УДК 699.86

© А. Е. Стахов, канд. техн. наук, доцент

© С. Ю. Кадокова, ст. преподаватель

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: stahov_andrey@list.ru, kadokova@mail.ru

© А. А. Андреев, инженер

(ООО «Энергострой», Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: andreenko.anna@list.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-252-256

© А. Е. Stahov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© S. Yu. Kadokova, senior teacher

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: stahov_andrey@list.ru, kadokova@mail.ru

© А. А. Andreenko, engineer

(LLC «Energostroy», St. Petersburg, Russia)

E-mail: andreenko.anna@list.ru

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМИ ПРОЕКТАМИ

METHODS FOR MANAGEMENT OF INVESTMENT ENERGY-SAVING PROJECTS

Рассматриваются организационно-экономические аспекты управления энергосберегающими инвестиционными проектами. Определены требования к энергосервисному строительному контракту. Предложен экономико-математический метод определения оптимальной конструкции тепловой защиты здания с учетом закона убывающей предельной полезности.

Ключевые слова: энергосберегающий строительный проект, энергосервисный строительный контракт, экономико-математический анализ средних и предельных издержек для оптимизации капитальных затрат.

The article presents the study results of organizational and economic aspects of managing energy-saving investment projects. The requirements for the energy service construction contract are specified. The authors propose an economic-mathematical method for determining the optimal design of thermal protection of buildings taking into account the law of diminishing marginal utility.

Keywords: energy-saving construction project, energy service construction contract; economic and mathematical analysis of average and marginal costs for optimizing capital costs.

Реализация государственной политики в области энергосбережения и повышения энергоэффективности должна осуществляться путем совершенствования системы управления инвестиционным проектированием в строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве¹. Основным механизмом энергосбережения может стать энергосервисный строительный контракт (ЭСК). Законодательство РФ называет таким контрактом фактически любой договор подряда, направленный на повышение эффективности использования таких первичных ресурсов, как тепловая энергия, электричество, вода, газ.

Энергосервисный контракт носит долгосрочный характер, поэтому необходимо для его реализации предварительно:

- выполнить инженерно-технический проект (рабочие чертежи), обеспечивающий экономию энергоресурсов;
- рассчитать доходы от этой экономии методами, доступными для проверки;
- определить долевое значение доходов для каждого участника ЭСК (управляющая компания, кредитное учреждение, муниципалитет, собственники строительной недвижимости);
- оценить все возможные риски при осуществлении ЭСК и при обоснованной необходимости застраховать их;
- определить порядок движения денежных средств по всему сроку действия ЭСК.

¹ Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

В настоящее время разрабатываются в основном вопросы, связанные с техническими аспектами реализации энергосберегающих мероприятий.

Всю совокупность факторов, влияющих на процесс сокращения энергопотребления, можно разделить по следующим классификационным признакам. Во-первых, это мероприятия, связанные с использованием физических принципов и свойств материалов (теплоизоляция поверхностей; применение различных светопрозрачных конструкций; светодиодное освещение; установка термостатических клапанов; применение тепловых насосов; когенерационных и тригенерационных установок; систем вытесняющей вентиляции). Во-вторых — использование энергопотенциала вторичных ресурсов (утилизация тепла уходящего воздуха и газов с помощью технологий рекуперации, регенерации, использования «промежуточного теплоносителя», а также тепла промышленных канализационных стоков; рециркуляция вытяжного воздуха; аккумуляция тепла, воды, холода). В-третьих — внедрение систем автоматизации работы оборудования тепловых узлов, насосных станций, включая регулирование частоты вращения электродвигателей. Вышеперечисленные инженерные мероприятия реализуются в процессе проектирования технических систем новых и реконструируемых объектов строительно-коммунального комплекса.

Вопросам же экономического обоснования и управления, энергосберегающими проектами (ЭСП), финансовым и институциональным вопросам не уделяется должного внимания, что отмечается многими авторами [1–5]. По своей сущности ЭСП является разновидностью строительных инвестиционных проектов, управлению которыми посвящены фундаментальные труды в виде учебников и учебных пособий, а также множество публикаций в периодических изданиях. Фаза планирования и разработки рабочей документации включает в себя выдачу технического задания на проектирование, выполнение проектной документации, ее экспертиза, составление объектной сметы и заключение договора генерального подряда на строительство [6]. Инвестиционный строительный проект конечно должен окупаться. Застройщик заранее рассчитывает свой доход с учетом коэффициентов

дисконтирования банковских кредитных ставок, ожидаемого уровня инфляции и т. п. [7]. Аналогичным вопросам, касающимся энергосберегающих проектов, посвящены работы [8, 9]. В них, в частности, рассматривались вопросы экономической оптимизации принятых конструктивных решений с точки зрения минимизации срока окупаемости капитальных вложений в тепловую изоляцию в зависимости от стоимости сэкономленной тепловой энергии.

