

# Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий

## Часть 3



В первой и второй части статьи была изложена математическая модель условий окупаемости затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий и рассмотрено применение этой теории для решения некоторых задач экономического анализа повышения теплозащиты зданий (см. журнал «АВОК», 2009, № 1, 2).

В третьей части статьи рассмотрено использование периодов окупаемости при анализе мероприятий по повышению теплозащиты ограждающих конструкций зданий.

**В. Г. Гагарин, доктор техн. наук, профессор**

### Расчет периода окупаемости

Приведенный во второй части статьи (см. журнал «АВОК», 2009, № 2) анализ исходил из того требования, что единовременные затраты должны окупаться. В данном разделе анализ основывается на сравнении периодов окупаемости единовременных затрат.

Если удалось утеплить ограждающую конструкцию здания так, что неравенство (13) выполняется, то период окупаемости этого утепления можно рассчитать по формуле (8), которая представляется в виде:

$$T_0 = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} p}\right)}{\ln(1+p)} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} p\right)}{\ln(1+p)}. \quad (8a)$$

При нулевой учетной ставке банка формула (8a) переходит в формулу (3), которая дает выражение для периода окупаемости в данном случае:

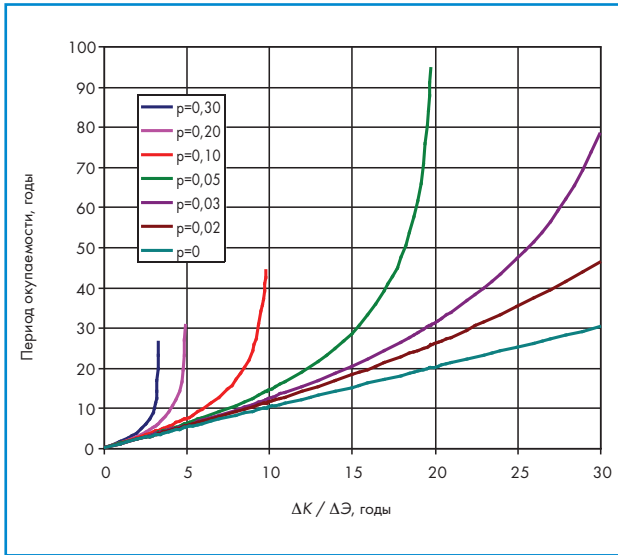
$$\lim_{p \rightarrow 0} T_0 = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{-\ln\left(1 - \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} p\right)}{\ln(1+p)} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{-\left(-\frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} p\right)}{p} = \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}}. \quad (21)$$

Как следует из (9), величина  $\Delta K/\Delta \mathcal{E}$  не должна превышать величины  $1/p$ , иначе величина под логарифмом получится отрицательной.

На рис. 8 представлены результаты расчетов периода окупаемости  $T_0$  от значения  $\Delta K/\Delta \mathcal{E}$ . При значениях  $\Delta K/\Delta \mathcal{E}$  меньших  $1/p$  на 50 % и менее, величина  $T_0$  мало отличается от периода окупаемости, вычисленного по формуле (3), то есть без учета процентной ставки. При дальнейшем увеличении  $\Delta K/\Delta \mathcal{E}$  учет процентной ставки существенно увеличивает величину  $T_0$ . При приближении значения  $\Delta K/\Delta \mathcal{E}$  к критическому значению, равному  $1/p$ , величина периода окупаемости  $T_0$ , как следует из (8a), стремится к бесконечности.

При малых величинах процентной ставки ( $p \leq 5\%$ ) величина периода окупаемости при его значениях, не превышающих 10–12 лет, близка к величине, определенной без учета процентной ставки. В этом случае, учитывая точность используемых данных, представляется возможным проводить расчеты без учета процентной ставки. Именно такая ситуация имела место при Советской власти, когда практически отсутствовала инфляция, а процентные ставки по кредитам были много меньше 5 % (рис. 8, кривые  $p = 0,02-0,03$ ).

