



УДК 628.31

doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.83–99

Смирнов Е. Б., Дацюк Т. А., Таурит В. Р.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ

UDC 628.31

doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.83–99

SMIRNOV E. B., DATCIUK T. A., TAURIT V. R.

ESTIMATION OF ECOLOGICAL SAFETY OF THE DESIGNED BUILDINGS

Аннотация

Обоснована необходимость разработки количественной оценки уровня экологической безопасности проектируемых жилых зданий. Предложен комплекс показателей для оценки экологической безопасности проектируемых жилых зданий, учитывающий требования действующих в Российской Федерации нормативных документов. Разработана методика оценки экологической безопасности жилых зданий, основанная на шести кластерах показателей: внешняя среда обитания (пять показателей); придомовая территория (десять показателей); архитектурно-строительные аспекты (двенадцать показателей); система жизнедеятельности и энергоэффективность (тринадцать показателей); внутренний комфорт (шесть показателей); долговечность и утилизация (девять показателей). На основе использования экспертного метода расстановки приоритетов определены значимости каждого кластера и каждого показателя экологической безопасности, что позволяет с использованием предлагаемой балльной шкалы рассчитать количественное значение интегрального показателя экологической безопасности проектируемого жилого здания.

Abstract

The necessity of developing a quantitative assessment of the level of ecological safety of the projected residential buildings is substantiated. A set of indicators for assessing the environmental safety of the projected residential buildings is proposed, taking into account the requirements of the normative documents in force in the Russian Federation. A methodology for assessing the ecological safety of residential buildings has been developed, based on six clusters of indicators: the external habitat (five indicators); home territory (ten indicators); architectural and construction aspects (twelve indicators); system of vital activity and energy efficiency (thirteen indicators); internal comfort (six indicators); durability and utilization (nine indicators). Using the expert method of prioritization, the importance of each cluster and each indicator of environmental safety is determined, which allows using the proposed ball scale to calculate the quantitative value of the integral index of environmental safety of the projected residential building. The clusters and the indicators included in the methodology can be supplemented and refined from the point of view of assessing the significance of each

Представленные в методике кластеры и входящие в них показатели могут дополняться и уточняться с точки зрения оценки значимости каждого из них в зависимости от конкретных условий и места будущего строительства. Предлагаемая методика может быть использована не только для улучшения процесса проектирования, но и для оценки экологических характеристик эксплуатируемых жилых зданий.

Ключевые слова: методика, экологическая безопасность, рейтинговая оценка, проектируемое жилое здание.

Авторы

Смирнов Евгений Борисович

д-р экон. наук, профессор,
проректор по научной и инновационной деятельности
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: png1@list.ru
Тел.: (812) 316-53-11

Дацюк Тамара Александровна

д-р. техн. наук, профессор, зав. каф. Строительной физики и химии
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: tdatsuk@mail.ru
Тел. +7 (921) 944-10-13

Тaurит Вольдемар Робертович

д-р техн. наук, профессор-консультант каф. Теплогазоснабжения и вентиляции
E-mail: taurit_v_r@mail.ru
Тел.: +7 (911) 979-44-56

Введение

С 1970-х годов проблемам разносторонней оценки уровня экологических характеристик жилых зданий стали уделять значительное внимание многие ученые и практики. Было разработано большое количество показателей и методов оценки экологических характеристик зданий. При этом можно заметить тенденцию интеграции экологических показателей в оценку общего показателя устойчивого развития. Т. Лутзендорф, например, выделяет шесть направлений развития научных исследований в области

of them depending on the specific conditions and place of future construction. The proposed methodology can be used not only to improve the design process, but also to assess the environmental characteristics of the operated residential buildings.

Keywords: methodology, ecological safety, rating score, residential building.

Authors

Smirnov Evgenij Borisovich

Dr. Sci. Ec., Professor
Saint-Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering
E-mail: png1@list.ru
Tel.: (812) 316-53-11

Datciuk Tamara Aleksandrovna

Dr. Sci. Tech., Professor
Saint-Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering
E-mail: tdatsuk@mail.ru
Tel. +7921 944 1013

Taurit Vol'demar Robertovich

Dr. Sci. Tech., Professor
Saint-Petersburg State University of
Architecture and Civil Engineering
E-mail: taurit_v_r@mail.ru
Tel.: +7 (911) 979-44-56



оценки экологических характеристик: дальнейшее развитие классической модели оценки устойчивого развития; повышение обоснованности критериев и показателей оценки; учет развития технического прогресса; оценка воздействия на окружающую среду; экологическая оценка существующих зданий; дальнейшая разработка правовых требований [1]. Перечисленным направлениям исследований посвящены труды многих ученых.

