

Внедрение концептуальной основы оценки строительного контроля и надзора для операций на строительных площадках

А.В. Баулин, Б. Чжоу

Национальный исследовательский московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва

Аннотация: В данной статье представлена концептуальная основа для оценки зрелости систем строительного контроля и надзора на строительных площадках. Разработана многоуровневая модель оценки, интегрирующая метод анализа иерархий (МАИ) и метод нечеткой комплексной оценки. Предложена пятиуровневая таксономическая система градации зрелости регуляторных механизмов в строительной отрасли. Подробно описаны процедуры формирования иерархической структуры оценочных индикаторов, конструирования матриц суждений, детерминации весовых коэффициентов и применения метода нечеткой комплексной оценки для квантификации уровня зрелости систем надзора. Разработанная методология представляет собой универсальный инструментарий для проведения компаративного анализа систем строительного контроля и государственного надзора в различных национальных и региональных юрисдикциях на основе объективных квантифицированных критериев.

Ключевые слова: строительный контроль, государственный надзор, модель зрелости, метод анализа иерархий, нечеткая комплексная оценка, квантификация, оценочные индикаторы.

Введение

В современной строительной индустрии системы строительного контроля и государственного надзора выполняют критически важную функцию обеспечения качества и безопасности строительных площадках. Объективная и комплексная оценка эффективности данных систем на национальном или региональном уровне представляет собой фундаментальную задачу как для регулирующих органов, так и для профессиональных участников строительного рынка.

Систематический анализ результатов оценки уровня строительного контроля и государственного надзора позволяет идентифицировать текущее состояние регуляторной среды проекта и детерминировать степень влияния многочисленных факторов на данную среду. Полученная аналитическая информация служит научно-обоснованной платформой для формирования стратегических решений по модернизации административно-управленческих

механизмов и оптимизации моделей надзорной деятельности. Для достижения максимальной объективности и научной валидности результатов оценки, с учетом всего спектра потенциально влияющих переменных, императивной необходимостью является разработка многопараметрической системы оценочных индикаторов, которая всесторонне, объективно и достоверно отражает актуальное состояние строительных проектов. Следовательно, методологическая основа такой системы оценки должна базироваться на принципах комплексности, научной обоснованности, функциональной эффективности и практической применимости [1].

Концептуальная категория "зрелости" представляет собой методологический инструментарий измерения операционных возможностей и уровня развития системы управления [2]. Математическое моделирование зрелости устанавливает квантифицируемые критерии для проведения такого измерения. Первоначальная модель оценки зрелости была сформирована на основе интеграции трех теоретических парадигм: принципов статистического контроля качества, концепции непрерывного совершенствования и трилогии управления качеством. Методология статистического контроля качества предполагает трансформацию фокуса с постфактумного контроля на процессуально-ориентированный мониторинг посредством применения статистических методов. Парадигма непрерывного совершенствования постулирует, что решение проблем достигается через инкрементальные улучшения и аккумуляцию эмпирического опыта, что в конечном итоге ведет к системной зрелости. Трилогия управления качеством включает в себя планирование качества, контроль качества и улучшение качества как интегрированные компоненты единой системы.

Базируясь на вышеуказанных теоретических конструктах, модель зрелости нашла широкое применение в методологии оценки различных систем управления. Стандартизированная процедура оценки начинается с

конструирования специфической системы оценки зрелости, адаптированной к конкретному объекту исследования. Селекция методологических подходов определяется характеристиками и количеством анализируемых показателей, а также конечными целями исследования [3]. Результаты оценки традиционно классифицируются по четырех- или пятиуровневой шкале. Наиболее широко признанной является таксономия, разработанная Институтом программной инженерии Университета Карнеги-Меллона для оценки зрелости программного обеспечения, которая дифференцирует пять уровней:

1. Начальный: Организационные структуры на данном уровне зрелости характеризуются как исходная точка для всех последующих трансформаций. Их внутренние управленческие процессы отличаются хаотичностью, фрагментарностью и отсутствием системной логики.
2. Повторяемый: Организации, достигшие этого уровня, имплементировали базовые процессы управления. Эти методологические подходы обладают свойством репликативности, что позволяет трансформировать накопленный позитивный опыт в директивные указания и ориентиры для перспективной деятельности.
3. Определенный: На данном уровне управленческие процессы в организации подвергаются стандартизации и документальному оформлению. Все проектные инициативы в рамках организации реализуются с использованием унифицированных процедурных протоколов.
4. Управляемый: Детализированные метрики и измерительные инструменты применяются в системе внутреннего управления

организации. Процессы управления поддаются количественной оценке и параметризации.

