

Научная статья



УДК/UDC 004.9:502:72.023

DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-325-337

EDN: TJWPGE

Оценка жизненного цикла строительных материалов в архитектурном проектировании: специфика зарубежного опыта

Петр Михайлович Жук¹, Лариса Владимировна Савельева²,
Наталья Сергеевна Калинина³, Елена Вячеславовна Ульянова⁴

^{1,2,3,4}Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва Россия

¹peter_05@bk.ru, ²lv.savelieva@markhi.ru, ³kalinina_arch@mail.ru, ⁴elena.ul2011@yandex.ru

Аннотация. Статья является первой в цикле соавторских исследований о современных способах интеграции информации о жизненном цикле строительных материалов в проектный процесс. Такой подход актуален и характерен для систем информационного моделирования в строительстве, а также востребован с учетом экологических требований к объектам недвижимости. В статье рассмотрены исследования зарубежных специалистов по теме, а также проанализированы некоторые программные продукты, которые могут использоваться для интеграции сведений, и основные механизмы выбора строительных материалов в рамках проектного процесса в зарубежной практике.

Ключевые слова: оценка жизненного цикла, информационное моделирование в строительстве, архитектурное проектирование, экологические декларации продукции

Для цитирования: Жук П.М. Оценка жизненного цикла строительных материалов в архитектурном проектировании: специфика зарубежного опыта / П.М. Жук, Л.В. Савельева, Н.С. Калинина, Е.В. Ульянова // Architecture and Modern Information Technologies. 2025. №2(71). С. 325-337. URL: https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/19_zhuk.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-325-337 EDN: TJWPGE

Original article

Life cycle assessment of building materials in architectural design: specifics of international practice

Petr M. Zhuk¹, Larisa V. Savelieva², Natalia S. Kalinina³, Elena V. Ulyanova⁴

^{1,2,3,4}Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia

¹peter_05@bk.ru, ²lv.savelieva@markhi.ru, ³kalinina_arch@mail.ru, ⁴elena.ul2011@yandex.ru

Abstract. This article is the first in a series of co-authored studies on contemporary methods of integrating life cycle information of building materials into the design process. This approach is increasingly relevant within building information modeling (BIM) systems and is in demand due to rising environmental requirements for real estate developments. The article reviews international research on the subject and analyzes several software tools that facilitate such integration, as well as the main mechanisms for selecting building materials within the design process in foreign practice.

Keywords: life cycle assessment, building information modeling (BIM), architectural design, environmental product declarations

¹ © Жук П.М., Савельева Л.В., Калинина Н.С., Ульянова Е.В., 2025

For citation: Zhuk P.M., Savelyeva L.V., Kalinina N.S., Ulyanova E.V. Life cycle assessment of building materials in architectural design: specifics of international practice. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2025, no. 2(71), pp. 325-337. Available at: https://marhi.ru/AMIT/2025/2kvart25/PDF/19_zhuk.pdf DOI: 10.24412/1998-4839-2025-2-325-337 EDN: TJWPGE

Обращаясь к истокам зодчества, к определению архитектуры как вида искусства, помня триаду Витрувия о «пользе, прочности и красоте», аспектом которой является тектоническое начало, необходимо рассматривать и материал как едва ли не главную составляющую этой взаимосвязанной воедино системы. Материал диктует тектоническую структуру, а ее образ выражается средствами архитектуры. Следовательно, в основу эстетического аспекта заложено качество материала и его технические возможности. История архитектуры знает и другой, диаметрально противоположный подход авангарда, и более поздний – деконструктивизма. Но и здесь материал выполняет свою ключевую роль физического воплощения формы в пространстве. Хай-тек в еще большей степени проявил значение качества материала в восприятии архитектурного образа. И всем этим периодам в той или иной степени свойственно экологическое соответствие требованиям времени.

Комплекс факторов: рост городов и развитие промышленности, а вместе с этим строительство архитектурных объектов, особенно жилья, все ускоряющимися темпами – стали сказываться на качестве искусственной среды именно в контексте ее экологии. Проблема экологического подхода к созданию искусственной среды средствами архитектуры, в Европе начала обозначать себя сразу после промышленной революции XVIII века. В России и США, в отличие от прогрессивной в тот период времени Европы, ее отдельные признаки стали замечаться лишь в XIX веке [1].

Со временем, в результате формирования понятия устойчивости, отношение к выбору материалов в процессе архитектурного проектирования стало основываться на учете их экологических показателей. «Использование экологически безопасных строительных и отделочных материалов с отрицательной эмиссией вредных веществ» [2] стало постоянной тенденцией современных проектов и неотъемлемой составляющей так называемого «зеленого» строительства [3].

