

УДК 69.003.13

А.А. Андреев

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, email: andreenko.anna@list.ru

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

Ключевые слова: управление энергосбережением, реконструкция зданий, управленческое обоснование, интегральная модель, экспертные методы.

Рассматривается актуальная проблема выбора вариантов энергосберегающих технических решений при реконструкции и капитальном ремонте зданий различного назначения. Предложен метод комплексной оценки влияния технико-управленческих факторов на эффективность энергосберегающих проектов. Разработана система дифференциальных показателей для обоснованной оценки выбора предпочтительного варианта реконструкции зданий, который обосновывается экспертным определением общих критериев эффективности. На базе последних вычисляются вариантные интегральные величины в виде аналитических математических моделей, которые служат основанием для принятия управленческих решений по реализации инвестиционных строительных проектов.

A.A. Andreenko

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg,
email: andreenko.anna@list.ru

COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF INVESTMENT ENERGY SAVING PROJECTS IMPLEMENTED IN THE PROCESS OF BUILDING RECONSTRUCTION

Keywords: energy conservation management, reconstruction of buildings, management rationale, integral model, expert methods.

The actual problem of choosing options for energy-saving technical solutions in the reconstruction and overhaul of buildings for various purposes is considered. A method for a comprehensive assessment of the impact of technical and managerial factors on the efficiency of energy-saving projects is proposed. A system of differential indicators has been developed for a reasonable assessment of the choice of the preferred option for the reconstruction of buildings, which is justified by an expert definition of general performance criteria. On the basis of the latter, variant integral values are calculated in the form of analytical mathematical models, which serve as the basis for making managerial decisions on the implementation of investment construction energy-saving projects.

В процессе реконструкции зданий различного назначения не только устраняется физический и моральный износ зданий, но и повышаются его энергетические характеристики, в частности классы энергосбережения жилых и общественных зданий. Так проектирование зданий с классом энергосбережения «Д», «Е» не допускается, а классы «А, В, С» устанавливаются для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации (Свод правил СП50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (СНиП 23-02-2003).

Всю совокупность технических решений, направленных на сокращение

энергозатрат при эксплуатации реконструируемых зданий, можно разделить на три группы: утепление наружных строительных конструкций; использование вторичной тепловой энергии, например, вытяжного воздуха и автоматизация инженерных систем [1].

Реализация вышеприведенных проектных решений должна происходить в процессе осуществления инвестиционных строительных проектов (ИСП) по реконструкции зданий различного назначения. Поскольку эта часть ИСП специфична по своей технической сущности, она рассматривается, как правило, в рамках так называемого энергос-

берегающего (строительного) проекта (ЭСП). Экономическая эффективность ЭСП определяется в настоящее время сопоставлением капитальных затрат на выполнение энергосберегающих мероприятий и стоимостью сэкономленных энергетических и материальных ресурсов. Вопросам экономической оптимизации энергосберегающих конструктивных решений с точки зрения минимизации сроков окупаемости капитальных вложений в них с учетом дисконтирования банковских кредитных ставок, ожидаемого уровня инфляции и т.п., посвящены как фундаментальные труды, так и статьи в периодических профильных журналах [2–4].

При этом упускается из виду необходимость сравнения вариантов ЭСП и с точки зрения технических аспектов. Например, вид материалов трубопроводов и электропроводки, тип и толщина используемого материала теплозащиты ограждающих строительных конструкций, номенклатура светопрозрачных конструкций, степень автоматизации инженерных систем предопределяют технологию и организацию строительного процесса. Поэтому необходимо дополнительно оценивать множество факторов, носящих не экономический характер, а управленческий, оказывающих влияние на тот или иной элемент строительной продукции в процессе его проектирования, монтажа и эксплуатации.

Проблему выбора технических вариантов осуществления энергосберегающих решений при планировании реконструкции зданий решает разработка методических основ комплексной оценки альтернатив, что включает в себя анализ всей совокупности факторов, влияющих на эффективность реконструкции на протяжении всего жизненного цикла вновь воспроизводимой строительной продукции.