Система экологических показателей для оценки воздействия жилого эксплуатируемого здания на окружающую среду предложена в работе М. Глаумана и Т. Малмквист [2], где также теоретически обосновываются критерии для количественной оценки различных показателей. На основе собранных авторами данных по трем существующим жилым комплексам в Швеции были рассчитаны показатели по трем экологическим аспектам: эффективность использования энергии; обработка и удаление бытовых отходов; применение при строительстве и эксплуатации токсичных веществ и материалов. При этом было показано, что количественная оценка влияния токсичных веществ на окружающую среду в настоящее время является проблемной и не достаточно разработанной.

На основе проведенного исследования А. Вакили-Ардебил и А. Буссабен подчеркнули необходимость учета при проектировании зданий целого ряда экологических параметров, основанных на опросе большого количества архитекторов и специалистов Великобритании, которые сформировали в шесть основных кластеров, включающих 115 экодетерминат [3]. К экодетерминантам авторы относят: окружающую среду, экономику, ресурсы, потребление энергии, дополнительные требования общества к архитектурным и дизайнерским характеристикам здания и др. Оценка экологических характеристик здания на основе абсолютной устойчивости экологической эффективности здания предложена в работе [4]. Здание считается абсолютно устойчивым, если его ежегодная экологическая нагрузка меньше его доли в ресурсах, связанных с землей.

Интересны также исследования, направленные на разработку интегрального показателя, учитывающего качество воздуха в помещении и теплового комфорта [5] и определение зависимостей экологической эффективности от значений показателей зданий [6]. Такой подход авторы обосновывают тем, что большинство существующих методов общей оценки экологической эффективности зданий основываются на суммировании отдельных показателей, входящих в отдельные группы (кластеры) без учета каких-либо зависимостей между этими показателями. Авторы в своем исследовании выявляют возможные связи экологических показателей, в том

числе их степень («сильная», «умеренная» и «отсутствует») и направления (положительное, отрицательное). Для подтверждения связи между параметрами были использованы коэффициенты корреляции, рассчитанные на основе исследования десяти зданий.

Мы согласны с авторами, которые предлагают проводить оценку экологических характеристик с учетом этапов жизненного цикла и сроков службы зданий [1; 7]. Особое внимание, по нашему мнению, необходимо уделять экологическим характеристикам здания на стадии технико-экономического обоснования и проектирования. Требования экологической безопасности зданий сформулированы в проекте регламента Евразийского экономического союза для проектируемых зданий, который в настоящее время находится на стадии утверждения [8]. Экологическая безопасность строительства предусматривает, с одной стороны, защищенность окружающей среды от отрицательного воздействия, которое может иметь место в результате строительства и эксплуатации жилого здания, а с другой стороны, экологическую защищенность жителей здания от негативного воздействия окружающей среды и формирование комфортной и здоровой среды обитания.

К мероприятиям, обеспечивающим экологическую безопасность жилища, следует отнести:

- градостроительные меры, направленные на формирование и сохранение экологически благоприятной внешней среды обитания, являющейся жилой средой;
- архитектурно-строительные меры, определяющие выбор экологичных объемно-планировочных и конструктивных решений, материалов, а также использование малоотходных (безотходных) и энергоэффективных технологий эксплуатации здания;
- обеспечение комфортной и экологически безопасной среды в зданиях.

Требования экологической безопасности предъявляются к жилым зданиям, их размещению на территориях микрорайонов, к строительным конструкциям и материалам, а также к инженерным системам на каждом этапе жизненного цикла в соответствии с требованиями [9].

Жизненный цикл зданий можно разделить на пять основных элементов [10]:

- технико-экономическое обоснование и проектирование жилого здания;
- производство строительно-монтажных работ;
- эксплуатация здания (сопровождается техническим обслуживанием и текущими ремонтами, капитальными ремонтами конструктивных элементов



и инженерных систем здания);

- возможная реконструкция здания (с последующим периодом эксплуатации);
- снос здания.