В сложившейся традиции зарубежных проектировщиков учитывать эксплуатационные характеристики здания во времени стала очевидной необходимость использования информации о жизненном цикле (ЖЦ) строительных материалов на этапе архитектурного проектирования. Зарубежный опыт контроля ЖЦ включает интеграцию информации о материале и изделиях от производства и до утилизации, то есть на всех этапах его существования. Включение информации о строительных материалах в системы информационного моделирования при архитектурном проектировании прекрасно согласует задачи производителей строительной продукции, самих строительных организаций и потребителей. Например, к информации о ЖЦ относится срок службы материалов, который может быть востребован эксплуатирующими организациями. Кроме того, именно за счет выбора экологичных материалов на этапе архитектурного проектирования (критерием может являться наличие экологической декларации и др.) реализуется связь между положениями стратегий развития промышленности строительных материалов и строительной отрасли, а также систем технического регулирования и экологической оценки в соответствии с международными стандартами ИСО². Значительное взаимное влияние также предусматривается при включении

² ИСО (International Organization for Standardization, ISO) – это независимая неправительственная международная организация, которая занимается выпуском стандартов на материалы, продукты, процессы и услуги.

информации о ЖЦ строительных материалов в проектный процесс с точки зрения систем оценки соответствия зданий концепции устойчивого развития.

Доступность самой информации о ЖЦ строительных материалов обеспечивается для всех участников рынка посредством системы экологических деклараций, что и нормализует работу рынка в данной отрасли [4, 5]. При этом во многих странах успешно функционируют базы данных и конкретные цифровые программные продукты по оценке ЖЦ строительных материалов, которыми могут пользоваться все перечисленные участники рынка. В таблице 1 приведены результаты анализа некоторых особенностей подобных систем, демонстрирующие как их сходства, так и специфику.

Таблица 1. Сравнение цифровых программных продуктов для оценки жизненного цикла строительных материалов

Наименование цифрового программного продукта (страна разработчик или обладатель прав)	Возможности и характеристики цифрового программного средства						
	базы данных / дополнительные базы данных	возможность работы с разными базами данных	адаптация под использование новых методов	параметры оценки биоразнообразия	оценка для новых продуктов	применение для зданий	расчет энергоэффективности здания
GaBi LCA Tool (США)	+/+	+	+	-	+	+	-
OpenLCA (Германия)	+/-	+	+	-	+	+	-
SimaPro (Нидерланды)	+/+	-	+	+	+	-	-
LEGEP (Германия)	+/-	-	+	-	-	+	+

Сходство функционала и информационной основы рассмотренных систем (табл. 1) позволяет констатировать обоснованность такого подхода и его эффективность для применения участниками производственно-проектного и проектно-строительного процесса. В то же время различия методик оценки конкретных показателей (например, оценка углеродного следа, повышения кислотности, увеличения фотохимического смога и т.д.) затрудняют продвижение экологического декларирования строительной продукции. В частности, в программах SimaPro используются методы оценки экологического следа, принятые в Евросоюзе³, и методы расчета изменения климата, разработанные Межправительственной группой экспертов по изменению климата⁴ при Организации Объединенных Наций. Некоторые другие системы применяют иные методики. При этом, далеко не все проанализированные цифровые программные средства раскрывают применяемые способы расчета показателей.

Важным фактором использования этих программных продуктов с точки зрения архитектора является то, что их большинство из них предусматривает возможность сравнения показателей воздействия на окружающую среду на этапе выбора материалов. В то же время сам подход, описанный в международных стандартах, говорит о том, что экологическое декларирование выполняет только информационную функцию. Главная причина этого – изложенное выше различие в методиках оценки показателей. Еще один важный вопрос – организационный: кто отвечает за экологическую оценку объекта проектирования на разных этапах ЖЦ? Консалтинговые компании активно используют отчеты проектировщиков об экологическом балансе здания. При составлении таких

³ Environmental Footprint Methods – EF 3.1 Method.

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC.

отчетов применяются инструменты по оценке ЖЦ всего здания, рассмотренные в таблице 1.

Объединение Ecoinvent⁵ было создано в конце 1990-х годов в Швейцарии на базе нескольких исследовательских центров, в число которых вошли высшие технические школы Швейцарской конфедерации (федеральные технологические институты Цюриха и Лозанны)⁶, Швейцарские исследовательские лаборатории в области материаловедения и технологий⁷, Институт Пауля Шеррера⁸, швейцарский федеральный центр компетенций в области сельского хозяйства⁹. Преимуществом базы данных является широкий охват областей хозяйственной деятельности, продолжительное время сбора информации, а также международный контекст (в базу входят данные из разных стран). С 2013 года объединение Ecoinvent приобрело статус крупнейшей в мире независимой некоммерческой организации по предоставлению данных для оценки воздействий на окружающую среду по ЖЦ.

Информация из хранилища Ecoinvent используется в качестве дополнительного набора данных также для базы, сформированной Федеральным министерством жилищного строительства и городского развития Германии¹⁰ на платформе ÖKOBAUDAT, которая также использует данные системы GaBi. Преимуществом такой структуры является упрощенный обмен данными между системами и видами отчетности, а также удобный веб-интерфейс. Платформа ориентирована на выполнение требований европейского норматива EN 15804¹¹ и оценку устойчивости объектов строительства по системе BNB¹². Специфика платформы ÖKOBAUDAT заключается в том, что она не предназначена для проведения оценки ЖЦ строительных материалов, но предъявляет требования к качеству и фильтрует данные для их применения при оценке крупных строительных систем и зданий в целом.

