Construction and Architecture (2023) Vol. 11. Issue 2 (39)
DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-2-3-3

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАСТРОЙКИ ТЕРРИТОРИЙ С ПОЗИЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО РАЗВИТИЯ

УДК 69.036, 728.1

Суворова Мария Олеговна
старший преподаватель, Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова (кафедра экспертизы и управления недвижимостью), Белгород, Белгородская область, Россия;
marykrutilova@gmail.com

Наумов Андрей Евгеньевич
канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (кафедра экспертизы и управления недвижимостью), г. Белгород, Белгородская область, Россия;
andrena@mail.ru

Строкова Валерия Валерьевна
д-р техн. наук, профессор, советник РААСН, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заведующий кафедрой, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (кафедра материаловедение и технология материалов), Белгород, Белгородская область, Россия;
vvstrokova@gmail.com

Статья получена: 08.04.2023. Одобрена: 07.05.2023. Опубликована онлайн: 27.06.2023 © РИОР

Аннотация. Устойчивое развитие строительной отрасли страны в условиях ограничения доступности ресурсов предполагает внедрение в практику управления жизненным циклом объектов капитального строительства экоориентированных принципов оценки жизненного цикла на всех этапах, поиск новых организационно-технологических решений в строительстве, что в свою очередь подразумевает переход к «зеленому» низкоуглеродному строительству, а также совершенствованию инструментов ко-

LIFE CYCLE LOW-CARBON MANAGEMENT SYSTEM IMPROVEMENT OF THE INTEGRATED DEVELOPMENT OF BUILDINGS

Krutilova Maria
Graduate school, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Construction Management and Real Estate), Belgorod, Belgorod, Russian Federation;
marykrutilova@gmail.com
Naumov Andrej
PhD in Engineering, Associate Professor, Chief of Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Construction Management and Real Estate), Belgorod, Belgorod, Russian Federation;
andrena@mail.ru
Strokova Valeria
D. Sc. in Engineering, Prof., Chief of Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (Department of Materials Science and Materials Technology), Belgorod, Belgorod, Russian Federation;
vvstrokova@gmail.com

Abstract: The sustainable development of the country's construction industry in the context of limited availability of resources involves the implementation of eco-oriented principles for assessing all stages of the life cycle into the life cycle management of construction projects, as well as the search for new organizational and technological solutions in construction. This in turn implies a shift towards green, low-carbon building, as well as improved tools for quantifying, monitoring and managing the carbon footprint of buildings. The intensive growth of complex development and the increased attention to global climate change make the issues of reducing the carbon impact that occurs during construction and pre-construction stages an urgent and promising area of research. In accordance with the Strategy for the Socio-Economic Development of Russia with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050, the regulation and reduction of carbon impact and, as a result, the transition to low-carbon construction depends, first of all, on the scientific study of the issue. The authors propose recommendations for improving the tools for assessing the carbon impact of construction projects at the pre-operational stages of their life cycle, which are applicable in the formation of an effective state order for the creation of construction products that meet modern conditions of environmental friendliness and carbon neutrality. This can be effective in creating an institution of extended responsibility for construction participants, including a mechanism for certification of low-carbon building products.
Keywords: building life cycle management, integrated development, zero-carbon building, low-carbon development, pre-operational stages of the life cycle

личественной оценки, мониторинга и управления углеродным воздействием зданий. Интенсивный рост комплексной застройки территорий и возросшее внимание к глобальным изменениям климата делают вопросы сокращения углеродного воздействия, возникающего в процессе строительства и предстроительных этапах, актуальным и перспективным направлением исследования. В соответствии со Стратегией социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, нормирование и снижение уровня углеродного воздействия и, как следствие, переход к низкоуглеродному строительству зависит, прежде всего, от научной проработки вопроса. Для решения проблемы авторами предложены рекомендации по совершенствованию инструментов оценки углеродного воздействия объектов капитального строительства на предэкспулуатационных этапах их жизненного цикла, которые применимы при формировании эффективного государственного заказа на создание строительной продукции, отвечающей современным условиям экологичности и углеродной нейтральности, а также могут быть эффективны при создании института расширенной ответственности участников строительства, включая механизм сертификации низкоуглеродной строительной продукции.

