

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 2 / 2023, Vol. 15, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/36SAVN223.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Стрельцов, С. В. Модернизация требований систем экологической сертификации к строительству зеленых зданий при помощи методики ранговой корреляции Спирмена / С. В. Стрельцов, И. В. Бреславцева, О. С. Толмачёва // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/36SAVN223.pdf>

For citation:

Streltsov S.V., Breslavtseva I.V., Tolmacheva O.S. Modernization of environmental protection systems requirements certification for the construction of green buildings through the use of Spearman's rank correlation technique. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2): 36SAVN223. Available at: <https://esj.today/PDF/36SAVN223.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 69.05:504.06:519.23

Стрельцов Сергей Владимирович

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»
Шахтинский автодорожный институт (филиал), Шахты, Россия
Доцент кафедры «Проектирование и строительство автомобильных дорог»
Кандидат технических наук
E-mail: streltsov_s@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4989-4327>
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=808690
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/N-5786-2016>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57270544400>

Бреславцева Ирина Валентиновна

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»
Шахтинский автодорожный институт (филиал), Шахты, Россия
Доцент кафедры «Фундаментальные инженерные дисциплины»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ibreslavtseva@bk.ru
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=620029

Толмачёва Олеся Сергеевна

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»
Шахтинский автодорожный институт (филиал), Шахты, Россия
E-mail: o.tolmachewa2011@yandex.ru

Модернизация требований систем экологической сертификации к строительству зеленых зданий при помощи методики ранговой корреляции Спирмена

Аннотация. Здания и инфраструктура являются ключом к развитию любого города, региона или страны. Из-за огромного потребления ресурсов и энергии их устойчивость и экологичность часто подвергаются критике. В статье рассматривается актуальная проблема снижения негативного воздействия строительной отрасли на окружающую среду, которая решается посредством совершенствования требований систем экологической сертификации. При строительстве «зелёных» зданий учитываются стандарты экологической сертификации, но каждый отдельно взятый стандарт не включает в себя достаточное количество значимых требований. Поэтому необходимо определить первостепенные требования, отвечающие всем потребностям в строительной отрасли и создать на их основе новый стандарт.

Целью исследования является выявление наиболее значимых требований, предъявляемых к усовершенствованному «зеленому» стандарту для соблюдения принципов экологического строительства. Авторами были произведены расчёты группового мнения и вектора компетентности экспертной группы с помощью метода ранговой корреляции Спирмена, и выявлены наиболее значимые требования к стандартам экологической сертификации. В результате исследования сделан вывод, что стандарт LEED наиболее полно учитывает требования экспертной группы к зелёному строительству, может являться основой для усовершенствованного стандарта «зеленого» строительства.

Ключевые слова: «зеленое» строительство; ранговая корреляция Спирмена; методы оценки; жизненный цикл здания; экологическая сертификация

Введение

Здания оказывают значительное прямое и косвенное воздействие на окружающую среду. Во время строительства, эксплуатации, реконструкции и сноса здания используют энергию, воду и сырье, производят отходы и выделяют потенциально вредные выбросы в атмосферу. Эти причины привели к созданию стандартов, сертификатов и рейтинговых систем «зеленого» строительства, направленных на смягчение воздействия зданий на природную среду за счет устойчивого проектирования.

Главные цели «зеленого» строительства заключаются в снижении экологического воздействия застроенной среды при одновременном повышении качества жизни жителей зданий. Развитие «зеленого» строительства стимулирует строить здания, которые уменьшают это воздействие на окружающую среду за счет более качественных конструкций зданий (например, меньшего количества строительных отходов), грамотной эксплуатации и обслуживания зданий (например, экономия воды и энергии, лучшее качество воздуха в помещениях) и переработки строительных конструкций в конце срока службы здания.

Объектом исследования в данной статье выступают рейтинговые системы сертификации зданий по принципам «зеленого» строительства.

Было проведено исследование «зеленых» стандартов (LEED, BREEAM, DGNB, HQE и CAP-СПЗС) и требований, предъявляемых к ним. Проанализировав действующие «зеленые» стандарты, был сделан вывод, что ряд стандартов содержат в себе одинаковые требования, в частности, требования к сохранению энергии, качеству атмосферы, материалам и ресурсам здания. Однако существуют довольно важные требования, которые существуют только в одном из стандартов. Например, требование к инновациям при строительстве реализуется только в стандарте LEED, экономической устойчивости — в DGNB и т. д. Таким образом, при строительстве здания нельзя ограничиваться требованиями одного из приведенных выше стандартов.

Предметом исследования является определение требований к строительству зданий, позволяющих соблюдать принципы «зеленого» строительства.

Цель работы — выявить наиболее значимые требования к «зеленым» зданиям для дальнейшего включения их в усовершенствованный «зеленый» стандарт, учитывающий потребности заказчика, инвестора, застройщика и других лиц, задействованных в строительном процессе.

