

УДК 338.2

DOI 10.26118/2782-4586.2025.12.48.054

Мамедов Самед Самедович

Финансовый университет при Правительстве России

Оценка эффективности «зеленых» мероприятий в жилищном строительстве на основе интегрального коэффициента жизненного цикла (LCA-LCC Index)

Аннотация. Современные требования к экологичности жилых зданий, усиление роли корпоративной отчетности в части отражения «зеленых» инвестиций, а также необходимость повышения прозрачности управленческих решений делают актуальным использование методик, учитывающих экологические и экономические параметры одновременно. Теоретическое основой исследования выступают методы оценки жизненного цикла – LCA (Life Cycle Assessment) и LCC (Life Cycle Lost), позволяющие определить, соответственно, совокупное экологическое воздействие и полные затраты жизненного цикла объекта. На основе анализа их возможностей и ограничений предложен интегральный коэффициент жизненного цикла LCA-LCC Index, представляющий собой авторский методический инструмент, объединяющий экологические и экономические показатели в единую систему оценки. Разработанный коэффициент учитывает суммарные затраты на строительство, эксплуатацию и утилизацию здания, а также экологические эффекты в виде совокупных выбросов парниковых газов за весь жизненный цикл. Методика расчета предусматривает нормирование показателей, установление весовых коэффициентов и возможность адаптации под различные типы жилых проектов. Практическая апробация выполнена на примере типового многоквартирного дома, что позволило продемонстрировать применимость индекса для сравнительной оценки альтернативных «зеленых» решений. Полученные результаты показывают, что применение LCA-LCC Index повышает объективность и обоснованность выбора энергоэффективных и экологически ориентированных мероприятий. Предложенный подход обладает научной новизной, так как системно объединяет экологическую и экономическую компоненты через единый интегральный показатель. Практическая значимость заключается в возможности использования разработанного индекса в корпоративной отчетности девелоперов, при планировании и контроле «зеленых» инвестиций, а также при формировании стратегии устойчивого развития на уровне строительных компаний.

Ключевые слова: зеленые инвестиции; жилищное строительство; строительные компании; жизненный цикл здания; LCA; LCC; энергоэффективность; устойчивое развитие; интегральный коэффициент.

Mamedov Samed Samedovich

Financial University under the Government of Russia

Assessment of the effectiveness of "green" measures in housing construction based on the integral life cycle coefficient (LCA-LCC Index)

Annotation. Modern requirements for the environmental friendliness of residential buildings, the strengthening of the role of corporate reporting in terms of reflecting "green" investments, as well as the need to increase transparency in management decisions make it relevant to use methods that take into account environmental and economic parameters at the same time. The theoretical basis of the study is the methods of life cycle assessment – LCA (Life Cycle Assessment) and LCC (Life Cycle Lost), which determine, respectively, the cumulative environmental impact and the total costs of the object's life cycle. Based on the analysis of their capabilities and limitations, the integral life cycle coefficient LCA-LCC Index is proposed, which is an author's methodological tool that combines environmental and economic indicators into a

single assessment system. The developed coefficient takes into account the total costs of construction, operation and disposal of the building, as well as environmental effects in the form of cumulative greenhouse gas emissions over the entire life cycle. The calculation methodology provides for the normalization of indicators, the establishment of weighting coefficients and the possibility of adaptation to various types of residential projects. The practical approbation was carried out using the example of a typical apartment building, which made it possible to demonstrate the applicability of the index for a comparative assessment of alternative "green" solutions. The results show that the use of the LCA-LCC Index increases the objectivity and validity of the choice of energy-efficient and environmentally oriented measures. The proposed approach has a scientific novelty, as it systematically combines environmental and economic components through a single integral indicator. The practical significance lies in the possibility of using the developed index in corporate reporting of developers, in planning and monitoring "green" investments, as well as in shaping a sustainable development strategy at the level of construction companies.

Key words: green investments; housing construction; construction companies; building life cycle; LCA; LCC; energy efficiency; sustainable development; integral coefficient.

