

ПРООН/ГЭФ

Проект №00077154

«Повышение энергетической эффективности жилых зданий
в Республике Беларусь»

Отчет

**Анализ экономической эффективности различных технических
решений для повышения энергетической эффективности
различных типов зданий**

Исполнитель,

Эксперт по вопросам энергетической

эффективности в зданиях

Л. Н. Данилевский.

Минск, 2013

Введение	3
Экономические условия, определяющие выбор энергосберегающих мероприятий.	5
Оптимизация энергосберегающих мероприятий.	9
Экономическая эффективность в условиях инфляции.	12
Экономическая эффективность снижения потребления энергии в жилых зданиях.	14
Заключение.	22
Источники литературы.	24

Введение

Снижение затрат энергии невозобновляемых источников на отопление и горячее теплоснабжение зданий может быть достигнуто комплексом мероприятий /1/. Это утепление оболочки здания, утилизации тепла вентиляционных выбросов, тепла сточных вод, использование энергии возобновляемых источников, оптимизация систем теплоснабжения. В то же время, задача экономии энергии не может решаться «любой ценой», а должна быть экономически оправданной. При этом следует различать задачи, решаемые при выполнении пилотных проектов, когда важно определить направление развития энергосберегающих технологий и при подготовке новых нормативных документов, определяющих развитие строительной отрасли на несколько лет. Во втором случае определяющим фактором при выборе энергосберегающих решений является их экономическая целесообразность.

В Советском Союзе основным критерием при выборе инвестиционных проектов был срок окупаемости капитальных затрат Z_0 /2/, т. е. величина отношения:

$$T=Z_0/ \Delta \mathcal{E},$$

где $\Delta \mathcal{E}$ - дополнительный годовой доход от внедрения.

При этом, нормативный срок окупаемости задавался в пределах 8 –12 лет.

В настоящее время появились новые экономические подходы к определению экономической эффективности инновационных мероприятий /3, 4/, учитывающие предполагаемую доходность вложенных средств. Основным экономическим показателем эффективности вложенных инвестиций может служить полный дополнительный доход, \mathcal{E} , который может быть получен за срок эксплуатации энергосберегающих мероприятий

с учетом наращивания под проценты промежуточных доходов от реализации мероприятия, т. е. наращенный доход /5/.

Экономические условия, определяющие выбор энергосберегающих мероприятий.

Нельзя рассматривать развитие отрасли, в т. ч. и комплекса энергоэффективных мероприятий в отрыве от общих тенденций развития общества. В /5/-/8/ основным предположением при выборе энергосберегающих мероприятий является стабильное состояние общества, т. е. отсутствие инфляционных процессов, стабильные цены на энергоносители, постоянство кредитной ставки в банках. Удовлетворяет ли состояние хозяйственного развития в нашей стране этим условиям?

На рис. 1, 2 приведено изменение индекса потребительских цен в стране в течение последних десятилетий /9/. Графики на этих рисунках наглядно показывают, что наше общество развивается в условиях постоянно действующих инфляционных процессов. Даже в наиболее спокойный период развития, в течение 2004 по 2008 гг. среднегодовой индекс потребительских цен составлял более 112%. С учетом развивающегося мирового финансового кризиса можно прогнозировать в течение трех лет индекс потребительских цен не менее 120% в год. Таким образом, рассчитывать на стабильное развитие общества в ближайшие годы не приходится.

