

## ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 691:502.21  
ББК 38.3:20.1

**П.М. Жук**

*Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия*

**Т. Лютцендорф**

*Технологический институт Карлсруэ, Карлсруэ, Германия*

### Аннотация

Оценка входных затрат и эффективности использования различных теплоизоляционных материалов становится все более и более важной. При такой оценке важно рассматривать не только экономические аспекты, но и возможные воздействия на окружающую среду. Для этих целей существуют различные методы, включая внутреннюю норму прибыли; период окупаемости, рассчитываемый на основе суммы сохраненной энергии и получающегося сокращения затрат на отопление (экономическая оценка); а также экологический период окупаемости, при котором сравнивают суммарные выбросы в CO<sub>2</sub>-эквиваленте при производстве теплоизоляционного материала и выбросы парниковых газов, которых удалось избежать при эксплуатации строительного объекта (экологическая оценка). В работе представлены определение и интерпретация коэффициента для оценки экологической эффективности теплоизоляционных материалов. В будущем результаты оценки экологической эффективности должны быть доступны и архитекторам и заказчикам. Для этого предложены некоторые шаги в направлении использования такой оценки, которые необходимо предпринять как государственным учреждениям, так и организациям частного сектора.<sup>1</sup>

**Ключевые слова:** экологическая эффективность, теплоизоляционные материалы, методы оценки эффективности

## APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL EFFICIENCY OF USE OF HEAT-INSULATING MATERIALS

**P.M. Zhuk**

*Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia*

**Th. Lützkendorf**

*Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany*

### Abstract

The assessment of the input/costs and benefits (efficiency) of the use of different thermal insulation materials is becoming increasingly important. In such assessments, it is essential to consider not only economic aspects, but also the arising effects on the environment. Different methods exist for this purpose, including the internal rate of return (IRR), the payback period (PP) on the basis of the amount of energy saved and the resulting reduction in heating costs (economic assessment), as well as the ecological payback period (EPP) taking into account the amount of CO<sub>2</sub> equivalents associated with the production of the insulation materials and the amount of avoided GHG emissions during their use phase (environmental assessment). The paper presents the determination and interpretation of a coefficient for the description and assessment of the eco-efficiency of thermal insulation materials. In future, the results of such

<sup>1</sup> **Для цитирования:** Жук П.М. Подходы к оценке экологической эффективности применения теплоизоляционных материалов / П.М. Жук, Т. Лютцендорф // Architecture and Modern Information Technologies. – 2017. – №3(40). – С. 243-251 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/18\\_zhuk-lutzkendorf/index.php](http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/18_zhuk-lutzkendorf/index.php)

environmental performance assessments should be available to both architects and clients. In this sense, a number of steps are also proposed pointing both governmental institutions and private sector in the direction of harnessing these possibilities.<sup>2</sup>

**Keywords:** ecological efficiency, heat-insulating materials, efficiency assessment methods

В настоящее время среди специалистов архитектурно-строительной сферы идут интенсивные дискуссии на тему оценки эффективности более активного применения теплоизоляционных материалов для улучшения теплозащиты зданий. При этом все едины в том, что снижение потребления энергии на отопление зданий является необходимым мероприятием. Такое решение позволяет достичь амбициозных целей в области ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

Рассмотрение вопросов эффективности этого мероприятия проводится с учетом полученного эксплуатационного эффекта и потребовавшихся на него затрат. Для оценки экономической эффективности мероприятий по улучшению теплозащиты требуется сопоставление следующих показателей: сэкономленных затрат на отопление, финансовых затрат на поставку, монтаж, содержание, срок службы и затрат на утилизацию материалов. Этот принцип можно применить и для оценки экологической эффективности. За счет использования теплоизоляционных материалов потребность в энергии на отопление может быть существенно снижена. В то же время за счет сокращения потребления энергоносителей происходит восстановление природных ресурсов. В дополнение к этому происходит снижение выбросов загрязняющих веществ и оказывающих влияние на климат газов.