Современное жилищное строительство всё активнее обращается к «зеленым» технологиям – энергоэффективным решениям, возобновляемым источникам энергии, экологичным материалам и т.д. Это вызвано необходимостью сокращения потребления ресурсов и выбросов парниковых газов, а также ростом требования к качеству среды обитания. Для комплексной оценки таких «зеленых» мероприятий важно учитывать не только их начальную стоимость, но и воздействие на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла здания. В этой связи применяются методы LCA (Life Cycle Assessment – оценка жизненного цикла) и LCC (Life Cycle Cost – стоимость жизненного цикла). LCA позволяет измерить совокупное экологическое воздействие объекта от добычи сырья до утилизации [2], а LCC – суммарные затраты на строительство, эксплуатацию и утилизацию [2]. Оценка эффективности «зеленых» мер на основе интегрального показателя LCA-LCC (интегрального коэффициента жизненного цикла) учитывает и экологические, и экономические аспекты, что обеспечивает более взвешенный подход к выбору решений.

Оценка эффективности «зеленых» инвестиций является элементом системы контроля устойчивого развития предприятий девелоперского сектора. Цель оценки – доказуемо связать вложенные средства с экологическим, социальным и финансовым эффектом по всему жизненному циклу жилого объекта (проектирование – строительство – эксплуатация), с возможностью внешней проверки и включения результатов в корпоративную отчётность.

По данным международных исследований, на строительство зданий и их эксплуатацию приходится до 30 % годовых выбросов парниковых газов в мире. Следовательно, реализация строительных проектов должна осуществляться с учётом принципов минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду [1].

Выделяют два основных вида выбросов, возникающих в процессе строительного производства: энергетические, обусловленные использованием топлива и потреблением различных видов энергии, и технологические, связанные с составом применяемого сырья и спецификой протекающих технологических процессов. В связи с этим основной акцент в современной методологии оценки эффективности «зеленых» инвестиций делается на сокращении энергопотребления, повышении энергоэффективности зданий и использовании экологичных материалов.

Наиболее распространёнными концепциями, применяемыми для оценки таких проектов, являются:

- анализ жизненного цикла (Life Cycle Assessment – LCA);
- оценка воздействия на окружающую среду (Environmental Impact Assessment – EIA);

- система экологического и экономического учета (System of Environmental and Economic Accounting – SEEA);
- анализ материального потока (Material Flow Analysis – MFA);
- интеграция методов LCA и калькуляции затрат жизненного цикла (Life Cycle Costing – LCC).

LCA (оценка жизненного цикла) – это методический подход, изучающий все экологические воздействия здания или его компонентов на протяжении всего периода «от колыбели до могилы»[2]. При LCA анализируются такие показатели, как парниковый эффект, потребление энергии и ресурсов, количество отходов и выбросов на этапах добычи сырья, производства материалов, строительства, эксплуатации и утилизации. LCC (стоимость жизненного цикла) – это суммарный учет всех затрат, связанных с объектом на всём его жизненном цикле: покупка и монтаж оборудования, эксплуатационные расходы (энергия, ремонт, обслуживание) и расходы на вывод из эксплуатации или утилизацию[2]. Следовательно, LCA показывает экологическую «стоимость» строительства и эксплуатации, а LCC может привести к неоправданным тратам, а низкая LCC без оценки LCA – к чрезмерным экологическим издержкам. Входные данные для расчёта LCA включают сведения о составе и объёме применяемых материалов, энергопотреблении, водопотреблении, технологических процессах на строительной площадке, а также о геометрических и функциональных характеристиках здания [3]. Систематизация этих параметров представлена в таблице 8.