Каждой группе факторов должен соответствовать перечень показателей и критериев для оценки их влияния на конечный результат. Следующим этапом выбора является разработка математической модели, включающей в себя достоверную численную оценку каждого показателя экспертными методами и методами статистических испытаний и объединение полученных

данных в единый интегральный показатель через аналитическую функцию эффективности принятого управленческого решения.

Альтернативный выбор варианта ЭСП относится к вопросам управленческого учета, обоснования, как метода совершенствования планирования и принятия решений. Под этим термином понимается внутрифирменный процесс предоставления информации лицам, принимающим решения в целях планирования, реализации планов с соответствующим контролем и регулированием. Этот процесс включает в себя сбор и анализ информации, не входящей в регламентированную законодательством финансовую и техническую отчетность, но необходимой управленческому аппарату для выполнения его функций [5–7].

В качестве научного метода оценки вариантов осуществления энергосберегающих инвестиционных строительных проектов предлагается использовать метод анализа иерархий [8], заключающийся в создании системы частных показателей, носящих прикладной характер, объединенных в единый интегральный критерий с учетом уровня их значимости. Такой подход в частности используется в теории управления качеством продукции, а также при решении других актуальных задач. Например, порядок реализации интегрального метода для обоснования и выбора объективной оценки конкурсных предложений при проведении подрядных торгов изложен в [9]. Автор монографии [10] применил подобный метод при оценке системы управления эффективностью городского жилищного строительства. В работе [11] предлагается использовать интегральный показатель для выбора вариантов реконструкции зданий в мегаполисе. В [12] предложено для решения проблемы выбора наиболее эффективного варианта инвестиционного строительного проекта использовать системы дифференциальных критериальных оценок, обобщенных в единый интегральный показатель. Статья [13] посвящена вариантному сравнению инженерных систем зданий и сооружений, предназначенных для реконструкции или для капитального ремонта.



Рис. 1.1. Факторы, влияющие на эффективность энергосберегающих мероприятий при проведении проектных работ

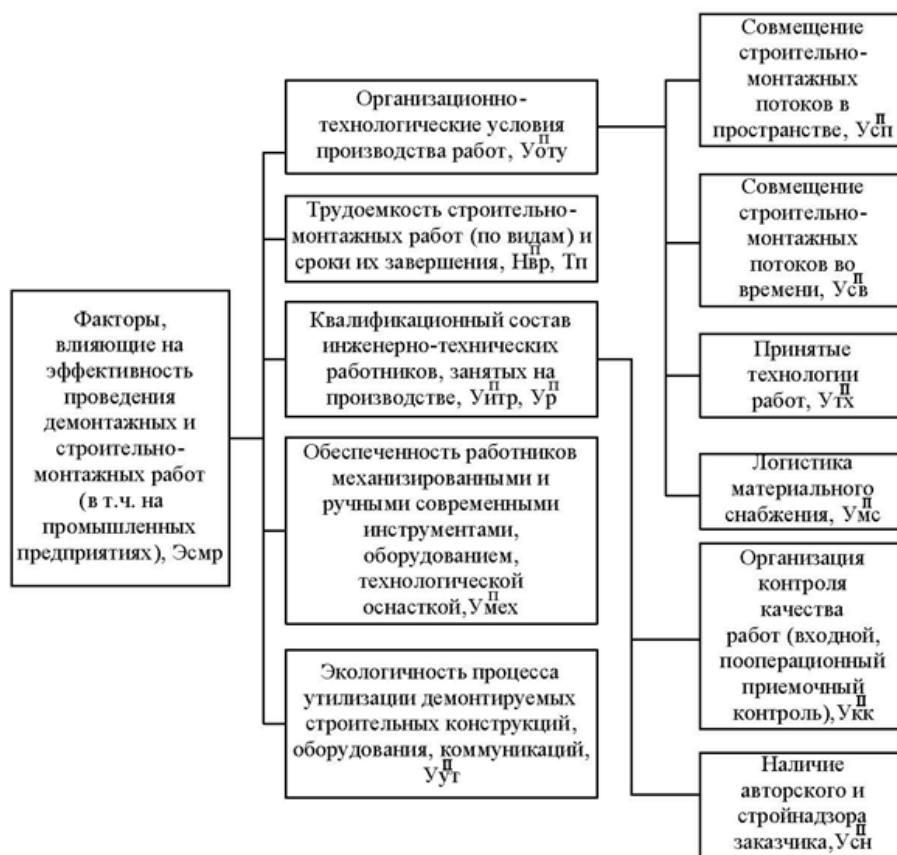


Рис. 1.2. Факторы, влияющие на эффективность энергосберегающих мероприятий при проведении строительно-монтажных работ