Задачи состоят в следующем:

- проанализировать требования, предъявляемые к «зеленым» стандартам: LEED, BREEAM, DGNB, HQE и CAP-СПЗС;

- подобрать смешанную экспертную группу для оценки значимости требований существующих систем экологической сертификации;
- при помощи метода обработки групповых мнений и принятия коллективных решений выявить группу наиболее значимых требований, отвечающих принципам «зеленого» строительства;
- определить компетентность экспертной группы.

Методика исследования

Для решения поставленной задачи воспользуемся методом обработки групповых мнений и принятия коллективных решений. Корреляционной связью называют важнейший частный случай статистической связи, состоящий в том, что разным значениям одной переменной соответствуют различные средние значения другой. При экспертных оценках можно проранжировать оценки различных экспертов и найти корреляции друг с другом, чтобы затем исключить из рассмотрения оценки эксперта, слабо коррелированные с оценками других экспертов.

Методы обработки групповых мнений и принятия коллективных решений (МПКР) есть общее определение для разнообразных методов построения некоторого коллективного мнения по совокупности индивидуальных мнений (или предположений). Результатом экспертизы является так называемая совокупность групповых предпочтений.

Для решения задачи оценки значимости сгруппированных требований воспользуемся методом обработки групповых мнений и принятия коллективных решений — методом ранговой корреляции Спирмена¹.

Корреляция — это статистическая мера, определяющая, насколько сильно колеблются две переменные. В данном исследовании использована ранговая корреляция Спирмена.

Ранговая корреляция Спирмена измеряет силу и направление связи между двумя ранжированными переменными. По сути, он дает меру монотонности отношения между двумя переменными, то есть насколько хорошо отношение между двумя переменными может быть представлено с помощью монотонной функции [1]².

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования были проанализированы требования к качеству помещений и оценка устойчивости зданий за рубежом [2–6], а также рейтинговые системы экологического строительства в Европе [7–8]. Были рассмотрены особенности «зеленых» стандартов в России [9–13]. Исследован отечественный опыт применения стандартов экологической сертификации на стадии проектирования зданий [14–18]. Таким образом, были выявлены группы требований, которые приведены в таблице 1.

¹ Spearman's Rank Correlation: The Definitive Guide To Understand [Электронный ресурс]. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/statistics-tutorial/spearman's-rank-correlation> (дата обращения: 01.12.2022).

² Green Building Standards and Certification Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems> (дата обращения: 01.12.2022).

Таблица 1

Результат группировки требований «зеленых» стандартов

№ п.п.	Группа требований	Значение	Стандарт
1	2	3	4
1	Расположение	Требование отвечает за сохранение земли и поощрение развития в районах с существующей инфраструктурой	LEED BREEAM DGNB
2	Транспорт	Требование, которое предусматривает уменьшение нагрузки на окружающую среду путем стимулирования отказа от автотранспорта и замены его ходьбой, ездой на велосипедах и общественном транспорте. Для реализации предлагается ограничение парковки, устройство мест хранения велосипедов, использование корпоративного транспорта	LEED BREEAM DGNB
3	Экологически-устойчивые объекты	Требование, регламентирующее минимальное воздействие на природную среду при строительстве, эксплуатации и утилизации здания	LEED DGNB HQE CAP-СПЗС
4	Эффективность использования воды	Требование, заключающееся в сокращении использования воды внутри помещений, сокращении использования воды на открытом воздухе, а также учете воды	LEED BREEAM CAP-СПЗС
5	Энергия и атмосфера	Требование, отвечающее за оптимизацию энергоэффективности и снижение выбросов парниковых газов зданиями в окружающую среду	LEED BREEAM DGNB HQE CAP-СПЗС
6	Рациональное использование строительных материалов и ресурсов	Требование для обеспечения минимального уровня воздействия на природную среду	LEED BREEAM DGNB CAP-СПЗС
7	Внутренняя среда (здоровье и благополучие)	Требование, обеспечивающее качество помещений, качество воздуха, качество воды, акустический комфорт, визуальный комфорт, обонятельный комфорт	LEED BREEAM HQE CAP-СПЗС
8	Требование к проектной группе	Необходимо наличие минимум одного участника проектной группы, который должен быть аккредитованным специалистом в области данного зеленого стандарта	LEED
9	Региональный приоритет	Требование, которое отвечает за решение географически конкретных экологических проблем	LEED
10	Экологическое качество	Требование, предусматривающее оптимизацию экологических характеристик материалов, использование материалов из экологически чистых источников	DGNB HQE CAP-СПЗС
11	Утилизация отходов	Предусматривает полную ликвидацию или повторное использование отходов	BREEAM CAP-СПЗС
12	Экономическое качество	Требование, которое соблюдает минимальные затраты в течение жизненного цикла и стабильность ценности объекта	DGNB
13	Процедурное качество	Требование, регламентирующее контроль качества выполнения работ	DGNB
14	Загрязнение	Требование, обеспечивающее предотвращение загрязнения путем мониторинга и контроля загрязнения, связанного с эксплуатацией здания	BREEAM
15	Инновации	Использование инновационных решений при проектировании, строительстве и эксплуатации здания	LEED