Ориентация на сбор данных по ЖЦ изделий различного назначения характерна для информационной системы экологических строительных материалов WECOBIS¹³, созданной тем же министерством ФРГ при участии архитектурной палаты Баварии. Информационная система применяется как архитекторами, инженерами-проектировщиками, специалистами по проверке соответствия концепции устойчивого развития в архитектуре и строительстве, так и заказчиками (государственными, муниципальными и частными). Для проектировщиков здесь есть удобная поддержка при выборе материала с учетом его свойств по всему жизненному циклу. При этом анализируются экологические характеристики, цели применения материалов, а также необходимый уровень качества строительства [6]. Система успешно используется при анализе тендерной документации. Причем можно не только рассматривать решения по выбору строительных материалов, но и формулировать требования на стадии подготовки технического задания.

⁵ Ecoinvent – международная организация по поддержке научно обоснованных экологических оценок в области устойчивого развития. Официальный сайт URL: <https://ecoinvent.org/> (дата обращения: 11.02.2025).

⁶ нем. Eidgenössische Technische Hochschule – ETH Zürich, EPFL Lausanne.

⁷ EMPA.

⁸ нем. Paul Scherrer Institut, PSI.

⁹ Agroscope.

¹⁰ нем. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen.

¹¹ Европейский стандарт EN 15804:2012+A2:2019 разработан Техническим комитетом CEN/TC 350 «Устойчивое развитие в строительстве».

¹² нем. Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen.

¹³ WECOBIS – информационная система об экологических строительных материалах. Платформа разработана Федеральным министерством жилищного строительства, городского развития и строительства Германии (BMWSB) и Баварской палатой архитекторов, управляется Федеральным институтом исследований строительства, городских дел и пространственного развития Германии (BBSR). Официальный сайт URL: <https://www.wecobis.de/> (дата обращения: 11.02.2025).

Таким образом, оценка ЖЦ для конкретных продуктов является функцией производителя, но сведение всей информации по элементам и системам – задача проектной организации. Поэтому наличие у архитекторов и разработчиков конкретных разделов проектной документации методов, процессов и моделей интеграции информации о жизненном цикле в проектный процесс в будущем просто необходимо, в том числе для выбора строительных материалов и систем с учетом экологических факторов.

В условиях становления экологического декларирования строительных материалов важно, что архитекторы имеют инструмент анализа ЖЦ проектируемого объекта для самостоятельной работы с информацией о нем. Это позволяет учитывать многие связанные с воздействиями на окружающую среду последствия в рамках сопровождения проекта, а не после его реализации.

Необходимо заметить, что использование подобной цифровой системы для архитектора сопряжено как с полезными процессами, облегчающими принятие решений, так и с дополнительными сложностями. Проблема заключается в огромном количестве сочетаний, изменяющих исходные качества модели.

В зарубежной практике имеется определенный опыт поэтапного учета информации о ЖЦ строительных материалов в архитектурном проектировании. Такой подход называется «интегральным проектированием». Самые первые этапы использования «интегрального проектирования» наблюдались еще в 1940-е годы в работах Конрада Ваксмана и Вальтера Гропиуса, которые внедряли междисциплинарную интеграцию при проектировании и строительстве [7].

Вследствие прогресса цифровизации в проектировании и строительстве появились новые возможности для практического внедрения интегрального проектирования, состоящие в комплексном отображении этапов конкретизации проекта на всех стадиях: разработка и согласование проекта (проектная документация); проект реализации (рабочая документация).

Любой архитектор подтвердит, что процесс создания архитектурного проекта примерно одинаково протекает у специалистов профессионального сообщества. Каждый проект проходит этапы от эскиза до рабочей документации и проекта производства работ (они по-разному называются в разных странах, но даже в определениях отражается общий смысл этапов), приобретая первые свои очертания во время предпроектных проработок, в период создания собственно проекта (в наших документах это «стадия проект») и на этапе разработки рабочей документации. Сначала формируется образ и общее объемно-пространственное решение. В этот момент автор уже вполне четко представляет себе основные конструкции здания, а значит, и материал конструкций. На этом шаге формируется и общее представление об отделочных материалах фасада, которые в большой степени определяют внешний облик и во многом проявляют архитектурный образ. Определить основные материалы, а соответственно, произвести отбор среди тех, которые обладают наиболее высокими показателями экологичности по ЖЦ, уже на этой стадии возможно, но в общих чертах. Модель, основанная на показателях экологичности на протяжении ЖЦ на данном этапе схожа с общей архитектурной концепцией по степени осознанности и проработки.