Рис. 1.3. Факторы, влияющие на эффективность энергосберегающих мероприятий при технической эксплуатации зданий

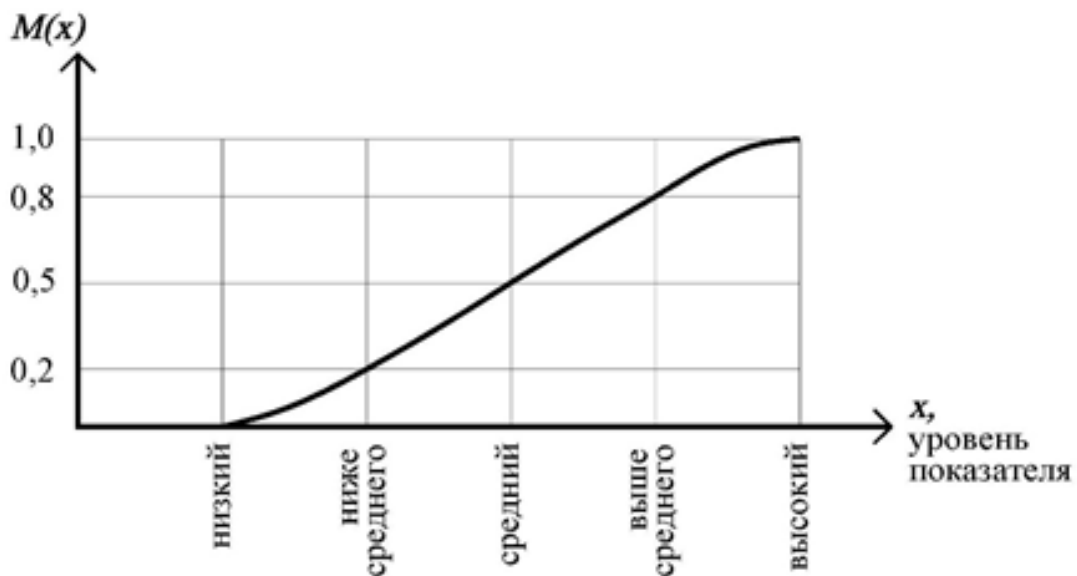


Рис. 2. График функции принадлежности уровня показателя x

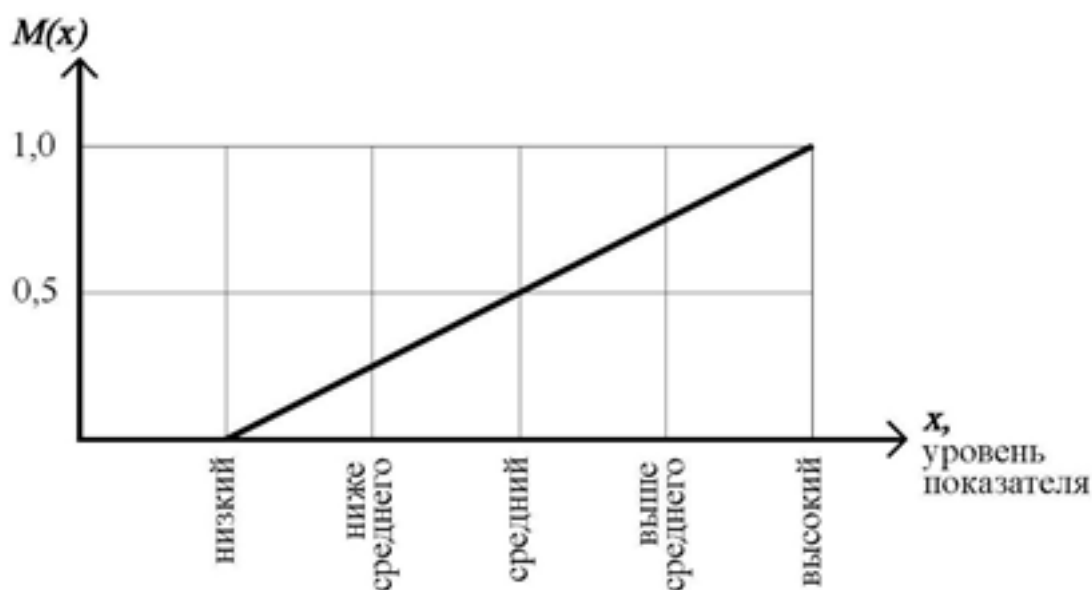


Рис. 3. График функции принадлежности уровня технологичности проектных работ

Результаты и их обсуждение

Вышеприведенные исследования посвящены в основном крупным объектам управления и не учитывают специфику ЭСП. Эта проблема сводится к определению математического вида интегрального критерия вариантов инвестиционного строительного энергосберегающего проекта, выявлению комплекса основных факторов, влияющих на его реализацию и к оценке этих факторов адекватными дифференциальными показателями, входящими в состав интегральной модели. Предлагается повариантную интегральную величину «I» определять с помощью следующих общих критериев $\mathcal{E}_i$, которые в соответствии с концепцией рассмотрения строительных инвестиционных проектов на протяжении всего жизненного цикла здания, включают в себя: оценку эффективности энерго-ресурсосберегающих решений, принятый на стадии проектирования ($\mathcal{E}_{пр}$); то же для этапов проведения строительно-монтажных работ, соответствующих проектным решениям ($\mathcal{E}_{смп}$); оценку действенности работы эксплуатирующих организаций по сохранению достигнутой энергоэффективности здания ($\mathcal{E}_{экс}$). Перечисленные основные критерии безразмерны, определяются частными дифференциальными пока-

зателями, характеризующими выявленные факторы, влияющие на реализацию ЭСП. В качестве математической формы многофакторной модели интегрального вариантного критерия предлагается использовать степенную функцию вида:

$$I = \mathcal{E}_{пр}^{a_1} \times \mathcal{E}_{смп}^{a_2} \times \mathcal{E}_{экс}^{a_3}, \quad (1)$$