Ключевые слова: управление жизненным циклом зданий, комплексная жилая застройка, углеродная нейтральность зданий, низкоуглеродное развитие, предэксплуатационные этапы жизненного цикла

Введение

В условиях градостроительной застройки жизненный цикл зданий рассматривается как интегрированная система, состав элементов которой должен обеспечить все сферы жизнедеятельности населения, в том числе экологическую устойчивость, связанную негативным воздействие на окружающую среду (ОС). В течение жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства производится более 40% мирового потребления энергии, что в пересчете на углеродные единицы составляет до 33% глобальных выбросов парниковых газов [1]. Актуальными мировыми трендами минимизации негативного воздействия на ОС с позиции низкоуглеродного развития сегодня являются декарбонизация сектора строительства и жилищно-коммунального хозяйства, создание условий для реализации углеродонейтральных инвестиционно-строительных проектов, а также оценка углеродного воздействия (УВ) реализуемых проектов [2-4].

Негативное воздействие на ОС компенсируется диссипативными способностями среды нейтрализуемого углеродного следа, выраженного в выбросах парниковых газов и приведенного к CO_2-эквиваленту, на всех этапах ЖЦ объекта капитального строительства [5]. Диссипативные способности ограничены сложившейся в экосистеме интенсивностью нейтрализации, измеряемой коэффициентом на линии углеродного следа (рисунок 1).

Любой технологический процесс привносит определённый объем углеродного следа, выражаемый коэффициентом , скорость которого зависит от используемых строительных ресурсов и технологий, сводящийся к энергопотреблению. В этой связи можно выразить условие углеродной нейтральности ОС реализации технологического процесса:

$$\alpha = \beta, \quad (1)$$

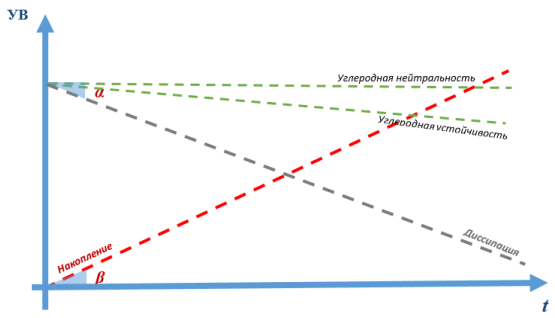


Рис. 1. Условие углеродной нейтральности

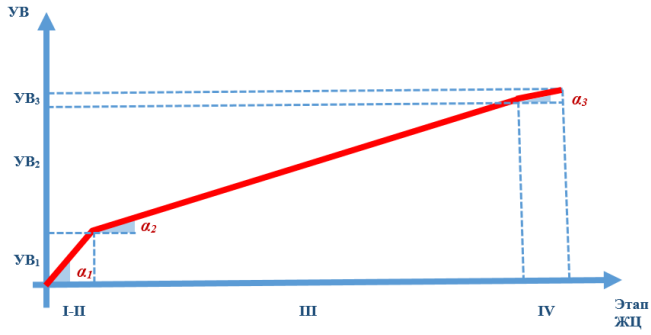


Рис. 2. Интенсивность углеродного воздействия по этапам жизненного цикла ОКС:
I-II — Предстроительные этапы, этап строительства;
III — Этап эксплуатации;
IV — Этапы после окончания эксплуатации

Применительно к объектам капитального строительства, совокупное углеродное воздействие должно быть постоянным при углеродной нейтральности или убывающим при углеродной устойчивости (рисунок 2). В этой связи можно сформулировать основной принцип управления жизненным циклом комплексной застройки территории с позиции низкоуглеродного развития [6]: построение системы жизненного цикла объектов капитального строительства с позиции низкоуглеродного развития следует осуществлять, устремляя его, как минимум, к углеродной нейтральности, с перспективой перехода на углеродную устойчивость.

Методы

Оценка жизненного цикла (Life cycle assessment — LCA) является общепризнанной методологией, применяемой для оценки зданий и сооружений с целью перехода к концепции «зеленого строительства» с применением устойчивый экоориентированных технологий и методов строительства. Оценка жизненного цикла объекта капитального строительства (ОЖЦ ОКС) представляет комплексный подход к оценке всех этапов ЖЦ в целях минимизации уровня потребления энергетических и материальных строительных ресурсов. В рамках подхода ОЖЦ исследователи [7-11] выделяют различные сценарии для минимизации энергопотребления и повышения ресурсоэффективности на всех этапах ЖЦ ОКС, что в итоге позволит снизить негативное воздействие строительного комплекса на ОС. Метод ОЖЦ является действенным инструментом снижения УВ на начальных этапах ЖЦ ОКС: технико-экономическом обосновании инвестиций, архитектурно-строительном и организационно-технологическом проектировании (предстроительные этапы), процесс строительства. Оценка углеродного воздействия на предэксплуатационных этапах позволяет рассчитать потенциальные (еще не осуществленные) выбросы парниковых газов, влияющие на состояние ОС [12].