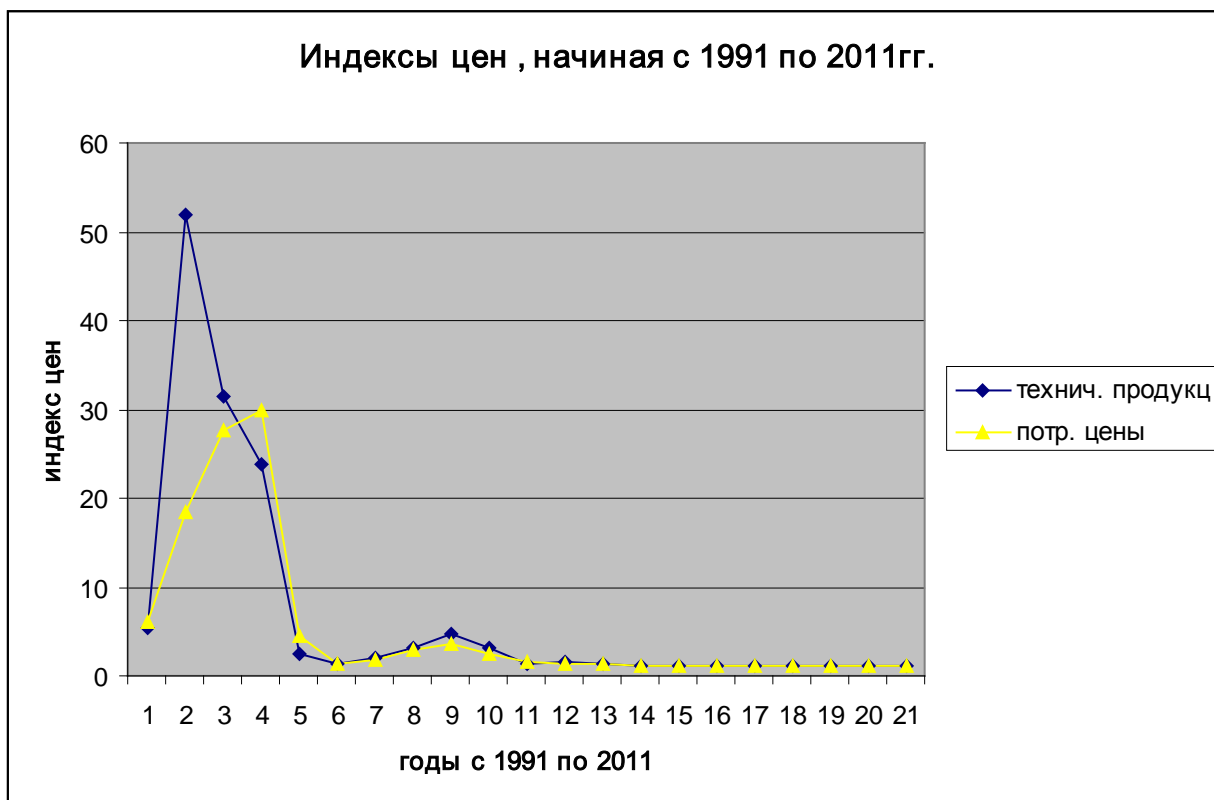


Рис.1.

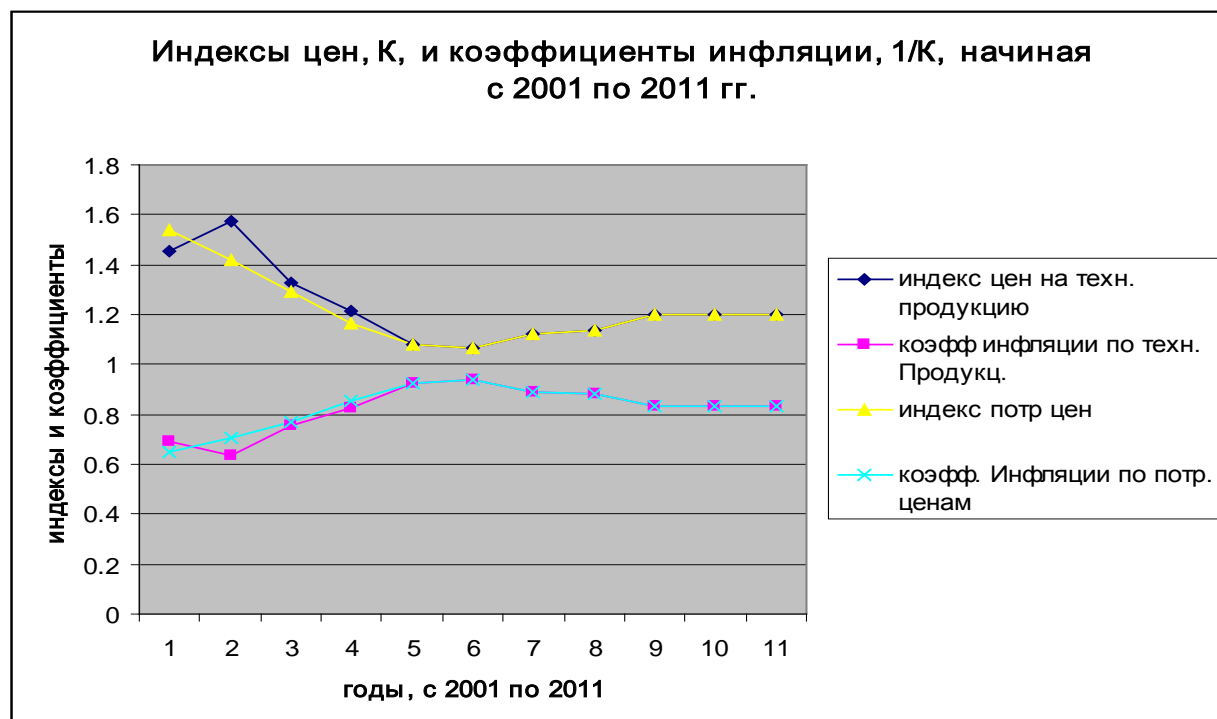


Рис.2.