5. Оптимизирующий: Этот уровень репрезентирует высшую степень организационной зрелости. Для управленческих процессов это стадия непрерывной оптимизации и совершенствования, а для проектно-ориентированной организации – этап непрерывного обучения, адаптации и самообновления на основе информационной обратной связи.

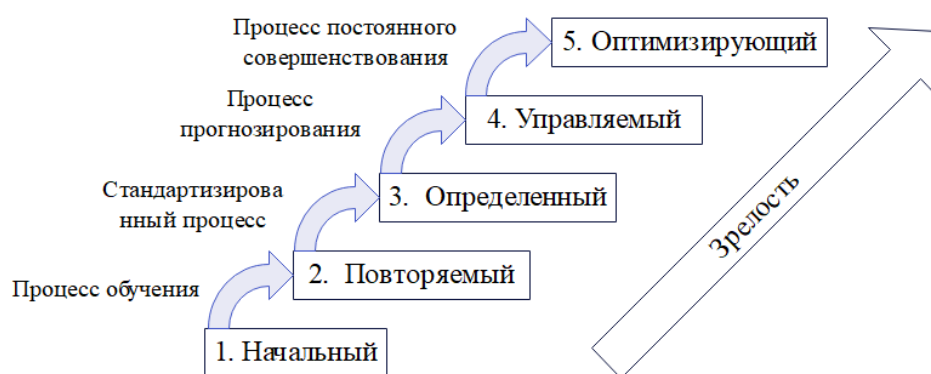


Рис. 1. – Схема системы ступенчатой классификации уровней модели зрелости

Материалы и методы

В соответствии с особенностями формирования оценочных индикаторов и целевыми задачами исследования, в данной работе применяется комбинированная методология, интегрирующая метод анализа иерархий (МАИ) и метод нечеткой комплексной оценки для определения уровня строительного контроля и государственного надзора на строительных площадках. Метод анализа иерархий, разработанный в середине 1970-х годов группой специалистов по исследованию операций под руководством американского ученого Л.Т. Саати, представляет собой систематический подход к решению проблем выбора и оценки многоцелевых, многоуровневых задач [4]. Данный метод трансформирует качественные проблемы с высокой

степенью неопределенности в количественно измеримые параметры посредством конструирования многоуровневой аналитической модели и присвоения весовых коэффициентов, что обеспечивает относительную объективность процесса анализа и оценки [5].

Отличительной характеристикой предлагаемой методологии является последовательное применение МАИ для детерминации весовых коэффициентов оценочных индикаторов, с последующим использованием метода нечеткой комплексной оценки. В рамках последнего, на основе набора нечетких оценочных множеств и принципа максимальной степени принадлежности, определяется классификационный уровень объекта оценки. Синергетический эффект от интеграции данных методов заключается в трансформации многофакторной оценки с высоким уровнем неопределенности и субъективных элементов в систематизированный качественно-количественный аналитический процесс. Метод нечеткой комплексной оценки, выступая в качестве методологического дополнения к МАИ, существенно повышает всесторонность и комплексность аналитического процесса, что значительно увеличивает надежность и научную обоснованность полученных результатов [6].

Процедура формирования системы оценочных индикаторов может быть структурирована в виде следующего алгоритма операций:

1. Конструирование первичной модели системы индикаторов. На данном этапе формируется концептуальная структура системы оценки, включающая иерархически организованные критерии и субкритерии.
2. Применение МАИ в сочетании с экспертным опросом для квантификации весовых коэффициентов индикаторов различных уровней. Этот этап обеспечивает отражение относительной значимости каждого критерия в общей структуре оценки.

3. Имплементация метода нечеткой комплексной оценки для обработки экспертных оценочных данных, конструирования функций нечеткой принадлежности и формирования матрицы нечеткой принадлежности. На данном этапе происходит математическая формализация экспертных оценок с учетом их неопределенности и вариативности.
4. Математическая обработка и интерпретация векторов нечеткой оценки для получения финальных результатов оценки и детерминации уровня зрелости системы. Заключительный этап предполагает применение математического аппарата для агрегирования всех параметров оценки и определения общего уровня развития системы строительного контроля и государственного надзора.