На основе существующих методов ОЖЦ ОКС и в соответствии с существующими исследованиями в работе представлена система управления жизненным циклом комплексом застройки территории с позиции низкоуглеродного развития на предэксплуатационных этапах жизненного цикла объектов гражданского строительства.

1. Определение натуральной ресурсоемкости по показателям объемно-планировочного решения здания.

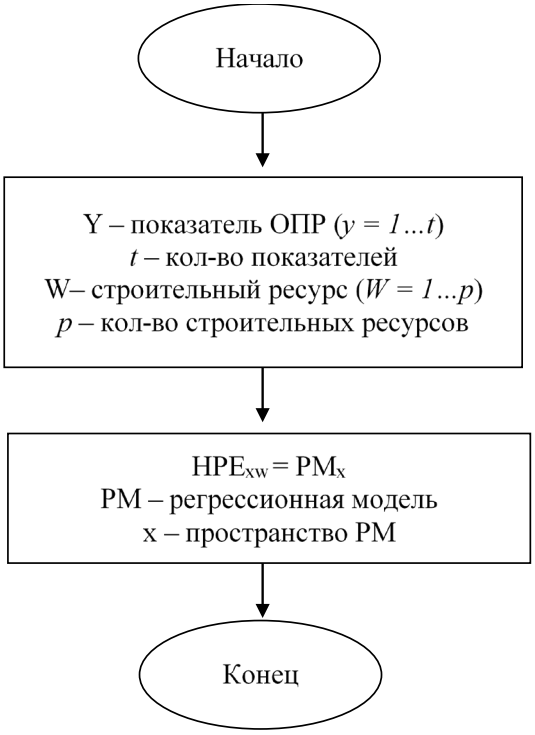


Рис. 3. Определение натуральной ресурсоемкости по показателям объемно-планировочного решения здания (А1)

Авторами предложено систематизировать показатели объемно-планировочных решений строительных проектов (ОПР) и с их помощью выявлять регрессионные зависимости натуральной ресурсоемкости (HPE) строительных ресурсов и проектных решений объектов гражданского строительства. Корреляционно-регрессионный анализ натуральной ресурсоемкости ключевых строительных ресурсов и объемно-планировочных решений, применяемых в современном гражданском строительстве, позволяет осуществлять экспресс-диагностику ресурсоемкости и сравнительный анализ низкоуглеродности потенциальных инженерных (объемно-планировочных и организационно-технологических) решений [13], альтернативных для исследуемого объекта капитального строительства (рисунок 3).

2. Экспресс-диагностика ресурсоемкости и сравнительный анализ проектных решений объектов гражданского строительства на этапе обоснования инвестиций.

Для количественной оценки углеродного воздействия объектов гражданского строительства, анализа и систематизации различных факторов, определяющих негативное воздействие, авторами было предложено многослойное факторное пространство (ФП) учитываемых показателей (строительных ресурсов)