На каждом этапе жизненного цикла существуют проблемы обеспечения ЭБ. Например, управлению отходами строительного производства на сегодняшний день не уделяется должного внимания, не смотря на имеющиеся нормативные документы. Серьезной проблемой экологической безопасности является также обеспечение качества среды обитания вследствие применения экологически опасных строительных материалов и загрязнения воздуха в крупных городах. В воздух жилых зданий поступают не только химические вещества, выделяющиеся из строительных и отделочных материалов, но и вредные вещества из наружного воздуха, т. к. большая часть жилых зданий проектируется с естественной вентиляцией, в которой не предусмотрена очистка приточного воздуха.

Одна из основных проблем обеспечения экологической безопасности в строительстве – отсутствие нормативного регулирования. Экологические требования при строительстве, проектировании и вводе в эксплуатацию зданий и сооружений содержатся как в федеральном, так и в региональном законодательстве [11–14]. Существующие нормативные документы не содержат конкретных количественных критериев оценки ЭБ зданий на протяжении всего жизненного цикла. На сегодняшний день в определении экологичности проекта решающую роль играют имеющиеся в распоряжении заказчика финансовые средства.

В большинстве развитых стран принята концепция «устойчивого развития», согласно которой комфортная среда обитания должна формироваться при минимальных затратах ТЭР и минимальном воздействии на окружающую среду. Оценка качества среды обитания проводится в соответствии с «зелеными стандартами» такими как «BREM», «LEED», ГОСТ 54964-2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости» и др. [11]. Отмеченные нормативные документы имеют в основном качественный характер, основанный на экспертной оценке. Для оценки качества среды обитания жилых зданий требуется количественная информация о совокупности фактических значений параметров, обеспечивающих экологически безопасную эксплуатацию зданий.

Задачи и методы исследования

Формирование экологически безопасной и комфортной среды обитания при минимальном потреблении энергоресурсов обеспечивается при

взаимодействии большого количества параметров ЭБ (ПЭБ) и их комплексов, которые характеризуют:

- качество внутреннего воздуха;
- качество наружного воздуха;
- акустический комфорт;
- световой комфорт.

Важным этапом с точки зрения обеспечения экологической безопасности зданий в течение всего жизненного цикла следует рассматривать стадию проектирования, когда должен быть выполнен всесторонний анализ проектных решений и выбран оптимальный вариант, отвечающий требованиям ЭБ. Такой анализ выполняется с использованием BIM технологий, которые составляют инструментальную базу, обеспечивающую при проектировании реализацию задач экологически безопасного взаимодействия здания и инженерных сетей с окружающей средой.

Для прогнозирования параметров микроклимата и оценки качества среды обитания в составе BIM технологий целесообразно использование математического моделирования (программные пакеты типа «Ansys») для определения оптимальных показателей ЭБ и их комплексов. Параметры микроклимата и кратность воздухообмена в жилых зданиях с естественной вентиляцией зависят как от процессов, происходящих в здании, так и от уровня загрязнения наружного воздуха и аэродинамического режима застройки.

Комплексная оценка проектных решений, выполнение которых при строительстве и эксплуатации объекта обеспечит такую взаимосвязь здания, его инженерных систем и внешней среды, которая на протяжении всего срока службы позволит эффективно эксплуатировать его при соблюдении следующих условий:

- минимизации негативного влияния объекта на экосистемы окружающей среды;
- рационализации объемов энергопотребления, в том числе минимизации потребления энергии из невозобновляемых источников;
- обеспечения безопасной и комфортной среды обитания внутри здания.

Результаты исследования

Для оценки и ранжирования зданий по уровню ЭБ разработана методика [15], в соответствии с нормативными документами Российской Федерации и концепцией «устойчивого развития». В данной методике учтены положения СТО НООСТРОЙ «Зеленое строительство» и основные положения зарубежных рейтинговых систем оценки BREEAM (Великобритания), LEED (США), DGNB (Германия). При разработке методики учитывался также опыт экологической сертификации зданий и оценки воздействия зданий на окружающую среду в течение полного цикла их существования, имеющийся



в западных странах и в Российской Федерации [16–17].

В данной методике под экологической безопасностью жилых зданий понимается комплексная оценка, которая предполагает обеспечение эксплуатации комфортной среды обитания при минимальном потреблении топливно-энергетических ресурсов и минимальных объемах твердых и жидких отходов, что, в свою очередь, снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Предлагаемая методика комплексной оценки экологической безопасности проектируемых жилых зданий, с одной стороны, призвана повысить качество проектирования нового жилья и обеспечить формирование экологичной жилой среды, а с другой стороны, является инструментом скрининга существующего жилого фонда на предмет его экологической безопасности с целью принятия мер по ее повышению.