Стоимость энергоносителей и энергии в эти годы также не оставалась постоянной. В таблице 1 приведены изменения их стоимости, индекс инфляции и банковский процент при выдаче долгосрочных кредитов в нашей стране в последние годы. Сведения о стоимости газа получены в департаменте ценовой политики министерства экономики Республики Беларусь, а о стоимости тепловой энергии – в концерне «Белэнерго».

Таблица 1.

Годы	Стоимость газа (с НДС), тыс. руб.	Стоимость 1 Гкал (с НДС), тыс. руб.	Индекс инфляции, $1/\alpha$	Ставка рефинансирования Нац. банка
2005	145.612	36.816	1.08	0,13
2006	155.642	41.654	1.066	0,13
2007	307.39	66.788	1.121	0,13
2008	371.7	76.228	1.133	0,13
2009	619,4	112.238	1.2	0,13
2010	622.096	120.714	1.2	0,13
2013	1800	460	3 (начиная с 2010)	
Коэффициент увеличения стоимости	4.272285	3.2788462		
Среднегодовые значения	1.337002	1.2680729	$\alpha_{cp} = 0,88$	0,13

Приведенные в таблице данные показывают, что среднегодовой рост стоимости энергии в стране превышал в последние годы как проценты по банковским кредитам, так и изменение индекса потребительских цен. Таким образом, в настоящий момент чрезвычайно актуально определить стратегию развития энергосберегающих мероприятий в нашем обществе в существующих условиях. Одно из возможных решений – ожидание периода стабильного развития общества, что не грозит нам в ближайшем десятилетии.

Другое – разработка оптимальной стратегии для конкретных условий с учетом изменения стоимости энергетических ресурсов и инфляционных процессов в стране.

Следует отметить, что энергетическая политика в стране последние 18 лет строилась по второму сценарию.

Оптимизация энергосберегающих мероприятий.

В /6/-/8/ предлагается подход к определению экономически оптимального значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций здания как значения, минимизирующего разность затрат на выполнение дополнительной теплоизоляции и экономического эффекта, приносимого этим мероприятием в течение некоторого определенного времени. При этом, как показано в /6/, может возникнуть ситуация, что с учетом банковского дисконта это мероприятие никогда не окупится. Условие окупаемости затрат, приведенное в /6/ выглядит следующим образом:

$$\Delta Э/З > p, \quad (1)$$

где p – процентная ставка по кредиту в банке.

Неравенство достаточно очевидно, его смысл в том, что ежегодный экономический эффект, выражаемый в стоимости сэкономленной энергии, должен покрыть выплаты по процентам и частичное погашение основной суммы кредита.

Недостатком предложенных подходов можно считать отсутствие учета увеличения стоимости энергии в течение срока использования мероприятия и учет возможных финансовых кризисов в этот период. Во время кризиса, как правило, происходит девальвация денег, что приводит к скачкообразному снижению их стоимости. Стоимость энергии может снизиться на кратковременном периоде, но она быстро возвращается к исходному уровню и продолжает расти дальше.

Считая, что для выполнения энергосберегающего мероприятия взят кредит, равный стоимости капитальных затрат, при погашении его необходимо выплачивать проценты, так что через n лет стоимость взятого кредита при ежегодной выплате $p \cdot 100\%$ будет равна:

$$З = З_0 * (1+p)^n. \quad (2)$$

Стоимость сэкономленной за n лет тепловой энергии, принимая ежегодное увеличение ее стоимости на $p_1 * 100\%$, можно представить в виде выражения:

$$\mathcal{E} = \Delta\mathcal{E}((1+p_1)^n - (1+p)^n)/(p_1-p). \quad (3)$$

Экономическим результатом мероприятия можно считать разность между приведенными через n лет (где n – срок окупаемости затрат) затратами и стоимостью сэкономленного топлива за полный срок эксплуатации мероприятия, n_1 :

$$З - \mathcal{E} = З_0 * (1+p)^n - \Delta\mathcal{E}((1+p)^{n_1} - (1+p_1)^{n_1})/(p-p_1) . \quad (4)$$

