

Метод технико-экономического обоснования инвестиционного энергосберегающего проекта

Е.В. Куц, С.Ю. Кадокова, А.А. Андреевко

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: Сокращение энергопотребления в процессе проектирования, монтажа и эксплуатации инженерных сетей реализуется в процессе осуществления инвестиционных строительных проектов. Энергосервисный контракт, как и любое экономическое соглашение, требует технико-экономического обоснования. При усилении тепловой защиты здания необходимо определить как конструктивное исполнение ограждений и светопрозрачных конструкций, так и сроки окупаемости вложенных инвестиций. Задачами исследования являются разработка и анализ математической модели тепловых потерь в зависимости от характеристик сопротивления теплопередаче стен, окон и балконных дверей. Классические зависимости не позволяют применить стандартные процедуры математического анализа. Предлагается использовать степенную функцию, которая предполагает доступность дифференцирования. В работе обоснован вид такой функции и приведен расширенный анализ влияния изменения сопротивлений теплопередаче строительных конструкций на трансмиссионные тепловые потери здания, что позволяет аргументировать принятие оптимальных технико-экономических решений.

Ключевые слова: энергосберегающий строительный проект, тепловая защита зданий, кривые безразличия, математическая модель тепловых потерь.

Осуществление энергосберегающих мероприятий в процессе проектирования, монтажа и эксплуатации инженерных сетей реализуется в следующих направлениях: во-первых, это инвестиционные вложения в дополнительную теплоизоляцию поверхностей, в энергоэффективные светопрозрачные конструкции, в трубопроводы из некоррозионных материалов, в светодиодное освещение. Второе направление повышения энергоэффективности технических систем – это регулирование их работы по фактическим потребностям воды, тепла, воздуха. Такое регулирование осуществляется системами автоматического управления соответствующими технологическими процессами. Например, изменение частоты вращения рабочего колеса насоса позволяет изменять его характеристику «расход-напор»; изменение расхода теплоносителя и его температуры позволяет изменять теплопотребление здания в соответствии с температурой

наружного воздуха. Устройство таких автоматизированных комплексов также требует дополнительных капитальных вложений. Третий путь сокращения энергозатрат лежит в области использования потенциала вторичных ресурсов (утилизация тепла уходящего воздуха, тепла «условно чистых» канализационных стоков; аккумуляция тепла, воды, холода).

Основным механизмом осуществления процесса энергосбережения является инвестиционный строительный проект, реализуемый с помощью энергосервисного контракта [1-3]. Суть последнего заключается в том, что инвестор-юридическое лицо обязуется выполнить определенный объем работ по утеплению здания, реконструкции теплового пункта, устройству баков-аккумуляторов и т.п. за свой счет или заемные средства. Заказчик в последующем возвращает эти средства в разумные сроки и по оговоренным условиям. Эти суммы взимаются уже с жильцов в обмен на сокращение у этих же потребителей платы за тепловые или водные ресурсы. По прошествии срока окупаемости мероприятий по энергосбережению энергосервисные платежи исключаются из расчетных документов.

Вопросам технико-экономического обоснования осуществления энергосберегающих проектов посвящены ряд работ [4-6], в которых отмечается отсутствие методов математической аргументации принятия инвестором управленческих решений.

Рассмотрим порядок осуществления инвестиционного энергосберегающего проекта. Он следующий:

- разработка технического задания на проектирование, включающая выбор наиболее оптимального варианта энергосберегающего мероприятия, реализуемого на конкретном объекте капитального строительства или ремонта;

- создание рабочих чертежей для выполнения работ, обеспечивающих экономию энергоресурсов;

- расчет технико-экономического эффекта от осуществления этого проекта;
- оценка возможных рисков при реализации энергосервисного контракта и их страхование;
- определение порядка движения денежных средств между участниками энергосберегающего проекта;
- заключение договоров подряда на строительные-монтажные работы.