Методика оценки ЭБ основана на выделении необходимых и достаточных показателей, характеризующих экологическую безопасность проектируемых и эксплуатируемых зданий, разработке критериев их оценки и использования математического аппарата, позволяющего получить количественные результаты.

Количественная оценка комплекса ПЭБ дана в соответствии с действующими строительными нормами на проектирование, с учетом положений Федерального закона от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ, Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ, Указа Президента Российской Федерации от 04.06.2008 г. № 889, Федерального закона от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ, постановления Правительства Москвы от 09.06.2009 № 536-ПП, постановления Правительства Москвы от 05.10.2010 № 900-ПП, Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ, требования «зеленых стандартов», обеспечивающих комфортную среду обитания.

Экологическая безопасность проектируемых зданий оценивается на основе рейтинговой системы с использованием в качестве исходных величин выделенных ПЭБ. Для интегральной оценки экологической безопасности жилых зданий предлагается использовать комплексный показатель экологической безопасности (КПЭБ), от значения которого зависит принадлежность жилого здания к тому или иному классу экологической безопасности.

Разработанная методика предполагает, что оценка экологической безопасности жилых зданий выполняется на базе анализа разделов: «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности здания, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов», «Охрана окружающей среды» и «Пожарная безопасность». Оценка экологической

безопасности целесообразно выполнять в разделе проекта 10.1 «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности здания, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов».

Описание методики

Для оценки экологической безопасности жилых зданий в предлагаемой методике используется метод расстановки приоритетов [18;19]. Ранжирование показателей и их количественная оценка производятся с использованием метода экспертных оценок. Качество и экологичность жилого здания оцениваются по 54 ПЭБ, сгруппированным в шесть кластеров, четыре из которых объединяют экологические характеристики жилого здания, один относится к придомовой территории и один — к оценке внешней среды (см. табл. 2–7).

Определение приоритетности и значимости кластеров

По результатам оценки экспертов строится матрица приоритетов A , на основании которой ранжируются кластеры X_i (где $i = 1, 2, \dots, 6$):

$$A = \begin{bmatrix} X_{11}, & X_{12}, \dots, & X_{1j}, \dots, & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22}, \dots, & X_{2j}, \dots, & X_{2n} \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots, \\ X_{n1} & X_{n2}, \dots, & X_{nj}, \dots, & X_{nn}. \end{bmatrix} \tag{1}$$

Для этих целей попарно сравниваются все кластеры. Если эксперт, сравнивая два кластера X_1 и X_2 , отдает предпочтение первому, то в строку матрицы X_1 , соответствующую значению X_2 , записывается цифра 2. В строку матрицы X_2 , соответствующую значению X_1 , записывается 0.

Если эксперт, сравнивая два кластера X_1 и X_2 , признает их значения равноправными, то в соответствующие графы записывается по 1, т. е.:

$$a_{ij} = 2 \begin{cases} 2 & \text{если } X_i > X_j, \\ 1 & \text{если } X_i = X_j, \\ 0 & \text{если } X_i < X_j, \end{cases} \tag{2}$$

при $i = j = 1, 2, \dots, n$ $X_{ij} = 1$, т. е. 0 — наименьшая значимость показателя; 1 – оказатели равновесны; 2 – очевидный приоритет одного из показателей.



Значимость P_i отдельных кластеров определяется как:

$$P_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (3)$$

Распределение кластеров задается вектором:

$$P = [P_1, P_2, \dots, P_6] \quad (4)$$

Для каждого кластера определяется его значимость с учетом остальных кластеров как:

$$P_i^{\text{отн}} = \frac{P_i}{\sum_{i=1, j=1}^n P_{ij}} \quad (5)$$

Определение приоритетности и значимости ПЭБ внутри кластеров

Подход к определению значимости ПЭБ аналогичен тому, который применяется для определения значимости кластеров. В каждом кластере по оценке экспертов составляются матрицы приоритетов и определяется значимость каждого ПЭБ с учетом остальных. Матрица приоритетов имеет следующий вид:

$$A_{i \text{ кластер}} = \begin{bmatrix} a_{11}, & a_{12}, \dots, & a_{ij}, \dots, & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22}, \dots, & a_{2j}, \dots, & a_{2n} \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ a_{n1} & a_{n2}, \dots, & a_{nj}, \dots, & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Значимость ПЭБ в каждом кластере определяется как:

$$p_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (7)$$

Распределение ПЭБ в каждом кластере задается вектором, аналогичным указанному в формуле (4). Для каждого ПЭБ определяется его значимость с учетом всех ПЭБ по формуле, аналогичной (5).