где a_1, a_2, a_3 – коэффициенты весомости основных критериев $\mathcal{E}_{пр}, \mathcal{E}_{смп}, \mathcal{E}_{экс}$, при этом $a_1 + a_2 + a_3 = 1, 0$.

Основные критерии $\mathcal{E}_i$ зависят от значительного количества факторов различной природы. Часть из них носит инженерно-конструктивный характер (архитектурные решения; существующие нагрузки на системы теплоснабжения, водоснабжения, водоотведения, электроснабжения; планируемые нагрузки на инженерные сети) и имеет определенные физические размерности. Другая часть не может быть оценена в полной мере в количественной форме из-за отсутствия нормативных и методических материалов и характеризуется с использованием количественно же выраженных экспертных мнений.

На рисунке 1 представлена иерархическая схема факторов, определяющих значения $\mathcal{E}_i$. На схемах (рис.1.1–1.3) представлены наименования частных показателей – уровней Y_i , определяемых экспертными методами.

Таким образом, общие критерии эффективности i -го варианта энерго-ресурсосберегающего проекта $\mathcal{E}_i$ являются функциями основных и частных показателей:

$$a) \mathcal{E}_{\text{пр}} = f(Y_{\text{ф}}, Y_{\text{т}}, Y_{\text{пр}}),$$

$$\text{где } Y_{\text{ф}} = f(Y_{\text{б}}, Y_{\text{д}}, Y_{\text{р}});$$

$$Y_{\text{т}} = f(Y_{\text{изг}}, Y_{\text{монт}}, Y_{\text{экс}}, Y_{\text{ут}});$$

б)

$$\mathcal{E}_{\text{СМР}} = f(Y_{\text{оту}}^{\text{п}}, Y_{\text{ИТР}}^{\text{п}}, Y_{\text{раб}}^{\text{п}}, Y_{\text{мех}}^{\text{п}}, Y_{\text{ут}}^{\text{п}}, H_{\text{вр}}, T_{\text{п}}),$$

$$\text{где } Y_{\text{оту}}^{\text{п}} = f(Y_{\text{сп}}^{\text{п}}, Y_{\text{св}}^{\text{п}}, Y_{\text{тх}}^{\text{п}}, Y_{\text{мс}}^{\text{п}});$$

$$Y_{\text{ИТР}}^{\text{п}} = f(Y_{\text{кк}}^{\text{п}}, Y_{\text{сн}}^{\text{п}});$$