Результаты исследования

Конструирование иерархической структурной модели

Первостепенной задачей в процессе анализа оценочных индикаторов методом анализа иерархий является формирование структурной модели с четкой иерархической организацией и рациональным содержательным наполнением [7]. Для решения поставленной проблемы или достижения ожидаемых результатов, с полной интеграцией существующих знаний и накопленного эмпирического опыта, происходит декомпозиция аналитической структуры на три иерархических уровня (см. рис. 2):

- Целевой уровень (результаты или цели аналитической оценки)
- Критериальный уровень (промежуточные элементы, используемые для достижения конечной цели)

- Индикаторный уровень (также именуемый уровнем решений, включающий различные альтернативные стратегии и конкретные меры, направленные на достижение целей)

На основе данной методологической платформы формируется специализированная структурная модель для оценки зрелости систем строительного контроля и государственного надзора на строительных площадках (см. таб. № 1).

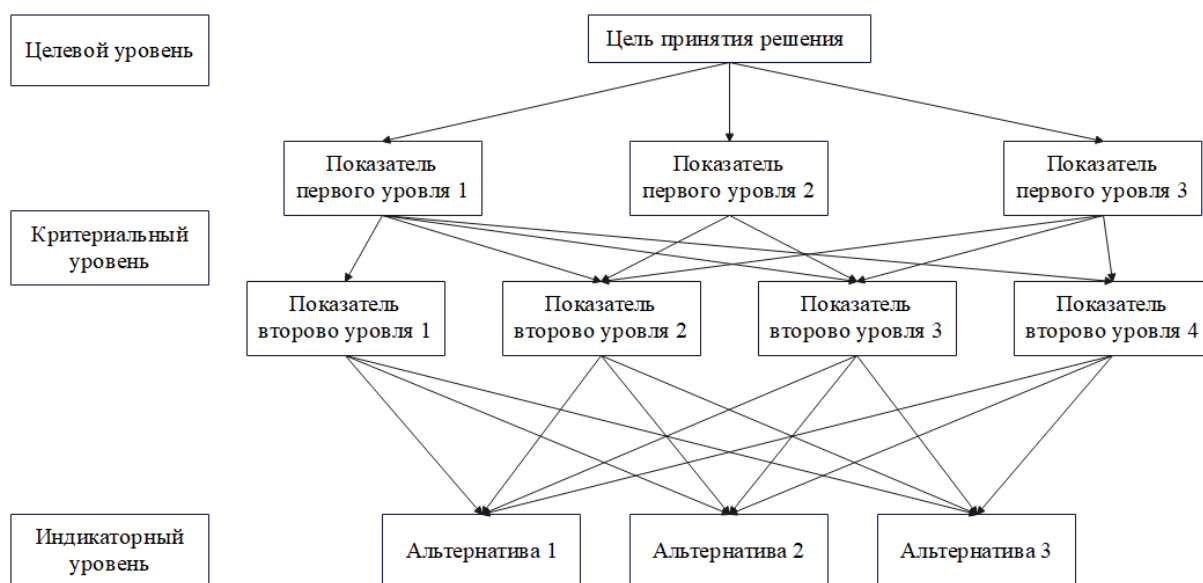


Рис. 2. – Схема метода анализа иерархий

Таблица № 1

Модель для оценки зрелости систем строительного контроля и государственного надзора на строительных площадках

Общая цель	Показатель первого уровня	Показатель второго уровня	Код
Зрелость системы строительного контроля и государственного надзора на строительных площадках	Способность надзора за качеством строительства U1	Структура и распределение обязанностей надзорной организации	U11
		Конфигурация персонала надзорной организации	U12
		Профессиональные	U13



		способности надзорной организации	U14
		Реализация планов и решений надзора	

Продолжение таблицы №1

		Оборудование надзорной организации	U15
		Нормативы процесса надзора	U21
		Контроль поведения качества	U22
		Контроль качества объекта	U23
		Контроль изменений проекта	U24
		Контроль входного контроля материалов.	U25
		Контроль проверки механического оборудования	U26
		Применение информационного надзора	U27
		Влияние окружающей среды надзора	U28
		Надзор за скрытыми работами	U29
	Способность контроля качества после строительства U3	Коэффициент приемки единичных работ	U31
		Комплексность архивных документов надзора.	U32
		Удовлетворенность обработкой жалоб по качеству проекта	U33