Составлено авторами, основываясь на [9; 12]

В качестве исследуемых факторов примем требования к «зелёным» стандартам. Перед экспертной группой стояла задача проранжировать их по убыванию важности, присваивая им числа 1, 2, ... i, ... n. В число экспертной группы вошли: профессорско-преподавательский состав, студенты строительных вузов, научные сотрудники, специалисты в области строительства, экологии, охраны труда и техноферной безопасности. В результате получили исходные данные для дальнейшего исследования, приведенные в таблице 2.

Таблица 2
Результат экспертной оценки групп требований к «зеленым» стандартам

№ п.п.	Название требования	Экспертная группа														
		Э1	Э2	Э3	Э4	Э5	Э6	Э7	Э8	Э9	Э10	Э11	Э12	Э13	Э14	Э15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Расположение	2	1	5	5	11	5	4	10	11	14	6	4	2	1	8
2	Транспорт	12	7	2	7	4	4	7	1	5	6	4	15	11	12	4
3	Экологически-устойчивые объекты	13	11	13	8	6	12	15	9	10	15	7	8	10	2	5
4	Эффективность использования воды	4	6	6	6	1	6	14	7	4	5	9	14	6	11	6
5	Энергия и атмосфера	6	13	7	15	5	3	3	3	13	13	10	13	9	15	15
6	Рациональное использование строительных материалов и ресурсов	7	5	14	12	14	7	2	2	12	12	12	7	8	3	7
7	Внутренняя среда (здоровье и благополучие)	10	4	4	9	13	15	11	11	9	8	5	6	1	8	12
8	Требование к проектной группе	1	2	1	11	2	10	1	12	1	4	3	2	3	4	1
9	Региональный приоритет	3	3	12	10	12	2	12	4	7	11	13	1	4	5	2
10	Экологическое качество	15	14	11	1	15	11	8	5	15	3	15	12	5	9	3
11	Утилизация отходов	11	15	8	2	10	9	9	6	6	10	8	11	12	14	10
12	Экономическое качество	14	8	3	13	3	1	10	8	2	2	2	3	14	7	14
13	Процедурное качество	8	9	10	14	8	14	6	12	3	9	14	10	7	6	9
14	Загрязнение	9	12	9	3	9	13	13	13	14	7	11	9	15	10	11
15	Инновации	5	10	15	4	7	8	5	14	8	1	1	5	13	13	13

Составлено авторами на основе данных опроса экспертной группы

По результатам опроса экспертной группы сформирована матрица R, которая является исходной для математического моделирования.

Построим матрицу преобразованных рангов:

$$R' = \|R'_{ij}\|, \quad (1)$$

где R'_{ij} — элементы данной матрицы, вычисляются по следующему правилу:

$$R'_{ij} = n - R_{ij}, \quad (2)$$

где $R'_{ij} \in [0, n - 1]$, поскольку $R_{ij} \in [1, n]$; n — количество исследуемых факторов.

$$R'_{ij} = \begin{matrix} \begin{matrix} 13 & 14 & 10 & 10 & 4 & 10 & 11 & 5 & 4 & 1 & 9 & 11 & 13 & 14 & 7 \\ 3 & 8 & 13 & 8 & 11 & 11 & 8 & 14 & 10 & 9 & 11 & 0 & 4 & 3 & 11 \\ 2 & 4 & 2 & 7 & 9 & 3 & 0 & 6 & 5 & 0 & 8 & 7 & 5 & 13 & 10 \\ 11 & 9 & 9 & 9 & 14 & 9 & 1 & 8 & 11 & 10 & 6 & 1 & 9 & 4 & 9 \\ 9 & 2 & 8 & 0 & 10 & 12 & 12 & 12 & 2 & 2 & 5 & 2 & 6 & 0 & 0 \\ 8 & 10 & 1 & 3 & 1 & 8 & 13 & 13 & 3 & 3 & 3 & 8 & 7 & 12 & 8 \\ 5 & 11 & 11 & 6 & 2 & 0 & 4 & 4 & 6 & 7 & 10 & 9 & 14 & 7 & 3 \\ 14 & 13 & 14 & 4 & 13 & 5 & 14 & 3 & 14 & 11 & 12 & 13 & 12 & 11 & 14 \\ 12 & 12 & 3 & 5 & 3 & 13 & 3 & 11 & 8 & 4 & 2 & 14 & 11 & 10 & 13 \\ 0 & 1 & 4 & 14 & 0 & 4 & 7 & 10 & 0 & 12 & 0 & 3 & 10 & 6 & 12 \\ 4 & 0 & 7 & 13 & 5 & 6 & 6 & 9 & 9 & 5 & 7 & 4 & 3 & 1 & 5 \\ 1 & 7 & 12 & 2 & 12 & 14 & 5 & 7 & 13 & 13 & 13 & 12 & 1 & 8 & 1 \\ 7 & 6 & 5 & 1 & 7 & 1 & 9 & 3 & 12 & 6 & 1 & 5 & 8 & 9 & 6 \\ 6 & 3 & 6 & 12 & 6 & 2 & 2 & 2 & 1 & 8 & 4 & 6 & 0 & 5 & 4 \\ 10 & 5 & 0 & 11 & 8 & 7 & 10 & 1 & 7 & 14 & 14 & 10 & 2 & 2 & 2 \end{matrix} \end{matrix}$$

