

# Экономическая оценка конструктивных решений тепловой защиты зданий

**А. Е. Стахов**, канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, [stahov\\_andrey@list.ru](mailto:stahov_andrey@list.ru)

**А. А. Андреев**, инженер ООО «Энергострой», [andreenko.anna@list.ru](mailto:andreenko.anna@list.ru)

**Ключевые слова:** тепловые потери, функция «полезности», тепловые изоляции, кривые «безразличия», бюджетная линия

Вопросам экономической оптимизации принятых конструктивных проектных решений тепловой защиты зданий посвящено значительное количество научных трудов [1, 2, 4–6]. Основным критерием оценки рассматривалась минимизация срока окупаемости капитальных вложений в ограждающие конструкции в зависимости от стоимости сэкономленной тепловой энергии. При этом нормативные требования к ограждающим конструкциям в части сопротивления теплопередаче определялись исходя из величины градусо-суток отопительного периода в данной местности независимо от архитектурного разнообразия зданий. В то же время мы имеем достаточное многообразие строящихся зданий по высоте, площади стен и покрытий, площади светопрозрачных конструкций. Представляет интерес анализ изменения теплотерь конкретных зданий в зависимости от соотношений коэффициентов сопротивлений стен и покрытий, стен и светопрозрачных конструкций, которые в конечном счете определяют их стоимость.

В экономической науке для изучения факторов, определяющих объем спроса на тот или иной товар, используется количественный подход, связанный с измерением величины «полезности» данного товарного набора. Эта величина является функцией объемов потребления конкретных товаров в единицу времени [3, 7]. Используем этот кардиналистский подход для анализа «полезности» тепловой защиты конкретного здания. Целью такой защиты является минимизация потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции. Теплопотери стен, покрытий, окон, балконных дверей выступают как объемы потребления товара (энергии) в единицу времени. Определим характер функции общей полезности (величины теплопотерь  $Q$ ), для чего рассмотрим, как изменяется  $Q$  в зависимости от эффективности стеновых конструкций здания (сопротивления теплопередаче  $R$ ). Расчетная функция  $Q = f(R)$  убывающая, выпуклая вниз. Каждый шаг увеличения сопротивления теплопередаче уменьшает теплопотребление здания. Предел «полезности» дополнительных слоев тепловой защиты показывает, как убывают теплопотери при увеличении  $R$  на одну единицу. Математически предельная «полезность» увеличения  $R$  есть частная производная  $\partial Q / \partial R$ . Геометрически она равна тангенсу угла наклона касательных к кривой  $Q = f(R)$  в плавающей точке  $A$  и обозначается как  $MU$  (marginal utility). С увеличением  $R$  угол наклона этой касательной уменьшается, и, следовательно, понижается предельная «полезность», а следовательно, и выгода увеличения толщины изоляционного слоя в строительных конструкциях. На рис. 1 представлены графики тепловых потерь через стены здания-представителя в зависимости от их сопротивления теплопередаче и, соответственно, предельная полезность в теплоизоляции при увеличении толщины ее слоя. Данные получены расчетным путем для 5-этажного жилого дома с площадью стен 1470 м<sup>2</sup>, площадью покрытия 990 м<sup>2</sup>, площадью светопрозрачных конструкций 492 м<sup>2</sup>. Здание расположено в пригороде Санкт-Петербурга.

Кроме количественного подхода применяется и порядковый (ординалистский) подход к анализу полезности и спроса [8]. Суть такого подхода заключается в выборе потребителем наиболее предпочтительного товарного набора из всех доступных для него. При анализе используются так называемые «кривые безразличия», т.е. объединение точек, каждая из которых представляет собой такой набор из двух товаров, что потребителю безразлично, какой из этих наборов выбрать. В качестве

— **Холодильные машины**  
для систем кондиционирования и технологического охлаждения

- с воздушным охлаждением, 5—1800 кВт
- free cooling, 41—1700 кВт
- с водяным охлаждением, 87—2400 кВт

— **Тепловые насосы**

- воздух – вода, 4—1160 кВт
- вода – вода, 5—2400 кВт

— **Системы нагрева и охлаждения воды**

Решения для одновременного производства холодной и горячей воды, 33—850 кВт

— **Крышные кондиционеры**

23—468 кВт

— **Прецизионные кондиционеры**

- с непосредственным охлаждением и на охлаждающей воде
- охлаждающие блоки со стеллажами
- охлаждающие дверные блоки
- моноблочные системы для внутренней и наружной установки