Для современных условий России (рис. 8, кривые  $p = 0,10-0,20$ ), с учетом точности используемых данных, следует считать, что если единовременные затраты на утепление здания превышают не более чем примерно в 5 раз эконо-



■ Рис. 8. Зависимость периода окупаемости от отношения  $\Delta K/\Delta Э$  при различных значениях процентной ставки  $p$

номиию средств на отопление в течение первого года эксплуатации, то проводить утепление, возможно, имеет смысл. Если же указанное условие не выполняется, то затраты просто не окупятся.

### Обобщение критерия окупаемости единовременных затрат

Период окупаемости рассчитывается по формуле (8а). Подстановка в (8а) выражения (12) для  $\Delta Э$  дает:

$$T_0 = \frac{-\ln\left(1 - \frac{\Delta K}{\Delta Э} p\right)}{\ln(1+p)} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{\Delta K}{-\Delta k \cdot ГСОП \cdot 0,024 \cdot C_T} p\right)}{\ln(1+p)} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{w}{\omega}\right)}{\ln(1+p)} \approx \frac{-\ln\left(1 - \frac{w}{\omega}\right)}{p}, \quad (22)$$

где  $w$  – фактические удельные единовременные затраты на снижение коэффициента теплопередачи ограждающей конструкции на  $1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ , равные  $(-\Delta K/\Delta k)$ ,  $\text{долл} \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ ;

$w/\omega$  – относительные удельные единовременные затраты.

Последнее преобразование в (22) выполнено в силу того, что при  $p < 0,30$ , с ошибкой, не превышающей 15 %, можно считать, что  $\ln(1+p) \approx p$ .

Здесь следует иметь в виду, что при выводе выражений (3)–(8) и следующих из них величины  $p$  и  $T_0$  принимались безразмерными, а не вводились новые безразмерные величины (это было сделано для простоты изложения). Дальнейший анализ можно проводить относительно периода окупаемости  $T_0$ , считая эту величину безразмерной. Полученное выражение (22) представляет точное и приближенное значение периода окупаемости утепления ограждаю-

## ИДЕАЛЬНАЯ КОМБИНАЦИЯ: Etanorm PumpDrive.

Заказчики во всем мире доверяют качеству наших насосов, арматуры и системных решений. Комплексные решения от одного производителя обеспечивают высокий КПД и гарантируют безопасность производственного процесса: например, насос с регулированием частоты вращения. Комбинация насоса и частотного преобразователя – наш бестселлер Etanorm PumpDrive, – отлично зарекомендовавший себя в различных областях применения, обеспечивает соответствующий потребности и энергосберегающий режим работы насоса. Большая производительность с меньшими затратами. Простая и беспроблемная установка или интеграция в действующие сети. Etanorm PumpDrive – идеальная комбинация.

ООО «КСБ» · Москва, 123557, ул. Пресненский Вал, д. 27, стр. 12А. Тел.: (495) 980-1176, факс: (495) 980-1169

Санкт-Петербург · 197101, ул. Чапаева, д. 15, лит. 3, БЦ «Сенатор», офис 423. Тел./факс: (812) 332-5601/02

Новосибирск · 630102, ул. Восход, д. 14/1, офис 52. Тел.: (383) 254-0106, (383) 254-0115

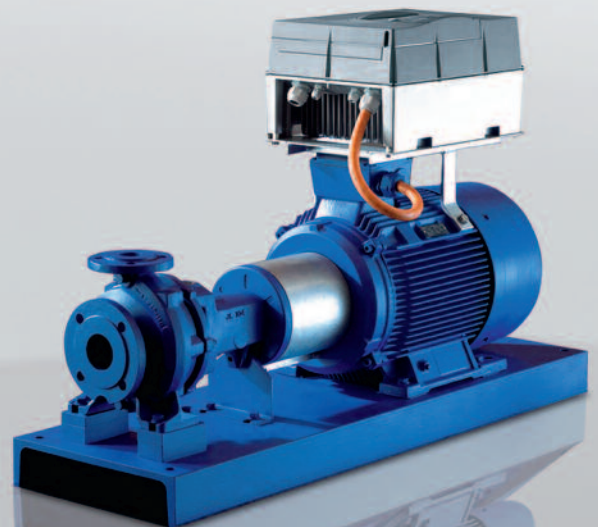
Екатеринбург · 620014, ул. Чернышевского, д. 16, офис 515.