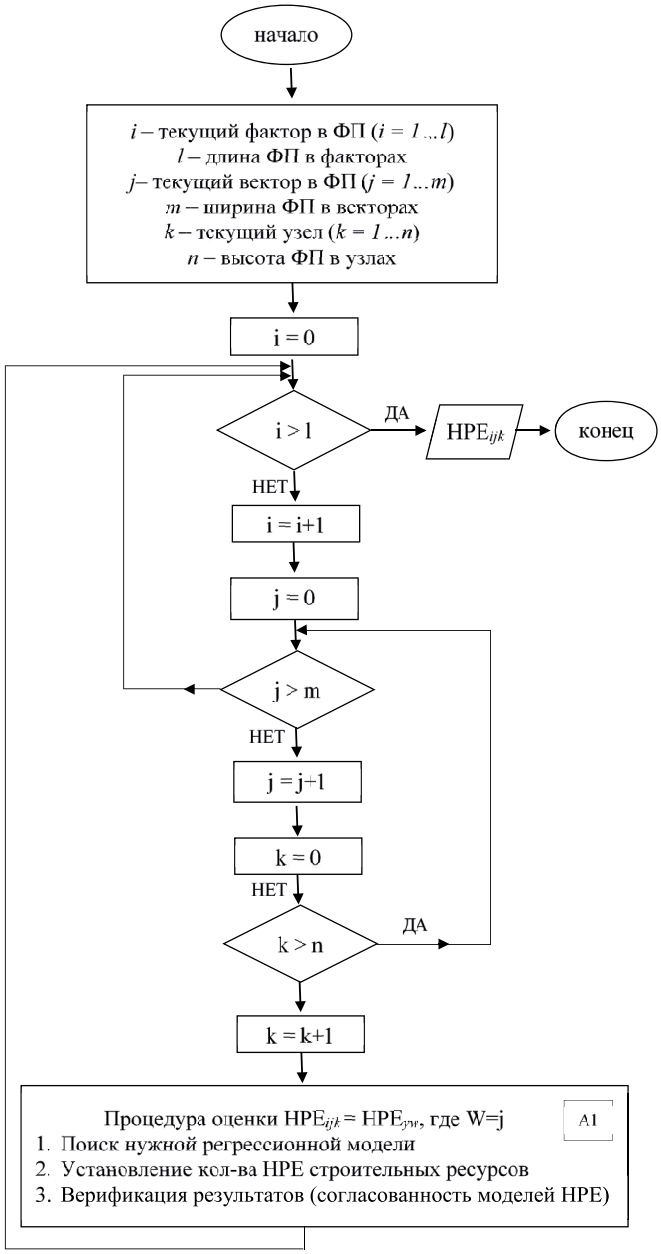


Рис. 4. Экспресс-диагностика ресурсоемкости на этапе обоснования инвестиций (А2)

углеродного воздействия [14]. На верхнем слое факторное пространство объединено в облака, группирующие показатели углеродного воздействия по их назначению и происхождению выбросов ПГ. Авторами предложено выделить *l i*-ых факторов (i=1..l). Факторы F_{ijk}, формируемые на центральном базовом слое из групп источников углеродного воздействия здания, состоят из *j*-факторных векторов, определяющих пул строительных ресурсов для оценки их углеродного воздействия. Количество анализируемых строительных ресурсов зависит от проектных решений здания и может включать *m j*-факторных векторов (j = 1...m). Подмножество *k*-факторных узлов по *j*-векторам определяет конкретные технологические характеристики производства строительных ресурсов или их транспортировки, получаемые от производителей или поставщиков и может включать n узлов.

Процедура оценки натуральной ресурсоемкости ($НРЕ_{ijk}$) включает в себя поиск нужной регрессионной модели (РМ), установление количественного значения ресурсоемкости отдельных показателей и верификацию полученных результатов путем оценки согласованности моделей $НРЕ_{ijk}$ (рисунок 4).

3. Технология сравнительной оценки углеродного воздействия объекта гражданского строительства.

Выявленное факторное пространство легло в основу многокритериального анализа и оценки углеродного воздействия объектов гражданского строительства. Методологической основной предлагаемой оценки является информационный учет сопряженных со строительным процессом ресурсных компонентов, и строящийся на нем объективный и перепроверяемый механизм количественной оценки степени УВ строительного проекта, используемой в сравнительном анализе проектных вариантов (рисунок 5) [15].

Авторами предлагается проводить сравнительный анализ альтернативных проектных решений реализации объекта (*v* — текущий проект, *z* — число сравниваемых проектов) заданных потребительских характеристик и функционального назначения. На основании разработанных корреляционных оценок приведенных к выбросам ПГ (рис. 4, рис. 5), производимых техническими и технологическими источниками энергии на этапе строительства, включающими приведенные сведения об энергоемкости производства единичных объемов строительных ресурсов, предлагается к использованию в аналитической практике калькулятор, осуществляющий общую оценку углеродного воздействия, на основании представленных в альтернативных проектных решениях сведений о материалах и технологиях [16].

4. Организационно-экономическая оценка углеродного воздействия объектов гражданского строительства на предэксплуатационных этапах жизненного цикла.

Первичная сравнительная оценка себестоимости строительства здания (ССР) на этапе технико-экономического обоснования инвестиций определяется стандартными методами строительного ценообразования на основании информационно смоделирован-

