4. Глиняный обыкновенный кирпич: ρ = 1800 кг/м^3, λ = 0.81 Вт/(м·К), δ = 0.12 м.

Слой 5. Цементно-песчаная штукатурка: ρ = 1800 кг/м^3, λ = 0.81 Вт/(м·К), δ = 0.02 м.

Теплотехнические характеристики используемых строительных материалов во всех случаях приняты по Приложению Д [3].

В первом варианте толщина слоя утеплителя (минеральной ваты) была взята равной 0.2 м с тем, чтобы приведенное сопротивление R^r_w стены в целом удовлетворяло требованиям [1], [2] и составило 3.27 м^2·К/Вт. Во втором варианте считалось R^r_w = 2.06 м^2·К/Вт – с допустимым снижением уровня теплозащиты на 37% по п.5.13 [1] и соответствующим уменьшением толщины утеплителя.

Однако для возможности технико-экономического сравнения необходимо предварительно убедиться, что оба варианта соответствуют условию п.5.12 [1], т. е. удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период должен соответствовать указанному в таблице 9 того же документа с учетом принятого класса энергоэффективности здания. Оценка фактического энергопотребления была проведена по методике Приложения Г [1]. При этом были получены следующие результаты:

Показатель компактности здания:

$$k_e^{des} = \frac{A_e^{sum}}{V_h} = \frac{11898}{39046} = 0.30,$$

где A_e^{sum} – общая площадь внутренних поверхностей наружных ограждающих конструкций, включая покрытие (перекрытие) верхнего этажа и перекрытие пола нижнего отапливаемого помещения, м^2; V_h – отапливаемый объем здания, м^3, равный объему, ограниченному внутренними поверхностями наружных ограждений здания. Полученное значение меньше, чем требуется в п.5.14 [1] для зданий соответствующей этажности, а именно 0.54, т. е. по данному показателю объект удовлетворяет действующим нормам.

Расчетный удельный расход тепловой энергии на отопление здания в холодный и переходный период года:

$$q_h^{des} = \frac{Q_h^y}{V_h} \cdot 10^3, \text{ кДж/(м}^3\text{·К·сут)}, \qquad (1)$$

где Q_h^y – расход тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода, МДж/г.

В первом варианте $q_h^{des} = \frac{1390719}{39046} = 35.78$, во втором $q_h^{des} = \frac{1468910}{39046} = 37.62$ кДж/(м³·К·сут). Отклонение от нормативного уровня, приведенного в таблице 9 [1], составляет в первом случае – 2%, во втором +4.5%. Следовательно, запроектированное здание в обоих вариантах соответствует требованиям энергосбережения в строительстве, и проекту, согласно таблице 3, может быть присвоен нормальный (С) класс энергетической эффективности, и технико-экономическое сравнение оказывается допустимым.

Тогда затраты на устройство теплоизоляции $K_{ти}$ вычисляются по формуле:

$$K_{ти} = C_{ти} \cdot V_{ти}, \text{ руб}, \qquad (2)$$

где $C_{ти}$ – удельная стоимость теплоизоляционного материала с работами по его установке (в деле), руб/м³. В расчете примем $C_{ти}$ = 1900 руб/м³ по среднерыночным ценам 2010 г.

Параметр $V_{ти}$ представляет собой суммарный объем теплоизоляционного материала в конструкциях ограждений, м³. Его можно определить по выражению [4]:

$$V_{ти} \approx 0.8 \, \Sigma \, (\lambda_{ти} R_i A_i \Big/ r_i); \qquad (2a)$$

где $\lambda_{ти}$ – теплопроводность используемого теплоизоляционного материала. В данном случае для минеральной ваты λ = 0.052 Вт/(м·К).

Величина r_i – это коэффициент теплотехнической однородности соответствующего ограждения, а множитель 0.8 соответствует средней доле термического сопротивления слоя теплоизоляции в общем сопротивлении ограждения теплопередаче.

A_i и R_i – площадь, м², и сопротивление теплопередаче, м²·К/Вт, теплоизолируемых ограждающих конструкций оболочки здания, в нашем расчете – наружных утепленных стен. В рассматриваемом примере, как было ранее отмечено, $A_i = A_w$ = 5015 м², а $R_i = R_w^r$ = 3.27 м²·К/Вт для первого варианта и 2.06 м²·К/Вт – для второго. Принимаем коэффициенты теплотехнической однородности для наружной стены $r_{нс}$ = 0.7. Отсюда находим:

$$V_{ти}^1 = 0.8 \cdot \left(\frac{0.052 \cdot 3.27 \cdot 5015}{0.7}\right) = 975 \text{ м}^3;$$

$$V_{ти}^2 = 0.8 \cdot \left(\frac{0{,}052 \cdot 2.06 \cdot 5015}{0.7}\right) = 614 \text{ м}^3;$$

Следовательно, $K_{ти1}$ = 1900·975 = 1851687 руб., $K_{ти2}$ = 1900·614 = 1166506 руб.