Наиболее распространены такие строительные проекты, как утепление стен и перекрытий зданий, замена двойных деревянных окон на пластмассовые рамы со стеклопакетами. В техническом задании на проектирование должны оговариваться как толщина слоя утеплителя, так и количество воздушных камер в стеклопакетах. Как правило, инженеры фирмы-заказчика работ предлагают два варианта решения энергосберегающей технической задачи. Первый вариант – достижение нормативного сопротивления теплопередаче стен, покрытий и светопрозрачных конструкций; второй – превышение их теплотехнических характеристик сверх норматива. В этом случае возникает естественный вопрос: «В каком направлении улучшить конструкции? Увеличивать ли толщину изоляции или же усиливать тепловое сопротивление окон и балконных дверей?». При этом появляется и главная проблема экономики проекта, срок окупаемости энергосберегающих мероприятий. В данной работе целью исследования является разработка метода обоснованного выбора оптимального решения тепловой защиты зданий, которое достигается решением технико-экономической задачи – моделирования процессов теплопотерь через стены и светопрозрачные конструкции.

Методологической основой исследования является математическое моделирование, включающее в себя построение и анализ детерминированных аналитических выражений, характеризующих

теплозащитные свойства ограждающих конструкций. Последних определяют трансмиссионные тепловые потери зданий через стены и окна, которые определяются по формуле:

$$Q = (t_{в} - t_{н}) \left(\frac{F_{ст}}{R_{ст}} + \frac{F_{свт}}{R_{свт}} \right), \quad (1)$$

где $t_{в}$, $t_{н}$ – температуры внутреннего и наружного воздуха, °С; $F_{ст}$, $F_{свт}$ – площади стен и светопрозрачных конструкций, м²; $R_{ст}$, $R_{свт}$ – значения сопротивлений теплопередаче ограждающих конструкций (стен и окон), м²°С/Вт.

Значение сопротивления теплопередаче ограждений зданий – величина нормированная и не может быть меньше величины, определяемой санитарно-гигиеническими требованиями. Но может быть и выше. В России она менялась для стен от единицы до величин в 3÷4 м²°С/Вт для г. Москвы. Аналогичные данные по странам Евросоюза приводит Ливчак В. И. [7, 8]. Так, в Дании она достигает величины (для стен) – 6,67 м²°С/Вт; для Швеции – 5,56 м²°С/Вт; для Финляндии – 5,58 м²°С/Вт. Профессор Табунщиков Ю.А. в одной из своих статей [9] обоснованно пишет о том, что повышение уровня теплозащиты зданий в России происходит исключительно из-за стремления достигнуть зарубежных показателей, но никак не по результатам технико-экономических расчетов.

Вопросам экономической оптимизации принятых конструктивных решений посвящено большое количество публикаций, как в фундаментальных трудах Богословского В. Н. [10], Дмитриева А. Н. [11], Табунщикова Ю. А. [12], Савина В. К. [13], так и в профильных зарубежных изданиях [14, 15, 16]. В них, в частности, рассматривались вопросы экономической оптимизации принятых конструктивных решений с точек зрения минимизации срока окупаемости капитальных вложений в тепловую изоляцию и светопрозрачные конструкции, в зависимости от стоимости

экономленной тепловой энергии. Отечественные авторы представлены по аналогичным проблемам в профильных журналах [17- 19].

Иной подход предложен в работах [20-22]. В этих статьях представлен анализ теплотерь через стены и окна объекта-представителя (5-этажного жилого дома в г. Санкт-Петербург). Исходные данные для расчета: площадь стен - $F_{ст}=1470 \text{ м}^2$; площадь окон и балконных дверей - 420 м^2 ; нормативное сопротивление теплопередаче стен $R_{ст}=3,1 \text{ м}^2\text{С/Вт}$; окон $R_{свт}=0,55 \text{ м}^2\text{С/Вт}$.