Построим матрицу нормированных весов:

$$X = \|x_{ij}\|, \tag{3}$$

где x_{ij} — веса, приписанные j -м экспертом всем n факторам. Определяется по следующей формуле:

$$x_{ij} = \frac{R'_{ij}}{\sum R'_{ij}} = \frac{R'_{ij}}{\frac{n(n-1)}{2}}. \tag{4}$$

$$X = \begin{matrix} \begin{matrix} 0,12381 & 0,133333 & 0,095238 & 0,095238 & 0,038095 & 0,095238 & 0,104762 & 0,047619 & 0,038095 & 0,009524 & 0,085714 & 0,104762 & 0,12381 & 0,133333 & 0,066667 \\ 0,028571 & 0,07619 & 0,12381 & 0,07619 & 0,104762 & 0,104762 & 0,07619 & 0,133333 & 0,095238 & 0,085714 & 0,104762 & 0 & 0,038095 & 0,028571 & 0,104762 \\ 0,019048 & 0,038095 & 0,019048 & 0,066667 & 0,085714 & 0,028571 & 0 & 0,057143 & 0,047619 & 0 & 0,07619 & 0,066667 & 0,047619 & 0,12381 & 0,095238 \\ 0,104762 & 0,085714 & 0,085714 & 0,085714 & 0,133333 & 0,085714 & 0,009524 & 0,07619 & 0,104762 & 0,095238 & 0,057143 & 0,009524 & 0,085714 & 0,038095 & 0,085714 \\ 0,085714 & 0,019048 & 0,07619 & 0 & 0,095238 & 0,114286 & 0,114286 & 0,114286 & 0,019048 & 0,019048 & 0,047619 & 0,019048 & 0,057143 & 0 & 0 \\ 0,07619 & 0,095238 & 0,009524 & 0,028571 & 0,009524 & 0,07619 & 0,12381 & 0,12381 & 0,028571 & 0,028571 & 0,028571 & 0,07619 & 0,066667 & 0,114286 & 0,07619 \\ 0,047619 & 0,104762 & 0,104762 & 0,057143 & 0,019048 & 0 & 0,038095 & 0,038095 & 0,057143 & 0,066667 & 0,095238 & 0,085714 & 0,133333 & 0,066667 & 0,028571 \\ 0,133333 & 0,12381 & 0,133333 & 0,038095 & 0,12381 & 0,047619 & 0,133333 & 0,028571 & 0,133333 & 0,104762 & 0,114286 & 0,12381 & 0,114286 & 0,104762 & 0,133333 \\ 0,114286 & 0,114286 & 0,028571 & 0,047619 & 0,028571 & 0,12381 & 0,028571 & 0,104762 & 0,07619 & 0,038095 & 0,019048 & 0,133333 & 0,104762 & 0,095238 & 0,12381 \\ 0 & 0,009524 & 0,038095 & 0,133333 & 0 & 0,038095 & 0,066667 & 0,095238 & 0 & 0,114286 & 0 & 0,028571 & 0,095238 & 0,057143 & 0,114286 \\ 0,038095 & 0 & 0,066667 & 0,12381 & 0,047619 & 0,057143 & 0,057143 & 0,085714 & 0,085714 & 0,047619 & 0,066667 & 0,038095 & 0,028571 & 0,009524 & 0,047619 \\ 0,009524 & 0,066667 & 0,114286 & 0,019048 & 0,114286 & 0,133333 & 0,047619 & 0,066667 & 0,12381 & 0,12381 & 0,12381 & 0,114286 & 0,009524 & 0,07619 & 0,009524 \\ 0,066667 & 0,057143 & 0,047619 & 0,009524 & 0,066667 & 0,009524 & 0,085714 & 0,028571 & 0,114286 & 0,057143 & 0,009524 & 0,047619 & 0,07619 & 0,085714 & 0,057143 \\ 0,057143 & 0,028571 & 0,057143 & 0,114286 & 0,057143 & 0,019048 & 0,019048 & 0,019048 & 0,009524 & 0,07619 & 0,038095 & 0,057143 & 0 & 0,047619 & 0,038095 \\ 0,095238 & 0,047619 & 0 & 0,104762 & 0,07619 & 0,066667 & 0,095238 & 0,009524 & 0,066667 & 0,133333 & 0,133333 & 0,095238 & 0,019048 & 0,019048 & 0,019048 \end{matrix} \end{matrix}$$