Дальнейшие расчеты также производим по методике [4]. Определяем годовые амортизационные отчисления с помощью формулы:

$$Э_{ам} = 1.5 \cdot K \Big/ T_{ам}, \text{ руб./г.}; \qquad (3)$$

где $T_{ам}$ – расчетный срок эксплуатации здания, г., для школы $T_{ам}$ = 45 лет; коэффициент 1.5 учитывает необходимость амортизационных отчислений как на полное восстановление элемента из расчета, что за срок $T_{ам}$ будет накоплена его полная начальная стоимость, так и на его капитальный и текущий ремонт. Тогда для сравниваемых вариантов имеем $Э_{ам.1}$ = 1.5·1851687/45 = 61723 руб./г. и $Э_{ам.2}$ = 1.5·1166506/45 = 38884 руб./г.

Основная составляющая эксплуатационных издержек – затраты, связанные с потреблением тепловой энергии за отопительный период системой отопления, рассчитывается по формуле:

$$Э_{т.от} = 0.0864 \cdot \frac{\Sigma Q_{от}}{4.19 \cdot (t_в - t_{н5})} \cdot D_d \cdot C_т, \text{ руб./г.} \qquad (4)$$

Здесь 0.0864 = 86400·10⁻⁶, где 86400 – число секунд в сутках;

$C_т$ – стоимость единицы тепловой энергии, руб./Гкал, принимаемая в зависимости от типа потребителя; для нежилых зданий $C_т$ = 1290.81 руб./Гкал по данным ОАО «МОЭК» на 2010 год;

$D_d = (t_в - t_{оп}) z_{оп}$ – градусо-сутки отопительного периода, где $t_в$ = +20°С – средняя температура внутреннего воздуха в здании [5]; $t_{оп}$ = – 3.1° – средняя температура наружного воздуха за отопительный период и $z_{оп}$ = 214 сут – его продолжительность [6];

$t_{н5}$ – средняя температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0.92; для Москвы $t_{н5}$ = – 28°С [6];

$\Sigma Q_{от}$ – мощность системы отопления, кВт, которую можно оценить по выражению:

$$\Sigma Q_{от} = b_1 b_2 \cdot \Sigma (n_i A_i / R_i) \cdot (t_в - t_{н5}) \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}; \qquad (4a)$$

где β_1 – коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты через ограждения, для общественных зданий β_1 = 1.10; β_2 – коэффициент учета округления тепловой мощности отопительных приборов, для протяженных зданий β_2 = 1.13;

$n \le 1$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху. Для основных ограждений используются значения: наружные стены, окна, бесчердачные покрытия, полы по грунту – 1.

Используя приведенные выше значения A_i и R_i для всех ограждений здания, находим, что $\Sigma Q_{от.1}$ = 371 кВт и $\Sigma Q_{от.2}$ = 424 кВт, откуда затраты на теплоту по вариантам составят соответственно $Э_{т.от1}$ = 1015780 руб./г. и $Э_{т.от2}$ = 1163101 руб./г.

Полные эксплуатационные издержки складываются в данном случае из затрат на теплоту и годовых амортизационных отчислений и равны $Э_1$ = 61723+1015780 =1077502 руб./г. и $Э_2$ = 38884+1163101 = 1201984 руб./г.

В условиях рыночной экономики оценку экономической целесообразности дополнительных капитальных вложений с целью энергосбережения следует вести по совокупным дисконтированным затратам (СДЗ). Величина СДЗ, приведенная к концу расчетного срока Т, г., для каж-

дого сравниваемого варианта определяется по следующей формуле [4], [7]:

$$СДЗ = K\cdot(1+p/100)^{T} + \sum_{i=1}^{T} Э_i\cdot(1+p/100)^{i}, \text{ руб.}, \qquad (5)$$

где p – норма дисконта, %. Она учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке, или годовой процент за кредит, взятый на осуществление энергосберегающих мероприятий, а также уровень инфляции и риски капиталовложений. В расчетах ее можно принимать на уровне не ниже ставки рефинансирования Центрального Банка России. По состоянию на начало 2012 года она равна 8% годовых. В [8] предлагается использовать на ближайшую перспективу значение p = 10%, что и было сделано в рассматриваемом примере.