По формуле (1) вычислены данные, которые показаны в таблице № 1, на основании которых построены графики зависимости теплотерь здания через стены, окна и балконные двери от значений их сопротивлений теплопередаче (рис.1), которые варьируются в пределах $1,1 > R_{свт} > 0,4 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ и $4,5 > R_{ст} > 1,1 \text{ м}^2\text{С/Вт}$. Нормативные теплотери при $R_{ст}=3,1 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ и $R_{свт}=0,55 \text{ м}^2\text{С/Вт}$ составляют 54470 Вт .

Таблица № 1

Значения $R_{свт}$ при заданных значениях теплотерь Q и $R_{ст}$

$R_{ст}, \text{м}^2\text{С/Вт}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$Q, \text{Вт}$								
110000	0,40	0,28						
100000	0,52	0,32						
90000	0,72	0,39	0,32					
80000		0,50	0,39	0,34	0,32			
70000		0,69	0,49	0,42	0,38	0,36	0,34	
60000		1,1	0,69	0,54	0,48	0,45	0,42	0,40
55000			0,82	0,63	0,55	0,51	0,48	0,45
50000			1,05	0,77	0,65	0,59	0,55	0,51
40000					1,0	0,86	0,78	0,72

Семейство кривых «безразличия» $Q=f(R_{ст}, R_{свт})$ является графическим воплощением аналитической модели теплопотребления зданий (1). Оно иллюстрирует взаимозаменяемость двух значений теплового сопротивления ограждающих конструкций $R_{ст}$ и $R_{свт}$, которые имеют не только физический

смысл, но и экономическое наполнение, вследствие различной стоимости устройства слоев теплоизоляции стен, а также оконных блоков различной конструкции.

С помощью графиков рис.1 возможно моделирование различных вариантов утепления зданий. Пусть реконструкции подлежит здание с исходными значениями $R_{ст}^0=1,0 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и $R_{свт}^0=0,4 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ с соответствующими теплотерями $Q=110000 \text{ Вт}$. Необходимо их вдвое уменьшить.