Но, наряду с преимуществами, решение по улучшению теплозащиты требуют и затрат, что необходимо учитывать и взвешивать при анализе конкретных решений. Затраты связаны с потоками энергии и сырья и воздействиями на окружающую среду в процессе производства теплоизоляционных систем и материалов, их монтажа, содержания в исправном состоянии, а их также утилизации и переработки. В частности, необходимо учитывать способность продукции к переработке (рециклингу). Разработка и предоставление таких данных является задачей при составлении экологических балансов, которые описывают жизненный цикл теплоизоляционных материалов. На этой основе возможны любые анализы эффективности, при которых затраты и эффекты (последствия) могут описываться в виде энергетических единиц, экологических факторов или в форме комплексных взаимосвязей в окружающей природной среде [1].

Продолжение экономического анализа путем оценки экологических преимуществ мероприятий по обеспечению энергоэффективности является важным шагом в направлении учета аспектов устойчивости на этапе проектирования. Очевидно, что анализы эффективности должны охватывать затраты и эффекты с условием обеспечения единства их измерений и возможности сопоставления и интерпретации результатов. Важным при этом является выбор и использование подходящих показателей и форм представления данных. Одна из возможностей предусматривает охват затрат и эффектов в области невозобновляемой первичной энергии для оценки эффективности использования энергоносителей. При этом возможно сопоставление затрат первичной энергии при производстве и по всему жизненному циклу и экономии первичной энергии при определенных граничных условиях и допусках. Соотношение этих показателей может быть изображено в виде коэффициента эффективности применения теплоизоляционного материала.

---

<sup>2</sup> **For citation:** Zhuk P.M., Lützkendorf Th. Approaches to the Assessment of Ecological Efficiency of Use of Heat-Insulating Materials. Architecture and Modern Information Technologies, 2017, no. 3(40), pp. 243-251. Available at: [http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/3kvart17/18\\_zhuk-lutzkendorf/index.php](http://marhi.ru/eng/AMIT/2017/3kvart17/18_zhuk-lutzkendorf/index.php)

Для оценки эффективности теплоизоляционного материала можно использовать показатель, который показывает соотношение сэкономленной энергии к затраченной по жизненному циклу энергии [2]. Принцип подобен расчету коэффициента *EROI* (англ. *Energy Return On Investment* – возврат энергии на ее инвестиции), который успешно используется по предложению профессора Чарльза А.С. Холла (Университет Сиракьюс, США) для оценки эффективности месторождений полезных ископаемых [3]. Для расчета экономии энергии могут использоваться различные методы.

Первым из возможных методов является предложенный специалистами Московского энергетического института [4] расчет теплопотерь здания на основании принятых по типам зданий показателей по формуле (1):

$$E = 1 - Q_{ehb} / Q_{hb}, \quad (1)$$

где:  $E$  – экономия термической нагрузки на отопление, %;  $Q_{ehb}$  – снижение отопительной нагрузки, кВт;  $Q_{hb}$  – расчетная отопительная нагрузка, кВт.

Более точная формула расчета теплопотерь применяется профессором В.Г. Гагариным [5]. В расчете на 1 м<sup>2</sup> ограждающей конструкции величина теплопотерь составляет:

$$q = 0,024 \text{ ГСОП} \times k \quad (2)$$

где:  $k$  – коэффициент теплопередачи наружной стены, Вт/(м<sup>2</sup>×°С); *ГСОП* – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год; 0,024=24/1000 – коэффициент перевода, кВт/(Вт×сут).

С помощью формулы (2) можно рассчитывать и сравнивать теплопотери через разные ограждающие конструкции. Таким образом, например, можно определить насколько снизились теплопотери после мероприятий по реконструкции здания (в частности, при утеплении стен и т.п.) и таким образом рассчитать экономию тепла. В настоящее время доступны данные о теплопередаче ограждающих конструкций в зависимости от вида и толщины теплоизоляционных, конструктивных и облицовочных материалов, применяемых для ограждающих конструкций зданий. Все это делает возможным расчет экономии энергии ограждающими конструкциями в зависимости от применения того или иного теплоизоляционного материала и его толщины в различных природно-климатических условиях.