У западных коллег «учет спроса и основная концепция» – эта фаза¹⁴ (или привычное нам определение этапа проектных работ) охватывает мероприятия по подготовке и оценке проекта с точки зрения эффективности инвестиций. На этом этапе исследуются месторасположение, капитальные вложения и проектные идеи с учетом экономических, социальных, психологических факторов и инвестиционных рисков, в том числе, с учетом стадии эксплуатации. Цель этой фазы – анализ факторов за и против проектного решения.

¹⁴ От слова Phase (нем.) – фаза, этап.

Фаза «разработка и согласование проекта» представляет собой традиционную форму деятельности архитекторов и инженеров-проектировщиков. Выбранная концепция разрабатывается с архитектурной и пространственной точек зрения. Цель этой фазы – реализуемый и согласованный архитектурный проект. Для дальнейшего проектирования принципиально важно, что после согласования масштабных проектных решений дальнейшие изменения в проекте могут быть затруднительны. Чаще всего уже на этом этапе конкретизации ведется калькуляция сметы для возведения здания, которую принимают во внимание, когда говорят о строительстве «под ключ». Очевидно, что к текущему моменту должны быть сопоставлены альтернативные варианты и их качественные параметры с использованием информации о ЖЦ не только всего здания, но и в рамках «элементной системы». Формируются многослойные конструкции в их основных составных частях (например, несущая конструкция стен, структура фасада, структуры остекления) на основе информации о ЖЦ материалов и конструкций, собираемых из них конструкций и систем.

Рабочий проект, а в европейской практике эта фаза называется «проект реализации», предусматривает детализацию монтажа необходимых строительных элементов и систем на основе согласованных конструктивного и иных строительных разделов. Исходя из методики интегрального проектирования, базирующегося на технологиях информационного моделирования, к этому моменту вся модель здания полностью отображена в соответствующих конструкциях и материалах. На этом этапе происходит конкретизация путем актуализации или дополнительного описания данных о реализации проекта.

Для более четкого разграничения фаз проекта на некоторое время вводятся такие фазы, которые ранее назывались «проект производства работ». Фаза «использование и эксплуатация здания» на современном этапе должна восприниматься не просто как самая продолжительная на протяжении ЖЦ здания, но и как фаза, на которой реализуются поставленные цели в области энергоэффективности и экологической безопасности объекта. Наряду с возведением здания часто с течением времени наступает необходимость внесения изменений и выполнения дополнительных работ по адаптации, ремонту, реконструкции. При линейном представлении процесса эту фазу следовало бы планировать как заключительную стадию под названием «корректировка потребностей». Это показало бы, что стадия эксплуатации также ограничена по времени и ее следует понимать аналогично другим, но с несколько иной фокусировкой (например, на будущую ревитализацию, реконструкцию, частичный или полный демонтаж и т.п.).

Детализация информации в процессе проектирования имеет системную основу. В частности, для обеспечения соответствия будущим требованиям оценки устойчивости при проектировании используется элементарная классификация с пошаговой конкретизацией. Уровни детализации модели (табл. 2) определяются от строительной структуры (проектируемый объект в целом) через функциональные системы (основные составляющие эксплуатационных функций), системы элементов (основные составляющие строительно-технических систем и оборудования) и до слоев конструкций и отдельных компонентов (конкретное решение/спецификация). Подход к оценке ЖЦ как сопровождающего проектирование процесса связан с созданием экологического баланса всего здания. Он определяется для всего здания через локальные признаки: эксплуатация, энергетический стандарт, стандарт оборудования, применяемые строительные материалы. Цель такой систематики оценки ЖЦ – создание инструмента, который поможет инвесторам, заказчикам, архитекторам и другим участникам процесса разработать экологически устойчивое здание, отсчитывая с самого начала проектирования. Например, для таких параметров, как энергозатраты, качество оборудования, цели использования, можно устанавливать определенные рамки уже на ранних этапах проектирования, когда архитекторы и проектировщики располагают только небольшим количеством сведений для оценки устойчивости будущего здания или вообще сталкиваются с их полным отсутствием. В связи с этим проектные решения, касающиеся

воздействий на окружающую среду и экологической устойчивости, должны приниматься на основе предположительных данных или данных из предыдущего проектного опыта. Сложность заключается в том, что использование таких данных должно в итоге привести к определенным показателям при реализации проекта будущего здания.