Таблица 1 - Входные данные для расчёта LCA в строительных проектах

№	Категория данных	Содержание и назначение	Единицы измерения	Источник/особенности учёта
1	Строительные материалы	Основной элемент расчёта LCA: учитываются материалы фундаментов, стен, перекрытий, кровли, окон, дверей, отделки. Оценивается объём, расстояние транспортировки, срок службы, возможность повторного использования.	кг, м ³ , м ²	Базы данных EPD (Environmental Product Declaration) или отраслевые средние показатели. При отсутствии конкретного материала допускается использование аналогов или универсальных данных.
2	Годовое потребление энергии	Отражает энергопотребление здания в процессе эксплуатации: электроэнергия, топливо, тепловая и холодная энергия. Используется для расчёта операционных выбросов CO ₂ .	кВт·ч, МВт·ч, МДж	Энергетические паспорта здания, расчёты энергоэффективности, показания приборов учёта. Выбросы выражаются в кгCO ₂ е/кВт·ч.
3	Годовое потребление воды	Учитывается суммарный объём воды, используемой зданием. Включает	м ³ , кг, т	Расчёт по проектным данным или фактическим показателям эксплуатации. Выбросы

		питьевую, техническую и сточную воду.		рассчитываются по коэффициентам $\text{кгCO}_2\text{e}/\text{м}^3$.
4	Операции на строительной площадке	Включают потребление энергии, топлива и воды при строительстве, образование и транспортировку отходов. Возможен расчёт по сценариям (на ранних стадиях) или по фактическим данным.	кВт·ч, л, кг, м^3	Проектные данные, журналы строительного контроля, транспортные расчёты. Выбросы определяются по удельным показателям на единицу потребления.
5	Пространственные характеристики здания	Включают общую внутреннюю площадь (GIFA), этажность, вместимость, среднее число посетителей, площадь застройки. Используются для нормирования выбросов и расчёта Embodied Carbon Benchmark.	м^2 , чел., ед.	Архитектурно-строительная документация, BIM-модель. Показатель Embodied Carbon выражается в $\text{кгCO}_2\text{e}/\text{м}^2$.
6	Расчёт выбросов углерода (итог)	Итоговое значение суммарных выбросов на всех стадиях жизненного цикла здания (A1–A3, A4–A5, B1–B7, C1–C4). Используется для определения класса углеродной эффективности здания.	$\text{кгCO}_2\text{e}/\text{м}^2$	Классификация Embodied Carbon Benchmark: $<300 \text{ кг}/\text{м}^2$ – класс A; $300\text{--}400 \text{ кг}/\text{м}^2$ – B; $400\text{--}500 \text{ кг}/\text{м}^2$ – C; $500\text{--}600 \text{ кг}/\text{м}^2$ – D; $600\text{--}700 \text{ кг}/\text{м}^2$ – E; $700\text{--}800 \text{ кг}/\text{м}^2$ – F; $>800 \text{ кг}/\text{м}^2$ – G.

Методология LCCA (Life Cycle Cost Analysis) или совокупной стоимости владения дополняет LCA с финансовой точки зрения. Данный подход позволяет оценить совокупные экономические затраты, возникающие на протяжении всего жизненного цикла объекта – от проектирования и строительства до эксплуатации и утилизации. Метод LCCA рассматривает объект не как совокупность разрозненных стадий, а как единый инвестиционный цикл, в котором принимаются во внимание не только первоначальные капитальные вложения, но и последующие эксплуатационные расходы, экономия ресурсов, а также возможные социальные и экологические выгоды [4].

Один из подходов – пересчет углеродного следа (или другого важного экологического индикатора) в денежный эквивалент с помощью цены углерода (углеродного налога). Тогда интегральный показатель может быть вычислен как сумма LCC + (цена_углерода * выбросы_CO2). Альтернативный метод – нормировать оба показателя по шкале и использовать многокритериальную оценку (взвешенную сумму или индекс), где весовые коэффициенты отражают приоритет экономии/экологии. Например:

- Измеряем LCA в тонах CO2 – эквивалента за жизненный цикл здания.

- Определяем LCC, приведя все затраты к текущей стоимости.
- Согласовываем размерности (например, умножаем выбросы CO₂ на социальную стоимость тонны углерода или принимаем нормирующие коэффициенты).

Такой единый индекс позволяет сравнивать альтернативные «зеленые» решения: чем ниже показатель, тем эффективнее мероприятие (меньше суммарные затраты с учетом экологического воздействия). Подобный подход используется в некоторых зарубежных исследованиях, где интегрируют LCA и LCC для выборов строительных технологий.