в)

$$\mathcal{E}_{\text{экс}} = f(Y_{\text{оту}}^{\text{з}}, Y_{\text{ИТР}}^{\text{з}}, Y_{\text{раб}}^{\text{з}}, Y_{\text{мех}}^{\text{з}}, H_{\text{вр}}, T_{\text{экс}}),$$

$$\text{где } Y_{\text{оту}}^{\text{з}} = f(Y_{\text{то}}^{\text{з}}, Y_{\text{ппр}}^{\text{з}}, Y_{\text{ав}}^{\text{з}}, Y_{\text{мс}}^{\text{з}}).$$

Натуральными показателями являются данные по фактическим расходам тепловой и электрической энергии, воды (холодной и горячей), определяемые в узлах учета ресурсов в здании.

Расчет показателей $\mathcal{E}_i$ осуществляется с использованием аддитивной функции

$$\mathcal{E}_i = \sum_{j=1}^n \alpha_j \cdot x_j, \text{ где } \sum \alpha_j = 1, 0, Y_j \gg 0.$$

Расчет Y_i , имеющих дополнительный иерархический слой осуществляется аналогично.

Процесс обоснования численных значений Y_i является наиболее сложным в процедуре оценки вариантов инвестиционных строительных энергосберегающих проектов. О показателях Y_i мы можем уверенно сказать лишь то, что они находятся в условном интервале значений от 0 до 1,0 и всегда больше нулевого значения. Более точно можно определиться с помощью правил, лежащих в основе так называемой нечеткой логики [14, 15]. Сущность такого подхода заключается в использовании слов (предложений) в качестве переменных величин. Семантическое правило, описывающее конкретную лингвистическую переменную, заключается в присвоении словесному значению переменной «X» количественный смысл $M(x)$. Этот смысл характеризуется функцией принадлежности $\mu(0,1)$, которая каждому элементу «x» некоторого множества A предписывает значение от 0 до 1,0.

Например, $M_1(x) = 1,0$ означает, что x_1 определенно принадлежит нечеткому множеству $A \in U$; $M_2(x) = 0$ означает, что x_2 определенно не принадлежит «A»; $M_3(x) = 0,8$ означает, что x_3 принадлежит к «A» со степенью 0,8 (скорее принадле-

жит); $M_4(x) = 0,2$ означает, что x_4 принадлежит к «A» со степенью 0,2 (скорее не принадлежит). Несмотря на аналогию с вероятностными моделями существенное различие здесь состоит в том, что неопределенность связана не со случайностью, а с неточностями, размытостями.

Если переменным x_1, x_2, x_3, x_4 придать лингвистический смысл, например, «уровень деловой репутации», то эти словосочетания «низкий», «ниже среднего», «средний», «выше среднего» и «высокий» уровень деловой репутации образуют график функции принадлежности показанный на рисунке 2.

Аналогичные графики могут быть построены экспертами для любого из показателей, определяющих эффективность варианта энергосберегающего инвестиционного строительного проекта.

Часть показателей отвечает линейному характеру функции принадлежности. Например, на рис.3 показан график, характеризующий показатель уровня технологичности проектных решений ($Y_{\text{пр}}$).

Эксперт определяет диапазон значений $M(x)$, причем значение ниже 0,5, как правило, не рассматривается, например, $M(x) = 0,5 \div 0,75$.

Конкретное значение показателя из выбранного субъективно интервала определяется случайным образом по методу Монте-Карло. Назначается вид распределения величины, располагаемой между конечными числами, это может быть равномерное или усеченное нормальное распределение, например, в пределах плюс-минус двух среднеквадратичных отклонений. С помощью многократного выбора случайных чисел получаем статистические данные, по которым определяется искомое среднее значение исследуемого показателя в виде его математического ожидания.

