

УДК: 69.059.2

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.13

EDN: JZVOJQ



Гибридный метод интегральной оценки очередности восстановления поврежденных объектов

А.А. Лapidус¹, А.А. Руденко²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация. Актуальной проблемой строительного производства является отсутствие технико-экономического обоснования и инструментария определения очередности восстановительного ремонта объектов строительства, поврежденных от любых воздействий. Цель исследования - формирование критериев оценки и метода определения очередности ремонтных работ с учетом значимости различных факторов.

Задачи исследования: 1. Выявить и ранжировать факторы, влияющие на очередность ремонтно-восстановительных работ. 2. Разработать алгоритм определения очередности восстановления эксплуатируемых объектов на основании критериальных показателей.

В статье рассматривается гибридный метод интегральной оценки очередности восстановления поврежденных объектов. Выявлены и ранжированы наиболее значимые факторы, влияющие на первоочередность ремонта.

В результате исследования выявлено, что с учетом 8-ми критериев наиболее значимыми являются 6 факторов, влияющие на очередность выполнения ремонта объектов: жизнеобеспечение и критическая важность, техническое состояние после повреждения, техногенная опасность, величина требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт, необходимость применения высокотехнологического оборудования и специалистов, требуемый уровень восстановления.

Выводы. В процессе исследований: 1. Выявлены и ранжированы факторы, влияющие на очередность ремонтно-восстановительных работ и входящие в 2-е группы (организационные и технологические). 2. Разработанный метод определения очередности позволяет с учетом 8-ми критериев определять очередность ремонта.

Ключевые слова: оценка, очередность, восстановление, критерии, ремонт, факторы

Для цитирования: Лapidус А.А., Руденко А.А., Гибридный метод интегральной оценки очередности восстановления поврежденных объектов// Известия КГАСУ, 2026, № 2 (76), с. 195-211, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.13, EDN: JZVOJQ

Hybrid method for the integrated assessment of the restoration sequence for damaged facilities

A.A. Lapidus¹, A.A. Rudenko²

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering

²Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. A pressing issue in construction operations is the lack of a feasibility study and tools for determining the priority of restoration repairs for construction objects damaged by any type of impact. The aim of the study is to establish assessment criteria and a method for determining the priority of repair works, taking into account the significance of various factors.

Research objectives: 1. To identify and rank the factors influencing the sequencing of repair and

restoration works. 2. To develop an algorithm for determining the restoration sequence for operational facilities based on specific criteria.

The article examines a hybrid method for the integrated assessment of the restoration sequence for damaged facilities. The most significant factors influencing repair priority have been identified and ranked.

As a result of the study, it was revealed that, taking into account 8 criteria, the most significant factors affecting the priority of repairing facilities are the following 6: life support and critical importance, technical condition after damage, technological hazards, the amount of labor and financial resources required for repair, the need for high-tech equipment and specialists, and the required level of restoration.

Conclusions. The research resulted in the following: 1. Factors influencing the scheduling of repair and restoration work were identified and ranked; these fall into two groups: organizational and technological. 2. A method was developed to determine the repair sequence based on eight criteria.

Keywords: assessment, priority, restoration, criteria, repair, factors

For citation: Lapidus A.A., Rudenko A.A., Hybrid method for the integrated assessment of the restoration sequence for damaged facilities // News of KSUAE, 2026, № 2 (76), p. 195-211, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.13, EDN: JZVOJQ

1. Введение

Отсутствие технико-экономического обоснования и инструментария определения очередности восстановления объектов, поврежденных от различного типа воздействий, является актуальной проблемой строительного производства.

Существующие данные [1] свидетельствуют о высокой актуальности решения проблемы эффективного восстановления объектов, получивших дефекты от различных видов воздействия. Указанное объясняется большим объемом чрезвычайных ситуаций в России. Так, по данным МЧС России [2], в 2024 году в РФ произошло более 260, в 2023 г. - 300 чрезвычайных ситуаций разного масштаба. При этом, за период 2014–2023 гг., на территории РФ зарегистрировано 2869 чрезвычайных ситуаций, из которых большую часть (63,3%) составили техногенные ЧС. При этом, в 72 субъектах РФ получили повреждения или были разрушены более 12,3 тыс. строений, с ущербом более 15 млрд.руб. Масштабность повреждений на отдельных территориях требует системного подхода к определению приоритетов восстановительных работ и оптимизации распределения ограниченных ресурсов.

Научная новизна исследования заключается в разработке метода оценки очередности восстановления поврежденных взрывом объектов с учетом 8 критериев, определяющих указанное.

Существующие способы не всегда позволяют адекватно оценить комплекс факторов, влияющих на приоритетность восстановления объектов. Так Авдеев К.В. с соавторами [3], отмечали, что оценка повреждений конструкций зданий после взрывных и температурных воздействий, должна осуществляться с учетом влияния пластической фазы динамической нагрузки, что возможно потом в процессе эксплуатации приведет к ухудшению несущей способности.

Другие специалисты исследовали и предлагали варианты решения проблем ремонта зданий, требующих восстановления после оценки его технического состояния. Так, например, авторы исследующие проблемы эффективности ремонтно-восстановительных работ [4,5,6] отмечали, что повреждения объектов капитального строительства в условиях чрезвычайных ситуаций требуют применения и специальных методов технического обследования объектов, и видов строительно-монтажных работ (СМР) с учетом специфики повреждений.

Общие правила обследования зданий и сооружений регламентируются ГОСТ 31937-2024 (Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. –М.:, 2024). При этом, существующие нормативы, определяющие уровень физического износа зданий и их инженерных систем не позволяют объективно

спланировать восстановление с учетом физического износа.

При этом, специалисты [7,8,9] исследующие способы восстановления и алгоритмы оценки и восстановления не учитывают локальный резко-динамический характер приложения нагрузки, а кроме того и остаточные последствия после взрыва.

В своем исследовании Слепенкова М.В., Руденко А.А. и Бирюков А.Н. [10] анализируя характер дефектов, поврежденных зданий от взрывов, исследуя продолжительность восстановления не рассматривали очередность выполнения работ на объектах. При этом, в работе [11], исследовался ремонт как распределенный во времени процесс, однако не учитывались этапы и последовательность его выполнения.

Авторы в работах [12-14] рассматривали особый характер воздействия техногенных аварий на людей и объекты, но в основном в описательном варианте и без детализации конструктивных и технологических особенностей этого.