Построим вектор столбец:

$$W^{(0)} = \|w_j\|, \tag{5}$$

где w_j — элементы вектора столбца. Определяется по формуле:

$$w_j = \frac{1}{m} \sum_j x_{ij}, \tag{6}$$

где m — число экспертов.

$$W^{(0)} = \begin{matrix} \begin{matrix} 0,086349 \\ 0,07873 \\ 0,051429 \\ 0,07619 \\ 0,052063 \\ 0,064127 \\ 0,062857 \\ 0,106032 \\ 0,07873 \\ 0,052698 \\ 0,053333 \\ 0,076825 \\ 0,054603 \\ 0,04254 \\ 0,065397 \end{matrix} \end{matrix}$$

Найдем вектор группового мнения с учетом компетентности экспертов, при условии, что изначально все эксперты имеют равную компетентность по формуле:

$$K^{(0)} = \begin{pmatrix} K_1 \\ \dots \\ K_n \end{pmatrix}, \sum K_j = 1, \quad (7)$$

где $K_1 \dots K_n$ — коэффициенты компетентности эксперта.

$$K^{(0)} = \begin{matrix} 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \\ 0,066667 \end{matrix}$$

Тогда вектор столбец примет вид $W^{(1)} = X \cdot K^{(0)}$ и отразит групповое мнение с учетом компетентности экспертов.

$$W^{(1)} = \begin{matrix} 0,086349 \\ 0,07873 \\ 0,051429 \\ 0,07619 \\ 0,052063 \\ 0,064127 \\ 0,062857 \\ 0,106032 \\ 0,07873 \\ 0,052698 \\ 0,053333 \\ 0,076825 \\ 0,054603 \\ 0,04254 \\ 0,065397 \end{matrix}$$

Найдем уточненный вектор компетентности экспертов:

$$Q^{(1)} = X^T \cdot W^{(1)}, \quad (8)$$

где X^T — транспонированная матрица.

$$Q^{(1)} = \begin{matrix} 0,072441 \\ 0,074884 \\ 0,072405 \\ 0,06472 \\ 0,070621 \\ 0,071093 \\ 0,070379 \\ 0,06862 \\ 0,072859 \\ 0,069104 \\ 0,071764 \\ 0,071667 \\ 0,071347 \\ 0,070482 \\ 0,07128 \end{matrix}$$

При этом сумма всех элементов составит: $\sum q_j^{(1)} = 1,063667$.

Процесс расчета вектора компетентности будем повторять пока значения векторов соседних итераций будут мало изменяться. Найдем новый вектор компетентности по формуле:

$$K_j^{(1)} = \frac{q_j^{(1)}}{\sum q_j^{(1)}}, \quad (9)$$

0,068105
0,070402
0,068071
0,060846
0,066394
0,066838
0,066167
0,064512
0,068498
0,064967
0,067469
0,067378
0,067076
0,066263
0,067014

Определим результирующий вектор группового мнения: $W^{(2)} = X \cdot K^{(1)}$.

0,086673
0,078603
0,051294
0,076224
0,052133
0,06421
0,063192
0,106794
0,07909
0,051661
0,052726
0,077135
0,054973
0,042034
0,065101

Найдем уточненный вектор компетентности экспертов:

$$Q^{(2)} = X^T \cdot W^{(2)}. \quad (10)$$

0,07260
0,07510
0,07252
0,06451
0,07071
0,07115
0,07045
0,06857
0,07301
0,06905
0,07184
0,07181
0,07147
0,07061
0,07129

При этом сумма всех элементов составит: $\sum q_j^{(2)} = 1,064699$.

Найдем новый вектор компетентности по формуле:

$$K_j^{(2)} = \frac{q_j^{(2)}}{\sum q_j^{(2)}} \quad (11)$$

$K_j^{(2)} =$	0,06819
	0,07054
	0,06811
	0,06059
	0,06641
	0,06682
	0,06617
	0,06440
	0,06858
	0,06486
	0,06748
	0,06745
	0,06712
	0,06632
	0,06696

Отклонение значений вектора компетентности в нулевой, первой и второй итерации можно считать незначительными. Следовательно, группа экспертов обладает одинаковой достаточной компетентностью.

Определим результирующий вектор группового мнения: $W^{(3)} = X \cdot K^{(2)}$.