Вместе с тем, в вышеназванных изданиях не решен главный вопрос — насколько оптимально само энергосберегающее проектное решение.

Автор [10] предлагает стоимость энергосберегающих мероприятий определять по принципу предельной полезности. Теория полезности, в частности, закон убывающей предельной полезности — основополагающий в экономической науке. Со студенческой скамьи мы помним о разнице «полезностей» первого съеденного яблока и пятого. Это положение касается и энергосберегающих мероприятий, планируемых для реализации ЭСК.

Предлагается следующий метод определения эффективности инвестиционного энергосберегающего проекта, реализуемого в рамках программы по энергосбережению, в жилищно-коммунальном хозяйстве. Имеем жилой дом постройки прошлого века с нормативным сопротивлением по теплопередаче R , равным $1 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, что соответствует проникновению всего лишь 1 Вт тепловой энергии за 1 час при разности температур снаружи и внутри в 1°C — требуется утеплить. Поскольку в Санкт-Петербурге для расчета систем отопления используется значение наиболее холодной температуры наружного воздуха в -24°C , а гигиенические нормы по внутреннему воздуху предполагают значение в $+20^\circ\text{C}$, то тепловой поток через 1 м^2 стены будет равен произведению площади конструкции на разность значений наружной и внутренней температур воздуха и на величину $1/R$ или $1 \cdot (20 - (-24)) = 44 \text{ Вт}$. Будем утеплять эту стену минплитой с теплопроводностью $\lambda = 0,04 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$, т. е. этому количеству тепловой энергии, проникающей через толщину данного материала в 1 м при разности температур в 1°C . Сопротивление теплопередаче вычисляется отношением толщины утеплителя к коэффициенту

теплопроводности. В таблице приведены данные по стоимости устройства дополнительных слоев изоляции.

Последовательно добавляя слои теплоизоляции по 40 мм, можно достичь дополнительного сопротивления теплопередаче в $R_i = 1, 2, \dots 6 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. На рис. 1 представлены графики величин тепловых потерь Q_i и соответствующих значений экономии (сбережения) тепла $q_i = Q_0 - Q_i$ или

$$q_i = 44 - 44/R_i. \quad (1)$$

График $q = f(R)$ возрастает, но с каждым шагом увеличения сопротивления теплопередаче конструкции прирост экономии уменьшается. Разделим q на R . Выражение q/R представляет собой отношение величины экономии тепла к издержкам на теплозащиту и имеет максимум при $R_0 = 2,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Рассмотрим вариацию величины q при изменении R на одну единицу — «предельную» величину экономии. Так как речь идет о непрерывно меняющихся величинах, можно записать $dq/dR = 44/R^2$.

На рис. 2 представлены графики q/R и dq/dR . Они пересекаются в точке с $R_0 = 2,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, что соответствует условию локального экстремума величины $q = f(R)$. В этой точке радиус-вектор касается графика функции $q = f(R)$, или, что то же самое, касательная к кривой $q = f(R)$ проходит через начало координат (см. рис. 1).

До этого момента мы оперировали техническими терминами, такими как «сокращение тепловых потерь» и «сопротивление теплопередаче» ограждающих конструкций. В результате анализа был определен локальный максимум относительной величины q/R . Следующим этапом анализа является переход к экономическим категориям типа «объем-издержки». Для этого дополним ось абсцисс рис. 1 тремя дополнительными осями. Первая ось показывает толщину слоя теплоизоляции « δ » с $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$, соот-

Рис. 1. Тепловые потери и экономия тепла при послойной теплоизоляции строительной конструкции

ветствующую значениям « R ». Вторая — объем этой изоляции « V » в расчете на 1 м^2 , а третья — сметную стоимость « c » работ по утеплению 1 м^2 стены. Величина « c » связана со значением « R » отношением $c = 80R$. Физический смысл этого выражения в том, что стоимость утепления поверхности ($V = 1 \text{ м}^3$, $F = 1,0 \text{ м}^2$) пропорциональна единичной величине сопротивления теплопередаче слоя теплоизоляции ($\delta = 0,04$, $R = 1,0 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$) с коэффициентом пропорциональности равным 80, стоимость работ « c » принята равной 2000 руб./м³. Заменяя « R » на « c » в формуле (1), получим выражение

$$c = \frac{3520}{44 - q}. \quad (2)$$

Зависимость (2) показывает, как меняются издержки в процессе достижения цели рассматриваемого энергосберегающего мероприятия (утепления стены) — сокращения тепловых по-

Стоимость дополнительных слоев теплоизоляции

Толщина изоляции δ , мм	40	80	120	160	200	240
Теплопроводность изоляции λ , Вт/м·°C	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Сопротивление теплопередаче $R = \lambda/\delta$, м²·°C/Вт	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Объем 1 м² поверхности слоя изоляции, м³	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24
Стоимость 1 м² изоляции, руб./м²	80	160	240	320	400	480

Рис. 2. Графики «средней» и «предельной» величин экономии тепла

Рис. 3. График зависимости производственных издержек при послойном утеплении стены

терь. Соответствующий график представлен на рис. 3.