Другие исследователи [15,16], рассматривали выбор решений для повышения безопасности труда и организационно-технологической надежности строительства. Однако, при этом не учитывался характер повреждений и дефектов, а соответственно не дифференцировались и методы ремонта. Тамразян А. Г. [17] оценивая несущую способность строительных конструкций после огневого воздействия и ослабление конструкций коррозией, не учитывал характер повреждений в динамике.

Синенко С.А., Серегин А.С., Олейник П.П., Мааруф А. [18,19,20] рассматривали методы и приемы возведения объектов, однако эти алгоритмы можно отнести только к многоквартирным домам, а кроме того применяемые критерии не учитывают тип зданий, характер повреждения и очередность ремонта. Частично, это рассматривалось в других работах, однако указанные исследования и предложения связаны или с комплексным восстановлением [21] и без расчета очередности по каждому объекту [22, 23].

Современная практика подтверждает, что отсутствие унифицированного инструментария для определения очередности восстановительных работ приводит к неэффективному использованию ресурсов и затягиванию сроков восстановления критически важных объектов. Это особенно актуально для территорий, подвергшихся значительным разрушениям, где требуется максимально рациональное распределение сил и средств.

Цель исследования- формирование критериев оценки и метода определения очередности ремонтных работ с учетом значимости различных факторов.

Задачи исследования: 1. Выявить, исследовать и ранжировать факторы, влияющие на очередность ремонтно-восстановительных работ. 2. Разработать алгоритм определения очередности с учетом показателей критериальных значений.

Объектом исследования являются способы определения очередности ремонтно-восстановительных работ поврежденных объектов, а предметом-критерии определения очередности восстановления зданий.

2. Материалы и методы

На первом этапе исследования был сформирован массив факторов, влияющих на очередность восстановления эксплуатируемых объектов, имеющих различные повреждения и дефекты, в том числе и на основании данных [24, 25]. Выявлено 23 фактора, влияющие на выбор очереди ремонта объектов, которые были разделены на 3-и группы организационных, технологических и природных факторов (табл.1). Для задач исследования учитывались объекты различного функционального назначения: жилые, общественные и производственные.

Таблица 1
Факторы, влияющие на оценку очередности восстановления поврежденных объектов

№	Наименование фактора	Группы факторов
1	Плановый период эксплуатации	Организационные
2	Жизнеобеспечение и критическая важность	
3	Социальная значимость	
4	Величина требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт	
5	Трудовые ресурсы	
6	Материально техническая база	
7	Санитарно-эпидемиологические условия	

Окончание таблицы 1

8	Требуемый уровень восстановления	Организационные
9	Уровень ответственности объекта	
10	Архитектурная ценность	
11	Техническая сложность и уникальность	Технологические
12	Техническое состояние после повреждения	
13	Необходимость применения высокотехнологического оборудования и специалистов	
14	Состояние здания	
15	Объемно-планировочные и конструктивные решения	
16	Степень цифровизации строительных процессов	
17	Техногенная опасность	
18	Энергопотребление	
19	Сезонность работ	Природные
20	Продолжительность теплого и холодного периода	
21	Повышенная сейсмостойкость	
22	Наличие подземных вод и их расположение	
23	Экологический риск	

Далее была проведена экспертно-аналитическая оценка, выполненная в соответствии с программой исследования. В качестве экспертов были привлечены 11-ть профильных высококвалифицированных специалистов, с опытом работы не менее 5-ти лет в области проектирования и организации процессов ремонта объектов. Было дана оценка и ранжирование 23-х факторов с определением их суммы рангов и веса (табл. 2).

Таблица 2

Отбор факторов по экспертным оценкам

№	Наименование факторов	Эксперты											Σ	Вес фактора
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Плановый период эксплуатации	12	11	12	14	12	14	12	13	12	14	11	137	0,0451
2	Жизнеобеспечение и критическая важность	23	20	23	22	23	21	20	21	23	22	23	241	0,0794
3	Техническая сложность и уникальность	5	5	4	7	5	6	7	5	5	4	6	59	0,0194
4	Техническое состояние после повреждения	22	22	21	23	22	22	23	20	22	21	21	239	0,0787
5	Сезонность работ	9	8	11	9	9	8	10	8	9	11	10	102	0,0336
6	Социальная значимость	14	13	14	13	14	12	13	15	14	12	13	147	0,0484
7	Санитарно-эпидемиологические требования	17	16	18	16	17	17	15	16	17	16	18	183	0,0603
8	Экологический риск	15	15	13	17	15	15	16	14	15	13	16	164	0,0540
9	Величина требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт	20	18	20	18	20	23	21	23	20	23	19	225	0,0741
10	Трудовые ресурсы	4	4	6	4	4	3	3	6	4	5	3	46	0,0151
11	Необходимость применения высокотехнологического оборудования и специалистов	19	19	22	19	19	20	18	17	19	18	20	210	0,0691

Окончание таблицы 2

12	Материально-техническая база	3	3	3	1	3	4	1	2	3	2	4	29	0,0095
13	Состояние здания	13	14	15	12	13	13	11	11	13	15	14	144	0,0474
14	Требуемый уровень восстановления	18	21	19	20	18	18	19	19	18	20	17	207	0,0682
15	Объемно-планировочные и конструктивные решения	11	9	9	10	11	11	14	12	11	10	12	120	0,0395
16	Степень цифровизации строительных процессов	2	1	1	3	2	2	2	1	2	3	1	20	0,0066
17	Техногенная опасность	21	23	17	21	21	19	22	22	21	19	22	228	0,0751
18	Продолжительность теплового и холодного периода	1	2	2	2	1	1	4	3	1	1	2	20	0,0066
19	Наличие подземных вод и их расположение	8	10	8	8	8	7	5	9	8	6	7	84	0,0277
20	Энергопотребление	7	7	5	6	7	9	9	10	7	8	8	83	0,0273
21	Повышенная сейсмичность	10	12	10	11	10	10	8	7	10	9	9	106	0,0349
22	Архитектурная ценность	6	6	7	5	6	5	6	4	6	7	5	63	0,0207
23	Уровень ответственности объекта	16	17	16	16	16	16	17	18	16	17	15	180	0,0593

На основании анализа оценок экспертов были выбраны 6 наиболее значимых сильнее всего оказывающих влияние на выбор очередности восстановления и видов работ на поврежденных взрывом объектах.