Рассмотрим альтернативные варианты полной системы отопления в процессе реконструкции здания.

Таблица 1

 Комплексная оценка вариантов энергосберегающих мероприятий
при реконструкции зданий

№ п/п	Наименование показателя	1-й вариант		2-й вариант	
		Основные Y_i	Общие Ξ_i	Основные Y_i	Общие Ξ_i
1	2	3	4	5	6
	Эффективность принятых инженерно-конструктивных решений, $\Xi_{пр}$				
1	Функциональность инженерных систем и строительных конструкций, Y_{ϕ}	0,76	0,66	0,61	0,4
2	Технологичность проектных решений систем и строительных конструкций, $Y_{т}$	0,48		0,14	
3	Квалификационный уровень работников проектных организация, $Y_{пр}$	0,8		0,65	
	Эффективность проведения демонтажных и строительно-монтажных работ, $\Xi_{СМР}$				
1	Организационно-технологический уровень производства работ, $Y_{ОТУ}^n$	0,7	0,77	0,5	0,57
2	Квалификационный уровень инженерно-технических работников, $Y_{ИТР}^n$	0,5		0,5	
3	Квалификационный уровень рабочих, $Y_{раб}^n$	0,5		0,5	
4	Уровень обеспеченности работников инструментами и механизмами, $Y_{мех}^n$	0,5		0,5	
5	Экологичность процесса утилизации демонтируемых конструкций, $Y_{УТ}^n$	0,85		0,25	
	Эффективность работы эксплуатационных организаций (после реконструкции), $\Xi_{ЭКС}$				
1	Организационно-технологический уровень производства работ, $Y_{ОТУ}^э$	0,65	0,61	0,65	0,61
2	Квалификационный уровень инженерно-технических работников, $Y_{ИТР}^э$	0,6-0,9		0,6-0,9	
3	Квалификационный уровень рабочих, $Y_{раб}^э$	0,6-0,9		0,6-0,9	
4	Уровень обеспеченности работников инструментами и механизмами, $Y_{мех}^э$	0,6-0,9		0,6-0,9	

В связи с широким использованием пластмассовых труб их стали применять в процессе проектирования и систем отопления, учитывая ограничения по температуре теплоносителя и значительные тепловые деформации по длине. Задачей заказчика является выбор типа сети и оформление соответствующего технического задания на ее проектирование. Проведем комплексную оценку двух вариантов реконструкции с применением или стальных, или полиэтиленовых труб. В первую очередь определим общий показатель эффективности принятых проектных решений (рис.1.1):

$$\mathcal{E}_{np} = a_1 Y_{\phi} + a_2 Y_m + a_3 Y_{np}, \quad (2)$$

где коэффициенты весовости $a_1 = a_2 = a_3 = 0,333$.

Уровень функциональности в свою очередь равен:

$$Y_{\phi} = a_1 Y_{\phi} + a_2 Y_{\phi} + a_3 Y_{\phi}. \quad (3)$$

Уровень безотказности « Y_{ϕ} » системы отопления, выполненной из стальных труб очевидно выше по критерию механической прочности, чем сети из пластмассовых труб. Соответствующие интервальные оценки $Y_{16} = 0,75-0,9$ и $Y_{26} = 0,5-0,75$. Предположим, что промежуточные значения имеют равномерное, т.е. равновероятное распределение, тогда путем выбора случайных значений получаем $Y_{16} = 0,8$ и $Y_{26} = 0,6$. Уровень долговечности Y_{ϕ} определится как $Y_{1\phi} = Y_{2\phi} = 0,65-0,85$. Принимаем к рассмотрению $Y_{\phi} = 0,75$. Показатели ремонтпригодности $Y_{p1} = 0,75$ и $Y_{p2} = 0,5$. Ввиду важности всех трех составляющих коэффициенты равны: $a_1 = a_2 = a_3 = 0,333$. Тогда по выражению (3) основной критерий уровень функциональности равен $Y_{1\phi} = 0,333(0,8+0,75+0,75) = 0,76$, а $Y_{2\phi} = 0,333(0,6+0,75+0,5) = 0,61$. Аналогичным способом вычисляются остальные основные и общие критерии, представленные в таблице 1.