Формирование матрицы суждений

В рамках вышеизложенной теоретической базы осуществляется привлечение экспертов для проведения попарного сравнения различных факторов, относящихся к одному иерархическому уровню. Квантификация результатов сравнения производится с использованием шкалы Саати, включающей 9 градаций. Совокупность многочисленных попарных сравнений трансформируется в матрицу суждений.

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1..} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{2..} & a_{2n} \\ a_{..} & a_{..} & a_{..} & a_{..} \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n..} & a_{nn} \end{bmatrix} (i, j = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где A – матрица суждений; a_{ij} – значение по 9-балльной шкале, определяемое согласно таблице значений Саати (см. таб. № 2).

Таблица № 2

Шкала значений Саати

№ п/п	Интерпретация	Числовое значение(a_{ij})
1	При сравнении двух факторов, оба фактора одинаково важны	1
2	При сравнении двух факторов, первый фактор немного важнее второго	3
3	При сравнении двух факторов, первый фактор существенно важнее второго	5
4	При сравнении двух факторов, первый фактор значительно важнее второго	7
5	При сравнении двух факторов, первый фактор абсолютно превосходит второй по важности	9
6	Промежуточные значения между соседними градациями шкалы	2, 4, 6, 8
7	При сравнении двух факторов, если относительная важность первого фактора по отношению ко второму определяется как a_{ij} , то относительная важность второго фактора по отношению к первому определяется как a_{ji}	$a_{ji} = 1/a_{ij}$

Детерминация весовых коэффициентов индикаторов и верификация их когерентности

Процедура расчета весовых коэффициентов концептуально соответствует алгоритму определения собственных значений и собственных векторов матрицы в линейной алгебре высшей математики. Исходя из матричного уравнения $AW = \lambda_{max} \cdot W$, где W представляет собой нормализованный собственный вектор, а λ_{max} — максимальное собственное значение, задача трансформируется в нахождение максимального собственного значения.

Далее осуществляется нормализация матрицы суждений A по столбцам, после чего производится суммирование по строкам с последующей нормализацией полученных строчных сумм, что позволяет определить весовые коэффициенты:

$$W_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}}}, i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2)$$

где W_i — весовой коэффициент.

Данная математическая процедура обеспечивает квантификацию относительной значимости каждого элемента в иерархической структуре оценки, что является критическим компонентом для последующего синтеза общей оценки зрелости системы строительного контроля и государственного надзора.

В МАИ для оценки согласованности мнений эксперта используется коэффициент «отношение согласованности(ОС)», который вычисляется на основе главного собственного значения матрицы суждений. Условие приемлемой согласованности мнений эксперта следующее:

$$\begin{cases} \text{ОС} \leq 0,1; r > 4; \\ \text{ОС} \leq 0,08; r = 4; \\ \text{ОС} \leq 0,1; r = 3; \end{cases}$$

где r — ранг матрицы суждений.

Обоснование применения метода нечеткой комплексной оценки

Метод анализа иерархий, несмотря на его математическую строгость, обеспечивает определение весовых коэффициентов только на критериальном уровне, что позволяет сформировать базовое субъективное суждение относительно значимости отдельных индикаторов, однако является недостаточным для комплексной оценки целевой системы. Традиционные методы оценивания, базирующиеся на простом суммировании или взвешенном агрегировании показателей, не способны элиминировать влияние факторов неопределенности и субъективного человеческого фактора. Следовательно, существует методологическая необходимость в имплементации аналитического инструментария, способного квантифицировать неопределенные оценочные факторы [8].

В данном контексте метод нечеткой комплексной оценки демонстрирует высокую аппликативную релевантность, обеспечивая научно обоснованное извлечение экспертных оценочных значений, конструирование функций нечеткой принадлежности, формирование матрицы нечеткой принадлежности, математическую обработку и анализ векторов нечетких суждений для получения итоговых результатов оценки.