Альтернативным подходом является определение и интерпретация времени энергетической амортизации, которое иногда обозначается в англоязычной литературе как «возврат энергии на инвестиции» (англ. – *Energy Return on Investment* – *EROI*). Уже формируется традиция такого подхода к анализу эффективности. Например, среди других специалистов, профессор Т. Лютцендорф занимается этой проблемой с восьмидесятих годов прошлого века [6]. Он применяет метод энергетической амортизации для оценки эффективности применения ископаемых энергоносителей.

В настоящее время в сфере оценки периода энергетической амортизации производства и применения теплоизоляционных материалов существует множество предубеждений и недоразумений. В связи с этим важно набирать опыт практического использования этого метода для его дальнейшего развития, активную роль при этом играет публикация и широкое обсуждение результатов в профессиональном сообществе. Возможна также разработка и внедрение соответствующих вспомогательных средств для расчета и оценки этого показателя. Предпосылкой для такого направления деятельности является доступность данных по экологическому балансу теплоизоляционных материалов. При этом необходимо следить за тем, чтобы учитывались не только энергоносители, использованные на производство теплоизоляционных материалов, но и другие ресурсы (например, энергию, затраченную на добычу и переработку сырья).

Опыт оценки всех затраченных ресурсов и энергоносителей пока невелик. Например, возможности системы MIPS [7] еще требуют проверки. При этом особую роль играют реалистичность оценки и результаты фактических замеров пользователем в период эксплуатации. Фактическая величина сэкономленной за счет применения теплоизоляционного материала первичной энергии зависит от следующих важных факторов: конструктивной системы и типа здания, параметров исходного энергоданса, качества монтажа утеплителя или системы утепления, отсутствия увлажнения теплоизоляции в период эксплуатации, срока службы (использования) продуктов и конструкций, от свойств иных продуктов, которые необходимы для производства и поддержания в период эксплуатации конструкции (например, дюбели и т.п.). Рекомендуется разрабатывать системные декларации о воздействиях на окружающую среду для комплектных систем теплоизоляции. Эта величина также зависит от потребности в ремонте и обслуживании, от климатических условий, от поведения пользователей, от вида и эффективности системы энергоснабжения, от энергоносителя для тепло- и энергоснабжения.

Принципиальную роль играют принимаемые положения и граничные условия, которые необходимо полноценно и прозрачно отражать во всех процессах по оценке эффективности. Пример граничных условий в целях демонстрации специфики опыта Российской Федерации и Федеративной республики Германия приведен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение некоторых граничных условий для России и Германии

Страна	ГСОП <sup>1</sup> , °C·сут/ год	Стоимость электроэнергии <sup>2</sup> , руб./ кВт·час	Стоимость топлива <sup>2</sup> (природный газ), руб./ м <sup>3</sup>
Германия	Берлин – 2604 Мюнхен – 2961	10,4	25,75
Россия (европейская часть)	Москва – 4515 Санкт-Петербург – 4356	2,0-3,2	3,4-3,8
<sup>1</sup> по данным проф. В.Г. Гагарина [5]			
<sup>2</sup> по данным портала energystock.ru на 2014 год			

Оценки экономической предпочтительности и энергетической эффективности (времени амортизации) на сегодняшний день уже недостаточно, чтобы гарантировать полноценный учет такого аспекта устойчивости, как экологическая безопасность по жизненному циклу объекта или продукции. В дополнение к техническим данным требуются результаты оценки рисков для человека и окружающей среды по жизненному циклу, а также сведения о производстве, сроке службы и устойчивости к различным воздействиям, а также о возможностях монтажа и способах переработки (рециклинга). Необходим учет европейских постановлений в части требований к продукции [8]. Все это приводит к потребности в расширенной информации, которую должны предоставлять производители теплоизоляционных материалов. Существенным этапом является разработка декларации о воздействиях на окружающую среду в соответствии с DIN EN 15804:2014-07 [9]. Данные деклараций о воздействиях на окружающую среду могут быть использованы для дальнейшего анализа экологической эффективности на основе потенциала глобального потепления или комплексных воздействий на окружающую среду, в том числе путем расчета углеродного следа или экологического следа продукции, а также для присвоения экологической маркировки третьего типа согласно стандарту ISO 14025:2006 [10]. Вопросы выделения различных, в том числе вредных, веществ при вымывании их из материала или эмиссии в атмосферу, а также оценка токсичности для человека и окружающей среды часто являются причиной дискуссий. Также возможно определение экологического периода восстановления на базе CO<sub>2</sub> или потенциала глобального потепления [11].