Следующим этапом является присвоение выбранным факторам рангов значимости, для дальнейшей проверки степени согласованности экспертных мнений на основании коэффициента конкордации Кендалла:

1. Жизнеобеспечение и критическая важность – фактор x_1 ;
2. Техническое состояние после повреждения – фактор x_2 ;
3. Техногенная опасность – фактор x_3 ;
4. Величина требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт – фактор x_4 ;
5. Необходимость применения высокотехнологического оборудования и специалистов – фактор x_5 .
6. Требуемый уровень восстановления – фактор x_6 .

Выбранные факторы не имеют количественной оценки, поэтому была разработана шкала, в которой значения показателей указывались в баллах и от 1 до 3 (1 – неудовлетворительно, 2 – удовлетворительно, 3 – хорошо). Применение указанной шкалы позволяет получить целостное представление, комбинируя как качественные, так и количественные аспекты.

Далее, для десяти объектов, нуждающихся в ремонтно-восстановительных работах или демонтаже [25, 26, 27], по шкале из таблицы 3 были проранжированы выбранные ранее факторы. На их основании в данном исследовании будет построено линейное уравнение множественной регрессии (1), имеющее вид:

$$y_x = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 \quad (1)$$

В основе оценки параметров данной модели лежит метод наименьших квадратов (МНК). Суть данного метода в минимальном отклонении фактических значений переменной Y от расчетных.

Определяется экстремум функции нескольких переменных, а именно, частные производные 1-го порядка по всем параметрам с приравниваем их к нулю.

Далее решается система линейных уравнений, исходя из которой определяются коэффициенты линейной регрессии. Нахождения коэффициентов линейной регрессии производилось с помощью встроенной функции ЛИНЕЙН в программе Microsoft Excel.

Для оценки практической значимости полученного уравнения были использованы методы дисперсионного анализа (показатель множественной корреляции и детерминации).

Были рассчитаны следующие показатели:

1. $\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 = TSS = 0,661$ – total sum of squares (сумма квадратов относительно среднего $\bar{Y}$ (общая));
2. $\sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = RSS = 0,658$ – regression (residual) sum of squares (сумма квадратов, обусловленная регрессией (объясненная));
3. $\sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - y_i)^2 = ESS = 0,003$ – error sum of squares (сумма квадратов относительно регрессии (необъясненная, остаток)).

3. Результаты и обсуждение

Обоснование очередности ремонта должно осуществляться на основании расчета и сопоставления приоритетности факторов и соответствующих критериев его определяющих. При этом, следует учитывать затраты на восстановление внешних инженерных сетей [27, 28]. Наиболее эффективным следует считать такой вариант восстановления и объектов и территории, при котором общие затраты на создание инженерной инфраструктуры, обеспечивающей ввод объектов в запланированные сроки по каждой очереди, будут сведены к минимуму [29,30, 31]. В расчет следует принимать критерии ранжирования объектов приведенные на рис. 1.

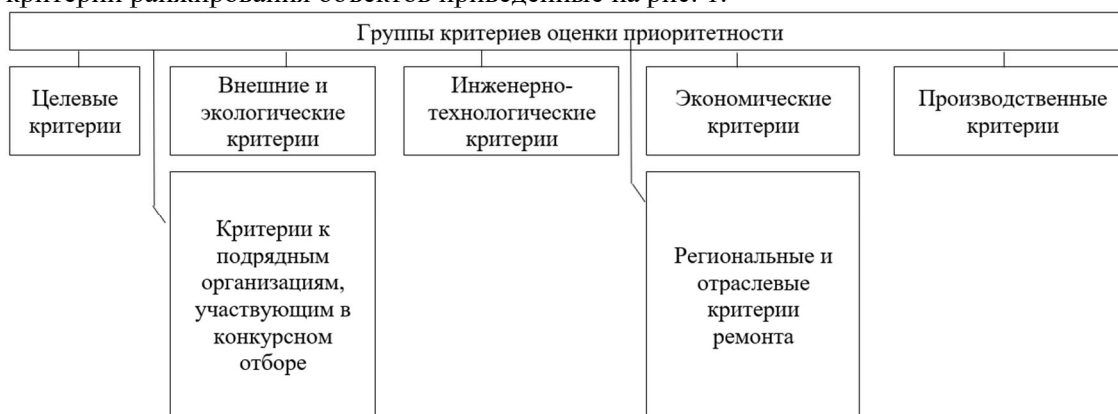


Рис. 1. Критерии оценки приоритетности ремонта и восстановления объектов (иллюстрации авторов)

Fig. 1. Criteria for assessing the priority of repair and restoration of facilities (illustration by the authors)

Сформированные в табл. 2 факторы, в результате экспертной оценки и обработки полученных результатов на основании весомости и интегральной оценки, образовали группу наиболее значимых факторов (табл. 2, строки 2,4,9,11, 14,17). В последующем, на 10-ти объектах ремонта было произведена их фактическая балльная оценка [31, 32, 33] влияния на результирующий показатель, что и отражено в табл. 3.

Таблица 3

Ранжирование факторов

Наименование фактора	Расшифровка понятия	Оценочный балл
Жизнеобеспечение и критическая важность	Низкая (объект критически важен для жизнеобеспечения, сбои ведут к серьезным последствиям)	1
	Средняя (объект частично влияет на жизнеобеспечение, сбои вызывают локальные проблемы, но не приводят к катастрофическим последствиям)	2