Тел./факс: (343) 380-1576

Ростов-на-Дону · 344014, ул. Текучева, д. 234, этаж 11, офис 3. Тел./факс (863) 218-1191

www.ksb.ru · info@ksb.ru

Реклама



щей конструкции в безразмерном виде. Оно может выполнять роль безразмерного критериального числа, позволяющего сравнивать различные варианты повышения теплозащиты ограждающей конструкции. Это число зависит от трех величин, которые в свою очередь зависят от ряда параметров. Чем меньше число  $T_0$ , тем меньше период окупаемости, тем экономически выгоднее вариант повышения теплозащиты конструкции. Зависимость числа  $T_0$  от параметров приведена на рис. 9.

Из (22) можно получить значение удельных единовременных затрат при условии их окупаемости за заданный период времени:

$$\frac{w}{\omega} = 1 - e^{-T_0 \ln(1+p)}. \quad (23)$$

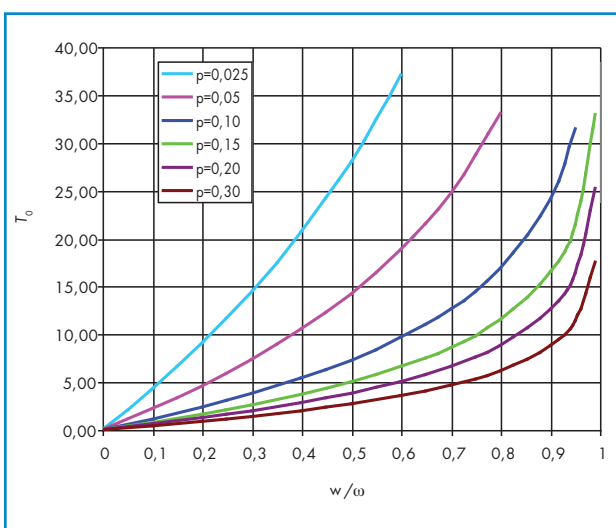
После преобразования получается:

$$\frac{w}{\omega} = \left(1 - (1+p)^{-T_0}\right) = \xi(p, T_0). \quad (24)$$

Функция  $\xi(p, T_0)$  представлена на рис 10. При любом значении  $p$   $\xi(p, T_0) \rightarrow 1$  при  $T_0 \rightarrow \infty$ . Чем больше значение  $p$ , тем больше значение функции  $\xi$  при одном и том же значении  $T_0$ . Значение  $\xi = 1$  соответствует предельному случаю, когда удельные затраты на утепление конструкции,  $w$ , соответствуют своему предельному значению,  $\omega$ . Таким образом, неравенство (13) можно обобщить и записать следующим образом:

$$-\frac{\Delta K}{\Delta k} \leq \omega \cdot \left(1 - (1+p)^{-T_0}\right). \quad (25)$$

Равенство в этой формуле при конкретном значении  $T_0$  определяет условие окупаемости затрат за период времени  $T_0$ .



■ Рис. 9. Зависимость безразмерного числа  $T_0$  от относительных удельных единовременных затрат  $w/\omega$  при различных значениях процентной ставки  $p$

## Использование периода окупаемости при сравнении вариантов повышения теплозащиты

При экономическом сравнении вариантов повышения теплозащиты ограждающих конструкций (например, в различных странах) представляется логичным исходить из равенства сроков окупаемости единовременных затрат с учетом выплат процентов за кредит.