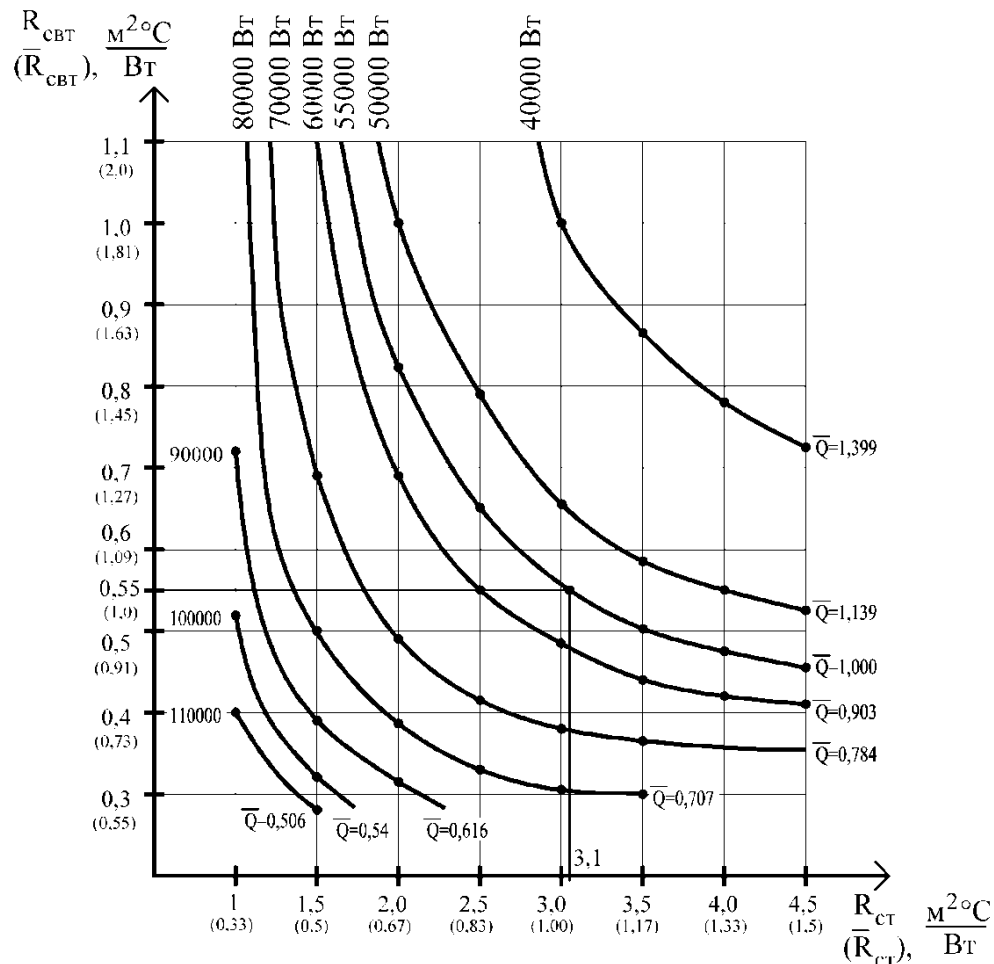


Рис. 1. – Зависимость величин тепловых потерь здания от $R_{ст}$ ($\bar{R}_{ст}$) и $R_{свт}$ ($\bar{R}_{свт}$)

В качестве вариантов можно предложить применение энергоэффективных стеклопакетов с $R_{свт}=0,82 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и утепление стены до

$R_{ст}=2,0 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; аналогично $R_{свт}=0,44 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и $R_{ст}=3,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Наконец нормативный вариант с $R_{свт}=0,55 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и $R_{ст}=3,1 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Однако, такой подход не использует математический анализ выражения (1). Это связано как с неудобным нахождением аргументов в знаменателе функции $Q=f(R_{ст}, R_{свт})$ так и с их разнопорядковой величиной. В работе [23] предложено перейти к относительным величинам аргументов.

Это нормирование выполняется таким порядком: по каждой оси подбирается число, близкое к центру и являющееся нормативным. Относительно этого значения задается диапазон изменения новых величин $\bar{R}_{свт}=R_{свт}/0,55$ и $\bar{R}_{ст}=R_{ст}/3,1$. Аналогично, получаем относительные характеристики теплопотерь \bar{Q} ; соответствующие данные нанесены на графики рис. 1. Для обратного перехода в физические величины используется аналитическое выражение $Q=54770/\bar{Q}$. Таким образом, в качестве исходного материала для исследования выступает уже функция вида $\bar{Q}=f(\bar{R}_{ст}, \bar{R}_{свт})$. Задачами исследования являются определение аналитического выражения этой функции и анализ полученной математической модели.

Наиболее приемлемым для изучения является выражение вида:

$$\bar{Q} = \bar{R}_{ст}^{a_1} \cdot \bar{R}_{свт}^{a_2}, \quad (2)$$

где $a_1; a_2$ – параметры функции ($a_1+a_2=1,0$).

Выдвинем гипотезу о пропорциональности коэффициентов a_1 и a_2 соответствующим расходам тепла через стены и окна.

Вычислим удельные тепловые потоки через ограждающие конструкции приходящиеся на один градус Δt : $F_{свт}/R_{свт}=763,6 \text{ Вт/°C}$; $F_{ст}/R_{ст}=474,2 \text{ Вт/°C}$. Соответственно, получим a_1 и a_2 имеют такое же соотношение как вышеприведенные числа, примем $a_1=0,39$, $a_2=0,61$. Тогда выражение (2) переписется, как:

$$\bar{Q} = \bar{R}_{\text{ст}}^{0,39} \cdot \bar{R}_{\text{свт}}^{0,61} . \quad (3)$$

Корректность определения формулы (3) проверяется с помощью регрессионного анализа на основании данных таблицы № 2.

Полученные величины $a_1=0,384$; $a_2=0,616$ при 95% доверительном интервале статистически значимы по критерию t-Стьюдента и практически совпадают с первоначальными. Коэффициент детерминации $R^2=0,993$. В соответствии с полученным критерием F-статистики уравнение регрессии адекватно исходным данным.

