Модульно-дескриптивный метод модернизации и ремонта объектов строительства в условиях техногенного загрязнения

Руденко Александр Алексеевич
д.э.н., к.т.н., профессор, профессор кафедры организации строительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, rudenkoa.a@mail.ru

В статье рассматривается выбор, оценка и регрессионный анализ факторов, влияющих на качество модернизации и ремонта объектов, с различными видами дефектов и аварийных повреждений.
Методы исследования – факторный и регрессионный анализ, синтез, индукция, прогнозирование. Цель исследования – оценить степень влияния факторов влияющих на эффективность ремонта объектов с различным уровнем дефектов и аварийных повреждений, с разработкой модели модульно-дескриптивного метода модернизации и ремонта объектов капитального строительства.
На основании полученной совокупности оценок влияния факторов разработано уравнение множественной регрессии с возможностью оценки качества ремонтно-восстановительных работ. Основными элементами модульно-дескриптивного метода являются: узловой метод, пакетирование работ, нейросетевое моделирование и лазерное сканирование.
Ключевые слова: ремонтно-восстановительные работы, модульно-дескриптивный метод, уравнение регрессии.

Статья публикуется по результатам выполнения гранта (НИР) СПбГАСУ 2026 года № 23-НПР-26».

Введение

Серьезной научно-практической проблемой современного строительного производства является планирование и организация ремонта поврежденных от различных источников эксплуатируемых объектов. Ситуацию усложнят аварии на опасных производственных объектах, что может привести к загрязнению территории, делая ремонт невозможным даже в объективно необходимых случаях, например для критически важных, опасных производственных и других объектов имеющих высокий уровень приоритета в ремонте. При этом, следует учитывать, что существенная часть зданий и сооружений в РФ имеют высокую степень физического износа, а некоторые находятся в состоянии «ограниченно-работоспособном» и даже «аварийном». Проблемами организации восстановления объектов после при наличии значительном физическом износе, повреждениях или дефектах занимались многие исследователи в том числе П.Н. Анисимов, Х. Асамов, А.Б. Ашрабов, М.Д. Бойко, А.И. Мартемьянов, Е.П. Михно, Б.В. Сендеров, В.А. Харитонов, В.А. Шолохов, К.А. Шрейбер и многие другие [1]. Однако к настоящему времени в практике аварийно- и ремонтно-восстановительных работ отсутствует единый системный подход, нормативно и методически регламентирующий процессы восстановления зданий и сооружений, при наличии существенного объёма и видов повреждений или дефектов. Действующие нормативные документы не в полной мере учитывают специфику восстановительных работ, выполняемых в условиях ограниченного времени, наличия схожих групп дефектов, частичной эксплуатации объектов.

В связи с этим предлагается модульно-дескриптивный метод модернизации и ремонта объектов, представляющий собой комплексный организационно-технологический подход, направленный на повышение эффективности ремонтно-восстановительных мероприятий. Метод базируется на узловом методе строительства, разработанном в 1982 г. и регламентируемом СНиП 3.01.01-85, а также интегрирует элементы прогрессивного пакетирования работ и бережливого производства.

Актуальность работы обусловлена отсутствием комплексного подхода к организации аварийно- и ремонтно-восстановительных работ эксплуатируемых объектов, позволяющего обеспечить эффективность СМР за счет фрагментации всего объекта на отдельные типовые ремонтные элементы.

Научная новизна исследования:

определены наиболее значимые факторы, влияющие на качество ремонтно-восстановительных работ в зависимости от технического состояния объекта;

разработано уравнение регрессии, позволяющее определить степень влияния факторов на качество выполняемых работ в зависимости от технического состояния объекта;

разработан модульно-дескриптивный метод модернизации и ремонта объектов

Методы

Для определения и анализа факторов, влияющих на качество ремонтно-восстановительных работ был использован метод экспертных оценок. Данный метод позволяет учесть мнения специалистов в данной области, что обеспечивает многогранный взгляд на проблему. Экспертами выступили шесть специалистов, обладающих опытом в области ремонтно-восстановительных работ, что увеличивает достоверность получаемых данных.

Для оценки качества ремонтно-восстановительных работ принят основной показатель - Уровень качества (далее - Укач).

Исследование началось с анализа факторов, влияющих на качество ремонтно-восстановительных работ, на основании которого было выделено 23 фактора, влияющих на Укач в зависимости от технического состояния и функционального назначения здания.

В соответствии с СП 13-102-2003 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» существует четыре категории технического состояния: нормативное, работоспособное, ограничено работоспособное, аварийное [2].

Следующим шагом был выбор и оценка факторов экспертами по шкале от 1 до 23 баллов, где 1 – фактор с наименьшим влиянием; 23, соответственно, с наибольшим (табл. 1).