Окончание таблицы 3

Жизнеобеспечение и критическая важность	Высокая (объект имеет незначительное влияние для жизнеобеспечения, сбой в работе не приводят к катастрофическим последствиям)	3
Техническое состояние после повреждения	Предаварийное (аварийное)	1
	Ограниченно-работоспособное	2
	Работоспособное	3
Техногенная опасность	Низкая	1
	Средняя	2
	Высокая	3
Величина требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт	Низкая (ремонт требует значительных затрат времени, труда и финансов, необходимы сложные технологические процессы, замена ключевых компонентов, привлечение специализированного оборудования)	1
	Средняя (ремонт требует умеренных затрат времени, труда и ресурса, необходимы специализированные навыки, частичная замена компонентов, средние по сложности технологические операции)	2
	Высокая (ремонт требует минимальных затрат времени, труда и средств, работы просты, используют стандартные методы и доступные ресурсы)	3
Необходимость применения высокотехнологического оборудования и специалистов	Низкая (прямые затраты высокие, требуется квалифицированные рабочие кадры, дорогостоящее технологическое оборудование)	1
	Средняя (требуется частично специализированное оборудование и специалисты среднего уровня квалификации, используются стандартные высокотехнологические решения)	2
	Высокая (для ремонта достаточно стандартного оборудования и квалифицированных рабочих общего профиля, не требуются специализированные технологии или редкие компетенции)	3
Требуемый уровень восстановления	Низкая (необходимо полное восстановление всех функций объекта до исходных (или улучшенных) параметров, с гарантией долгосрочной надежности и соответствия всем требованиям)	1
	Средняя (требуется восстановление большинства ключевых функций объекта до уровня, позволяющего нормальную эксплуатацию в стандартных условиях)	2
	Высокая (достаточно частичного восстановления функций объекта, допускающего ограниченную эксплуатацию)	3

На основании данной информации, при помощи метода наименьших квадратов, были выделены коэффициенты по каждому из факторов для дальнейшего формирования уравнения множественной регрессии. Найденные коэффициенты сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Коэффициенты уравнения регрессии

a	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
-0,951	0,122	0,030	0,099	0,129	0,110	0,218

После чего было уравнение множественной регрессии имеет вид (2)

$$y_x = 0,122x_1 + 0,030x_2 + 0,099x_3 + 0,129x_4 + 0,110x_5 + 0,218x_6 - 0,951, \quad (2)$$

Для проверки полученных значений используется коэффициент детерминации (3):

$$R^2 = \frac{RSS}{TSS} = \frac{TSS - ESS}{TSS} = 1 - \frac{ESS}{TSS} = 1 \quad (3)$$

Найденный коэффициент детерминации R^2 доказывает высокую значимость модели, а значит полученное уравнение является достаточно точным для прогнозной оценки.

Проверка значимости уравнения выполняется при помощи F-теста (F-критерия Фишера). Определяется нулевая гипотеза:

$$H_0: b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = b_6 = 0 \quad (4)$$

Рассчитывается фактическое значение F-критерия Фишера, принимая число независимых переменных $m = 6$, количество наблюдений $n = 10$:

$$F_R = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m} = 58,97 \quad (5)$$

Определяется критическое значение F-критерия Фишера ($F_{\text{крит}} = 2,92$) для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и соответствующих степеней свободы $k_1 = m = 6$, $k_2 = n - m - 1 = 3$.

В результате сравнения этих значения, получаем F_R :

$$F_R = 58,97 > F_{\text{крит}} = 2,92 \quad (6)$$

Данное неравенство (6) подтверждает, что нулевая гипотеза может быть отклонена.

Таким образом уравнение регрессии $y_x = 0,122x_1 + 0,030x_2 + 0,099x_3 + 0,129x_4 + 0,110x_5 + 0,218x_6 - 0,951$ является статистически значимым при уровне надежности 95%.

Первоочередность ремонтно-восстановительных работ в строительстве является важным аспектом, который влияет на безопасность, долговечность, функциональность и экологичность поврежденных объектов. Сложность оптимального выбора представляет собой ключевую задачу в сфере стратегического управления. Современная наука предоставляет обширный класс задач выбора, для которых до сих пор не разработано удовлетворительных методов решения. Особую сложность составляют задачи, возникающие в условиях неопределенности.

Данная неопределенность связана с трудностью формализации многочисленных факторов, оказывающих влияние на процесс принятия решений. Существенная проблема заключается в том, что значительная часть этих факторов не поддается количественной оценке. Те же параметры, которые можно выразить численно, в большинстве случаев разнородны по своей природе, что препятствует их интеграции в единый интерпретируемый критерий. Целесообразным и сравнительно простым инструментом для нахождения ответа для подобного круга задач является метод относительных предпочтений.

Внедрение метода относительных предпочтений в процесс планирования ремонтно-восстановительных мероприятий способствует существенному сокращению сроков принятия решений и оптимизации распределения ресурсов. Это особенно актуально для масштабных объектов с множественными повреждениями, где необходимо быстро определить приоритетные зоны вмешательства. В результате повышается не только экономическая эффективность восстановительных работ, но и уровень безопасности на всех этапах их реализации.

Таким образом, метод относительных предпочтений выступает эффективным инструментом для решения задач определения приоритетности в условиях неопределенности.

Основные причины нарушения сроков восстановительного ремонта на объекте представлены на рис. 2.

Значимость объектов определяется через коэффициент значимости $K_{\text{знач}}$, определяемого на основе метода относительных предпочтений. Основу данного метода составляет попарное сопоставление как самих критериев выбора, так и оцениваемых альтернатив по каждому из этих критериев. Вес факторов устанавливается на базе экспертной оценки, или решения ответственного должностного лица. Количественные значения фактора получают либо прямым расчетом, если это возможно, либо путем перевода экспертных оценок в бальную шкалу.

Отражающий приоритетность вариантов вектор весовых коэффициентов определяется на основе решения матричного уравнения. Лучшим признается результат, имеющий наибольшее значение весового коэффициента, при этом последовательность

решения будет следующей:

– записывается «отношение порядка» групп объектов по категориям в порядке их убывания, например: 1 категория $\{n_1; n_2; m_4; m_3\}$; 2 категория $\{n_3; n_5; m_1; m_2\}$; 3 категория $\{n_4; m_5; m_6; m_7\}$. Поскольку объекты 1 категории важнее объектов второй и т.д., целесообразно записать отношение порядка: 1 категория > 2 категории > 3 категории;

– проводится попарное сравнение категорий в форме матрицы (таблица 5), при этом в клетку ij сравниваемых элементов проставляется число $S_{ij} = 2$, если i – категория важнее j – категории; $S_{ij} = 1$, если j – категория важнее i – категории.

Получается, что для объектов первой категории $K_{\text{знач}}$ равен 0,4, для второй категории – 0,3, для третьей – 0,3 (табл. 5).