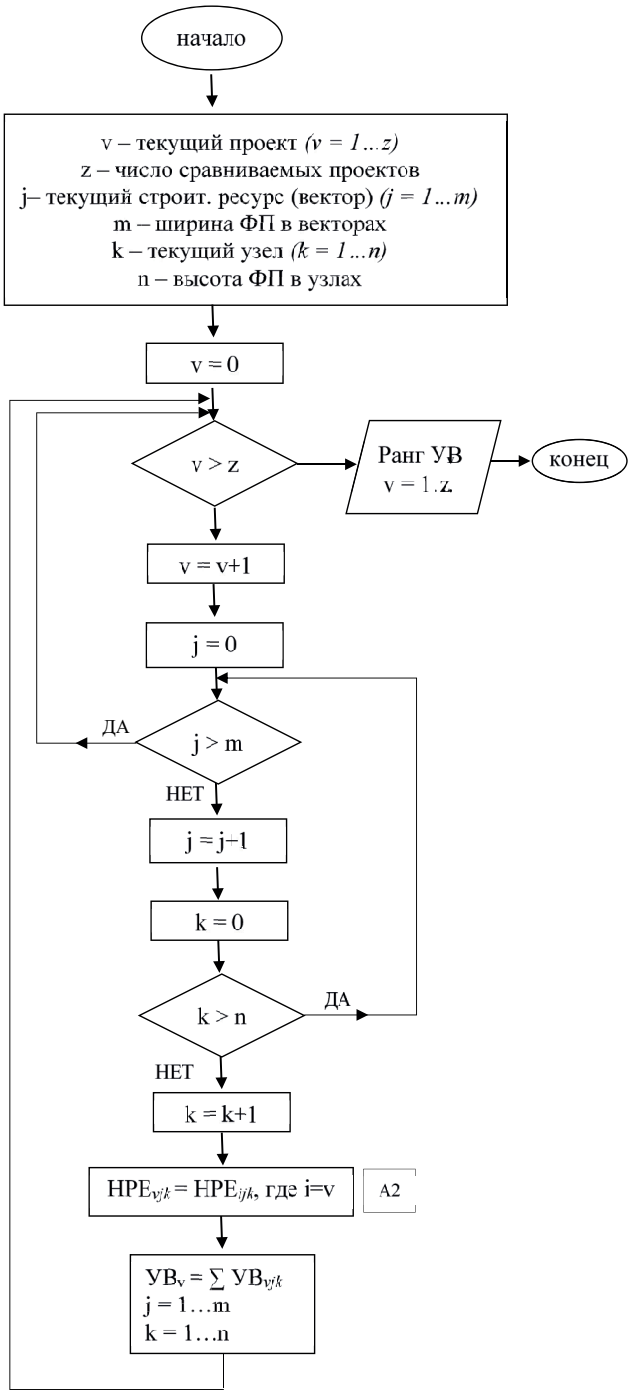


Рис. 5. Технология оценки углеродного воздействия объекта гражданского строительства (А3)

ных объемов работ (V_R) и данных НРЕ, гармонизированной с классификатором строительных ресурсов в составе Федеральной государственной информационной системы ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС) [17]. Для формирования системы оценивания УВ разноресурсных альтернативных вариантов проектных и инженерных решений авторами

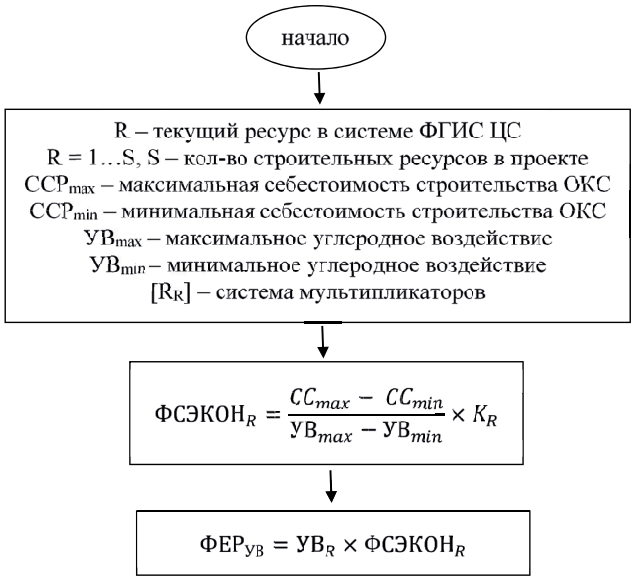


Рис. 6. Организационно-экономическая оценка углеродного воздействия ОКС (А4)

предлагается использовать инструмент условного экологического налогообложения (ЭКОН), который возможно интегрировать в систему ФГИС ЦС путем добавления показателя (ФСЭКОН) для строительных ресурсов-представителей *R* (рисунок 6).

Структура сметной стоимости строительства объекта, входящего в комплексную застройку территории, с учетом его потенциального углеродного воздействия на ОС определяется по формуле:

$$\sum\left(ФЕР_{УВ_R} V_R + НР + СП\right) И_{тек.цен} = СС_{стр}, \quad (2)$$

где $ФЕР_{УВ_R}$ — единичная расценка с учетом показателя ФСЭКОН;

V_R — объем работы (НРЕ ресурса-представителя);

НР — накладные расходы;

СП — сметная прибыль;

$И_{тек.цен}$ — индекс изменения сметной стоимости и приведения к текущему кварталу текущего года.

5. Рекомендации по проектированию и управлению жизненным циклом объектов гражданского строительства, входящих в комплекс застройки территории, с позиции низкоуглеродного развития.

Заинтересованные стороны, участники строительных процессов, могут принимать альтернативные проектные решения для более устойчивой экологически безопасной реализации инвестиционно-строительного проектов, используя систему мультипликаторов [18] [K_R], учитывающую временной отрезок реализации проекта, тип ОКС и месторасположение,

в составе комплексной застройки территории (рисунок 7).