Равенство безразмерных чисел,  $T_0$ , представляет собой условие равновременной окупаемости единовременных затрат на повышение теплозащиты ограждающих конструкций. Использование введенных безразмерных чисел позволяет рассматривать задачи, связанные с сопоставлением повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий в различных странах или в различных регионах нашей страны.

### Пример 5

Рассмотреть сопоставление окупаемости повышения сопротивления теплопередаче при утеплении стен существующих панельных зданий в Берлине в 2000 году ( $\omega = 125$  долл  $\cdot$   $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ,  $p = 0,025$ ) и в Москве в 2007 году ( $\omega = 16,7$  долл  $\cdot$   $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ,  $p = 0,13$ ) и определить, при каких условиях мероприятия в Москве будут равносрочно окупаемы мероприятиям в Берлине, если в Берлине на утепление стены было затрачено 50 долл  $\cdot$   $\text{м}^2$  и при этом достигнуто увеличение сопротивления теплопередаче с 0,72 до 2,60  $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Величина удельных единовременных затрат в Берлине равна:

$$w = \frac{50}{-\left(\frac{1}{2,6} - \frac{1}{0,72}\right)} = \frac{50}{1,004} = 49,8 \text{ долл} \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Величина относительных удельных единовременных затрат равна:

$$\frac{w}{\omega} = \frac{49,8}{125} = 0,40.$$

Безразмерное число  $T_0$  равно:

$$T_0 = \frac{-\ln\left(1 - \frac{49,8}{125}\right)}{\ln(1 + 0,025)} = 20,6.$$

Приблизительно такой же результат можно получить по рис. 9. Из условия равновременной окупаемости для условий Москвы по рис. 9 для  $T_0 = 20$  и  $p = 0,15$  получается значение  $w/\omega \approx 0,94$ . Отсюда получается для условий Москвы значение  $w = 0,99 \cdot \omega$  долл  $\cdot$   $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . Далее можно задаваться одним из двух параметров  $\Delta k$  или  $-\Delta k$  и определять второй параметр. Например, если утепление стены в Москве проводится до такого же значения  $R_0 = 2,60$  ( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ), повышаясь от 0,92 ( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ), то  $-\Delta k = 1/0,92 - 1/2,60 = 0,702$  Вт/ $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ . Отсюда, единовременные затраты



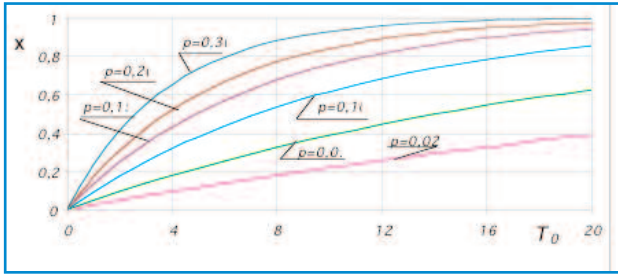


Рис. 10. Зависимость функции от числа  $T_0$  при различных значениях процентной ставки  $p$

должны составлять не более чем:  $\Delta K = -\Delta k \cdot w = 0,702 \cdot 15,7 = 11,03$  долл./м<sup>2</sup>.

Следовательно, чтобы единовременные затраты на утепление стены в Москве окупались одновременно с аналогичными затратами в Берлине, равными 50 долл./м<sup>2</sup>, при указанных условиях, необходимо, чтобы они равнялись 11 долл./м<sup>2</sup>.

## Использование безразмерного критерия при сравнении теплоизоляционных материалов

Если в (25) подставить значение удельных единовременных затрат из уравнения (17), то можно рассматривать вопросы выбора теплоизоляционных материалов анализируя значения того же безразмерного числа  $T_0$ . Неравенство (25) принимает в данном случае вид:

$$C_{yr} \lambda (R_0^1)^2 \leq \omega \cdot (1 - (1 + p)^{-T_0}). \quad (26)$$

Выражение (18) позволяет осуществить выбор теплоизоляционного материала исходя из условий окупаемости. Выражение (26) позволяет сравнивать теплоизоляционные материалы по их эффективности исходя из условия равновременной окупаемости в конструкциях как с одинаковым, так и с различным уровнем теплозащиты. Задавая значениями  $T_0$  при известных значениях  $\omega$  и  $p$ , можно получить таблицу цен теплоизоляционных материалов, аналогичную табл. 2 (см. журнал «АВОК», 2009, № 2), по которой и произвести выбор теплоизоляционного материала.