Из выражения (4) для условия:

$$p > p_1$$

можно определить срок окупаемости мероприятия:

$$n = \ln(\Delta\mathcal{E}/(\Delta\mathcal{E} - З_0(p-p_1)))/\ln((1+p)/(1+p_1)) . \quad (5)$$

При этом окупаемость мероприятия возможна только при условии :

$$\Delta\mathcal{E}/З_0 > p-p_1 . \quad (6)$$

Из (5) можно сделать вывод о том, что окупаемость энергосберегающего мероприятия в условиях роста цен на энергоносители возможна за меньший срок, чем в случае стабильных цен.

Из выражения (4) для условия:

$$p < p_1 . \quad (7)$$

срок окупаемости мероприятия:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{\Delta\mathcal{E} + Z_0(p_1 - p)}{\Delta\mathcal{E}}\right)}{\ln\left(\frac{1 + p_1}{1 + p}\right)} \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что если ежегодный процентный рост стоимости энергоносителей превышает величину банковского процента по взятым кредитам, мероприятия по энергосбережению всегда окупаемы.

Экономическая эффективность в условиях инфляции.

В этом случае ежегодно сумма денежных средств умножается на коэффициент α , который характеризует инфляционные процессы в стране:

$$\alpha = 1/k,$$

где $k = K/100$, а $K\%$ – индекс потребительских цен за год.

В этом случае сумма затрат через n лет будет равна:

$$Z = Z_0 * (1+p)^n * \alpha^n. \quad (9)$$

Стоимость сэкономленной энергии можно представить в виде выражения:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \mathcal{E} ((1+p)^n \alpha^n - (1+p_1)^n) / (\alpha(1+p) - (1+p_1)). \quad (10)$$

Экономический результат мероприятия для этого случая равен:

$$Z - \Delta \mathcal{E} = Z_0 * (1+p)^n * \alpha^n - \Delta \mathcal{E} ((1+p)^{n-1} \alpha^{n-1} - (1+p_1)^{n-1}) / (\alpha(1+p) - (1+p_1)). \quad (11)$$

Из выражения (11) для условия:

$$\alpha(1+p) > (1+p_1) \quad (12)$$

можно определить срок окупаемости мероприятия:

$$n = \ln(\Delta \mathcal{E} / (\Delta \mathcal{E} - Z_0(\alpha(1+p) - (1+p_1)))) / \ln(\alpha(1+p) / (1+p_1)) \quad (13)$$

При этом окупаемость мероприятия возможна только при условии :

$$\Delta \mathcal{E} / Z_0 > \alpha(1+p) - (1+p_1) \quad (14)$$

Из сравнения выражений (6) и (14) можно сделать вывод о том, что окупаемость энергосберегающего мероприятия в условиях инфляции и роста цен на энергоносители возможна за меньший срок, чем в случае стабильных цен.

Для условия:

$$\alpha(1+p) < (1+p_1) \quad (15)$$

срок окупаемости мероприятия:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{\Delta\mathcal{E} + Z_0((1+p_1) - \alpha(1+p))}{\Delta\mathcal{E}}\right)}{\ln\left(\frac{1+p_1}{\alpha(1+p)}\right)} \quad (16)$$

Из выражения (16) следует, что для случая, задаваемого неравенством (15), мероприятия по энергосбережению всегда окупаемы.

Экономическая эффективность снижения потребления энергии в жилых зданиях.

Рассмотрим экономическую эффективность некоторых наиболее популярных мероприятий по снижению потребления тепловой энергии в жилых зданиях:

- уменьшение площади наружных ограждающих конструкций здания по сравнению с первоначальным проектом;
- утепление оболочки здания;
- установка более энергоэффективных окон;
- утилизация тепла вентиляционных выбросов;
- утилизация тепла сточных вод;

Первые три из них обеспечивают снижение тепловых потерь в здании в течение отопительного периода, последующие – дополнительно снижают требования к мощности отопительного источника.

Рассмотрим экономическую эффективность каждого из мероприятий и применения комплекса мероприятий для минимизации теплопотерь зданий. В таблице 2 приведены статистические данные по изменению стоимости газа, тепловой энергии и индекса потребительских цен за предыдущие годы и прогноз на 2009 и 2010гг. Средние значения, приведенные в таблице 2 использованы при выполнении расчетов экономической эффективности.

Таблица 2.