Рис. 7. Рекомендации по проектированию и управлению жизненным циклом объектов гражданского строительства с позиции низкоуглеродного развития (А5)

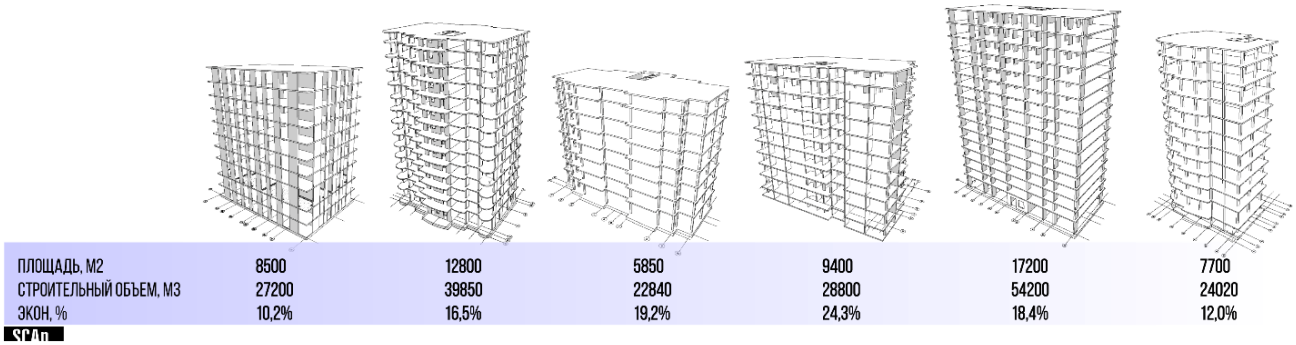
Результаты

Эскизное проектирование — концептуальная основа выбора объемно-планировочных и конструктивных решений ОКС, определяющая их рациональность и эффективность по различным показателям, складывающимся в дальнейшем в принятие эффективных управленческих решений на всех этапах ЖЦ ОКС, в том числе по критерию углеродного воздействия. Особенно важен выбор таких решений в проектах комплексной городской застройки, определяющий эффективность масштабного, обладающего высокой градостроительной, социальной и экологической значимостью проекта регионального уровня. В этой связи принятие эффективных управленческих решений следует организовать уже на этапах жизненного цикла, соответствующих максимальной управляемости проекта — этапе технико-экономического обоснования. Рассмотрим применение интегральной методики оценки углеродного воздействия при сравнительном ранжировании проектных альтернатив на этапе технико-экономического обоснования инвестиций при эскизном проектировании комплексной городской застройки одного из территориальных образований Белгородской агломерации на примере жилого комплекса в городе Белгорода «Университет» по ул. Победы, 126 (рисунок 8).

Предпроектная оценка эскизных проектов показала, что расчетная эффективность низкоуглеродных инженерных решений составляет 10,2-24,3%, что демонстрирует участникам строительного рынка гибкий инструмент эколого-экономической мотивации региональных строительных сообществ к внедрению принципов низкоуглеродного строительства в практику.

Выводы

Углеродное воздействие зданий является универсальным индикатором, входящим в число приоритетных показателей при оценке экологической безопасности и устойчивости среды обитания в российской и мировой науке. Несмотря на разработанный и практически используемый аппарат оценки эффективности управлению ЖЦ ОКС, низкоуглеродному развитию строительной отрасли и принятию экологически-ориентированных организационно-управленческих решений в строительстве до сих пор нерешенными и дискуссионными остаются ряд фундаментальных и прикладных вопросов в области количественной оценки и эффективного управления ЖЦ ОКС с позиции минимизации углеродного воздействия. Предложенная в работе интегральная комплексная система управления жизненным циклом комплексной жилой застройки с позиции низкоуглеродного развития позволяет количественно оце-



ПЛОЩАДЬ, М2	8500	12800	5850	9400	17200	7700
СТРОИТЕЛЬНЫЙ ОБЪЕМ, М3	27200	39850	22840	28800	54200	24020
ЭКОН, %	10,2%	16,5%	19,2%	24,3%	18,4%	12,0%

Рис. 8. Применение интегральной методики оценки углеродного воздействия ОКС при сравнительном ранжировании проектных альтернатив

нить ресурсоёмкость, установить углеродное воздействие на предэксплуатционных этапах, выявить и ранжировать наиболее эффективные с позиций углеродного воздействия проектные решения ОКС, используемые в сравнительной оценке эффективности планирования и управления, снижающие углеродное воздействие объектов комплексной застройки до 20% по отношению к традиционным инструментам управления девелоперскими проектами.