$W^{(3)} =$	0,08669
	0,07858
	0,05129
	0,07622
	0,05214
	0,06422
	0,06321
	0,10683
	0,07911
	0,05161
	0,05269
	0,07715
	0,05500
	0,04201
	0,06509

Теперь можно проранжировать полученные результаты. В результате меньший вес будет соответствовать первому по значимости фактору и наоборот — менее значимый фактор получит больший вес. Таким образом, получим таблицу 3, где в 1-ом столбце r — показатель значимости, во 2-ом столбце название факторов, в 3-м столбце полученное значение показателя W .

Таким образом, получим ранжированную таблицу факторов. Эти факторы будут являться искомыми данными — требованиями к усовершенствованному стандарту, направленными на минимальное потребление невозобновляемых источников энергии и оптимальное использование экологически чистых материалов, ресурсов и методов.

В качестве анализа полученного результата найдём значение коэффициента конкордации (Кенделла) W , которое должно находиться в пределах $[0; 1]$.

$$W = v(m, n) \cdot s = \frac{12}{m^2 \times (n^3 - n)} \cdot \sum (R_i - \bar{R})^2, \quad (12)$$

где v — функция, определяемая числом экспертов и исследуемых факторов; s — сумма квадратов рангов; R_i — сумма рангов i -ой строки матрицы; $\bar{R} \ll$ — оценка математического ожидания.

Таблица 3

Результаты расчетов

г	Название требования	Значение показателя W
1	2	3
1	Загрязнение	0,042011747
2	Экологически-устойчивые объекты	0,051292849
3	Энергия и атмосфера	0,052137581
4	Экологическое качество	0,051610298
5	Утилизация отходов	0,052694841
6	Процедурное качество	0,0549957
7	Внутренняя среда (здоровье и благополучие)	0,063208168
8	Рациональное использование строительных материалов и ресурсов	0,064218401
9	Инновации	0,065087927
10	Эффективность использования воды	0,076219366
11	Экономическое качество	0,077147755
12	Региональный приоритет	0,079106515
13	Транспорт	0,078584568
14	Расположение	0,086694756
15	Требование к проектной группе	0,106829658

Составлено авторами

В результате получаем значение коэффициента конкордации (Кенделла) $W = 0,157$. Так как полученное значение находится в заданных пределах $[0; 1]$, то на этом основании считаем полученные выше результаты удовлетворительными, что указывает на тесноту корреляционной связи между групповым усредненным решением и решениями каждого эксперта. Кроме того, данное решение является правдоподобным с вероятностью 0,95, на что указывает значимость значения коэффициента конкордации по критерию χ^2 (при уровне значимости 0,05).

Выводы

1. Получена ранговая зависимость исследуемых факторов, которая позволяет определить наиболее значимые требования к «зеленым» стандартам. Полученные результаты расчетов нулевого, первого, второго и третьего вектора столбца группового мнения имеют незначительные отличия, в связи с чем, показатели рангов сохраняют свое положение и могут считаться верными.

2. Согласно полученным результатам, наиболее важными требованиями при строительстве «зеленых» зданий, исходя из мнения экспертной группы, являются требования к экологической устойчивости объектов строительства, внутренней среде помещений, рациональному использованию энергии и снижению выбросов парниковых газов зданиями. Из представленных в настоящее время стандартов LEED наиболее полно учитывает вышеназванные требования и, тем самым, может являться основой для нового стандарта экологической сертификации. Однако в данном стандарте отсутствует ряд важных требований, таких как мониторинг загрязнений при эксплуатации здания, использование материалов из экологически чистых источников, повторное использование отходов, регламентные процедуры по контролю качества строительных работ и прочее.