Количественные значения ПЭБ находятся в диапазоне, определенном нормативно-технической документацией и оцениваются экспертами по

10-балльной шкале. Балл 1, как правило, соответствует предельному допустимому значению показателя, балл 5 — требованиям действующих нормативных документов (СНиП, СанПиН, МГСН, Постановления правительства г. Москва), балл 10 — показателям «зеленого строительства». В качестве примера в табл. 1 приведена матрица приоритетов для 6 кластеров.

Таблица 1. Матрица приоритетов для 6 кластеров

Кластеры		1	2	3	4	5	6	Значимость кластера	Относительная значимость кластера с учетом остальных, $P_{\text{отн}}$
		1	1	1	0	0	0		
1. Внешняя среда обитания	1	1	1	0	0	0	1	3	0,08
2. Придомовая территория	2	1	1	0	0	0	0	2	0,06
3. Архитектурно- строительные аспекты	3	2	2	1	1	0	1	7	0,19
4. Системы жизнеобеспечения и энергоэффективность	4	2	2	1	1	1	1	8	0,22
5. Внутренний комфорт	5	2	2	2	1	1	1	9	0,25
6. Долговечность и утилизация	6	1	2	1	1	1	1	7	0,19
Итого								36	1

Интегральная рейтинговая оценка

В каждом i кластере для каждого ПЭБ определяется балльная оценка с учетом значимости:

$$q_i = P_i^{\text{отн}} \cdot B_i \tag{8}$$

а затем для каждого кластера определяется интегральная балльная оценка с учетом значимости как

$$Q_{ki} = P_1^{\text{отн}} \cdot B_1 + P_2^{\text{отн}} \cdot B_2 + \dots + P_n^{\text{отн}} \cdot B_n \tag{9}$$



где B_1, B_n — балльная оценка количественного ПЭБ; $P_i^{отн}, P_n^{отн}$ — относительная значимость ПЭБ в i кластере с учетом всех остальных.

Окончательная рейтинговая оценка представляет собой комплексный показатель экологической безопасности здания (КПЭБ) и определяется как:

$$\text{КПЭБ} = Q_1 \cdot \alpha_1 + Q_2 \cdot \alpha_2 + \dots + Q_n \cdot \alpha_n \quad (10)$$

где Q_1, Q_n — интегральная оценка кластера; α_1, α_n — относительная значимость соответствующих кластеров.

Величина КПЭБ используется для определения класса экологической безопасности (ЭБ) жилых зданий на основе данных, представленных в табл. 2.

Разработана форма паспорта экологической безопасности жилых зданий с учетом СП 50.13330.2012 и Приказа Минэнерго № 400 от 30.06.2014. В паспорт заносятся перечисленные в кластерах 1-6 ПЭБ, геометрические характеристики здания, проектные значения основных параметров, характеризующих особенности жилых зданий. Для контроля качества строительства и эксплуатации жилых зданий в паспорт здания вносятся показатели ЭБ, полученные при вводе здания в эксплуатацию, и измеренные в процессе эксплуатации.

Таблица 2. Классификация проектируемых зданий по экологической безопасности

Классы ЭБ	Допустимый Д	Нормальный С (нормативные значения)	Комфортная среда обитания, В	Зеленое строительство А
Комплексный показатель КПЭБ	4–2	4–6	6–8	>8

Результаты апробирования методики

Апробирование представленной методики проведено на примере проекта жилого микрорайона Царицыно г. Москва. Для оценки значимости и количественных характеристик ПЭБ привлекалась группа экспертов в составе специалистов по строительству, жилищно-коммунальному хозяйству и экологии. Результаты оценки ПЭБ указанного объекта по кластерам с применением предлагаемой методики представлены в табл. 3–8.