Предложенная система становится эффективным подспорьем в совершенствовании институциональных основ углеродоэффективного управления ЖЦ ОКС. Реализация предложенных положений позволяет достичь расчетной эффективности низкоуглеродных проектных решений в среднем 15-20%, снизить стоимостные затраты на реализацию низкоуглеродного проекта на 10-15%, сформировать гибкий инструмент управленческой мотивации региональных строительных сообществ к внедрению технологий низкоуглеродного строительства в практику, предложить низкоуглеродную сертификацию застройщиков, основанную на стоимостной оценке углеродного воздействия зданий и на повышении тендерной конкурентоспособности участников строительства, использующих низкоуглеродные технологии строительства.

Список литературы

1. Башмаков, И.А. Низкоуглеродная Россия: 2050 год / И. А. Башмаков. — Москва: Авис Оригинал, 2009. — 197 с. — ISBN 978-5-903112-06-7.
2. Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. Application of Life-Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts // Building and Environment. Vol. 60. P. 81-92. 2013. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009
3. H kkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., & Jung, N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings // Journal of Building Engineering. Vol. 4. P. 1–13. 2015. DOI: 10.1016/j.jobe.2015.06.005
4. Norman, Jonathan & Maclean, Heather & Asce, M & Kennedy, Christopher. Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, Journal of Urban Planning and Development 132 (1) (2006): 10-21. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2006)132:1(10)
5. Кокорин, А.О. Глобальный низкоуглеродный тренд развития как движущая сила реализации Парижского соглашения / А. О. Кокорин, В. Ю. Поташников // Экономическая политика. — 2018. — Т. 13, № 3. — С. 234-255. — DOI: 10.18288/1994-5124-2018-3-1
6. Авилова, И.П. Инструменты оценки эколого-экономической эффективности проектных решений в жилищно-гражданском строительстве / И. П. Авилова, М. О. Крутилова, В. В. Науменко // Строительство: наука и образование. — 2019. — Т. 9, № 4. — С. 1-17. — DOI 10.22227/2305-5502.2019.4.8.
7. Peng, C. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling // Journal of Cleaner Production. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.078
8. Adaptation techniques of an urban planning due to climate change / N. Bakaeva, M. Suvorova, R. A. Sheps, A. Kormina // E3S Web of Conferences: 24, Moscow, 22–24 апреля 2021 года. Moscow, 2021. P. 05013. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305013
9. Шеина, С.Г. Применение технологий зеленого строительства на территории Российской Федерации / С. Г. Шеина, Л. В. Гиря, С. А. Оторьян // Строительство и архитектура — 2022: материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства, Ростов-на-Дону, 19–21 апреля 2022 года. — Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. — С. 114-116.
10. Лосев, К.Ю. Создание и внедрение технологии управления жизненным циклом объектов строительства / К.Ю. Лосев // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 11. — С. 80-83.
11. Кобелева, С.А. Моделирование жилищной сферы, совместимой с биосферой / С. А. Кобелева, Н. В. Бакаева, К. С. Андрейцева // Жилищное строительство. — 2014. — № 6. — С. 60.
12. Самосудова, Н. В. Фундаментальные основы проектирования и управления жизненным циклом недвижимости: надежность, эффективность и безопасность / Н. В. Самосудова, Т. В. Варская // Недвижимость: экономика, управление. — 2015. — № 2. — С. 71-75.
13. Крутилова, М.О. Направления совершенствования экономических механизмов минимизации выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла здания // М.О. Крутилова / Экономика строительства и природопользования. — 2018. — № 1(66). — С. 63-71.
14. Жданова И. В., Кузнецова А. А. Особенности проектирования жилых зданий околонулевого энергопотребления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2023. №. 2. С. 85-93. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-85-93
15. Suvorova, M.O. Reducing the carbon footprint of buildings to improve sustainable development mechanisms of the construction complex / M.O. Suvorova, I.P. Avilova // Real Estate: Economics, Management. — 2021. — №. 3. — С. 56-60.
16. Горбанева, Е.П. Оптимизация экономических результатов внедрения энергосберегающих мероприятий в течение полного жизненного цикла объекта капитального строительства / Горбанева Е.П., Косовцева И.А., Кстенин Т.В. // Недвижимость: экономика, управление. — 4. С. 45–49. 2023. DOI: 10.22337/2073-8412-2022-4-45-49.
17. Шеина, С.Г. Реализация «зелёных» технологий в BIM на примере жилого здания / С.Г. Шеина, К.В. Чубарова, Н.А. Шубина // Строительство и архитектура — 2021: Материалы Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–23 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Донской государственный технический университет. — Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. — С. 30-31.
18. Бакаева, Н.В. Методические основы эффективного функционирования института низкоуглеродной сертификации застройщиков // Н.В. Бакаева, М.О. Суворова / Экономика строительства и природопользования. — 2021. — № 1 (78). — С. 21-27.