Таблица № 2

Значения $\bar{Q}=f(\bar{R}_{\text{ст}}, \bar{R}_{\text{свт}})$

$\bar{R}_{\text{свт}} \backslash \bar{R}_{\text{ст}}$	2,0	1,81	1,63	1,45	1,27	1,09	1,0	0,91	0,73	0,55
0,33	$\bar{Q}=0,99$	0,931	0,874	0,814	0,751	0,684	0,649	0,613	0,535	0,450
0,5	1,160	1,096	1,152	0,957	0,883	0,804	0,763	0,720	0,629	0,530
0,67	1,305	1,228	1,252	1,072	1,036	0,901	0,855	0,807	0,705	0,593
0,83	1,419	1,336	1,347	1,166	1,157	0,980	0,93	0,878	0,767	0,645
1,00	1,526	1,436	1,432	1,254	1,230	1,054	1,000	0,944	0,825	0,694
1,17	1,622	1,526	1,432	1,333	1,294	1,120	1,063	1,003	0,877	0,738
1,33	1,706	1,605	1,506	1,402	1,294	1,178	1,118	1,055	0,922	0,776
1,5	1,787	1,682	1,577	1,468	1,355	1,234	1,171	1,105	0,966	0,812

На рис. 2 показана поверхность $\bar{Q}=f(\bar{R}_{\text{ст}}, \bar{R}_{\text{свт}})$.

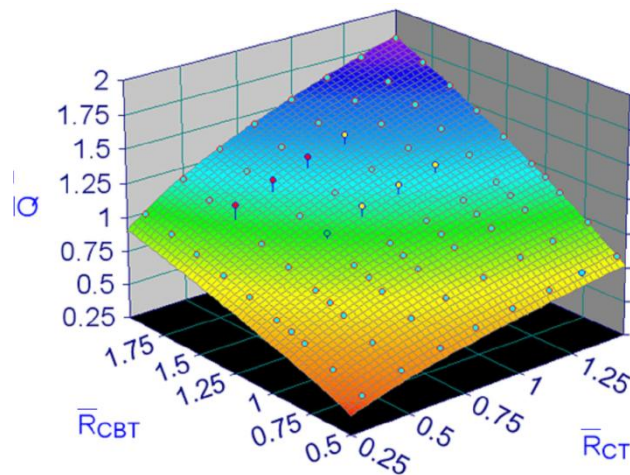


Рис. 2. – Зависимость $\bar{Q}=f(\bar{R}_{ст}, \bar{R}_{свт})$.

Примем к дальнейшему рассмотрению выражение (3). Определим среднее количество теплотерь, приходящееся на условную единицу теплосопротивлений $\bar{R}_{ст}$ и $\bar{R}_{свт}$ для чего разделим \bar{Q} на $\bar{R}_{ст}$ и \bar{Q} на $\bar{R}_{свт}$, тогда:

$$\bar{Q}/\bar{R}_{ст} = \bar{R}_{ст}^{-0,61} \cdot \bar{R}_{свт}^{0,61}. \quad (4)$$

$$\bar{Q}/\bar{R}_{свт} = \bar{R}_{ст}^{0,39} \cdot \bar{R}_{свт}^{-0,39}. \quad (5)$$

В правой части уравнений (4) и (5) появились отрицательные показатели степени. Т. е., при увеличении сопротивления теплопередаче средние тепловые потери \bar{Q} увеличиваются, что иллюстрирует положение о предельной полезности дополнительного усиления теплоизоляции ограждающих конструкций.