Уровень зрелости систем строительного контроля и государственного надзора на строительных площадках неразрывно связан со степенью стандартизации пяти фундаментальных элементов: нормативно-правовой базы, субъектов контроля, содержательных аспектов, процедурных механизмов и методологических подходов. Адаптируя концептуальную таксономию уровней зрелости, применяемую для оценки проектного управления в корпоративных структурах, можно дифференцировать следующие градации зрелости: начальный уровень, прогрессивный уровень, определенный уровень, управляемый уровень и оптимизированный уровень [9, 10].

На основе вышеизложенных теоретических конструктов формируется пятиуровневая градационная система оценочных критериев, представленная в таблице № 3.

Таблица № 3.

Критерии оценки уровня надзора

№ п/п	Интерпретация	Диапазон значений (P)
1	Уровень надзора — отличный (B1)	0,8-1
2	Уровень надзора — хороший (B2)	0,6-0,8
3	Уровень надзора — удовлетворительный (B3)	0,4-0,6
4	Уровень надзора — неудовлетворительный (B4)	0,2-0,4
5	Уровень надзора — критический (B5)	0-0,2

Конструирование матрицы нечеткой принадлежности

Для формирования эмпирической базы исследования осуществляется повторная селекция и статистическая обработка опросных данных, полученных от 10 экспертов, что позволяет сконструировать матрицу нечеткой принадлежности S_i :

$$S_i = \begin{bmatrix} S_{i11} & S_{i12} & S_{i13} \\ S_{i21} & S_{i22} & S_{i23} \\ S_{i31} & S_{i32} & S_{i33} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где S_{imn} – подмножество оценок для индикатора i на индикаторном уровне.

Детерминация результатов оценки зрелости

Комплексное оценочное значение B_i для отдельного индикатора i вычисляется по формуле:

$$B_i = [b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}, b_{i5}] = [w_{i1}, w_{i2}, w_{i3}, \dots, w_{in}] \cdot S_i, \quad (4)$$

Матрица функций оценки T на критериальном уровне определяется как:

$$T = \begin{bmatrix} B_1 \\ \dots \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{15} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{m5} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Матрица нечеткой оценки B на целевом уровне рассчитывается следующим образом:

$$B = [W_1, W_2, W_3, \dots, W_m] \cdot T, \quad (6)$$

Согласно принципу максимальной степени принадлежности в методе нечеткой комплексной оценки, итоговый результат оценки P определяется как:

$$P = \max(B_1, B_2, B_3, B_4, B_5), \quad (7)$$

где P – представляет собой индикативное значение уровня надзорной системы.

Заключение и обсуждение

Настоящее исследование направлено на формирование инновационной методологической платформы для квантифицированной оценки уровня зрелости систем строительного контроля и государственного надзора на строительных площадках. Концептуальный фундамент данной методологической конструкции базируется на интеграции МАИ, метода нечеткой комплексной оценки и теоретических постулатов концепции зрелости, что обеспечивает создание целостной аналитической структуры для многопараметрической оценки [11].

В рамках разработанной таксономической системы дифференцированы пять градаций зрелости, отражающих эволюционную траекторию развития регуляторных механизмов в строительной отрасли. Селекция оценочных индикаторов осуществлялась на основе детального анализа характеристических особенностей стандартизированных моделей строительного контроля и государственного надзора на строительных площадках.

Процедура квантификации относительной значимости компонентов индикативной системы реализована посредством методологической триангуляции, включающей экспертные опросные исследования и математический аппарат метода анализа иерархий. Данная процедура позволила детерминировать окончательную структуру весовых коэффициентов в системе оценки стандартизации и зрелости механизмов строительного контроля и государственного надзора в строительных проектах.

Последующая имплементация метода нечеткой комплексной оценки обеспечила трансформацию качественных оценочных суждений в квантифицированные параметры зрелости анализируемых систем. Разработанная методологическая платформа представляет собой универсальный инструментарий, обеспечивающий возможность проведения компаративного анализа уровня зрелости систем строительного контроля и государственного надзора в различных национальных и региональных юрисдикциях на основе объективных квантифицированных критериев.

Литература

1. Нефедов А.С. Сравнительный анализ метода ELECTRE III и метода анализа иерархий при решении многокритериальных задач // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 2. С. 9-15.
2. Наумов А.Е., Щенятская М.А. Практические аспекты использования метода анализа иерархий для политикритериального сравнительного анализа портфельных альтернатив // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 223-227. URL: doi.org/10.12737/24127.