Таблица 3. Кластер № 1. Внешняя среда обитания

	Относительная значимость показателя с учетом остальных, $P_{отн.}$	Балльная оценка B_i	Балльная оценка с учетом значимости q_i
Загрязнение почвы	0,16	5	0,80
Фоновое загрязнение атмосферы	0,20	8	1,60
Уровень электромагнитного излучения	0,16	6	0,96
Шумовое загрязнение	0,24	8	1,92
Радиоактивное загрязнение	0,32	9	2,88
		$Q_1 =$	8,16

Таблица 4. Кластер № 2. Придомовая территория

	Относительная значимость показателя с учетом остальных, $P_{отн.}$	Балльная оценка B_i	Балльная оценка с учетом значимости q_i
Застройка	0,130	10	1,30
Ориентация фасадов	0,120	6	0,72
Макс. скорость ветра внутри застройки зимой	0,030	5	0,15
Мин. скорость ветра внутри застройки летом	0,030	6	0,18
Утилизация отходов	0,120	7	0,84
Парковка	0,140	10	1,40
Освещенность дворовой территории	0,120	6	0,72
Ливневые стоки	0,070	6	0,42
Озеленение территории	0,130	8	1,04
Инсоляция мест отдыха	0,100	6	0,60
		$Q_2 =$	7,37



Таблица 5. Кластер № 3. Архитектурно-строительные аспекты

	Относительная значимость показателя с учетом остальных, $P_{отн.}$	Балльная оценка B_i	Балльная оценка с учетом значимости q_i
Компактность	0,097	8	0,78
Процент остекленности здания	0,076	6	0,46
Тип здания	0,042	5	0,21
КЕО	0,083	6	0,50
Инсоляция	0,083	7	0,58
Термическое сопротивление наружных стен	0,118	8	0,94
Термическое сопротивление покрытия	0,097	6	0,58
Термическое сопротивление чердачных и подвальных перекрытий	0,118	8	0,94
Термическое сопротивление окон и балконных дверей	0,104	7	0,73
Тип светопрозрачных конструкций	0,083	5	0,41
Строительные материалы	0,083	6	0,50
Использование информационных технологий	0,042	5	0,21
Компактность	0,097	8	0,78
		$Q_3 =$	6,84

Таблица 6. Кластер № 4. Системы жизнеобеспечения и энергоэффективность (начало)

	Относительная значимость показателя с учетом остальных, $P_{отн.}$	Балльная оценка B_i	Балльная оценка с учетом значимости q_i
Система вентиляция	0,089	6	0,53
Система отопления	0,089	5	0,44
Система ГВС и ХВС	0,089	5	0,44
Электроснабжение	0,101	6	0,60
Газоснабжение	0,059	5	0,30
Система канализации	0,077	6	0,46
Удельное потребление теплоты на отопление и вентиляцию	0,077	6	0,46

Таблица 6. Кластер № 4. Системы жизнеобеспечения и энергоэффективность (окончание)

Удельное потребление электроэнергии	0,089	6	0,53
Удельное потребление горячей воды	0,077	6	0,46
Удельное потребление газа	0,059	5	0,30
Класс энергоэффективности здания	0,077	6	0,46
Пожарная безопасность	0,107	7	0,75
Системы мониторинга ЭБ	0,036	5	0,18
		$Q_4 =$	5,91

Таблица 7. Кластер № 5. Внутренний комфорт

	Относительная значимость показателя с учетом остальных, $P_{отн.}$	Балльная оценка B_i	Балльная оценка с учетом значимости q_i
Температура	0,250	9	2,25
Относительная влажность	0,139	6	0,83
Подвижность воздуха	0,083	5	0,41
Кратность воздухообмена	0,139	5	0,69
Радиационная температура	0,139	8	1,11
Акустический комфорт	0,250	8	2,00
		$Q_5 =$	7,29

Таблица 8. Кластер № 6. Долговечность и утилизация (начало)

	Относительная значимость показателя с учетом остальных, $P_{отн.}$	Балльная оценка B_i	Балльная оценка с учетом значимости q_i
Долговечность несущих конструкций	0,173	9	1,56
Долговечность наружных стен	0,173	8	1,21
Долговечность окон	0,086	6	0,52
Долговечность кровли и кровельных покрытий	0,123	7	0,86
Долговечность теплоизоляционных материалов	0,099	7	0,69
Долговечность инженерного оборудования	0,086	8	0,69
Пригодность конструкций для повторного использования	0,086	7	0,60
Возможность утилизации	0,074	5	0,37
Воздействие на ОС	0,086	8	0,69
		$Q_6 =$	7,19



Результаты ранжирования кластеров, оценка их значимости и результаты расчета КПЭБ представлены в табл. 9.