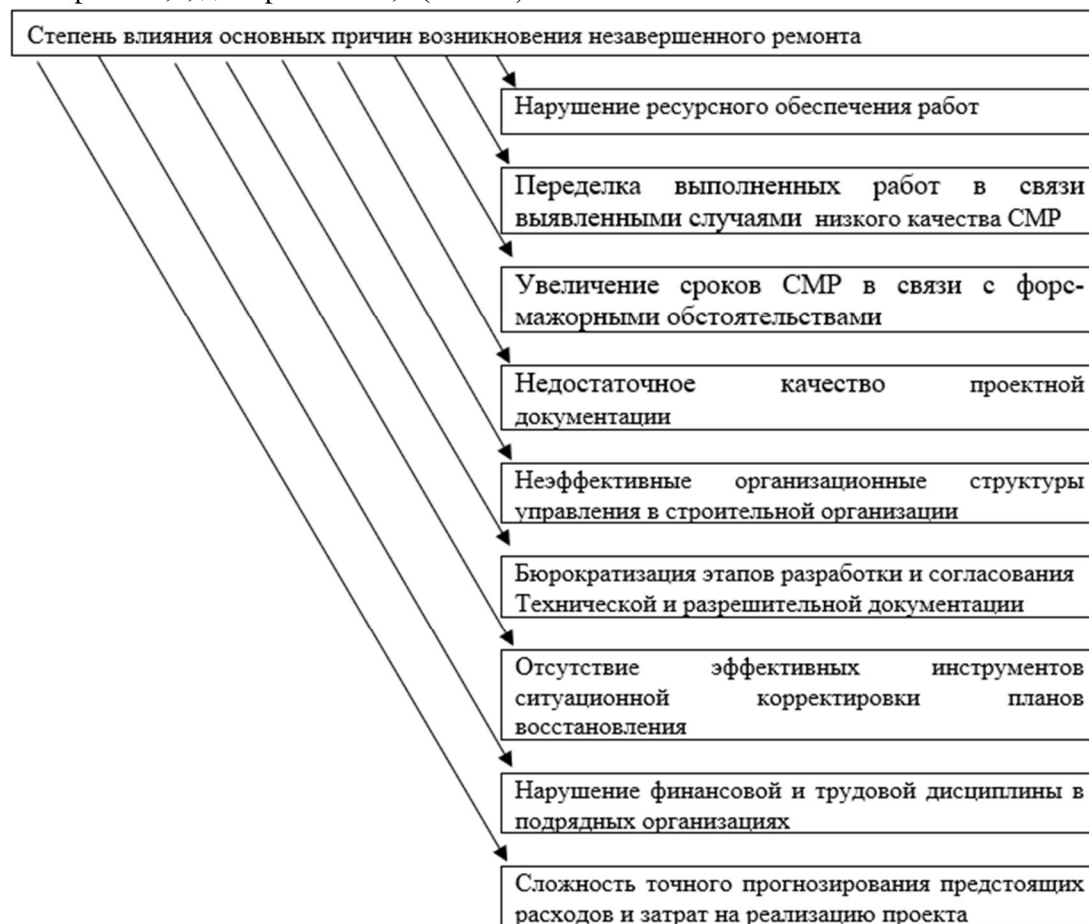


Рис. 2. Основные причины срыва сроков восстановления объектов (иллюстрация авторов)

Fig. 2. The main reasons for the failure to complete restoration work on objects in time (illustration by the authors)

В исключительных случаях, в зависимости от конкретной ситуации при восстановлении объектов, технические заказчики, могут сами определять очередность ремонта для отдельных объектов.

Оценка эффективности восстановления объектов выполняется на основании коэффициента своевременности ввода объектов в эксплуатацию по формуле:

$$K_{\text{своеврем}} = \frac{T_{\text{факт}}}{T_{\text{план}}}, \quad (7)$$

где $K_{\text{своеврем}}$ – коэффициент своевременности ввода объектов в эксплуатацию; $T_{\text{факт}}$ – фактическая продолжительность ремонта объекта (мес.); $T_{\text{план}}$ – плановая продолжительность ремонта объекта (мес.).

Фактическая продолжительность ремонта объекта ($T_{\text{ф}}$) определяется как срок от начала ремонта, предусмотренного в договоре строительного подряда до даты подписания акта государственной комиссии о вводе объекта в эксплуатацию.

Плановая продолжительность ремонта объекта $T_{\text{план}}$ определяется на основе календарного плана производства работ.

Таблица 5

Сравнение категорий объектов в форме матрицы

		Категории объектов			$\sum S_{ij}$	$K_{\text{знач}} = \frac{\sum S_{ij}}{\sum \sum S_{ij}}$
		1	2	3		
Категории объектов	1		2	2	4	$\frac{4}{10} = 0,4$
	2	1		2	3	$\frac{3}{10} = 0,3$
	3	2	1		3	$\frac{3}{10} = 0,3$

При наличии комплекса поврежденных объектов, номер объекта в очереди на восстановительный ремонт предлагается определять с учетом частных критериев по значению интегрального показателя ($K_{\text{инт}}$) определяемого по формуле:

$$K_{\text{инт}} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 + K_7 + K_8, \quad (8)$$

где K_1 – критерий жизнеобеспечения и критической важности; K_2 – критерий технического состояния после повреждения; K_3 – критерий величины требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт; K_4 – критерий плановой долговечности объекта; K_5 – критерий необходимости применения высокотехнологического оборудования и специалистов; K_6 – критерий требуемого уровня восстановления; K_7 – критерий техногенной опасности; K_8 – критерий технической сложности и уникальности.

Для расчета интегрального критерия предлагается назначить максимальное суммарное количество баллов для одного объекта 100 с их распределением по 8-ми критериям для $K_1 - K_8$. Разные критерии имеют разное весовое значение. Наибольшее весовое значение имеет критерий K_1 . Во вторую группу включены менее значимые критерии, но имеющие также высокие вес (K_2, K_6, K_7). Весовые значения показателей приведены в табл. 6

Таблица 6

Общее весовое значение каждого критерия

Критерий	Максимально возможное число баллов
1) По критерию жизнеобеспечения и критической важности, K_1	25
2) По техническому состоянию после повреждения, K_2	15
3) По величине требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт, K_3	7
4) По плановому периоду эксплуатации, K_4	8
5) По необходимости применения высокотехнологического оборудования и специалистов, K_5	7
6) По требуемому уровню восстановления, K_6	15
7) По техногенной опасности, K_7	15
8) По технической сложности и уникальности, K_8	8

В практике инженерных расчетов погрешность 10 % будет считаться максимальной, но допустимой. Если какое-либо здание в сумме набирает меньше 10 баллов, то его исключают из очереди на ремонт (считаем, что необходимость его ремонта стремится к нулю). Если же объект набрал 90 баллов и более, то необходимо немедленно начать восстановление здания (приравниваем необходимость его ремонта к 100 %). Если таких объектов в списке несколько – то их все необходимо ремонтировать в срочном порядке.