Таблица 2. Уровни конкретизации этапов архитектурного проектирования в Германии¹⁵

	ФАЗЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ			
	Предпроектная проработка проекта	Учет спроса и основная концепция проекта	Разработка и согласование проекта	Проект реализации
Уровень оценки проекта	строительная система	функциональная система	элементная система	компоненты (слои) строительных конструкций
Подлежащие оценке данные	типовые расчетные показатели проекта	типовые конструктивные системы	конструктивные элементы	строительные компоненты и показатели стоимости строительства
Источники сведений для оценки	энергетический стандарт режим эксплуатации способ строительства стандарт использования оборудования	данные открытого стандарта Industry Foundation Classes (IFC) для формата представления данных в системах информационного моделирования в привязке к каталогу функциональных систем	данные открытого стандарта Industry Foundation Classes (IFC) для формата представления данных в системах информационного моделирования в привязке к каталогу элементных систем	данные открытого стандарта Industry Foundation Classes (IFC) для формата представления данных в системах информационного моделирования с детализацией слоев и классификацией строительных материалов

Немецкие эксперты предложили не только стадии включения данных об оценке ЖЦ в проектный процесс, но и соответствующие им расчетные правила составления экологических балансов на каждом этапе. Под экологическим балансом подразумевается обобщенная информация о воздействии на окружающую среду на протяжении всего ЖЦ объекта проектирования. Для правил расчета важны данные о входных и выходных параметрах, целевые показатели, к которым следует стремиться. В качестве таковых предлагается принять потенциал воздействий на окружающую среду с соответствующим характерным веществом, соотнесенным с расчетной площадью и сроком ЖЦ (единица измерения – $\text{кг}/\text{м}^2/\text{год}$) [8]. При этом архитектор может ориентироваться на приблизительные показатели, заложенные в системах оценки устойчивости зданий.

Первый уровень оценки проектного решения на предмет энергоэффективности касается строительной системы в целом. Он определяет рассматриваемое здание через признаки, относящиеся ко всему зданию. Методический подход для упрощенной оценки результатов экологического баланса базируется на сравнительных показателях ЖЦ уже

¹⁵ По информации Fraunhofer IBP. Официальный сайт. URL: <https://www.ibp.fraunhofer.de/> (дата обращения: 11.02.2025).

оцененных ранее проектов. При этом основными признаками являются: характер эксплуатации, влияющий на расход энергии и выбор инженерных систем и оборудования; энергетический стандарт, оказывающий влияние на величину энергопотребления здания и его теплоизоляцию (например, толщину слоя утеплителя); конструктивная схема, раскрывающая общее направление и тип выбранных и применяемых конструкций; стандарт оборудования здания, влияющий на качество устанавливаемых инженерных систем жизнеобеспечения здания.

На уровне оценки функциональной системы проектируемый объект рассматривается дифференцированно на основе дополнительных данных. В частности, на этом уровне воздействие объекта проектирования на окружающую среду определяется на основе информации об основных конструктивных элементах с учетом сведений о специфике энергоносителей. В Российской Федерации такая стадия вполне соответствует уровню проработки энергетического паспорта проекта¹⁶. При этом, на основе известного строительного объема здания и спецификации инженерных систем (например, вентиляционных), воздействие на окружающую среду можно оценить более детально, после чего провести сопоставление вариантов на уровне функциональных систем проектируемого объекта. Например, на основании таких данных можно сравнивать наружные стены с разными теплоизоляционными системами.

Функциональный и элементный уровни рассмотрения и оценки экологичности проектируемого объекта очень тесно связаны друг с другом. Элементная система может рассматриваться как часть функциональной, при этом происходит деление ограждающей конструкции на две её составляющие: одна обеспечивает несущую способность, другая раскрывает структуру конструкции. Структурный слой охватывает множество строительных и отделочных материалов, которые выполняют различные функции, например, внешняя и внутренняя отделка. Несущая конструкция, в свою очередь, включает компоненты, обеспечивающие статическую устойчивость здания. Соответствующие слои материалов, в зависимости от выбранной системы элементов, могут принимать совершенно различные варианты (например, при выборе теплоизоляционной системы в ней могут быть различные теплоизоляционные материалы и т.п.). В проектной практике Германии, по ходу определения показателей элементной системы, устанавливают средние параметры для различных вариантов материалов, которые основываются на базах данных стандартизированных вариантов конструкций и учитывают граничные условия (например, из стандартов энергоэффективности) [8].

Требования по тепловой защите зданий в Германии подразделяются на законодательный и нормативный уровни. К законодательному относят оптимальные требования, определяемые на основе экономических, энергетических и экологических критериев. В частности, из этих соображений различают экономические вопросы теплозащиты и вопросы теплозащиты, связанные с экономией энергоресурсов. В свою очередь, на нормативном уровне подробно рассматриваются вопросы теплозащиты в связи с обеспечением необходимого уровня комфорта. Например, сюда относятся гигиенические аспекты теплозащиты и защиты строительных конструкций, связанные с предотвращением появления конденсационной влаги и плесени. К показателям, которые характеризуют энергетическое качество конструкций и объектов в целом на различных уровнях, можно отнести теплопередачу отдельных элементов, среднюю величину теплопередачи всей оболочки здания, максимальную тепловую нагрузку, максимальную потребность в тепловой энергии (используемую энергию), требования по эффективности энергоснабжения, требования к виду и объему использования солнечной энергии, максимальную конечную потребность в энергии, а также максимальную первичную потребность в энергии. Требования к перечисленным показателям сказываются на толщине теплоизоляционного слоя ограждающих конструкций, на величине

¹⁶ Документ описывается пунктом 3.42, а также приложением В СП 50.13330.2024 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий», утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15 мая 2024 г. №327/пр.