Таблица 9. Определение КПЭБ

№ п/п	Кластеры	α_i	Интегральная балльная оценка кластера Q_i	Относительная значимость кластера с учетом остальных, $\alpha_i \cdot Q_i$
1	Внешняя среда обитания	0,08	8,16	0,65
2	Придомовая территория	0,06	7,37	0,44
3	Архитектурно-строительные аспекты	0,19	6,84	1,30
4	Системы жизнеобеспечения и энергоэффективность	0,22	5,91	1,30
5	Внутренний комфорт	0,25	7,29	1,82
6	Долговечность и утилизация	0,19	7,19	1,37
			КПЭБ =	6,88

Величина КПЭБ жилого комплекса «Царицыно» составляет 6,88, что соответствует классу В экологической безопасности: «комфортная среда обитания».

Вывод

Разработанная методика позволяет количественно оценить уровень экологической безопасности проектируемых жилых зданий, ранжировать здания по классам экологической безопасности по величине комплексного показателя экологической безопасности. Используя разработанную методику представляется возможным спланировать и осуществить комплекс мер, направленных на повышение качества и устойчивости жилой среды и реализовать тем самым право граждан на экологичное и комфортное жилище.

Литература

1. Lützkendorf, T. (2017). Assessing the environmental performance of buildings: trends, lessons and tensions *Environmental Performance of Buildings*. Forthcoming special issue: Festschrift for Ray Cole pp.1–21.
2. Malmqvist, T., Glaumann, M. (2006). Selecting problem-related environmental indicators for housing management. *Building Research & Information* Vol. 34, Issue 4: *Building Environmental Assessment: Changing the Culture of Practice*, pp. 321–333.
3. Vakili-Ardebili, A., Boussabaine, A. H. (2010). Ecological Building Design Determinants. *Architectural*

Engineering and Design Management, Vol. 6, Issue 2, pp. 111–131

4. Brejnrod, K. N., Kalbar, P., Petersen, S., Birkved, M. (2017). The absolute environmental performance of buildings, Vol.119, pp. 87–98.
5. Kim, J., Hong, T., Jeong, J., Koob, C., Kong, M. (2017). An integrated psychological response score of the occupants based on their activities and the indoor environmental quality condition changes. *Building and Environment*, Vol. 123, pp. 66–77
6. Dias, W. P. S., Chandratilake, S. R., Ofori, G. Dependencies among environmental performance indicators for buildings and their implications. *Building and Environment*, Vol. 123, pp. 101–108
7. Haapio, A., Viitaniemi, P. (2008). Environmental effect of structural solutions and building materials to a building. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 28, Issue 8, pp. 587–600.
8. (2011). Проект Технического регламента ЕАЭС «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий», 50 с.
9. Госстандарт РФ (2002). ГОСТ Р ИСО 14043-2001. *Управление окружающей средой. Оценка жизненного цикла*.
10. Смирнов, Е. Б. (1997). *Воспроизводство жилищного фонда крупного города в условиях формирования экономических отношений рыночного типа*. СПб.: СПбГИЭА, 147 с.
11. ГОСТ Р 54964–2012. *Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости*. М.: Стандартинформ.
12. Плотникова, В. В. *Экологическая безопасность и контроль качества окружающей среды в строительстве и стройиндустрии в соответствии с международными стандартами ИСО-14000*. М., 2001.
13. СТОБДП-3-94. Стандарт научно-технического общества бумажной и деревообрабатывающей промышленности. «Здания малоэтажные жилые. Общие требования обеспечения экологической безопасности»
14. Правительство РФ (1995). Федеральный закон №174-ФЗ 23.11.1995 «Об экологической экспертизе».
15. Смирнов, Е. Б., Дацюк, Т. А., Пинкевич, И. К. (2013). Методика комплексной оценки экологической безопасности проектируемых жилых зданий. *Вестник гражданских инженеров*, № 5 (40), С. 219–226
16. Министерство регионального развития Российской Федерации (2010). *Критерии и нормативно-правовая документация системы добровольной экологической сертификации объектов недвижимости «Зеленые стандарты»*. Доступно по ссылке: <http://www.mnr.gov.ru/greenstandards/detail.php?ID=11185>.
17. (2007). *Методическое пособие по разработке решений по экологической безопасности строительства в составе ПОС и ППР*. М.: ПКТИпромстрой
18. Блюмберг, В. А., Глушенко В. Ф. (1982). *Метод расстановки приоритетов*. Л., 160 с.
19. Орлов, А. И. (2002). *Экспертные оценки*. М., 567 с.
20. Tretiakova, O. (2017). Calculation of Tangential Frost Heave Stresses Based on Physical, Mechanical and Stress-Strain Behavior of Frozen Soil. *Architecture and Engineering*, 2(3), pp. 43–51.