Для определения суммарного количества баллов объекта при экспертной оценке заполняется бланк типовой формы, с указанием весового балла для каждого отдельного состояния и назначения здания (табл. 7).

Таблица 7

Типовая форма бланка для эксперта

Показатели критериев	Весовой балл
К1, По критерию жизнеобеспечения и критической важности	
Малоценные и временные объекты	1
Индивидуальная жилая застройка	5
Общественные здания	8
Промышленные здания	10
Многоквартирные жилые дома и общежития	16
Защитные сооружения ГО	20
Критически важные объекты (Пост правит РФ № 981 от 24.06.2021 г.);	21
Объекты обеспечив. устойчивость функционирования в ЧС (ГОСТ Р 22.2.12-2020, п.4.2)	22
Объекты жизнеобеспечения (ГОСТ Р 22.2.12-2020, п.4.3)	25
К2, По техническому состоянию после повреждения	
Нормативное	1
Работоспособное	5
Ограничено-работоспособное	10
Аварийное	15
К3, По величине требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт	
Максимальные	1
Средние	4
Минимальные	7
К4, По плановому периоду эксплуатации	
5 гр. Временные	1
4 гр. Облегченные, неустойчивые к огню (деревянные)	2
3 гр – 25-50 лет	4
2 гр – 50-100 лет	6
1 гр - >100 лет	8
К5, По необходимости применения высокотехнологического оборудования и специалистов	
Высокотехнологичный специализированный ремонт	1
Значительная доля работ повышенной опасности	2
Применяется типовая строительная механизация	4
Обычный ремонт без спецоборудования	7
К6, По требуемому уровню восстановления, К6	
До значений критериев эксплуатационного качества в соответствии с ТЗ	5
До минимально допустимого уровня критериев эксплуатационного качества объекта	10
До минимального уровня несущей способности несущих и ограждающих конструкций	15
К7, По техногенной опасности	
Объект не отнесен к потенциально опасным объектам (ПОО)	1
6 категория - объекты, аварии на которых могут стать источником возникновения чрезвычайной ситуации не выше локального характера	5
5 категория опасности - объекты, аварии на которых могут стать источником возникновения чрезвычайной ситуации муниципального характера	7
4 категория опасности - объекты, аварии на которых могут стать источником возникновения чрезвычайной ситуации межмуниципального характера	9
3 категория опасности - объекты, аварии на которых могут стать источником возникновения чрезвычайной ситуации регионального характера	11
2 категория опасности - объекты, аварии на которых могут стать источником возникновения чрезвычайной ситуации межрегионального характера	13
1 категория опасности - объекты, аварии на которых могут стать источником возникновения чрезвычайной ситуации федерального характера	15
К8, По технической сложности и уникальности	
КС – 1 (пониженный уровень ответственности)	1
КС – 2 (нормальный уровень ответственности)	3
КС – 3 (технически сложные объекты)	5
Уникальные и особо сложные объекты	8

На рис. 3 представлены критерии очередности восстановления поврежденных объектов.



Рис. 3. Критерии очередности восстановления объектов при их повреждении (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Criteria for the order of restoration of objects in case of their damage (illustration by the authors)

На рис. 4, представлен алгоритм принятия решения об очередности и видах работ на восстанавливаемых объектах капитального строительства.



Рис. 4. Алгоритм принятия решения об очередности и видах работ на объектах (иллюстрация авторов)

Fig.4. Algorithm for making decisions on the order and types of work at sites (illustration by the authors)

4. Заключение

В результате проведенного исследования была достигнута поставленная цель – разработан гибридный метод интегральной оценки очередности восстановления поврежденных объектов, учитывающий комплекс взаимосвязанных факторов и критериев, и определены системы приоритетов при планировании ремонтных работ с учетом значимости этих факторов.

В процессе исследования был предложен показатель, который позволяет оценить очередность постановки объектов в план выполнения ремонтно-восстановительных работ. Обосновано, что критериями определяющими очередность восстановления объектов являются: жизнеобеспечение и критическая важность, техническое состояние после повреждения, величина требуемых трудовых и финансовых затрат на ремонт, плановый период эксплуатации, необходимость применения высокотехнологического оборудования и специалистов, требуемый уровень восстановления, техногенная опасность, техническая сложность и уникальность объекта.

Разработанный гибридный метод обладает потенциалом для масштабирования на различных типах объектов инфраструктуры — от жилых зданий до промышленных сооружений и транспортных коммуникаций. Гибкость подхода позволяет адаптировать набор критериев и весовых коэффициентов под специфику конкретного региона или типа чрезвычайной ситуации, что расширяет возможности его применения.

Теоретическая значимость исследования заключается в дополнении методологии ремонтно-восстановительных работ с использованием гибридного метода, основанного на экспертно-аналитической оценке и комплексном учете факторов, определяющих

очередность. Предложенный метод позволяет оптимизировать распределение ресурсов и повысить эффективность восстановительных мероприятий в условиях ресурсных ограничений.