В мировой практике получили широкое распространение экостандарты и рейтинговые системы, применяемые не только к отдельным зданиям, но и к масштабным проектам территориального развития. Экологические стандарты, применяемые для оценки территорий, так же как и рейтинговые системы для зданий, базируются на нормативно-правовой базе тех государств, в которых они были разработаны и, как правило, представляют собой адаптированные версии существующих систем экологической сертификации (таблица 2) [5].

Таблица 2 - Структура разделов зарубежных и российских экологических стандартов в контексте оценки эффективности «зеленых» инвестиций

Экостандарт / год введения	LEED ND (США, 2007)	CASBEE UD (Япония, 2007)	BREEAM-C (Великобри- тания, 2008)	DGNB UD (Германия, 2011)	GREEN ZOOM-C (Россия, 2018)
1. Ключевой раздел	Умное расположе- ние и привязка участка	Природная среда (микрокли- мат и экосистем- а)	Управление	Качество окружающе- й среды	Рабочая группа и целостный анализ проекта
Доля требований, %	23,66	20,74	10,00	24,42	11,43
2. Пространствен- ная организация и социальное качество	Шаблон окружения и дизайн	Сервисные функции для выделенно- й области	Социальное и экономичес- кое благополуч- ие	Экономичес- кое качество	Водоэффектив- ность
Доля требований, %	30,42	18,30	42,50	8,88	6,35
3. Энергоэффи- ктивность и ресурсы	Зеленая инфрастру- ктура и здания	Вклад в местное сообщество (история, культура, возрожде- ние)	Ресурсы и энергия	Социокуль- турное и функционал- ьное качество	Энергоэффи- ктивность, ресурсосбереж- ение и Smart City
Доля требований, %	35,78	8,54	17,50	24,64	16,51
4. Инновации и качество проектных решений	Инноваци- и	Влияние окружающ- ей среды на микрокли- мат,	Землепользо- вание и экология	Техническо- е качество	Школа горожанина и сообщества

		фасады и ландшафт			
Доля требований, %	3,38	19,52	15,00	22,20	11,43
5. Социальная инфраструктура и городская среда	Региональные объекты	Социальная инфраструктура	Транспорт и движение	Качество процесса	Качество городской среды и BIG DATA
Доля требований, %	6,76	17,08	15,00	17,76	31,42
6. Дополнительные разделы	–	Управление местной средой	–	–	Безопасное общественное пространство; Инновации
Доля требований, %	–	15,82	–	–	16,51

В зарубежных стандартах (LEED ND, CASBEE UD, BREEAM-C, DGNB UD) наибольший удельный вес традиционно приходится на разделы, связанные с энергоэффективностью, качеством среды и управлением ресурсами (от 24 до 36 %). В то же время сертификационные «зеленые» стандарты стимулируют более полный подход: к примеру, в международных системах (LEED, BREEAM, DGNB) требуются расчеты LCA и LCC для кандидатов на сертификацию [2]. Однако российская практика пока отстает: «в России такое моделирование по-прежнему редкость, оно применяется только при сертификации зданий по международным рейтинг-системам» [8].

Российская система GREEN ZOOM-C, напротив, демонстрирует более комплексный и социально ориентированный подход. Помимо традиционных разделов (энергоэффективность, ресурсосбережение, качество городской среды), в ней включены уникальные категории:

- «рабочая группа и целостный анализ проекта» – оценка эффективности управлеченческих и коммуникационных процессов, влияющих на устойчивость инвестиций;
- «школа горожанина и сообщества» – акцент на формировании экологического сознания и соучастия населения;
- «big data» и «Качество городской среды» предполагают применение цифровых технологий, позволяющих в режиме реального времени отслеживать и анализировать экологические показатели городской среды.

Одним из инструментов превентивного экологического управления и обязательной составляющей устойчивых инвестиционных практик является оценка воздействия на окружающую среду (Environmental Impact Assessment – EIA) [6].