References

1. Bashmakov, I.A. Low-carbon Russia: 2050 / I.A. Bashmakov. - Moscow: Avis Original, 2009. — 197 p. — ISBN 978-5-903112-06-7.
2. Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. Application of Life-Cycle Assessment to Early Stage Building Design for Reduced Embodied Environmental Impacts // Building and Environment. Vol. 60. P. 81-92. 2013. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009
3. Häkkinen, T., Kuittinen, M., Ruuska, A., & Jung, N. Reducing embodied carbon during the design process of buildings // Journal of Building Engineering. Vol. 4. P. 1-13. 2015. DOI: 10.1016/j.jobe.2015.06.005
4. Norman, Jonathan & Maclean, Heather & Asce, M & Kennedy, Christopher. Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, Journal of Urban Planning and Development 132 (1) (2006): 10-21. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2006)132:1(10)
5. Kokorin A.O., Potashnikov V.Y. Global low-carbon development trend as a driving force for the implementation of the Paris Agreement / A.O. Kokorin, V.Y. Potashnikov // Economic Policy. — 2018. — T. 13, № 3. — P. 234-255. — DOI: 10.18288/1994-5124-2018-3-1
6. Avilova I.P. Tools for assessing the environmental and economic efficiency of design solutions in housing and civil construction / I. P. Avilova, M. O. Krutilova, V. V. Naumenko // Building: Science and Education. — 2019. — T. 9, № 4. — P. 1-17. — DOI 10.22227/2305-5502.2019.4.8.
7. Peng, C. Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling // Journal of Cleaner Production. 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.078
8. Adaptation techniques of an urban planning due to climate change / N. Bakaeva, M. Suvorova, R. A. Sheps, A. Kormina // E3S Web of Conferences: 24, Moscow, April 22-24, 2021. Moscow, 2021. P. 05013. DOI: 10.1051/e3sconf/202126305013
9. Sheina S.G., Girya L.V., Otoryan S.A. Application of green building technologies on the territory of Russian Federation / S.G. Sheina, L.G., 2022: materials of international scientific-practical conference of Faculty of Industrial and Civil Engineering, Rostov-on-Don, 19-21 April 2022. — Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2022. — P. 114-116.
10. Losev, K.Y. Creation and implementation of lifecycle management technology of construction objects / K.Y. Losev // Industrial and Civil Engineering. — 2014. — № 11. — P. 80-83.
11. Kobeleva S.A. Modeling of the housing sphere compatible with the biosphere / S. A. Kobeleva, N. V. Bakaeva, K. S. Andreytseva // Housing Construction. — 2014. — № 6. — P. 60.
12. Samosudova N.V., Varskaya T.V. Fundamental bases of design and management of the life cycle of real estate: reliability, efficiency and safety / N. V. Samosudova, T. V. Varskaya // Real Estate: Economics, Management. — 2015. — № 2. — P. 71-75.
13. Krutilova, M.O. Directions for improving economic mechanisms to minimize greenhouse gas emissions during the life cycle of the building / M.O. Krutilova / Economics of Construction and Environmental Management. — 2018. — № 1(66). — P. 63-71.
14. Zhdanova I. V., Kuznetsova A. A. Features of the design of residential buildings near-zero energy consumption // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2023. №. 2. P. 85-93. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-85-93
15. Suvorova, M.O. Reducing the carbon footprint of buildings to improve sustainable development mechanisms of the construction complex / M.O. Suvorova, I.P. Avilova // Real Estate: Economics, Management. — 2021. — №. 3. — P. 56-60.
16. Gorbaneva E.P., Kosovtseva I.A., & Kstenin T.V. Optimization of economic results of the introduction of energy-saving measures during the full life cycle of capital construction / E.P. Gorbaneva, E.P., Kosovtseva I.A., & Kstenin, T.V. // Real Estate: Economics, Management. — 4. P. 45-49. 2023. DOI: 10.22337/2073-8412-2022-4-45-49.
17. Sheina S.G., K.V. Chubarova, N.A. Shubina // Construction and Architecture — 2021: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, 19-23 April 2021 / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Don State Technical University. — Rostov-on-Don: Don State Technical University. 2021. — P. 30-31.
18. Bakaeva N.V. Methodological bases of effective functioning of the institute of low-carbon certification of developers // N.V. Bakaeva, M.O. Suvorova / Economics of construction and environmental management. — 2021. — № 1 (78). — P. 21-27.