Таблица 1
Отбор факторов по экспертным оценкам

№	Наименование факторов	Эксперты											Σ рангов	Вес фактора
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Соблюдение четкого разделения обязанностей	3	4	6	4	8	8	13	5	14	4	4	70	0,0231
2	**Эффективность конструкторских и технологических решений**	**20**	**21**	**20**	**22**	**23**	**20**	**23**	**19**	**20**	**22**	**22**	**227**	**0,0748**

3	Наличие стесненных условий	12	2	4	3	5	12	4	15	13	3	3	80	0,0264
4	**Соблюдение рационального и равномерного использования ресурсов сырья, материалов и оборудования**	**23**	**22**	**19**	**21**	**21**	**23**	**21**	**20**	**23**	**21**	**21**	**230**	**0,0758**
5	Степень мониторинга выполняемых процессов	16	17	16	17	17	15	15	17	15	17	17	178	0,0587
6	Степень обследования состояния объекта строительства	1	5	3	6	12	1	3	10	4	6	6	55	0,0181
7	Качество организации работ	11	12	13	7	10	17	14	8	9	7	7	130	0,0428
8	Необходимость экстренного проведения работ	13	16	11	13	16	14	11	13	12	13	13	152	0,0501
9	**Соблюдение равномерности и бесперебойности технологических циклов**	**21**	**18**	**22**	**23**	**22**	**18**	**22**	**23**	**19**	**23**	**23**	**231**	**0,0761**
10	Применяемые стройматериалы	2	1	7	2	1	5	10	6	3	2	2	42	0,0138
11	**Квалификация сотрудников**	**18**	**20**	**23**	**18**	**18**	**20**	**19**	**22**	**20**	**18**	**18**	**218**	**0,0719**
12	Характер и условия производства работ	9	3	5	1	7	9	1	4	2	1	1	49	0,0162
13	Совместимость графиков узлового и бригадного планирования	14	15	9	14	14	10	17	11	11	14	14	140	0,0461
14	**Организация строительного контроля**	**22**	**19**	**21**	**20**	**19**	**22**	**20**	**18**	**22**	**20**	**20**	**225**	**0,0742**
15	Объемно-планировочные и конструктивные решения	5	7	2	5	11	3	2	1	6	5	5	52	0,0171
16	Степень цифровизации строительных процессов	4	6	8	11	13	2	7	3	1	11	11	67	0,0221
17	Уровень механизации	15	13	15	10	16	13	12	12	17	16	9	143	0,0471
18	Обеспеченность заданного уровня организационно-технологической надежности	7	10	10	11	9	4	8	7	5	9	2	79	0,0260
19	**Соответствие материалов по качеству и проекту**	**19**	**23**	**18**	**23**	**19**	**19**	**18**	**21**	**18**	**19**	**20**	**220**	**0,0725**
20	Степень подготовки площадки к выполнению ремонтных работ	8	9	1	12	12	11	6	14	7	12	3	90	0,0297
21	Обеспечение безопасного ввода узла в эксплуатацию	17	14	17	15	15	16	16	16	16	15	15	171	0,0564
22	Соответствие статусу работ	6	8	12	9	8	6	5	2	10	8	4	80	0,0264
23	Уровень ответственности объекта	10	11	14	8	10	7	9	9	8	10	6	105	0,0346

На основании анализа оценок экспертов, были выбраны 6 наиболее значимых фактора и присвоены им ранги значимости, для дальнейшей проверки степени согласованности экспертных мнений на основании коэффициента конкордации Кендалла:

Соблюдение равномерности и бесперебойности технологических циклов – фактор X1;

Соблюдение рационального и равномерного использования ресурсов сырья, материалов и оборудования – фактор X2;

Эффективность конструкторских и технологических решений – фактор X3;

Организация строительного контроля – фактор X4;

Соответствие материалов по качеству и проекту – фактор X5;

Квалификация сотрудников – фактор X6.

Полученный коэффициент конкордации равен 0,84. Данное значение достаточно, чтобы доказать согласованность экспертных мнений.

Выбранные ранее факторы не имеют количественной оценки. В связи с этим была разработана отдельная (упрощенная) шкала, в которой значения показателей указывались в баллах и варьировались 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, по шкале из таблицы 1 были проранжированы выбранные ранее факторы. На их основании в данном исследовании будет построено линейное уравнение множественной регрессии (1), имеющее вид:

$$y_x = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_6 x_6, \quad (1)$$

В основе оценки параметров данной модели лежит метод наименьших квадратов (МНК) [4,5]. Суть данного метода в минимальном отклонении фактических значений переменной У от расчетных.