Выясним, на сколько единиц будет увеличиваться величина \bar{Q} (уменьшаться Q) при изменении единиц же аргументов $\bar{R}_{ст}$ и $\bar{R}_{свт}$. Такие предельные теплотери определяются выражениями:

$$\partial\bar{Q}/\partial\bar{R}_{ст} = 0,39\bar{R}_{ст}^{-0,61} \cdot \bar{R}_{свт}^{0,61} = 0,39(\bar{R}_{свт}/\bar{R}_{ст})^{0,61}, \quad (6)$$

$$\partial\bar{Q}/\partial\bar{R}_{свт} = 0,61\bar{R}_{ст}^{0,39} \cdot \bar{R}_{свт}^{-0,39} = 0,61(\bar{R}_{ст}/\bar{R}_{свт})^{0,39}. \quad (7)$$

Анализ (6) и (7) показывает, что с увеличением слоя изоляции стен (при неизменном $\bar{R}_{свт}$) предельные теплотери снижаются, т.е. изоляция становится все менее энергоэффективной, менее «полезной». Под

энергоэффективностью понимается отношение полезного результата при устройстве дополнительного утепления (сокращения расхода тепла) от затраченных денежных средств на выполнение такой работы. Тот же вывод можно сделать и для увеличения теплоизолирующих способностей светопрозрачных конструкций (при неизменном $R_{ст}$).

Сопоставив выражения (4) с (6) и (5) с (7), получаем подтверждения очевидного вывода о том, что предельные соотношения меньше средних, т. е.

$$\partial \bar{Q} / \partial \bar{R}_{ст} = 0,39 \bar{Q} / \bar{R}_{ст}, \quad (8)$$

и

$$\partial \bar{Q} / \partial \bar{R}_{свт} = 0,61 \bar{Q} / \bar{R}_{свт}. \quad (9)$$

Для определения показателя эластичности, т.е. величины, на которую увеличится \bar{Q} (соответственно уменьшится Q) при увеличении сопротивления теплопередаче ограждения на единичный интервал, из выражений (8) и (9) получаем:

$$\partial \bar{Q} / \partial \bar{R}_{ст} \cdot \bar{R}_{ст} / \bar{Q} = 0,39, \quad (10)$$

и

$$\partial \bar{Q} / \partial \bar{R}_{свт} \cdot \bar{R}_{свт} / \bar{Q} = 0,61. \quad (11)$$

Выражение (3) позволяет рассчитать потребность в одном из уровней теплозащиты при заданной величине теплопотерь и другой величине R .

Имеем:

$$\bar{R}_{ст} = \left(\bar{Q} / \bar{R}_{свт}^{0,61} \right)^{\frac{1}{0,39}}, \quad (12)$$

и

$$\bar{R}_{свт} = \left(\bar{Q} / \bar{R}_{ст}^{0,39} \right)^{\frac{1}{0,61}}. \quad (13)$$

Для оценки взаимозамещения способов усиления теплозащитных свойств ограждающих конструкций используется выражение предельной нормы замещения характеристик $\bar{R}_{ст}$ и $\bar{R}_{свт}$:

$$\partial \bar{R}_{свт} / \partial \bar{R}_{ст} = 0,39 \bar{R}_{свт} / 0,61 \bar{R}_{ст} = 0,639. \quad (14)$$

Правая часть выражения (14) показывает значение возможного предельного замещения одного «ресурса» другим (коэффициент эластичности $0,39/0,61=0,64$).

Предельная норма замещения для функции (3) зависит не только от параметров функции a_1 и a_2 , но и от соотношения нормированных показателей сопротивления теплопередаче конструкций. При их увеличении пропорционально изменяется и предельная норма замещения. Таковы основные характеристики, полученные в результате анализа функций (2) и (3).

Таким образом, для обоснования технико-экономической эффективности инвестиционных строительных энергосберегающих проектов, в частности касающихся увеличения теплосопротивления ограждающих конструкций зданий, предложена аналитическая модель зависимости тепловых потерь от коэффициентов сопротивления теплопередаче стен и окон жилого дома.

При моделировании использована степенная функция вида $y = x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2}$. С помощью регрессионного анализа определены параметры a_1 и a_2 и построено семейство кривых безразличия $Q=f(R_{ст}, R_{свт})$.