JAPAN

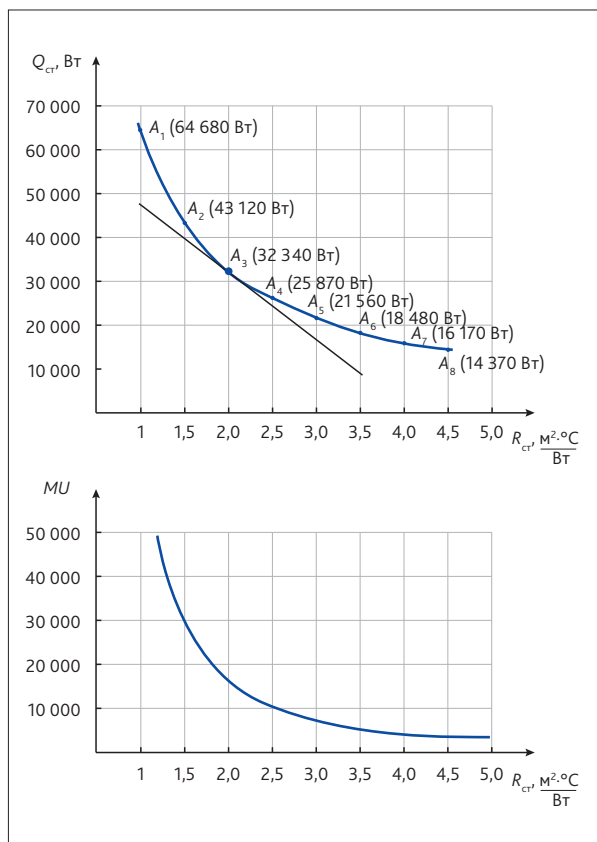
Реклама



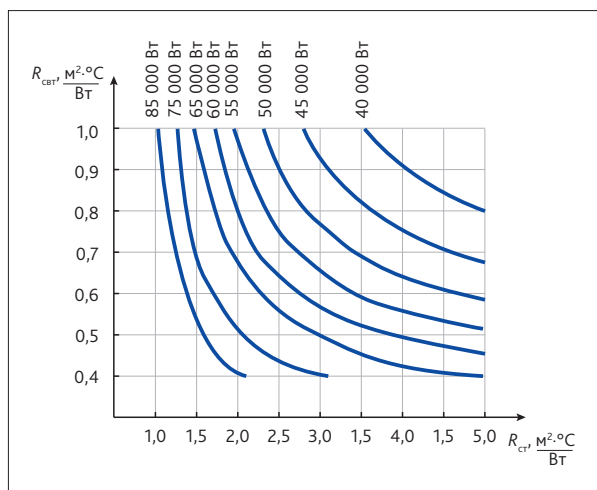
A Group Company of



[aircon@mer.mee.com](mailto:aircon@mer.mee.com)



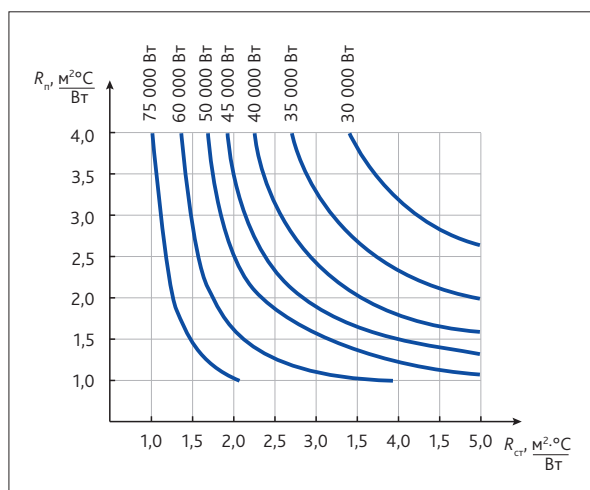
■ Рис. 1. Общая и предельная полезность дополнительного утепления стен здания-представителя



■ Рис. 2. Зависимость тепловых потерь здания от сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций и стен

«товаров» выступают характеристики  $R$  ограждающих конструкций, определяющие уровни тепловых потерь зданий.