Таким образом, учитывая дополнительные требования к системе экологической сертификации LEED, можно разработать усовершенствованный стандарт, который будет отвечать запросам всех участников строительного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cole, L.B. Green building literacy: a framework for advancing green building education. // IJ STEM Ed. 2019. Vol 6. Pp. 1–18 doi: 10.1186/s40594-019-0171-6.
2. Wei, G., Yu, X., Fang, L., Wang, Q., Tanaka, T., Amano, K., & Yang, X. A review and comparison of the indoor air quality requirements in selected building standards and certifications // Building and Environment. 2022. Vol. 226. Pp. 1–13. doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109709.
3. Su, Y., Miao, Z., Wang, L., & Wang, L. Energy consumption and indoor environment evaluation of large irregular commercial green building in dalian, china // Energy and Buildings. 2022. Vol. 276. Pp. 1–15. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112506.
4. Madson, K., Franz, B., Leicht, R., & Nelson, J. Evaluating the sustainability of new construction projects over time by examining the evolution of the LEED rating system // Sustainability (Switzerland). 2022. Vol. 14(22). Pp. 1–22. doi: 10.3390/su142215422.
5. McArthur, J.J., & Powell, C. Health and wellness in commercial buildings: Systematic review of sustainable building rating systems and alignment with contemporary research // Building and Environment. 2020. Vol. 171. Pp. 1–18. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106635.
6. Bitsiou, E., & Giarma, C. Parameters related to building components' life-cycle analysis in methods for buildings' environmental performance assessment // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 410(1). Pp. 1–15. doi: 10.1088/1755-1315/410/1/012066.
7. Cordero, A.S., Melgar, S.G., & Márquez, J.M.A. Green building rating systems and the new framework level(s): A critical review of sustainability certification within Europe // Energies. 2019. Vol. 13(1). Pp. 1–25. doi: 10.3390/en13010066.
8. Zimmermann, R.K., Skjelmose, O., Jensen, K.G., Jensen, K.K., & Birgisdottir, H. Categorizing building certification systems according to the definition of sustainable building // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 471(9). Pp. 1–8. doi: 10.1088/1757-899X/471/9/092060.
9. Meshcheryakova, T. Problems of the development of international standards of "green building" in Russia // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90(1). Pp. 1–8. doi: 10.1088/1755-1315/90/1/012118.
10. Сухинина Е.А. Становление и особенности сертифицирования российских экологических стандартов в строительстве // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 2. С. 96–103. doi: 10.17673/Vestnik.2019.02.13.
11. Бусалова С.Г., Базарнова Е.С. Стандарты "зеленого" финансирования: зарубежный опыт и отечественная практика // Финансы и кредит. 2022. Т. 28. № 10(826). С. 2249–2264. — doi: 10.24891/fc.28.10.2249.

12. Маркова Н.И., Срибный А.А. "Зелёные" стандарты как перспективное направление ресурсосбережения в строительстве // Гуманитарные научные исследования. 2019. № 8(96). С. 1–5.
13. Аверина Т.А., Лесных Н.Ю. Мониторинг внедрения экологических инноваций в строительной сфере в Российской Федерации // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2019. Т. 16. № 10. С. 60–66.
14. Лapidус А.А., Кангезова М.К. Оптимизация процесса обеспечения соответствия объекта стандартам "зеленого" строительства // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2019. № 2(1014). С. 56–57.
15. Жуковская А.Ю., Гераськин Ю.М. Применение зеленых стандартов в России: проблемы и перспективы // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11. № 2. С. 1–8.
16. Осипова, В.Ю., Попова С.В. Технологии и стандарты "зеленого" строительства // Вестник научных конференций. 2020. № 10-4(62). С. 109–111.
17. Сухинина Е.А. Важность оценки жизненного цикла материалов в российских экологических стандартах для зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2022. № 1(86). С. 230–242.
18. Калинина А.В., Петроченко М.В. Комплексный подход к оценке жизненного цикла строительства на стадии проектирования с применением программных комплексов // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12. № 1. С. 88–100. doi: 10.22227/2305-5502.2022.1.7.

Streltsov Sergey Vladimirovich

South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov
Shakhty Road Institute (branch), Shakhty, Russia
E-mail: streltcov_s@rambler.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4989-4327>

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=808690

WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/N-5786-2016>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57270544400>

Breslavtseva Irina Valentinovna

South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov
Shakhty Road Institute (branch), Shakhty, Russia
E-mail: ibreslavtseva@bk.ru

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=620029

Tolmacheva Olesya Sergeevna

South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov
Shakhty Road Institute (branch), Shakhty, Russia
E-mail: o.tolmachewa2011@yandex.ru

Modernization of environmental protection systems requirements certification for the construction of green buildings through the use of Spearman's rank correlation technique

Abstract. Buildings and infrastructure are the key to the development of any city, region or country. Due to the huge consumption of resources and energy, their sustainability and environmental friendliness are often criticized. This article considers the actual problem of reducing the negative impact of the construction industry on the environment, which is supposed to be solved by improving the requirements of environmental certification systems. Environmental certification standards are taken into account during the construction of «green» buildings. However, each individual standard does not include a sufficient amount of significant requirements. Therefore, it is necessary to define the primary requirements that meet all the needs in the construction industry and create a new standard based on them.

The purpose of the study is to identify the most significant requirements for the improved «green» standard for compliance with the principles of ecological construction. The authors calculated the group opinion and the competence vector of the expert group using Spearman's rank correlation method, and identified the most significant requirements for environmental certification standards. As a result of the study, it was concluded that firstly, the LEED standard most fully cover the requirements of the expert group for green construction, and secondly, this standart can be the basis for the improved standard of «green» construction.