В российской практике методика оценки воздействия на окружающую среду закреплена в Федеральном законе № 7-ФЗ от 10 января 2002 г. «Об охране окружающей среды» [7], а также в Методических указаниях по проведению ОВОС (утв. Минприроды РФ, 2000).

Процедура EIA охватывает несколько последовательных этапов, обеспечивающих комплексность и воспроизводимость анализа. В жилищном строительстве EIA применяется для оценки влияния проектируемых объектов на компоненты природной среды и качество жизни населения. Для этого анализируются следующие компоненты:

- воздействие на атмосферный воздух (пыль, выбросы от техники, шум, микроклимат);
- влияние на водные ресурсы (загрязнение сточными водами, изменение дренажных систем, поверхностный сток);

- изменение ландшафта и почвенного покрова (уплотнение грунта, нарушение рельефа, эрозионные процессы);
- воздействие на растительность и биоразнообразие (вырубка зелёных насаждений, деградация биотопов);
- социальные последствия (изменение качества жизни, доступ к инфраструктуре, шумовая нагрузка).

Для новых жилых районов или комплексных застроек EIA позволяет оценить совокупный экологический след проекта, выявить узкие места и сформулировать корректирующие решения – например, размещение зелёных зон, шумозащитных экранов, использование низкоуглеродных материалов и технологий ВИЭ.

Современная методология оценки предполагает объединение финансовых, экологических и социальных аспектов в единую систему. На практике это реализуется посредством матричной модели, связывающей цели, мероприятия, показатели и источники финансирования.

Таблица 3 - Интегральные подходы к оценке

Элемент оценки	Содержание
Цель	Снижение негативного воздействия на окружающую среду, повышение энергоэффективности и комфорта проживания
Мероприятие	Электрификация отопления, использование вторичных материалов, благоустройство территории, внедрение систем мониторинга
Показатель (КПИ)	утилизации отходов, класс энергоэффективности, индекс озеленения
Источник финансирования	«Зелёные» облигации, кредиты, корпоративные фонды устойчивого развития
Ответственный исполнитель	служба устойчивого развития, технический заказчик, управляющая компания
Частота контроля	ежеквартально / ежегодно

Таким образом, оценка результативности «зелёных» инвестиций опирается на комплексный подход, который интегрирует экономические, экологические и социальные параметры устойчивого развития. Применения международных экологических стандартов совместно с отечественными системами формирует более прочную институциональную базу для контроля и повышения прозрачности таких вложений, делая их анализ значимой частью корпоративного управления и отчетности в контексте ESG-повестки.

В практической деятельности девелоперы и строительные компании могут применять интегральный индекс LCA-LCC как инструмент обоснования вложений в «зелёные» мероприятия. Например, при выборе между традиционными и энергоэффективными окнами сравнивают не только разницу в цене и теплопотерях, но и процентную экономию энергии (снижение CO₂) за время эксплуатации. Интегральный индекс позволяет агрегировать эти факторы в единую метрику. Аналогично оцениваются «зелёные» фасады, системы вентиляции с рекуперацией тепла, солнечные панели и другие решения: все затраты (капитальные и операционные) сопоставляются с полным экологическим эффектом за жизненный цикл. Такой подход повышает прозрачность и обоснованность решений, способствует более сбалансированному выбору между экономией и экологией.

Для практического использования интегрального LCA-LCC индекса рекомендуется выполнить следующие шаги:

- Сбор исходных данных по проекту: режимы эксплуатации (потребление тепло и электроэнергии), виды и объемы стройматериалов, конструктивные решения.

- Вычисление LCA: с помощью специализированных баз данных (например, ГОСТ Р ИСО 14040, экологические декларации EPD) определить GWP и другие ключевые экологические показатели выбранных материалов и систем [2].

- Вычисление LCC: учесть капитальные затраты на стройматериалы, конструкции и оборудование, эксплуатационные расходы (энергия, сервис) и ликвидационные расходы (демонтаж, переработка) [2]. Желательно использовать дисконтирование для приведения всех трат к единому году.