На Рис. 1 приведены графики СДЗ, вычисленных при T от 1 до 12 лет по формуле (5) для обоих сравниваемых вариантов. Сплошная линия относится к нормативному уровню теплозащиты, пунктирная – к пониженному. Легко видеть, что графики пересекаются при T около 8 лет.

Более точно дисконтированный срок окупаемости можно определить по выражению [4], [7]:

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1-pT_0/100)}{\ln(1+p/100)}, \text{ г.}, \qquad (6)$$

где $T_0 = \frac{K_1 - K_2}{Э_2 - Э_1}$ – бездисконтный срок окупаемости, г.

В нашем случае $T_0 = \frac{1851687 - 1166506}{1201984 - 1077502} = 5.5$ г., тогда

$$T_{ок} = \frac{-\ln(1-10\cdot 5.5/100)}{\ln(1+10/100)} = 8.39 \text{ г.}$$

Хотя полученная величина и превышает 5 лет, так что мероприятие по повышению теплозащиты от минимально допустимого до нормативного уровня здесь трудно назвать малозатратным и быстроокупаемым, все же она значительно ниже проектного срока службы здания (не менее 45 лет) и даже меньше гарантированной долговечности теплоизоляционного материала (10 – 15 лет). Поэтому для данной школы оказывается выгодно не снижать количество теплоизоляционного материала в стенах, так как соответствующие дополнительные затраты за счет экономии энергии окупятся в разумный срок. Такой вывод можно объяснить спецификой объемно-планировочных решений здания, поскольку здесь очень велика площадь наружных стен A_w по сравнению с площадью остальных наружных ограждений. Поэтому изменение величины R^r_w более существенно, чем обычно, сказывается на суммарном энергопотреблении здания. В большинстве же других случаев, как известно [4], [7], наиболее экономически целесообразным оказывается вариант с пониженным уровнем теплозащиты.

Литература:

1. СНиП 23 – 02 – 2003 «Тепловая защита зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2003.
2. МГСН 2.01 – 99 «Энергосбережение в зданиях». – М.: Москомархитектура, 1999.
3. СП 23 – 101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2004.
4. О. Д. Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 128 с.
5. ГОСТ 30494 – 96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
6. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». – М: ГУП ЦПП, 2004.
7. В. Г. Гагарин. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 1.//Журнал АВОК, 2009, №1, с. 10 – 16.
8. А. Н. Дмитриев, Ю. А. Табунщиков, И. Н. Ковалев, Н. В. Шилкин. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с

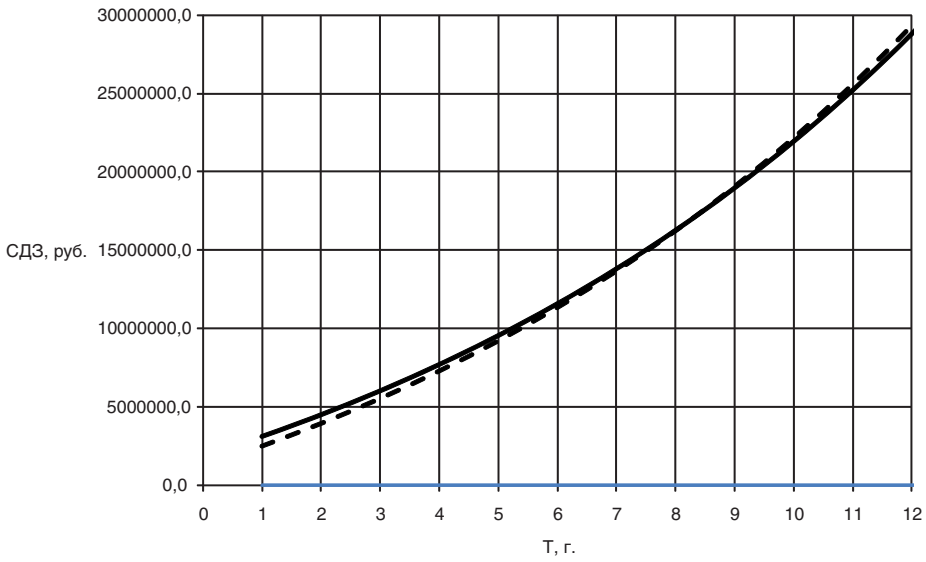

Рис.1. Зависимость СДЗ от T по сравниваемым вариантам