Список литературы/ References

1. Ступина М. В. Анализ статистических данных о чрезвычайных ситуациях, произошедших на территории Российской Федерации за последние 10 лет // Молодой ученый. - 2024. - № 51 (550). - С. 680-681. URL: <https://moluch.ru/archive/550/120990/>
Stupina M. V. Analysis of statistical data on emergency situations that occurred on the territory of the Russian Federation over the past 10 years // Young scientist. - 2024. - No. 51 (550). - P. 680-681. URL: <https://moluch.ru/archive/550/120990/>
2. Государственный доклад о состоянии защиты населения и территорий РФ от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера за 2021, 2022, 2023, 2024, 2024 гг. – Москва. Министерство по ГО и ЧС: Текст: электронный// Консорциум Кодекс. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946?ysclid=msej9svqi2317868080>
State report on the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from emergency situations of natural and man-made nature for 2021, 2022, 2023, 2024, 2024. - Moscow. Ministry of Civil Defense and Emergencies: Text: electronic// Codex Consortium. Electronic fund of legal and regulatory documentation. URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946?ysclid=msej9svqi2317868080>
3. Авдеев К. В., Бобров В. В., Скакун П. В., Левин Д. И., Домарова Е. В. Обследование и восстановление поврежденных конструкций зданий вследствие взрывных и температурных воздействий // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 7, с. 36-42.
Avdeev K. V., Bobrov V. V., Skakun P. V., Levin D. I., Domarova E. V. Examination and restoration of damaged building structures due to explosive and temperature effects // Industrial and civil engineering. 2023. No. 7, P. 36-42
4. Вэйхао Суй, Руденко А. А. Математическая и структурная модель управления рисками в строительстве в чрезвычайной ситуации // Известия вузов . Строительство. 2025. № 8. С. 85-97
Weihao Sui, Rudenko A. A. Mathematical and structural model of risk management in construction in an emergency situation // News of universities. Construction. 2025. No. 8. P. 85-97
5. Руденко А.А. Организационно-технологические и конструктивные решения по восстановлению, ремонту, усилению и замене поврежденных элементов зданий: монография. – Курск: Университетская книга, 2025. – 174 с.
Rudenko A. A. Organizational, technological, and design solutions for the restoration, repair, reinforcement, and replacement of damaged building elements: monograph. – Kursk: University Book, 2025. – 174 p.
6. Кабанцев О.В., Симаков О.А. Восстановление каменной кладки после динамических воздействий // International journal for computational civil and structural engineering. – 2023. – Т. 19, № 4. С. 46-48
Kabantsev O.V., Simakov O.A. Restoration of stone masonry after dynamic impacts // International journal for computational civil and structural engineering. – 2023. – Vol. 19, No. 4. P. 46-48
7. Грабовый П. Г., Сеземин Д.Е. Совокупный риск при реализации крупного комплексного проекта строительства атомной электростанции // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. - 2023. - Т. 19. № 4. - С. 38-47.
Grabovyi P. G., Sezemin D. E. Total risk in the implementation of a large-scale integrated nuclear power plant construction project // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. - 2023. - Vol. 19. No. 4. - P. 38-47.
8. Мальганов А.И., Плевков В.С. Восстановление и усиление ограждающих строительных конструкций. – Томск, 2002. 392 с.

- Malganov A.I., Plevkov V.S. Restoration and strengthening of enclosing building structures. – Tomsk, 2002. 392 p.
9. Меслемани Х., Коянкин А. А., Усманов К. П. Поврежденное железобетонное здание: виды и аспекты модернизации и восстановления // Перспективы науки. 2021. № 6(141). С. 69-74.
Mesleman H., Koyankin A. A., Usmanov K. P. Damaged reinforced concrete building: types and aspects of modernization and restoration // Prospects of Science. 2021. No. 6 (141). P. 69-74.
10. Слепенкова, М.В., Руденко, А.А., Бирюков, А.Н. Математическая модель, методика планирования и динамической корректировки продолжительности восстановительного ремонта объектов после взрывного воздействия // Экономика строительства. – 2026. – № 2. – С. 676-680.
Slepenkova, M.V., Rudenko, A.A., Biryukov, A.N. Mathematical model, methodology for planning and dynamic adjustment of the duration of restoration repairs of buildings after explosive impact // Construction Economics. - 2026. - No. 2. - P. 676-680.
11. Руденко А.А., Юрченко А.Н. Оценка факторов и разработка методики определения продолжительности ремонта и восстановления // Инженерный вестник Дона. - 2025. - №1. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9742
Rudenko A.A., Yurchenko A.N. Assessment of factors and development of a methodology for determining the duration of repair and restoration // Engineering Bulletin of the Don. - 2025. - No. 1. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9742
12. Гвоздев Е.В. Развитие методологии управления риском на взрывопожароопасных объектах предприятий //Безопасность труда в промышленности. 2023. No 8. С. 61–69. DOI: 10.24000/04092961202386169
Gvozdev, E.V. Development of Risk Management Methodology at Explosive and Fire-Hazardous Enterprises // Occupational Safety in Industry. 2023. No. 8. P. 61–69. DOI: 10.24000/04092961202386169
13. Жуков И. С., Лисанов М. В., Самусева Е. А. Критерии допустимого социального риска при авариях на опасных производственных объектах//Безопасность труда в промышленности. 2020. № 5. С. 79–86. DOI:10.24000/0409-2961-2020-5-79-86.
Zhukov I. S., Lisanov M. V., Samuseva E. A. Criteria for Acceptable Social Risk in Accidents at Dangerous Production Facilities//Occupational Safety in Industry. 2020. No. 5. P. 79–86. DOI:10.24000/0409-2961-2020-5-79-86.
14. Наркевич М. Ю. и др. Интеллектуальная система принятия решений при оценке качества зданий и сооружений на опасных производственных объектах: определение траектории движения беспилотного летательного аппарата //Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. ГИ Носова. – 2022. – Т. 20. – №. 1. – С. 50-60.
Narkevich M. Yu. et al. Intelligent Decision-Making System for Assessing the Quality of Buildings and Structures at Dangerous Production Facilities: Determining the Trajectory of an Unmanned Aerial Vehicle // Bulletin of the G. I. Nosov Magnitogorsk State Technical University. – 2022. – Vol. 20. – No. 1. – P. 50-60.
15. Азаров В.Н., Бурлаченко О.В., Сысоева Е.В., Бурлаченко А.О. Модель выбора эффективных решений для повышения безопасности труда и экологической безопасности строительства в городских условиях. Вестник МГСУ. 2025;20(11):1707-1717. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2025.11.1707-1717>
Azarov V.N., Burlachenko O.V., Sysoeva E.V., Burlachenko A.O. Model for Choosing Effective Solutions to Improve Occupational Safety and Environmental Safety of Construction in Urban Areas. Bulletin of MGSU. 2025;20(11):1707-1717. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2025.11.1707-1717>
16. Казарян Р. Р., Познахирко Т. Ю., Агарунов А. Д. Научно-техническое сопровождение - новое направление обеспечения организационно-технологической надежности строительства уникальных объектов // БСТ: Бюллетень строительной техники. - 2025. - № 7 (1091). - С. 56-59.
Kazaryan R. R., Poznakhirko T. Yu., Agarunov A. D. Scientific and technical support as a new direction in ensuring organizational and technological reliability of the