- Согласование единиц измерения: например, при оценке тепловой эффективности в России можно брать цену 1 тонны CO₂(социальную или рыночную) согласно актуальным оценкам вреда, чтобы конвертировать LCA в денежный эквивалент.

- Расчет интегрального индекса: агрегировать LCC и оценочные затраты на выбросы (LCA) в одну величину. Например:

- ИЖЦ(интегральный коэффициент жизненного цикла) = LCC + (C_углерод * LCA),

где C_углерод – принятая цена тонны CO₂ (в рублях). Тогда более низкое значение ИЖЦ соответствует более эффективному (дешёвому с учетом экологии) решению.

- Анализ чувствительности: проверить, как меняется выбор оптимального варианта при разных ценах на углерод и весах экологического фактора. Это позволит учесть неопределенности (изменение тарифов на энергию, колебания цен на материалы).

Использование такого интегрального показателя обеспечивает элемент научной новизны и прикладную ценность методики. Она позволяет сравнивать технические разные решения по единому критерию, что облегчает принятие решений проектировщиками и инвесторами. В российских реалиях важна адаптация к местным условиям – учету климатических особенностей, нормативов строительства и рыночных цен. Например, для типового многоквартирного дома в условиях средней полосы России LCA может включать потери тепла за отопительный сезон и эмиссии от электроснабжения, а LCC – реальные тарифы на тепло и электроэнергию, а также локальные цены на стройматериалы. Предложенный подход можно обобщить в виде алгоритма и программного модуля (инструмента) для сравнительной оценки альтернативных проектов в ранней стадии проектирования. «зеленых» инвестиций, превращая их оценку в важный элемент корпоративного управления и отчетности в рамках ESG-повестки.

Заключение

Интегральный LCA-LCC индекс предлагает комплексный способ оценки «зеленых» мероприятий в жилищном строительстве, объединяя экономические и экологические эффекты в одном показателе. Применение такого подхода позволяет выявить наиболее рациональные «зеленые» решения – те, которые обеспечивают наибольшую экономию ресурсов при приемлемых затратах. В России это особенно актуально ввиду растущего внимания к энергоэффективности и экологической безопасности жилья. Несмотря на то что практическое использование LCA и LCC у нас пока ограничено, развитие национальных «зеленых» стандартов и усилия профессиональных сообществ говорят об интеграции этих методов в ближайшее время. Представленная методика обладает новизной за счет целостного объединения расчетов жизненного цикла с финансовым анализом, имеет прикладную ориентированность (внедряется на стадии проектирования) и может служить методической основой для решения актуальных задач устойчивого развития жилищного строительства в России.

Список источников

1. Калинина А.В., Петроценко М.В. Комплексный подход к оценке жизненного цикла строительства на стадии проектирования с применением программных комплексов // Строительство: наука и образование. 2022. №1. С.89.
2. Смирнова Е.Э. Экологические стандарты управления качеством окружающей среды. Монография. СПб.: СПбГАСУ, 2024.539 с.

3. Лобикова О.М., Субоч А.В. Многофакторная комплексная оценка проектов с учетом LCA // Вестник Белорусско-Российского университета 2025. №1 (86).
4. Cost-effective model of building construction based on GREENSHIP rating assessment using value engineering and lifecycle cost analysis methods [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-025-01559-1>
5. Сухинина Е. А. Анализ методов экологической оценки градостроительных проектных решений // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12. № 1. С. 127.
6. Спиридовон Д.В. Оценка воздействия на окружающую среду: ретроспективный обзор и современное состояние // Право и государство: теория и практика 2023. №2 (218).
7. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 26.12.2024) "Об охране окружающей среды".
8. Редакция журнала EcoStandard. Особенности национальной сертификации. Журнал «EcoStandard», 2018.

Сведения об авторе

Мамедов Самед Самедович, аспирант, Финансового университета при Правительстве России, Москва, Россия.

Information about the author

Mamedov Samed Samedovich, PhD Student, Financial University under the Government of Russia, Moscow, Russia