Годы	Стоимость газа, тыс.руб/1000 м ³	Стоимость энергии, тыс. руб./Гкал	Индекс потребительских цен	Коэффициент инфляции
2005	145,612	36,816	1,08	0,925926
2006	155,642	41,654	1,066	0,938086
2007	307,39	66,788	1,121	0,892061
2008	371,7	76,228	1,133	0,882613
2009	553,066	107,262	1,2	0,833333
2010	622,096	120,714	1,2	0,833333
Средне- годовое значение	359,251	79,910	1,133	0,884225

Наиболее эффективным следует назвать минимизацию площади наружных ограждающих конструкций здания. На рис. 3 приведены планы энергоэффективного здания в г. Минск и план здания той же площади в виде прямоугольника. В таблице 3. приведены площади наружных ограждающих конструкций энергоэффективных зданий в гг. Минск и Витебск и для сравнения аналогичные характеристики здания в виде прямоугольного параллелепипеда.

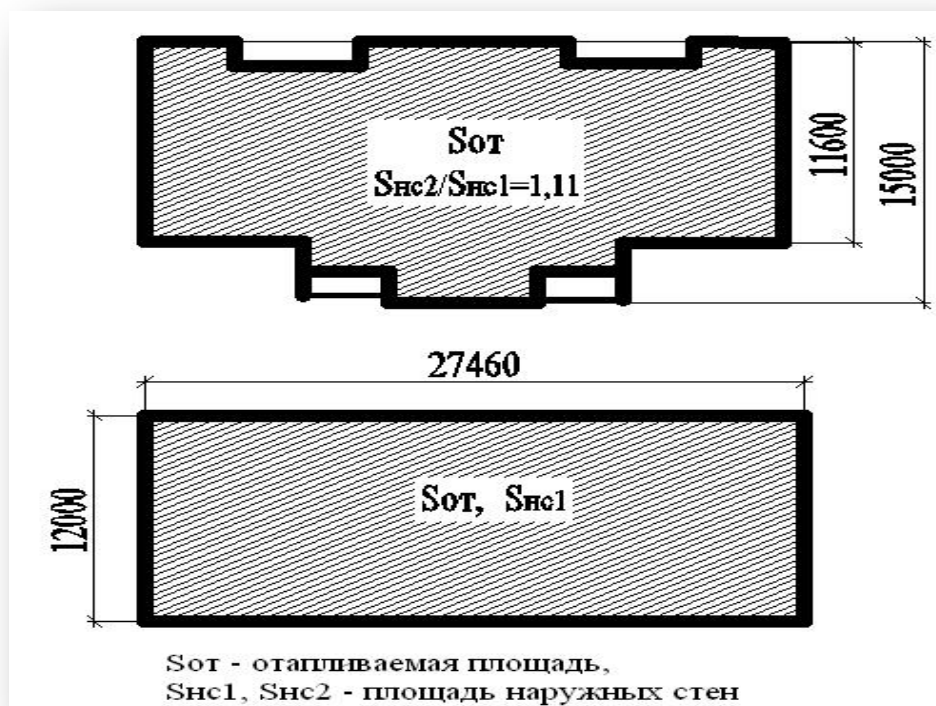


Рис. 3.

Таблица 3. Анализ влияния развитости площади фасада

Наименование объекта	Площадь наружных стен, м ²	Показатель компактности k , м ⁻¹	Потери теплоты через стены за год, кВт-ч/м ² отапливаемой площади	Удельный расход тепловой энергии на отопление, кВт-ч/м ²	Экономия
	По проекту (Расчетная)	По проекту (Расчетный)	По проекту (Расчетные)	По проекту (Расчетный)	Площади стен, % (То же, млн.руб.)
4-х секционный 142 кв. жилой дом серии 111-90	6062 (3673)	0,38 (0,29)	37,6 (30,5)	31,6 (24,7)	65 (95)
Жилой 10 эт. 119-кв. дом в г. Витебске	5073 (2711)	0,45 (0,32)	43,7 (32,1)	35,3 (23,4)	46,5 (94,5)

Первое из зданий представляет собой 4-подъездный панельный дом серии 111-90 МАПИД. Здание построено в г. Минске в 2007г. Средний уровень потребления тепловой энергии на отопление составляет, по результатам эксплуатации в течение двух отопительных сезонов, 30 кВтч/м² в год, что хорошо согласуется с расчетными данными. Из данных, приведенных в таблице, видно, что для этого здания возможный выигрыш в стоимости строительства за счет упрощения формы мог составить 95 млн. рублей или 664 тыс руб. (301 у.е. на момент строительства здания) на квартиру. При этом уровень потребления тепла на отопление мог быть снижен почти на 20% или при сохранении заданного уровня теплоснабжение можно было снизить уровень тепловой защиты здания.