Referenses

1. Lützkendorf, T. (2017). Assessing the environmental performance of buildings: trends, lessons and tensions *Environmental Performance of Buildings*. Forthcoming special issue: Festschrift for Ray Cole, P. 1–21.
2. Malmqvist, T., Glaumann, M. (2006). Selecting problem-related environmental indicators for housing management. *Building Research & Information* Vol. 34, Issue 4: Building Environmental Assessment: Changing the Culture of Practice Pages 321–333.



3. Vakili-Ardebili, A., Boussabaine, A. H. (2010). Ecological Building Design Determinants. *Architectural Engineering and Design Management* Vol. 6, Issue 2, P.111–131
4. Brejnrod, K. N., Kalbar, P., Petersen, S., Birkved, M. (2017). The absolute environmental performance of buildings, Vol.119, P. 87–98.
5. Kim, J., Hong, T., Jeong, J., Koob, C., Kong, M. (2017). An integrated psychological response score of the occupants based on their activities and the indoor environmental quality condition changes. *Building and Environment*, Vol. 123, P. 66–77
6. Dias, W. P. S., Chandratilake, S. R., Ofori, G. Dependencies among environmental performance indicators for buildings and their implications. *Building and Environment*, Vol. 123, P. 101–108
7. Haapio, A., Viitaniemi, P. (2008). Environmental effect of structural solutions and building materials to a building. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 28, Issue 8, P. 587–600.
8. Draft of the Technical Regulations of the EAEC “On the Safety of Buildings and Structures, Building Materials and Products”
9. GOST R ISO 14043-2001 Environmental management. Life cycle assessment. Gosstandart of the Russian Federation. M. 2002
10. Smirnov, E. B. (1997). Vosproizvodstvo zhilishchnogo fonda krupnogo goroda v usloviyah formirovaniya ehkonomicheskij otnoshenij rynochnogo tipa [Reproduction of the housing stock of a large city in the conditions of formation of economic relations of market type]. SPb.: SPbGIEHA, 147 s.
11. GOST R 54964-2012. Conformity assessment. Environmental requirements for real estate. - Moscow: Standartinform 2012.
12. Plotnikova, V. V. EHkologicheskaya bezopasnost' i kontrol' kachestva okruzhayushchej sredy v stroitel'stve i strojindustrii v sootvetstvii s mezhdunarodnymi standartami ISO-14000 [Ecological safety and environmental quality control in construction and construction industry in accordance with international standards ISO-14000]. M., 2001
13. STO BDP-3-94. Standard of scientific and technical society of paper and woodworking industry. “The buildings are low-rise residential. General requirements for environmental safety “
14. Federal Law of the Russian Federation. On the ecological examination. Adopted by the State Duma on July 19, 1995. Approved by the Federation Council on November 15, 1995.
15. Smirnov E.B., Datciuk TA, Pinkevich I.K. Methodology for a comprehensive assessment of the environmental safety of the projected residential buildings // Herald of Civil Engineers. - 2013. - No. 5 (40) - p.219-226
16. Criteria and regulatory documents of the system of voluntary environmental certification of real estate “Green Standards” / Ministry of Regional Development 2010. URL: <http://www.mnr.gov.ru/greenstandarts/detail.php?ID=11185>.
17. Methodological guide on the development of solutions for the environmental safety of construction in the PIC and PPR. - Moscow: PKT|promstroy, 2007.
18. Blyumberg, VA The method of prioritization / VA Blumberg, VF Glushenko. - L., 1982.
19. Orlov, AI Expert assessments: Textbook. allowance / AI Orlov. - M., 2002.
20. Tretyakova, O. (2017). Calculation of Tangential Frost Heave Stresses Based on Physical, Mechanical and Stress-Strain Behavior of Frozen Soil. *Architecture and Engineering*, 2(3), pp. 43–51