Рекомендуется развитие дополнительной структуры системы информации о продукции с ориентацией на системы типа WECOBIS [12]. Это очень важно для всех участников рынка, которые могут представить перспективы, связанные с теплоизоляцией и получить в распоряжение определенные документы и форматы, которыми можно руководствоваться при выборе теплоизоляционного материала или системы на стадии разработки проектной документации. Сравнение различных документов и форматов по параметрам предлагаемых на рынках Евросоюза и Российской Федерации материалов проведено в таблице 2.

Таблица 2. Перспективы продукции на рынке строительных материалов и соответствующие документы и форматы

Параметры	Документы/ форматы	
	Европейский Союз	Россия
относительные параметры		
Технические параметры	Установлены в качестве требований Предписания № 305/ 211 Европейского парламента и совета от 9 марта 2011 г. по установлению гармонизированных условий для распространения на рынке строительной продукции	Сертификат соответствия
Безопасность для окружающей среды		Отчет об охране окружающей среды предприятия
Безопасность для здоровья человека		Санитарно-эпидемиологическое заключение
Затраты (затраты по жизненному циклу на всю систему)		Затраты производителя, смета на строительство
Доступность сырьевых ресурсов		Результаты исследований
Технологичность		Данные производителя
долговечность/ устойчивость к внешним воздействиям		
Возможность переработки	Как требование к материалу отсутствует	
“Имидж”	Наличие многочисленных сертификатов и маркировок	Рецензии в прессе, рекламные материалы, наличие экологической маркировки
Надежность/ невысокая вероятность ошибок монтажа	Декларируется производителем и проверяется научными методами	
Ориентированные на продукцию услуги		
Информация о продукции	Декларации о воздействиях на окружающую среду	В соответствии с законом о правах потребителей
Гарантия	Предлагается производителем	
Договор на обслуживание	Предлагается производителем	
Обязательство по переработке отходов	Для определенных видов материалов устанавливается законом в обязательном порядке	Чаще всего за это отвечает подрядная строительная организация, а не производитель строительного материала
Предложения по подбору и расчету	Предлагается всеми производителями	В соответствии с предложением производителя
Системные предложения	Предлагается всеми производителями	Чаще всего в рамках диверсификации деятельности предприятия

Россия также как и многие другие страны заинтересована во внесении своего вклада в улучшение ситуации с сохранением природных ресурсов, климата и в снижении нагрузок на окружающую среду. Цели улучшения энергетической эффективности, особенно существующих построек, будут стимулировать повышение спроса на теплоизоляционные материалы. При этом применяемые системы теплоизоляции должны будут удовлетворять самым высоким требованиям по экономии энергии, долговечности и экологической безопасности. После использования все системы должны быть пригодны к повторному использованию или переработке. В связи с этим основными вопросами является информирование проектировщиков и заказчиков о возможностях теплоизоляции, чтобы обеспечить корректный, экономически и экологически обоснованный выбор применяемой продукции. Свою роль в этом процессе должны сыграть наука и промышленность. Определенные мероприятия должны быть проведены со стороны государственных органов, а также предприятий-изготовителей теплоизоляционных материалов и комплексных систем утепления. К числу таких действий следует отнести следующие возможные мероприятия для органов государственного регулирования:

1. В региональных программах жилищного строительства должны быть включены разделы, которые будут описывать тематику устойчивого строительства, в том числе связанную с выбором строительных материалов с учетом экологических требований. Дополнительно имеет смысл сформулировать особые требования к промышленности строительных материалов в отношении соблюдения экологических, социальных стандартов, разработки и публикации экологических деклараций и т.п., а также к торговым предприятиям (вопрос информационного обеспечения потребителя).
2. Разработка специфичных для различных регионов программ стимулирования рынка экоустойчивых строительных материалов.
3. Выделение денежных средств на исследования и разработки (например, баз данных с информацией о воздействиях материалов на окружающую среду).
4. Разработка и финансирование программ консультаций для частных застройщиков.
5. Введение перечня обязательной документации по используемой строительной продукции.