Второе здание - также энергоэффективный жилой дом, спроектированный для строительства в г. Витебске. Из данных, приведенных в таблице, видно, что для этого здания возможный выигрыш в стоимости строительства за счет упрощения формы мог составить 94,5 млн. рублей или 794 тыс руб. (360 у.е. на момент строительства здания) на квартиру. При этом уровень потребления тепла на отопление мог быть снижен почти на 35% или при сохранении заданного уровня теплоснабжение можно было снизить уровень тепловой защиты здания.

На рис. 4 приведены графики потерянного дохода за счет нерациональной формы зданий, рассчитанные по формуле (13) при исходных данных из таблицы 1.

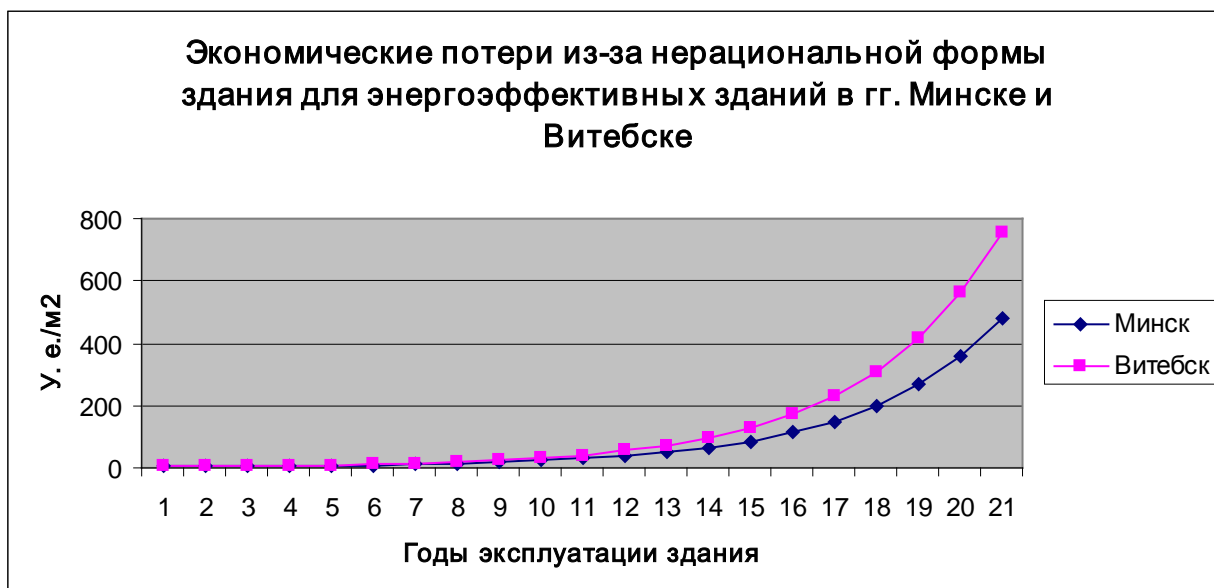


Рис. 4

Приведенные примеры показывают, что форма строящегося здания является важным экономическим фактором при определении экономического эффекта. Если учесть, что оптимизация формы здания не требует дополнительных затрат, этот фактор необходимо ставить на первое место в ряду энергосберегающих мероприятий.

Утепление ограждающих конструкций обеспечивает уменьшение трансмиссионных тепловых потерь. Тепловые потери зданий через ограждающие конструкции рассматриваются в предположении стационарного теплового режима и их мощность для среднегодовых условий равна величине /10/:

$$Q = \sum_{i=1}^N \frac{S_i \cdot \Delta T}{R_i}, \quad (19)$$

где ΔT – Средняя за отопительный сезон разность температур воздуха в помещениях здания и наружной;

S_i – площадь а R_i - приведенное сопротивление теплопередаче i –й наружной ограждающей конструкции.

Можно рассчитать, что при переходе от нормативного значения теплопередаче, равного $2 \text{ м}^2\text{град/Вт}$ к значению $3,2 \text{ м}^2\text{град/Вт}$, при средних климатических условиях г. Минска /стр. климатолог/ удельная годовая экономия на квадратный метр стены составит $18 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ в год. Стоимость дополнительной теплоизоляции при утеплении здания составит от 4 до 10 долларов на квадратный метр стены. На рис. 5 приведены графики расчетного срока окупаемости мероприятий по утеплению по предложенной в предыдущем разделе методике. Для расчета были приняты следующие исходные предпосылки, приведенные в таблицах 1 и 3.