В нашем случае выбор осуществляется из теплотехнических свойств стен ( $R_{ст}$ ), покрытий ( $R_{п}$ ), окон



■ Рис. 3. Зависимость тепловых потерь здания от сопротивления теплопередаче покрытий и стен

и балконных дверей ( $R_{свт}$ ). Расчет тепловых потерь через ограждающие конструкции выполнен попарно для стен и покрытий; стен и светопрозрачных конструкций для ранее упомянутого объекта-представителя. На основании расчетов построены графики зависимости тепловых потерь от двух парных аргументов (рис. 2, 3). Анализ графиков показывает, что общие тепловые потери одинаковы при различных комбинациях величин  $R_{ст}$ ,  $R_{п}$  и  $R_{свт}$ . По мере увеличения теплозащиты ограждающих конструкций темпы уменьшения трансмиссионных потерь тепла падают.

С другой стороны, степень выпуклости кривых тепловых потерь показывает, насколько парные параметры теплозащиты являются взаимозаменяемыми. Соответственно, существует и предельная норма замещения уровня теплозащиты одной конструкции на усиление другой.

Вопрос о взаимозаменяемости конструкций должен быть решен исходя из наличия денежных средств у потребителя. Множество доступных потребителю товарных наборов записывается в виде:

$$J = P_x \cdot x + P_y \cdot y, \quad (1)$$

где  $J$  – объем денежных средств,

$P_x, P_y$  – стоимость единицы товара,

$x, y$  – количество товара.

В качестве товара выступают дополнительные теплоизоляционные слои (в  $m^3$ ) и рыночные стоимости конкретных видов изоляции (светопрозрачных конструкций), а также площади и стоимости оконных блоков, имеющих различные приведенные сопротивления теплопередаче в расчете на  $1 m^2$  их поверхности. Очевидно, что каждое значение  $R$



соответствует определенной стоимости материальных ресурсов, а это означает что бюджетная линия, построенная по преобразованному выражению (1), может быть совмещена с кривыми безразличия на рис. 2, 3. Оптимум потребителя, т.е. минимизация капитальных вложений, будет определен в точке касания бюджетной линии с конкретной линией безразличия.

## Выводы

1. Требования к тепловой защите зданий вызывают необходимость в экономической оценке применения конкретных строительных конструкций для определенных архитектурных решений.
2. Установлено, что энергоэффективность оболочки здания может быть обеспечена различными комбинациями инженерных решений.
3. Оптимальное решение для заказчика строительства выбирается исходя из совместного анализа кривых безразличия по теплотерям и бюджетного уравнения расходов для объекта строительства по предложенному алгоритму.

## Литература

1. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) : учеб. для вузов. – 3-е изд. – СПб.: АВОК-С-Запад, 2000.
2. Дмитриев А. Н., Табунщиков Ю. А., Ковалев И. Н., Шилкин Н. В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005.
3. Табунщиков Ю. А. Энергосбережение и эффективность – мировая проблема предельной полезности // Энергосбережение. – 2010. – № 6.
4. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.
5. Табунщиков Ю. А., Ковалев И. А. Особенности оптимизации толщины утеплителя наружных стен здания. Системные аспекты // Энергосбережение. – 2017. – № 8.
6. Ливчак В. И. Экономическая оптимизация теплозащиты зданий // АВОК. – 2015. – № 6.
7. Экономическая школа. 1991. Т. 1. Вып. 1.
8. Цены и ценообразование в рыночной экономике : учеб. – Ч. 1. Теория цены: в 2 кн. // Под ред. В. М. Гальперина, В. Е. Есипова. – СПб.: Изд-во СПбУЭФ, 1992. ■

Полная техническая информация:



[www.solerpalau.ru](http://www.solerpalau.ru)

Soler&Palau  
Ventilation Group

## НАКЛАДНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ SILENT И SILENT DESIGN

Бытовые осевые вентиляторы серии SILENT и SILENT DESIGN 3С разработаны специально для решения проблем вентиляции в ваннах, санузлах и других небольших помещениях.



Реклама

Официальный дистрибьютор:



вентиляция и кондиционирование  
**БЛАГОВЕСТ**  
[pro.blagovest.ru](http://pro.blagovest.ru)