Анализ полученной аналитической модели позволил:

- определить средние нормированные зависимости теплотерь здания \bar{Q} от конструктивных показателей ограждающих конструкций $\bar{R}_{ст}$ и $\bar{R}_{свт}$;
- определить предельные значения $\bar{Q}=f(\bar{R}_{ст}, \bar{R}_{свт})$;
- определить соотношение средних и предельных значений \bar{Q} ;

– определить показатель эластичности исследуемой функции в зависимости от изменения значений аргументов ($\bar{R}_{ст}$, $\bar{R}_{свт}$).

Предложенный метод позволяет выбрать наиболее рациональный подход к реальному осуществлению мероприятий по сокращению энергозатрат на отопление зданий различного назначения.

Литература

1. Антонычев С. В. Энергосервис: проблемы и позитивные примеры // Энергосбережение. 2012. №7. С. 30-35.
2. Мещерякова Т. С. Реализация энергосберегающих мероприятий на основе энергосервисного контракта // Энергосбережение. 2016. №4. С. 30-33.
3. Мещерякова Т. С. Энергосервисный контракт в условиях энергоэффективной российской экономики. Обзор современного состояния // Энергосбережение. 2019. №7. С. 68-70.
4. Ковалев И. Н. Инвестиционная оптимизация технических систем с непрерывно изменяемыми параметрами при проектировании. Энергосбережение. 2013. №6. С. 61-67.
5. Ковалев И. Н. Об окупаемости и рентабельности долгосрочных инвестиций. Энергосбережение. 2014. №6. С. 14-16.
6. Ливчак В. И. Энергоэффективность энергосберегающих мероприятий при выполнении капитального ремонта многоквартирных домов. Инженерные системы. 2017. №2, С. 54-60.
7. Ливчак В. И. Сопоставление норм тепловой защиты и энергетической эффективности зданий в Республике Беларусь, России и странах Северной Европы. Инженерные системы. 2017. №1. С. 38-48.
8. Ливчак В. И. Европейские тенденции повышения теплозащиты зданий: как она реализуется в России? АВОК. 2019. №6. С. 64-67.
9. Табунщиков Ю. А. В поисках истины. АВОК. 2014. №6. С. 4-8.

10. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). Учебник для вузов, 3-е изд. СПб., АВОК-С-Запад, 2000. 400 с.
11. 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.
12. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.
13. Савин В. К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение. М.: «Лазурь», 2005. 432 с.
14. Cabeza, Luisa F., Rincon, Lidia, Vilarino, Virginia, Perez, Gabriel, Castell, Albert. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. №29. pp. 397-416.
15. Islama, Hamidul, Jollandsa, Margaret, Setungea, Sujeeva, Ahmedb, Iftekhar, Haquec, Nawshad. Life cycle assessment and life cycle cost implications of wall assemblages designs // Energy and Buildings. 2014. Volume 87, December. pp. 33-45.
16. Vasilyev, G. P., Lichman, V. A., Peskov, N. V., Brodach, M. M., Tabunshchikov, Yu.A., Kolesova, M.V. Simulation of heat and moisture transfer in a multiplex structure // Energy and Buildings. 2015. Vol.68. pp. 803-807.
17. Васильев Г. П., Личман В. А. Эффективный уровень теплозащиты зданий с учетом стоимости жизненного цикла. АВОК. 2015. №6. С. 54-61.
18. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций здания. АВОК. 2009. №1. С. 10-17. №2. С. 14-23. №3. С. 62-68.

19. Горшков А. С., Рымкевич П. П., Немова Д. В., Ватин Н. И. Экономическая эффективность инвестиций в энергосбережение. Инженерные системы. 2014. №3. С. 32-37.

20. Стахов А. Е., Кадокова С. Ю., Андрееenko А. А. Методы управления энергосберегающими проектами. Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ. 2020. №4 (81). С. 252-256.