Рекомендуемые мероприятия для промышленности и производителей материалов:

1. Проектирование предприятий с учетом требований устойчивости (выбор места, оценка воздействий на окружающую среду, близость к месторождениям полезных ископаемых и сырья, выбор энергоносителей, выбор технологий и т.п.).
2. Перманентная оптимизация процессов, улучшение качества продукции и разработка продукции с учетом экологических требований.
3. Внедрение систем оценки устойчивости для продукции и производства в целях минимизации воздействий на окружающую среду.
4. Развитие производств при поддержке региональных администраций и профессионального сообщества.
5. Согласие с полной ответственностью за качество продукции.
6. Совершенствование структуры учета показателей экологической ситуации на предприятии.

7. Улучшение информации о продукции, в том числе за счет разработки ее экологических деклараций.

8. Совершенствование качества консультаций по оптимальному использованию продукции и корректной ее обработке при монтаже на строительной площадке с соблюдением требований защиты здоровья и охраны окружающей среды.

9. Обязательства по обработке и рециклингу продукции по завершении срока их эксплуатации.

Таким образом, при оценке экологической эффективности мероприятий по улучшению теплоизоляции ограждающих конструкций особую роль играет выбор метода определения затрат и оценки получаемых преимуществ. Среди таких методов – внутренняя норма прибыли, стоимость капитала, аннуитет, статическое и динамическое время амортизации или амортизационное число. При этом стоит различать энергетическую и экологическую амортизацию (с учетом потенциала глобального потепления, CO<sub>2</sub>-эквивалента энергии и т.д.). Подходы, позволяющие учитывать экологические эффекты, на современном этапе являются наиболее перспективными и обеспечивают проектировщикам максимальную полноту информации о материалах при разработке различных конструктивных систем.

## Литература

1. Mötzl H., Zelger Th. u. a. Ökologie der Dämmstoffe. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -Ökologie, Donau-Universität Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt. Springer-Verlag, Wien, 2010
2. Жук П.М. Система оценки экологической безопасности по жизненному циклу неорганических волокнистых теплоизоляционных материалов // Вестник МГСУ. – 2013. – №12. – С. 118-122.
3. Hall C.A. Introduction to special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment). Sustainability, 2011. – № 3(10). – S. 1773–1777 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773](http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773)
4. Очков В.Ф. Расчеты в Интернете: энергосбережение / В.Ф. Очков, И.В. Яковлев, Т.М. Лоскутова, Ко Ко Чжо // Энергосбережение и водоподготовка. – № 4(78). – 2012. – С. 30-34.
5. Гагарин В.Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий // АВОК. – 2009. – №2. – С. 10-16.
6. Lützkendorf Th. „Graue Energie“ in Dämmstoffen – ein Teilaspekt. Lohnt sich Dämmung aus Sicht von Ökobilanzen? – Wärmeschutztag, FIW. – München, 2013.
7. Wallbaum H. Concepts and Instruments for a Sustainable Construction sector. UNEP Industry and Environment / H. Wallbaum, C. Buerkin. – April – September. – 2003. – S. 53-57.
8. Боссенмайер Хорст Й. Актуальная информация о технических нормах и правовом регулировании устойчивого строительства в Европейском Союзе // Устойчивая архитектура: настоящее и будущее. Труды международного симпозиума, 17-18 ноября 2011 г. Научные труды Московского архитектурного института (государственной академии) и группы КНАУФ СНГ. – М.: ООО «Аделант», 2012.