Keywords: «green» construction; rank correlation of Spearman; methods of assessment; green building; environmental certification

REFERENCES

1. Cole, L.B. Green building literacy: a framework for advancing green building education. *IJ STEM Ed.* 2019. Vol 6. Pp. 1–18 doi: 10.1186/s40594-019-0171-6.
2. Wei, G., Yu, X., Fang, L., Wang, Q., Tanaka, T., Amano, K., & Yang, X. A review and comparison of the indoor air quality requirements in selected building standards and certifications. *Building and Environment.* 2022. Vol. 226. Pp. 1–13. doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109709.
3. Su, Y., Miao, Z., Wang, L., & Wang, L. Energy consumption and indoor environment evaluation of large irregular commercial green building in dalian, china. *Energy and Buildings.* 2022. Vol. 276. Pp. 1–15. doi: 10.1016/j.enbuild.2022.112506.
4. Madson, K., Franz, B., Leicht, R., & Nelson, J. Evaluating the sustainability of new construction projects over time by examining the evolution of the LEED rating system. *Sustainability (Switzerland).* 2022. Vol. 14(22). Pp. 1–22. doi:10.3390/su142215422.
5. McArthur, J.J., & Powell, C. Health and wellness in commercial buildings: Systematic review of sustainable building rating systems and alignment with contemporary research. *Building and Environment.* 2020. Vol. 171. Pp. 1–18. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106635.
6. Bitsiou, E., & Giarma, C. Parameters related to building components' life-cycle analysis in methods for buildings' environmental performance assessment. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 410(1). Pp. 1–15. doi: 10.1088/1755-1315/410/1/012066.
7. Cordero, A.S., Melgar, S.G., & Márquez, J.M.A. Green building rating systems and the new framework level(s): A critical review of sustainability certification within Europe. *Energies.* 2019. Vol. 13(1). Pp. 1–25. doi: 10.3390/en13010066.
8. Zimmermann, R.K., Skjelmose, O., Jensen, K.G., Jensen, K.K., & Birgisdottir, H. Categorizing building certification systems according to the definition of sustainable building. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 471(9). Pp. 1–8. doi: 10.1088/1757-899X/471/9/092060.
9. Meshcheryakova, T. Problems of the development of international standards of "green building" in Russia. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90(1). Pp. 1–8. doi: 10.1088/1755-1315/90/1/012118.
10. Sukhinina E.A. Formation and features of certification of Russian environmental standards in construction [Stanovlenie i osobennosti sertifikirovaniya rossijskih ekologicheskikh standartov v stroitel'stve]. *Urban development and architecture.* 2019. Vol. 9. No. 2. Pp. 96–103. doi: 10.17673/Vestnik.2019.02.13. (rus).
11. Busalova S.G., Bazarnova E.S. Standards of "green" financing: foreign experience and domestic practice [Standarty "zelenogo" finansirovaniya: zarubezhnyj opyt i otechestvennaya praktika]. *Finance and credit.* 2022. Vol. 28. No. 10(826). Pp. 2249–2264. doi: 10.24891/fc.28.10.2249. (rus).
12. Markova N.I., Sribny A.A. "Green" standards as a promising direction of resource saving in construction ["Zelyonye" standarty kak perspektivnoe napravlenie resursosberezheniya v stroitel'stve]. *Humanitarian scientific research.* 2019. No. 8(96). Pp. 1–5. (rus).

13. Averina T.A., Lesnykh N.Yu. Monitoring the introduction of environmental innovations in the construction sector in the Russian Federation [Monitoring vnedreniya ekologicheskikh innovacij v stroitel'noj sfere v Rossijskoj Federacii]. FES: Finance. Economy. Strategy. 2019. Vol. 16. No. 10. Pp. 60–66. (rus).
14. Lapidus A.A., Kangezova M.K. Optimization of the process of ensuring compliance of the object with the standards of "green" construction [Optimizaciya processa obespecheniya sootvetstviya ob"ekta standartam "zelenogo" stroitel'stva]. BST: Bulletin of construction equipment. 2019. No. 2(1014). Pp. 56–57. (rus).
15. Zhukovskaya A.Yu., Geraskin Yu.M. Application of green standards in Russia: problems and prospects [Primenenie zelenyh standartov v Rossii: problemy i perspektivy]. Bulletin of Eurasian Science. 2019. Vol. 11. No. 2. Pp. 1–8. (rus).
16. Osipova V.Yu., Popova S.V. Technologies and standards of "green" construction [Tekhnologii i standarty "zelenogo" stroitel'stva]. Bulletin of scientific conferences. 2020. No. 10-4(62). Pp. 109–111. (rus).
17. Sukhinina E.A. The importance of assessing the life cycle of materials in Russian environmental standards for buildings [Vazhnost' ocenki zhiznennogo cikla materialov v rossijskih ekologicheskikh standartah dlya zdaniy]. Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture. 2022. No. 1(86). Pp. 230–242. (rus).
18. Kalinina A.V., Petrochenko M.V. An integrated approach to the assessment of the life cycle of construction at the design stage using software complexes [Kompleksnyj podhod k ocenke zhiznennogo cikla stroitel'stva na stadii proektirovaniya s primeneniem programmnyh kompleksov]. Construction: science and education. 2022. Vol. 12. No. 1. Pp. 88–100. doi: 10.22227/2305-5502.2022.1.7. (rus).