21. Стахов А. Е., Кадокова С. Ю., Андрееenko А. А. Оценка конструктивных решений по тепловой защите зданий экономическими методами // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ. 2018. №3. С. 219-222.

22. Стахов А. Е., Андрееenko А. А. Экономическая оценка конструктивных решений тепловой защиты зданий // АВОК. 2018. №4. С. 42-45.

23. Стахов А. Е., Кадокова С. Ю., Андрееenko А. А., Фролькис В. А. Экономико-математический анализ тепловой защиты здания // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ. 2019. №4 (75). С. 107-112.

References

1. Antonychev S. V. Energoberezhnie. 2012. №7. pp. 30-35.
2. Meshcheryakova T. S. Energoberezhnie. 2016. № 4. pp. 30-33.
3. Meshcheryakova T. S. Energoberezhnie. 2019. №7. pp. 68-70.
4. Kovalev I. N. Energoberezhnie. 2013. №6. pp. 61-67.
5. Kovalev I. N. Energoberezhnie. 2014. №6. pp. 14-16.
6. Livchak V. I. Energoberezhnie. 2017. №2, pp. 54-60.
7. Livchak V. I. Inzhenernye sistemy. 2017. №1. pp. 38-48.
8. Livchak V. I. AVOK. 2019. №6. pp. 64-67.
9. Tabunshchikov Yu. A. AVOK. 2014. №6. pp. 4-8.
10. Bogoslovskiy V. N. Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha) [Construction thermophysics (thermophysical basics of heating, ventilation and air



conditioning)]. Textbook for universities, 3rd ed. SPb., AVOK-S-Zapad, 2000. 400 p.

11. Dmitriev A. N., Tabunshchikov Yu. A., Kovalev I. N., Shilkin N. V. Rukovodstvo po otsenke ekonomicheskoy effektivnosti investitsiy v energosberegayushchie meropriyatiya. [Guidelines for assessing the economic efficiency of investments in energy saving measures]. M.: AVOK-PRESS, 2005. 120 p.

12. Tabunshchikov Yu. A., Brodach M. M., Shilkin N. V. Energoeffektivnye zdaniya [Energy efficient buildings]. M.: AVOK-PRESS, 2003. 200 p.

13. Savin V. K. Stroitel'naya fizika: energoperenos, energoeffektivnost', energosberezhenie [Building physics: energy transfer, energy efficiency, energy saving]. M.: "lazur' ", 2005. 432 p.

14. Cabeza, Luisa F., Rincon, Lidia, Vilarino, Virginia, Perez, Gabriel, Castell, Albert. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. №29. pp. 397-416.

15. Islama, Hamidul, Jollandsa, Margaret, Setungea, Sujeeva, Ahmedb, Iftekhar, Haquec, Nawshad. Energy and Buildings. 2014. T. 87, December. pp. 33-45.

16. Vasilyev, G. P., Lichman, V. A., Peskov, N. V., Brodach, M. M., Tabunshchikov Yu. A., Kolesova M. V. Energy and Buildings. 2015. T.68. pp. 803-807.

17. Vasiliev G. P., Lichman V. A. AVOK. 2015. №6. pp. 54-61.

18. Gagarin V. G. AVOK. 2009. №1. P. 10-17. №2. pp. 14-23. №3. pp. 62-68.

19. Gorshkov A. S., Rymkevich P. P., Nemova D. V., Vatin N. I. Inzhenernye sistemy. 2014. №3. pp. 32-37.

20. Stakhov A. E., Kadokova S. Yu., Andreenko A. A. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. SPbGASU. 2020. №4 (81). pp. 252-256.

21. Stakhov A. E., Kadokova S. Yu., Andreenko A. A. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. SPbGASU. 2018. №3. pp. 219-222.



22. Stakhov A. E., Andreenko A. A. AVOK. 2018. №4. pp. 42-45.
23. Stakhov A. E., Kadokova S. Yu., Andreenko A. A., Frolkis V. A. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. SPbGASU. 2019. №4 (75). pp. 107-112.