3. Цвелик Е.А. Метод построения иерархии критериев на основе онтологического анализа системы // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971.
4. Feng Y. Risk Level Comprehensive Evaluation Model of High Rise Building Construction Based on FAHP // Proceedings - 2021 International Conference of Social Computing and Digital Economy, ICSCDE 2021. 2021. С. 289-292. URL: doi.org/10.1109/ICSCDE54196.2021.00073.
5. Земцов А.Н. Болгов Н.В. Божко С.Н. Многокритериальный выбор оптимальной системы управления базы данных с помощью метода анализа иерархий// Инженерный вестник Дона. 2014. № 2. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2360.
6. Латыпова В.А. Сравнительный анализ и выбор программных средств, реализующих метод анализа иерархий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2018. Т. 6, № 4(23). С. 322-347. URL: doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024.
7. Благодатский Г.А., Горохов М.М., Казанцев Д.И. Создание математической модели анализа структуры аккредитационных показателей вуза с применением метода анализа иерархий // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2010. № 2(46). С. 115-118.
8. Лосев Ю.Г., Лосев К.Ю. Применение метода анализа иерархий в процессах принятия решений при проектировании и строительстве объектов // Вестник Белгородского университета потребительской кооперации. 2005. № 4(13). С. 176-181.
9. Hua W., Zhou T., Zhai Y., Ni J., Wang H. Building construction site safety-risk evaluation method based on ANP-FUZZY // Xi'an Jianzhu Keji Daxue Xuebao/Journal of Xi'an University of Architecture and Technology. 2020. Т. 52. № 6. С. 912-917. URL: doi.org/10.15986/j.1006-7930.2020.06.019.

10. Feng Y. Risk Level Comprehensive Evaluation Model of High Rise Building Construction Based on FAHP // Proceedings - 2021 International Conference of Social Computing and Digital Economy, ICSCDE 2021. 2021. С. 289-292. URL: doi.org/10.1109/ICSCDE54196.2021.00073

11. Wernicke B., Stehn L., Sezer A.A., Thunberg M. Introduction of a digital maturity assessment framework for construction site operations // International Journal of Construction Management. 2021. Т. 23. № 5. С. 898-908. URL: doi.org/10.1080/15623599.2021.1943629.

References

1. Nefedov A.S. Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. 2018. Т. 2. pp. 9-15.

2. Naumov A.E., Shchenyatskaya M.A. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2017. № 1. pp. 223-227. URL: doi.org/10.12737/24127.

3. Tselik E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971.

4. Feng Y. Proceedings - 2021 International Conference of Social Computing and Digital Economy, ICSCDE 2021. 2021. pp. 289-292. URL: doi.org/10.1109/ICSCDE54196.2021.00073

5. Zemtsov A.N., Bolgov N.V., Bozhko S.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2360.

6. Latypova V.A. Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. 2018. Vol. 6, No. 4(23). pp. 322-347. URL: doi.org/10.26102/2310-6018/2018.23.4.024.

7. Blagodatskiy G.A., Gorokhov M.M., Kazantsev D.I. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. No. 2(46). pp. 115-118.

8. Losev Yu.G., Losev K.Yu. Vestnik Belgorodskogo universiteta potrebitel'skoy kooperatsii. 2005. No. 4(13). pp. 176-181.



9. Hua W., Zhou T., Zhai Y., Ni J., Wang H. Xi'an Jianzhu Keji Daxue Xuebao/Journal of Xi'an University of Architecture and Technology. 2020. Vol. 52. No. 6. pp. 912-917. URL: doi.org/10.15986/j.1006-7930.2020.06.019.

10. Feng Y. Proceedings - 2021 International Conference of Social Computing and Digital Economy, ICSCDE 2021. 2021. pp. 289-292. URL: doi.org/10.1109/ICSCDE54196.2021.00073.

11. Wernicke B., Stehn L., Sezer A.A. International Journal of Construction Management. 2021. Vol. 23. No. 5. pp. 898-908. URL: doi.org/10.1080/15623599.2021.1943629.

Дата поступления: 21.04.2025

Дата публикации: 25.06.2025