Определим точку локального минимума необходимых расходов. Для этого, разделив правую и левую части выражения (2) на q , получим средние издержки $\bar{c} = 3520 / q(44 - q)$. Дифференцируя же (2), получим предельные издержки $c' = 3520 / (44 - q)^2$. Приравняв средние и предельные издержки, имеем оптимальное значение экономии тепловой энергии $q = 22$ Вт/м² при затратах $c = 160$ руб./м², что и было получено ра-

нее из технических выкладок. Соответственно, прямая, выходящая из начала координат, касается точки с вышеприведенными координатами.

Итак, методом экономико-математического анализа вычислена оптимальная толщина теплоизоляции стен для реконструируемого жилого дома. В соответствии с вышеприведенными расчетами участники инвестиционного энергосберегающего проекта могут принять обоснованное управленческое решение в виде технического задания на выполнение рабочих чертежей ограждающих конструкций здания в рамках осуществления ЭСП.

Библиографический список

1. Антоничев С. В. Энергосервис: проблемы и позитивные примеры // Энергосбережение. 2012. № 7. С. 11–14.
2. Зенютич Е. И. Экономические механизмы в энергосбережении // Энергоаудит. 2010. № 2. С. 30–35.
3. Мещерякова Т. С. Реализация энергосберегающих мероприятий на основе энергосервисного контракта // Энергосбережение. 2016. № 4. С. 30–33.
4. Мукумов Р. Э. Энергосервис: быть или не быть? // Энергосбережение. 2015. № 1. С. 30–33.
5. Нестеров Д. Л., Мещерякова Т. С. Реализация энергосервиса в России. Теоретические и практические аспекты // Энергосбережение. 2017. № 1. С. 40–43.
6. Заренков В. А. Управление строительными инвестиционными проектами: учебник. М.: Изд-во АСВ, 2009. 368 с.
7. Бовтеев С. В., Еременко В. П., Рыбнов Е. И., Фролов В. И. Управление проектами в строительстве: СПб.: СПбГАСУ, 2004. 424 с.
8. Дмитриев А. Н., Табуничиков Ю. А., Ковалев И. Н., Шилкин Н. В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. 120 с.
9. Табуничиков Ю. А., Ковалев И. А. Особенности оптимизации толщины утеплителя наружных стен здания. Системные аспекты // Энергосбережение. 2017. № 8. С. 120.
10. Табуничиков Ю. А. Энергосбережение и энергоэффективность — мировая проблема предельной полезности // Энергосбережение. 2010. № 6. С. 40–45.

References

1. Antonychev S. V. *Energoservis: problemy i pozitivnye primery* [Energy service: problems and positive examples]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2012, no. 7. Pp. 11–14.

2. Zenyutich E. I. *Ekonomicheskie mekhanizmy v energosberezhenii* [Economic mechanisms in energy saving]. *Energoaudit – Energy audit*, 2010, no. 2. Pp. 30–35.
3. Meshcheryakova T. S. *Realizatsiya energosberegayushchikh meropriyatiy na osnove energoservisnoo kontrakta* [Implementation of energy saving measures based on an energy service contract]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2016, no. 4. Pp. 30–33.
4. Mukumov R. E. *Energoservis: byt' ili ne byt'?* [Energy service: to be or not to be?]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2015, no. 1. Pp. 30–33.
5. Nesterov D. L., Meshcheryakova T. S. *Realizatsiya energoservisa v Rossii. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty* [Implementation of energy services in Russia. Theoretical and practical aspects]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2017, no. 1. Pp. 40–43.
6. Zarenkov V. A. *Upravlenie stroitel'nymi investitsionnymi proektami* [Management of construction investment projects]. Moscow, ASV Publ., 2009, 368 p.
7. Bovteev S. V., Eremenko V. P., Rybnov E. I., Frolov V. I. *Upravlenie proektami v stroitel'stve* [Project management in construction]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2004, 424 p.
8. Dmitriev A. N., Tabunshchikov Yu. A., Kovalev I. N., Shilkin N. V. *Rukovodstvo po otsenke ekonomicheskoy effektivnosti investitsiy v energosberegayushchie meropriyatiya* [Guidelines for evaluating the economic efficiency of investments in energy-saving measures]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2005, 120 p.
9. Tabunshchikov Yu. A., Kovalev I. A. *Osobennosti optimizatsii tolshchiny uteplitelya naruzhnykh sten zdaniya. Sistemnye aspekty* [Optimization features of the thickness of the exterior wall insulation of the building. System aspects]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2017, no. 8. P. 120.
10. Tabunshchikov Yu. A. *Energoberezhenie i energoeffektivnost' — mirovaya problema predel'noy poleznosti* [Energy saving and energy efficiency: the world problem of marginal utility]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, 2010, no. 6. Pp. 40–45.