## Заключение

Итак, рассмотрены методы экономического анализа повышения теплозащиты ограждающих конструкций в условиях «рыночной» экономики. Важнейшим параметром, определяющим экономические условия повышения теплозащиты ограждений зданий в стране или регионе, является предельное значение для удельных единовременных затрат  $\omega$ . Чем оно больше, тем больше средств можно затратить на утепление, которые при этом окупятся. Это условие отражено неравенством (13). Этот же параметр ограничивает величины ха-

рактеристики материала  $C_{yr} \cdot \lambda$  и конструкции ограждения  $R_0^1$  и позволяет установить взаимосвязанные предельные значения этих характеристик, при которых окупаются затраты на повышение сопротивления теплопередаче ограждения до значения  $R_0^1$ . Это ограничение отражено неравенством (18). Обобщение условия окупаемости до условия окупаемости за определенный период времени представлено неравенством (25). Значение параметра  $\omega$  определяет предел технико-экономических возможностей повышения теплозащиты ограждающих конструкций в регионе или стране. Малое значение параметра  $\omega$  является формальной причиной некупаемости повышения теплозащиты зданий в России. Введенный параметр  $\omega$ , конечно, является условным, однако он позволяет сравнивать комплексно экономико-климатические и физические условия утепления зданий в различных странах.

Следует подчеркнуть, что в изложенном методе не применяется дисконтирование цен, связанное с их ростом. Цена тепловой энергии для России взята больше действующей до 2007 года. Цена тепловой энергии в зарубежных странах – напротив, взята заниженной. Такой выбор цен обеспечивает «благожелательный» подход к сравнению повышения теплозащиты в России и в зарубежных странах. Другой важной особенностью метода является использование для экономических расчетов долларов США при одновременном использовании процентной ставки, декларируемой для применения при финансовых операциях с национальной валютой. Хотя этот прием и вносит некоторую погрешность, но он вполне оправдан при проведении международных сравнений и при незначительных изменениях курса доллара относительно национальных валют.

При разработке методов экономической оценки осознанно и неосознанно делается столько предположений, что получающиеся количественные результаты являются приближенными. Однако только таким путем возможно нащупать решение конкретных проблем. Представленные в настоящей статье методы предоставляют такую возможность. При их разработке автор стремился использовать минимально необходимый математический аппарат и минимум экономической терминологии, даже в ущерб строгости изложения. Например, не рассмотрены методы, использующие переменную во времени учетную банковскую ставку и цену тепловой энергии, поскольку эти методы основываются на прогнозе и, следовательно, не приводят к повышению точности, но усложняют понимание результатов.

Главный научный результат, представленный в статье, заключается в разработке критерия окупаемости единовременных затрат. Главный практический результат заключается в том, что условия для повышения теплозащиты зданий в России значительно менее благоприятны, чем в других развитых странах, и, следовательно, нельзя слепо копировать «зарубежный опыт».

## Литература

12. Кейнс Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег / Антология экономической классики. – М.: ЭКОНОМ, Ключ, 1993. ■

**Более 15000 наименований оборудования,  
изделий и материалов для систем отопления,  
водоснабжения и канализации**

- Трубы и трубопроводная арматура
- Регулирующая промышленная арматура
- Сантехническое оборудование и аксессуары
- Санфаянс
- Системы отопления и горячего водоснабжения
- Насосное оборудование
- Комплектация строительных объектов

**АВТОРИТЕТ В МИРЕ САНТЕХНИКИ**

Реклама

**САНТЕХКОМПЛЕКТ**

<http://www.santech.ru>

**г. Видное, Белокаменное шоссе, д. 1  
645-0000, 253-4656**