Таблица 4. Исходные данные для расчета срока окупаемости мероприятий по утеплению.

Стоимость энергии, у.е./Гкал	Стоимость утепления в расчете на $1 \text{ м}^2\text{град/Вт}$, у.е.	Процентная ставка банка, %	Ежегодный рост стоимости энергии, %	Коэффициент инфляции
24	5,8	13	34	0,88

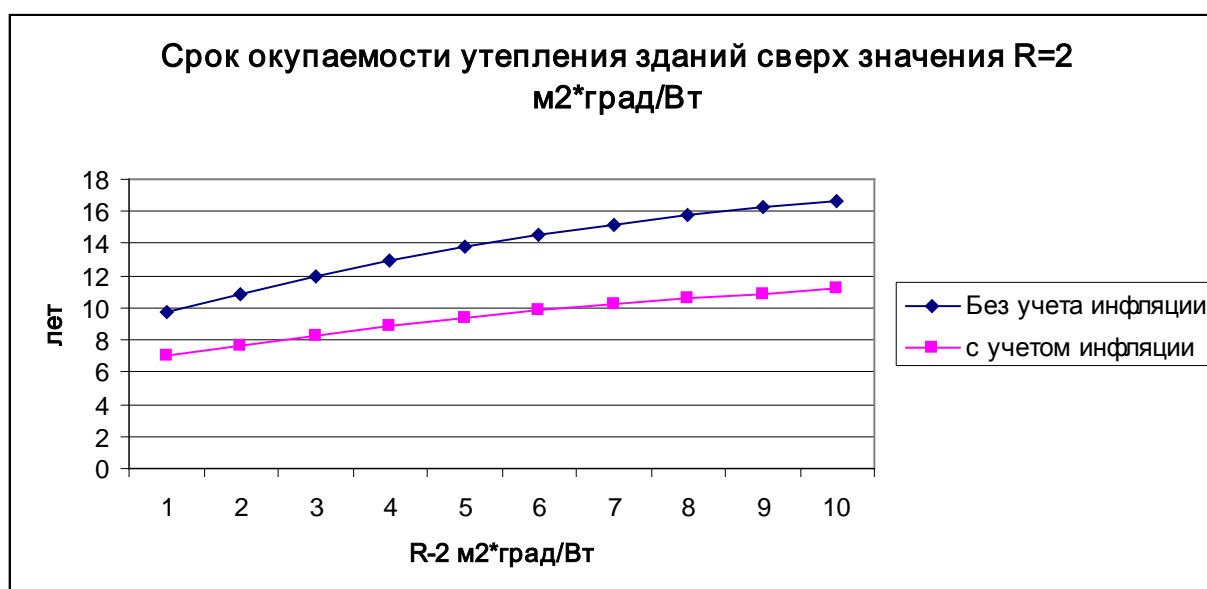


Рис.5.

Если степень утепления зданий можно изменять, плавно меняя толщину утеплителя, то для оконных конструкций характерны скачкообразные изменения сопротивления теплопередаче /11/. Стандартные современные окна имеют сопротивление теплопередаче, равное 0,6 м²град/Вт. При установке одного низкоэмиссионного стекла в стандартном стеклопакете можно получить сопротивление теплопередаче, равное 0,72 м²град/Вт, а используя два низкоэмиссионных стекла и дополнительное утепление оконной коробки и створки – 1,2 м²град/Вт. Для второго случая стоимость перехода к окну с новым качеством составляет около 100 у.е./м², а среднегодовая экономия энергии – 75 кВт-ч/м² окна в год. Срок окупаемости инвестиций составит 15,6 лет без учета инфляции и 10 лет – с учетом.

С вентиляционными выбросами в отопительный период из новых зданий уходит около 50% тепла. Средняя стоимость оборудования для рекуперации тепла вентиляционных выбросов равна 2500 у.е., а средний уровень воздухообмена для квартир с газовыми плитами на кухне – 140 м³ в час. Для этих условий срок окупаемости инвестиций составит 11 лет без учета инфляции и 7,8 года – с учетом. Эти цифры соответствуют условию перехода в системах утепления к сопротивлению теплопередаче, равному 4 м²*град/Вт.