строительного объема здания, а также на зонировании в рамках объемно-планировочных решений.

Рассчитанные показатели систем элементов собираются в цифровые каталоги элементных систем. Создание экологического баланса здания на уровне системы элементов функционирует аналогично, но с более детализированным подходом. В результате возникает гибкая и адаптированная под существующие потребности система, позволяющая разложить множество конструкций на модули с помощью этих элементов. Воздействия на окружающую среду могут приводиться в расчете на любую функциональную единицу (например, на квадратный метр площади) в зависимости от компонентов элементной системы.

В современной архитектурной практике, с применением программ информационного моделирования, в сочетании с выдвигаемыми требованиями соответствия архитектурного проекта экологическим показателям, становятся актуальными сведения о жизненном цикле материалов на каждой стадии проектирования [9, 10]. В странах Европейского союза существует несколько концепций аккумулирования информации о проектируемом объекте, в их числе – BIM2LCA. Отличительной особенностью этой концепции, основанной на формате сохранения данных в IFC¹⁷, является возможность, независимо от степени детализации этапа проектирования (наличия сведений о ЖЦ конкретного элемента здания), осуществлять привязку агрегированных данных о ЖЦ к проектному этапу в виде каталогизированной информации¹⁸[8]. Использование информации в процессе моделирования, как правило, ограничено этапом конкретизации BIM-модели, когда становятся необходимы точные сведения о производстве строительных конструкций, определении многослойных конструкций и использовании строительных материалов. Все эти данные необходимы для расчета экологического баланса здания. Технология использования формата IFC позволяет формировать информацию в соответствии с топологическими преобразованиями пространственных и функциональных элементов проекта с учетом их ЖЦ на соответствующей стадии проектного процесса. Следовательно, дополнительная информация о BIM-модели, полученная из расчета экологического баланса всего здания, должна интегрироваться в разрабатываемые алгоритмы формата IFC. В результате, дополнительный обмен информацией между базой данных свойств материалов и BIM-моделью архитектурного объекта может оказать позитивное влияние на принятие решений на стадии эксплуатации здания, а также на этапе проектирования этой стадии ЖЦ. Это касается, в частности, ремонтных работ, срока службы и этапа завершения ЖЦ отдельных элементов. Важным моментом является взаимосвязь устанавливаемых показателей оценки ЖЦ в процессе проектирования с теми параметрами, которые задаются критериями соответствия проекта концепции устойчивого развития в соответствии с требованиями DGNB¹⁹.

Основная цель такого подхода в проектировании – переход от экологического баланса как статического инструмента оценки возведенного здания к применению оценки ЖЦ в качестве механизма, который оказывает содействие в принятии решений на всех стадиях проекта. При этом проекты, уже получившие оценку соответствия концепции устойчивости здания, могут являться ориентиром для установления нормативных показателей, в том числе на уровне концептуальных проектов²⁰[11]. В долгосрочной перспективе применяемая методика оценки показателей экологической устойчивости проектного решения позволит автоматизировать в цифровых программах генерацию

¹⁷ Industry Foundation Classes.

¹⁸ BIM-basierte Integrale Planung (BIM2LCA4IP). Gemeinsamer Schlussbericht. BMWi-gefördertes Verbundprojekt der Partner KIT, IBP, DGNB & Intep. Betreut durch den Projektträger Jülich. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020.

¹⁹ Немецкий совет по устойчивому строительству Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen. Официальный сайт. URL: <https://www.dgnb.de/> (дата обращения: 11.02.2025).

²⁰ BIM-basierte Integrale Planung (BIM2LCA4IP). Gemeinsamer Schlussbericht. BMWi-gefördertes Verbundprojekt der Partner KIT, IBP, DGNB & Intep. Betreut durch den Projektträger Jülich. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020.

результатов на каждом из уровней ЖЦ. В связи с этим, должна быть обеспечена доступность обновлений баз данных (подобных платформе ÖKOBAUDAT) и наглядность получаемых результатов независимо от видов и версий программного обеспечения, которыми пользуются архитекторы.

Особую роль в вопросе наглядности информации играет стандартизация интерфейса программ. Например, для самообучающихся систем она является основой, которая позволяет постоянно интегрировать представленную единообразно информацию о проекте. Еще одним шагом по включению информации о ЖЦ в проектный процесс является развитие единого интерфейса практически ориентированных расчетных инструментов для строительных, функциональных и элементных систем. Это позволит сделать доступными иллюстративные материалы об оценке ЖЦ, их выводы и первые оценочные суждения. На основе обратной связи информация на каждом этапе проектирования перерабатывается и интегрируется в программные продукты по оценке ЖЦ в веб-среде. Важным направлением становится разработка каталогов показателей ЖЦ для различных типов зданий, энергетических стандартов и стадий ЖЦ по аналогии с существующими каталогами по расчету стоимостных показателей в сметном нормировании. Такие каталоги, при условии гармонизации на основе формата IFC, позволят оптимизировать здания с точки зрения воздействий на окружающую среду.