Анализ величины $\mathcal{E}_i$ показывает, что наибольшее влияние на интегральный вариантный критерий

оказывают $\mathcal{E}_{np}$ и $\mathcal{E}_{смр}$. Соответственно формулу (1) можно представить в виде:

$$I = \mathcal{E}_{np}^{a_1} \times \mathcal{E}_{смр}^{a_2}, \quad (4)$$

Это вполне допустимо и по практическим соображениям. Вновь вводимые в эксплуатацию здания, зачастую переходят под управление организацией аффилированных со строителями, производящими реконструкцию конкретного объекта.

Значение коэффициентов значимости принимаются в пределах от a_1/a_2 от $0,7 \div 0,5$ до $0,5 \div 0,3$. Считается, что более «влияющим» на эффективность инвестиционно-энергосберегающего проекта является компетентность инженеров-проектировщиков, поэтому в расчёте приняты $a_1 = 0,6$; $a_2 = 0,4$. Тогда по формуле (4) имеем:

$$I_1 = \mathcal{E}_{np}^{0,6} \times \mathcal{E}_{смр}^{0,4} =$$

$$0,66^{0,6} \times 0,77^{0,4} = 0,70$$

$$\text{и } I_2 = 0,4^{0,6} \cdot 0,57^{0,4} = 0,46$$

Следовательно, использование традиционных схем инженерных сетей в зданиях, подлежащих реконструкции предпочтительней.

Выводы

1. Для обоснования выбора варианта энергосберегающего инвестиционного проекта в рамках реконструкции здания предлагается использовать интегральный метод оценки вариантов инженерных решений.

2. В качестве многофакторной модели интегрального повариантного критерия предложено использовать степенную функцию.

3. Предложена комплексная оценка факторов, влияющих на эффективность энергосберегающей реконструкции зданий.

4. Обоснована структура и состав количественной оценки эффективности ЭСП, приведен пример расчета вариантных интегральных критериев эффективности ЭСП.

Библиографический список

1. Андреев А.А., Кадокова С.Ю., Стахов А.Е. Методы управления инвестиционными энергосберегающими проектами // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 4 (81). С. 252-256.
2. Дмитриев А.Н. Управление энергосберегающими инновациями в строительстве зданий: Учеб. пособие. М.: АСВ, 2000. 320 с.
3. 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. 120 с.
4. Табунщиков Ю.А., Ковалев И.А. Особенности оптимизации толщины утеплителя наружных стен здания. Системные аспекты // Энергосбережение. 2017. № 8. С. 120-127.
5. Энтони Р., Рис Дж. Учет: ситуации и примеры: Пер. с англ. / Под ред. А.М. Петрачкова. М.: Финансы и статистика, 1993. 560 с.
6. Марков Г.Н., Бенин А.А. Справочник по управленческому учету. СПб.: Альфа, 2001. 448 с.
7. Безруких Ю.А., Витряк С.О. Разработка системы показателей эффективности бизнес-процессов предприятия // Управленческий учет. 2023. № 2. С. 29-37.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р. Г. Вагнадзе. М.: «Радио и связь», 1993. 278 с.
9. Яковлев В.А. Концепция, методы и модели повышения эффективности управления мегаполисом (агломерацией в современных условиях). М., 1999. 153 с.
10. Дроздов Г.Д. Управление эффективностью городского жилищного строительства в конкурентной среде. СПб.: ОАО «Издательство Стройиздат СПб», 2002. 205 с.
11. Акуленкова И.В. Эффективность реконструкции жилых зданий (на примере Санкт-Петербурга): автореф. дис. ... экон. наук. СПб., 2004. 25 с.
12. Варламов Н.В. Система управления: проблемы и пути решения // Теория и практика управления в строительстве: Темат. сб. науч. тр. Вып.1 / Под ред. д-ра экон. наук А. А. Петрова. СПб.: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 2006. С. 21-42.
13. Андреев А.А. Интегральный метод технико-экономической эффективности инженерных систем зданий и сооружений // Теория и практика управления в строительстве: Темат. сб. науч. тр. Вып.8 / Под ред. д-ра экон. наук, профессора Н. Г. Плетневой. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 31-38.
14. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 167 с.
15. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 208 с.