9. DIN EN 15804:2014-07 Sustainability of construction works – Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.
10. ISO 14025:2006 Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures.
11. Suter P. Die ökologische Rückzahldauer: ein Instrument der Umwelttechnik Schweizer Ingenieur und Architekt / P. Suter, P. Hofstetter. – Band 107. – Heft 49 (1989).
12. Dämmstoffe. Produktgruppeninformation. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe.html>

## References

1. Mötzl H., Zelger Th. u. a. Ökologie der Dämmstoffe. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -Ökologie, Donau-Universität Krems, Zentrum für Bauen und Umwelt. Springer-Verlag, Wien, 2010.
2. Zhuk P.M. *Sistema otsenki ekologicheskoy bezopasnosti po zhiznennomu tsiklu neorganicheskikh voloknistykh teploizoljatsionnykh materialov* [Evaluation System of Ecological Safety on Life Cycle of Inorganic Fibrous Heat-Insulating Materials] Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 12, pp. 118-122.
3. Hall C.A. Introduction to special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment). Sustainability 2011, 3(10), pp. 1773–1777. Available at: [www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773](http://www.mdpi.com/2071-1050/3/10/1773)
4. Ochkov V.F., Jakovlev I.V., Loskutova T.M., Chzho Ko. *Raschety v Internete: energosberezhenie* [Calculations on the Internet: energy saving. Magazine Energy saving and water treatment]. 2012, no. 4 (78), pp. 30-34.
5. Gagarin V.G. *Metody ekonomicheskogo analiza povysheniya urovnja teplozaschity ograzhdajuschih konstruksiy zdaniy* [Methods of the economic analysis of increase in level of a heat-shielding of building constructions. Magazine ABOK. Proceedings of Russian Association Engineers for Heating, Ventilation, Air-conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics]. 2009, no. 2, pp. 10-16.
6. Lützkendorf Th. „Graue Energie“ in Dämmstoffen – ein Teilaspekt. Lohnt sich Dämmung aus Sicht von Ökobilanzen? – Wärmeschutztag, FIW – München, 2013.
7. Wallbaum H., Buerkin C. Concepts and Instruments for a Sustainable Construction sector. UNEP Industry and Environment. April – September 2003, pp. 53-57.
8. Bossenmayer Horst J. *Aktualnaya informatsiya o technicheskikh normah i pravovom regulirovanii ustoychivogo stroitelstva v Evropeyskom Soyuze* [Actual Information about technical Standards and legal regulation of the sustainable building in the European Union]. Sustainable architecture: the present and the future. Articles of international symposium, 17-18 November 2011. Scientific articles of Moscow Institute of Architecture (State Academy) and group KNAUF CIS. Moscow, Adelant Ltd, 2012, pp. 63-66.
9. DIN EN 15804:2014-07 Sustainability of construction works – Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.



10. ISO 14025:2006 Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures.
11. Suter P., Hofstetter P. Die ökologische Rückzahldauer: ein Instrument der Umwelttechnik Schweizer Ingenieur und Architekt, Band 107, Heft 49 (1989).
12. Dämmstoffe. Produktgruppeninformation. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Available at:  
<http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/daemmstoffe.html>

## ОБ АВТОРАХ

### **Жук Петр Михайлович**

Кандидат технических наук, профессор кафедры «Архитектурное материаловедение», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия  
e-mail: [peter\\_05@bk.ru](mailto:peter_05@bk.ru)

### **Лютцендорф Томас**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика и экология жилищного строительства», Технологический институт г. Карлсруэ, Карлсруэ, Германия  
e-mail: [thomas.luetzkendorf@kit.edu](mailto:thomas.luetzkendorf@kit.edu)

## ABOUT THE AUTHORS

### **Zhuk Petr**

PhD in Technical Sciences, Professor of the Department of Architectural Materials Science, Moscow Institute of Architecture (State Academy), Moscow, Russia  
e-mail: [peter\\_05@bk.ru](mailto:peter_05@bk.ru)

### **Lützkendorf Thomas**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Sustainable Management of Housing and Real Estate, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Germany  
e-mail: [thomas.luetzkendorf@kit.edu](mailto:thomas.luetzkendorf@kit.edu)