При разработке архитектурного проекта на каждом этапе проектирования предъявляются различные требования к данным о проекте и параметрам информационного обмена, что формирует схему, состоящую из трёх составляющих: вид модели, инструменты BIM-проектирования и механизмы работы с экологическим балансом. В целях оптимизации применения формата IFC в процессе проектирования для включения важнейших описательных и расчетных разделов был разработан уровень Model View Definition (MVD), который позволяет экспортировать определенные пакеты информации о модели на конкретном этапе работы над проектом. Это позволяет определить требования к наборам экспортируемых данных, которые сохраняются в отдельных трансляторах IFC. Трансляторы хранят информацию об элементах модели (геометрия, типы линий, геометрия, форма и пространственное положение элементов) и показателях проекта (свойства конструкций и материалов, стоимостные характеристики и т.п.). Определяющее влияние на характеристики и количество позиций данных об информационной модели оказывают разработчики программного обеспечения. В связи с этим на стадии разработки и сертификации программных продуктов перед ними необходимо поставить задачу по обеспечению необходимой полноты и единообразия данных о моделях MDV.

Описанная выше схема допускает добавление информации о ЖЦ материалов и конструкций к соответствующим классам IFC на любой стадии проектного процесса. Например, строительные системы привязываются к классу здания, а функциональные системы – к классу ограждающих конструкций. Разноплановое и наиболее полное внесение данных о строительных материалах позволит добиться оптимизации процесса поиска экологически эффективного проектного решения. Следующим шагом должно быть предоставление показателей ЖЦ на этапах конкретизации проекта, что позволит более широко использовать их на ранних стадиях проектирования.

Подводя итог, можно констатировать, что рассмотренный зарубежный опыт BIM-проектирования, методы работы с информационной моделью, а также мероприятия, направленные на получение экологически сбалансированного проекта, позволяют архитекторам учитывать и оптимизировать на этапе поиска проектного решения будущее воздействие на окружающую среду проектируемого объекта с учетом этапов жизненного цикла строительных материалов и конструкций в ходе эксплуатации здания.

Вместе с тем определились основные условия создания цифровой среды для BIM-моделирования экологически сбалансированного архитектурного проекта на основе оценки жизненного цикла строительных материалов:

- формирование электронных баз данных о жизненном цикле строительных материалов и конструкций;
- обеспечение единообразия представления и необходимой полноты данных цифровой модели о жизненном цикле строительных материалов и конструкций на каждом этапе проектирования;
- формулировка единых требований по обмену информацией на всех стадиях проектного процесса.

Изучение зарубежного опыта архитектурного проектирования в цифровой среде с учетом актуальных экологических требований, в частности внедрения информации о жизненном цикле строительных материалов, способствует реализации и модернизации отечественных программных продуктов BIM-моделирования.

Список источников

1. Логвинов В.Н. Природа и архитектура: путь интеграции. Москва, 2019. 218 с.
2. Есаулов Г.В. Экологически ориентированная архитектура высоких технологий // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2022. №7. С. 4-13. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8220 (дата обращения: 12.02.2025).
3. Табунщиков Ю.А. Основы формирования экологически устойчивой среды обитания человека // Энергосбережение. 2023. №3. С. 4-8. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8408 (дата обращения: 12.02.2025).
4. Жук П.М. Декларации о воздействиях на окружающую среду строительных материалов: проблемы и перспективы применения в Российской Федерации // Архитектура и строительство России. 2013. №11. С. 22-31.
5. Жук П.М. Система критериев для оценки экологической безопасности предприятий строительных материалов // Academia. Архитектура и строительство. 2012. №4. С. 106-110.
6. Kellner R. WECOBIS Planungs- und Ausschreibungshilfen. Ökologische Baustoffwahl. Aspekte zue komplexen Planungsaufgabe "Shadstoffarmes Bauen" / R. Kellner, P. Wurmer-Weiss // Zukunft Bauen. Forschung für die Praxis. Band 4. Bonn, 2016. S. 46-50.
7. Hall A.D. A Methodology for Systems Engineering. New York: Van Nostrand Reinold Company, 1962.
8. Gantner J., von Both P., Rexroth K., Eberthäuser S., Horn R., Jorgji O., Schmid Ch., Fischer M. Ökobilanz – Integration in den Entwurfsprozess. BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer integralen Gebäudepanung. Bauphysik. Volume 40, Issue 5. Oktober 2018. pp. 286-297. DOI 10.1002/bapi.201800016
9. Теличенко В.И. Информационное моделирование технологий и бизнес-процессов в строительстве / В.И. Теличенко, А.А. Лапидус, А.А. Морозенко. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 144 с. URL: <https://www.nso-journal.ru/jour/article/view/177/147> (дата обращения: 12.02.2025).
10. Теличенко В.И. Методы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с учетом влияния экологических и других видов рисков / В.И. Теличенко, А.А. Лапидус, М.Ю. Слесарев, М.М. Али // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 166-177. URL: <http://nso-journal.ru> (дата обращения: 12.02.2025). DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.166-177

11. Gantner J. Sustainable Building Specifier (SBS) in European research projects / J. Gantner, K. Lenz, B. Wittstock, K. Sedlbauer // Implementing sustainability – barriers and chances. Book of full papers. Sustainable Building Conference (SB). Munich, 2013.