- construction of unique structures // BCE: Bulletin of construction equipment. - 2025. - No. 7 (1091). - P. 56-59.
17. Тамразян А. Г. Несущая способность коррозионно-поврежденных изгибаемых железобетонных элементов, подвергнутых огневому воздействию // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 4. С. 130-137. doi: 10.22337/2077-9038-2022-4-130-137
Tamrazyan A. G. Bearing capacity of corrosion-damaged bending reinforced concrete elements exposed to fire // Academia. Architecture and Construction. 2022. No. 4. P. 130-137. doi: 10.22337/2077-9038-2022-4-130-137
18. Синенко С.А., Серегин А.С. Разработка современных методов и приёмов возведения жилых зданий повышенной этажности // Строительное производство. - 2025. - № 3. - С. 83-89.
Sinenko S. A., Seregin A.S. Development of modern methods and techniques for the construction of high-rise residential buildings // Construction production. - 2025. - No. 3. - P. 83-89.
19. Олейник П.П., Мааруф А. Методика оценки технического состояния монолитно-каркасных зданий, поврежденных войной в Сирии // Строительное производство. - 2023. - № 2. - С. 47-53.
Oleynik P. P., Maaruf A. Methodology for assessing the technical condition of monolithic-frame buildings damaged by the war in Syria // Construction production. - 2023. - No. 2. - P. 47-53. 18.04.2026).
20. Олейник П.П., Мааруф А. Мероприятия по подготовке территорий, поврежденных войной, к восстановлению жилищного фонда // Инженерный вестник Дона. - 2023. - № 10 (106). - С. 330-342.
Oleynik P. P., Maaruf A. Measures to prepare territories damaged by war for the restoration of housing stock // Engineering Bulletin of the Don. - 2023. - No. 10 (106). - P. 330-342.
21. Руденко АА, Аль-Мсари А.Р.А., Осипенкова И.Г. Модель обеспечения организационно технологической надежности комплексной застройки при восстановлении населенных пунктов и территорий //Вестник гражданских инженеров. - 2025. № 3. – С.99-109.
Rudenko AA, Al-Msari A.R.A., Osipenkova I.G. Model of ensuring organizational and technological reliability of complex development in the restoration of settlements and territories // Bulletin of Civil Engineers. - 2025. No. 3. – P.99-109.
22. Сафин А. Ф., Ибрагимов Р. А., Олейник П. П. Методика моделирования продолжительности проектирования крупнопанельных жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2025. № 4. С. 51-59. doi: 10.33622/0869-7019.2025.04.51-59
Safin A. F., Ibragimov R. A., Oleinik P. P. Methodology for Modeling the Duration of Designing Large-Panel Residential Buildings // Industrial and Civil Engineering. 2025. No. 4. P. 51-59. doi: 10.33622/0869-7019.2025.04.51-59
23. Шрейбер К. А. Капитальный ремонт общего имущества в многоквартирных домах: монография– Москва: Издательство АСВ, 2021. – 399 с.
Schreiber K. A. Major repairs of common property in apartment buildings: monograph. - Moscow: ASV Publishing House, 2021. - 399 p.
24. Римшин В.И., Швецов В.В., Семенов С.Г. Экспертная оценка технического состояния поврежденных зданий после ЧС // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2016. – № 4, с.28-33.
Rimshin V.I., Shvetsov V.V., Semenov S.G. Expert assessment of the technical condition of damaged buildings after an emergency // Academic Bulletin of the UralNIIProekt RAASN. - 2016. - No. 4, P. 28-33.
25. Сорокин Н. В., Ключев А. Н., Гукин А. А. Анализ способов демонтажа и сноса железобетонных конструкций объектов военной инфраструктуры // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11(71). С. 280-289.

- Sorokin N. V., Klyuchev A. N., Gukin A. A. Analysis of methods for dismantling and demolishing reinforced concrete structures of military infrastructure facilities // Engineering Bulletin of the Don. 2020. No. 11(71). P. 280-289.
26. Килина И. А., Ефимова Т. Ю. Специальные методы демонтажа зданий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 2. С. 301-306.
- Kilina I. A., Efimova T. Yu. Special methods of dismantling buildings // Modern technologies in construction. Theory and practice. 2019. Vol. 2. P. 301-306.
27. Жолобов А.Л., Иванникова Н.А., Духанин П.В. Восстановление и наращивание защитного слоя бетона на наружных поверхностях ограждающих конструкций // ПГС. – 2012. – № 8. С.37-39
- Zholobov A.L., Ivannikova N.A., Dukhanin P.V. Restoration and extension of the protective layer of concrete on the external surfaces of enclosing structures // Industrial and civil construction. - 2012. - No. 8. P.37-39
28. Stroykov G.A., Babyr N.V., Ilin I.V., Marchenko R.S. System of comprehensive assessment of project risks in energy industry // International Journal of Engineering. 2021. No. 34 (7). <https://doi.org/10.5829/IJE.2021.34.07A.22>
29. Angermeier D., Wester H., Beilke K., Hansch G., Eichler J. Security risk assessments: modeling and risk level propagation // ACM Transactions on Cyber-Physical Systems. 2023. No. 7 (1). <https://doi.org/10.1145/3569458>uture. 2022. Vol. 10. Issue 8. <https://doi.org/10.1029/2021EF002644>
30. Wang K. et al. Investigating the role of artificial intelligence technologies in the construction industry using a Delphi-ANP-TOPSIS hybrid MCDM concept under a fuzzy environment //Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – No. 15. – P. 118-148.
31. Chen X. et al. Developing a readiness model and a self-assessment tool for adopting digital technologies in construction organizations //Building Research & Information. – 2023. – Vol. 51. – No. 3. – P. 241-256.

Информация об авторах

Липидус Азарий Абрамович, доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация

E-mail: lapidus58@mail.ru ORCID:0000-0001-7846-5770;

Руденко Александр Алексеевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

E-mail: rudenkoa.a@mail.ru. ORCID: 0000-0002-2996-9785.

Information about the authors

Azariy A. Lapidus, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation.

E-mail: lapidus58@mail.ru ORCID:0000-0001-7846-5770;

Alexander A. Rudenko, Doctor of Economics, Candidate of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, St. Petersburg, Russian Federation.

E-mail: rudenkoa.a@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2996-9785

Дата поступления: 02.04.2026

Дата принятия: 29.09.2026