При проектировании системы утилизации тепла сточных вод для энергоэффективного 119-квартирного здания в г. Витебске получили следующие цифры: стоимость системы утилизации составила 15000 у.е., а годовая экономия энергии – 334 Гкал. Срок окупаемости мероприятия составил 1,75 года без учета инфляционных процессов и 1,68 - с учетом инфляции.

В таблице 5 приведены обобщенные оценки сроков окупаемости приведенных выше мероприятий.

Таблица 5. Срок окупаемости энергоэффективных мероприятий.

Наименование	Оптимизация формы здания	Утилизация тепла сточных вод	Рекуперация тепла вент. выбросов	Утепление	Новое поколение окон
Стоимость мероприятия	0	15000 у.е.	2500 у.е.	7 у.е/м ²	20 у.е/м ²
Годовая экономия энергии,	7 – 12 кВт-ч/м ² в год	334 Гкал/год	45 кВт-ч/м ² в год	18 кВт-ч/м ² в год	75 кВт-ч/м ² в год
Срок окупаемости, лет	0	1,7	7,8	7 - 11	8

Из данных, приведенных в таблице 5, можно ранжировать мероприятия по экономии энергии для зданий по сроку их окупаемости с учетом величины банковских процентов по кредитам, прогнозируемому увеличению стоимости тепловой энергии и уровню инфляции в стране.

Заключение.

Наше общество развивается в условиях постоянно действующих инфляционных процессов. Даже в наиболее спокойный период развития, в течение 2004 по 2008 гг. среднегодовой индекс потребительских цен составлял более 112%. Поэтому необходима разработка оптимальной стратегии инвестиционных мероприятий по энергосбережению для конкретных условий с учетом изменения стоимости энергетических ресурсов и развития инфляционных процессов в стране. Выбранный в статье подход к оценке экономической эффективности позволяет учесть тенденции изменения стоимости энергии и инфляционные процессы при планировании энергосберегающих инвестиционных мероприятий.

Предложенная методика расчета экономической эффективности позволяет сделать вывод о том, что окупаемость энергосберегающего мероприятия в условиях инфляции и роста цен на энергоносители возможна за меньший срок, чем в случае стабильных цен. Если ежегодный процентный рост стоимости энергоносителей превышает величину банковского процента по взятым на реализацию энергосберегающих мероприятий кредитам, мероприятия по энергосбережению всегда окупаемы. Выведенные в статье математические зависимости позволяют определить срок окупаемости мероприятий по повышению энергоэффективности зданий в условиях постоянного роста цен на энергоносители и инфляционных процессов.

С учетом разработанной методики расчета экономической эффективности рассмотрены основные технические решения по снижению потребления тепловой энергии в зданиях. Наиболее эффективным мероприятием является оптимизация формы здания, обеспечивающая минимальную площадь наружной поверхности при сохранении общей отапливаемой площади. Далее по своей эффективности следуют утилизация

тепла сточных вод, рекуперация тепла вентиляционных выбросов, утепление здания и переход к новому поколению окон.

Источники литературы.

- 1 Л.Н. Данилевский,- Системный подход к энергосбережению в жилых зданиях. Опыт белорусско-германского сотрудничества в строительстве Минск, - НПО «СТРИНКО», 2000г., С. 108-112.
- 2 Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР. – М.: АН СССР, 1966г.
- 3 Нормативно-методические материалы по выполнению «Ежегодного анализа и прогноза развития ЕЭС и ОЭС России на десятилетний период».-М. ОАО «Энергосеть-проект» , 2001г.
- 4 Ю. А. Табунщиков, И. Н. Ковалев, Е.О. Гегуева.- Оценка экономической эффективности инвестиционных средств в энергосберегающие здания.- АВОК.-2004. №7, с.36-40.
- 5 А. Н. Дмитриев, Ю. А. Табунщиков, И. Н. Ковалев, Н. В. Шилкин.- Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия.- Техническая библиотека НП АВОК.- Москва, «АВОК-ПРЕСС», 2005г.
- 6 В. Г. Гагарин,- Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 1, «АВОК», №1, 2009, с. 10-16.
- 7 В. Г. Гагарин,- Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 2, «АВОК», №2, 2009, с. 14-23.
- 8 В. Г. Гагарин,- Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 3, «АВОК», №3, 2009, с. 62-66.
- 9 Справочная правовая система «Консультант плюс»
- 10 ТКП 45-2.04-43-2006, - Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования.
- 11 Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten. Teil 1. Vereinfachtes Verfahren.- EN ISO 10077-1:2000/