References

1. Логвинов В.Н. Природа и архитектура: путь интеграции. Москва, 2019. 218 с.
2. Esaulov G.V. Ecologically Oriented Architecture of High Technologies. Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics, 2022, no. 7, pp. 4-13. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8220
3. Tabunschikov Yu.A. *Osnovy formirovaniya ekologicheskoi ustoychivoy sredy obitaniya cheloveka* [Creating the base for development of ecologically sustainable human living environment]. Energoberezheniye, 2023, no.3, pp. 4-8. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8408
4. Zhuk P.M. The declaration on the environmental impacts of construction materials: problems and prospects of application in the Russian Federation. Architecture and construction of Russia, 2013, no.11, pp. 22-31.
5. Zhuk P.M. System of criteria for assessing the environmental safety of construction materials enterprises. Academia. Architecture and Construction, 2012, no. 4, pp. 106-110.
6. Kellner R., Wurmer-Weiss P. WECOBIS Planungs- und Ausschreibungshilfen. Ökologische Baustoffwahl. Aspekte zue komplexen Planungsaufgabe "Shadstoffarmes Bauen". Zukunft Bauen. Forschung für die Praxis. Band 4. Bonn, 2016, pp. 46-50.
7. Hall A.D. A Methodology for Systems Engineering. New York, Van Nostrand Reinold Company, 1962.
8. Gantner J., von Both P., Rexroth K., Eberthäuser S., Horn R., Jorgji O., Schmid Ch., Fischer M. Ökobilanz – Integration in den Entwurfsprozess. BIM-basierte entwurfsbegleitende Ökobilanz in frühen Phasen einer integralen Gebäudeplanung. Bauphysik, volume 40, issue 5, Oktober 2018, pp. 286-297. DOI 10.1002/bapi.201800016
9. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Morozenko A.A. *Informatsionnoye modelirovaniye tekhnologiy i biznes-protsessov v stroitel'stve* [Information modeling of technologies and business processes in construction]. Moscow, 2008. 144 p. Available at: <https://www.nso-journal.ru/jour/article/view/177/147>
10. Telichenko V.I., Lapidus A.A., Slesarev M.Yu., Ali M. Methods for managing the life cycle of capital construction objects considering the impact of environmental and other types of risks. Construction: Science and Education. 2024;14(2):166-177. (In Russ.) Available at: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2024.2.166-177>
11. Gantner J. Sustainable Building Specifier (SBS) in European research projects / J. Gantner, K. Lenz, B. Wittstock, K. Sedlbauer. Implementing sustainability – barriers and chances. Book of full papers. Sustainable Building Conference (SB). Munich, 2013.

ОБ АВТОРАХ

Жук Петр Михайлович

Доктор технических наук, доцент, декан Вечернего факультета, заведующий кафедрой «Архитектурное материаловедение», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия; член Союза московских архитекторов
peter_05@bk.ru

Савельева Лариса Владимировна

Кандидат архитектуры, профессор кафедры «Информационные технологии в архитектуре», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия; член Союза московских архитекторов

lv.savelieva@markhi.ru

Калинина Наталья Сергеевна

Кандидат архитектуры, доцент Междисциплинарного учебного центра Вечернего факультета, заведующая аспирантурой, Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия; член Союза московских архитекторов

kalinina_arch@mail.ru

Ульянова Елена Вячеславовна

Кандидат архитектуры, профессор кафедры «Архитектура общественных зданий», Московский архитектурный институт (государственная академия), Москва, Россия; член Союза московских архитекторов

elena.ul2011@yandex.ru

ABOUT THE AUTHORS**Zhuk Petr M.**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Evening Faculty, Head of the Department of Architectural Materials Science, Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia; Member of the Union of Moscow Architects

peter_05@bk.ru

Savelieva Larisa V.

PhD in Architecture, Professor of the Department of «Information Technology in Architecture», Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia; Member of the Union of Moscow Architects

lv.savelieva@markhi.ru

Kalinina Natalia S.

PhD in Architecture, Associate Professor of the Interdisciplinary Educational Center, Head of Postgraduate Studies, Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia; Member of the Union of Moscow Architects

kalinina_arch@mail.ru

Ulyanova Elena V.

PhD in Architecture, Professor of the Department of Architecture of Public Buildings, Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia; Member of the Union of Moscow Architects

elena.ul2011@yandex.ru