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

Были рассчитаны следующие показатели [13]:

1. $\sum_{i=1}^{m} \left(y_i - \overline{y}\right)^2 = TSS = 0{,}481$ – total sum of squares (сумма квадратов относительно среднего Y (общая));

2. $\sum_{i=1}^{m} \left(\hat{y}_i - \overline{y}\right)^2 = RSS = 0{,}477$ – regression (resudial) sum of squares (сумма квадратов, обусловленная регрессией (объясненная));

3. $\sum_{i=1}^{m} \left(\hat{y}_i - y_i\right)^2 = ESS = 0{,}005$ – error sum of squares (сумма квадратов относительно регрессии (необъясненная, остаток)).

Результаты исследования

В результате исследования среди 23 наиболее весомых факторов методом экспертных оценок было выделено 6. Далее данные факторы были проранжированы для 10 объектов, нуждающихся в ремонтно-восстановительных работах.

Результаты ранжирования факторов сведены в таблицу, в которой указаны возможные состояния в соответствии с оценочным баллом (табл. 2).

Таблица 2

Ранжирование факторов

Наименование фактора	Расшифровка понятия	Оценочный балл
Соблюдение равномерности и бесперебойности технологических циклов	Низкая (Частые сбои и простои, циклы не синхронизированы, работа идет рывками)	1
	Средняя (Эпизодические нарушения, которые устраняются без срыва общих сроков)	2
	Высокая (Непрерывный, ритмичный поток работ, полная синхронизация циклов)	3
Соблюдение рационального и равномерного использования ресурсов сырья, материалов и оборудования	Низкое (Дефицит или затоваривание складов, простои техники, неррациональные запасы)	1
	Среднее (Периодические сбои поставок, но в целом ресурсы соответствуют графику)	2
	Высокое (Точная логистика "точно в срок", максимальная загрузка оборудования, отсутствие потерь материалов)	3
Эффективность конструкторских и технологических решений	Низкое (Перерасход труда и энергии)	1
	Среднее (Отдельные неоптимальные решения)	2
	Высокое (Передовые решения, минимальная трудоемкость и энергозатраты при высоком качестве)	3
Квалификация сотрудников	Специалисты не имеют образования по специальности / отсутствует опыт работы	1
	Специалисты имеют высшее / среднее специальное образование, опыт работы в данной сфере 1-5 лет	2
	Специалисты имеют высшее образование, опыт работы в данной сфере не менее 5 лет	3
Организация строительного контроля	Контроль бессистемен или отсутствует, нарушения не фиксируются, скрытые дефекты не выявляются	1
	Контроль проводится, но эпизодически; инструментальные методы используются ограниченно	2
	Многоступенчатый контроль (входной, операционный, приёмочный) с применением неразрушающих методов,	3
Соответствие материалов по качеству и проекту	Используются материалы без сертификатов, не предусмотренные проектом	1
	Частичное несоответствие (замена по согласованию, но с отклонениями)	2
	Строгий входной контроль, все материалы имеют паспорта и сертификаты, полностью соответствуют проектной документации и условиям взрывобезопасности	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 3.

Таблица 3
Коэффициенты уравнения регрессии

a	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
-0,461	0,094	0,076	0,077	0,082	0,088	0,096

После чего было составлено уравнение множественной регрессии:

$$y_x = 0{,}094\,x_1 + 0{,}076\,x_2 + 0{,}077\,x_3 + 0{,}03\,82 + 0{,}088\,x_5 + 0{,}096\,x_6 - 0{,}461$$

и проведена его оценка значимости.

Проверяем полученные значения. Должно выполняться равенство (2):

TSS=RSS+ESS (2)

Находим коэффициент детерминации (3):

$$R^2 = \frac{RSS}{TSS} = \frac{TSS - ESS}{TSS} = 1 - \frac{ESS}{TSS} = 0{,}99 \qquad (3)$$

Найденный коэффициент детерминации 0,99 доказывает высокую значимость модели. Проверяем значимость уравнения при помощи F-теста (F-критерия Фишера). Выдвигаем нулевую гипотезу о том, что все коэффициенты регрессии равны нулю (4):

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

Находим фактическое значение F-критерия Фишера (5), принимая число независимых переменных m = 6, количество наблюдений n = 10.

$$F_R = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m} = 26{,}24 \qquad (5)$$

Далее подбираем критическое значение F-критерия Фишера по таблицам для уровня значимости α = 0,05 [15] и соответствующих степеней свободы k1=m=6, k2=n-m-1=3. Находим, что $F_{крит}$=2,92.

Сравнив эти два значения, получаем:

$$F_R = 26{,}24 \; > F_{крит} = 2{,}92$$

Данное неравенство подтверждает, что нулевая гипотеза может быть отклонена.

Следовательно, делаем вывод, что уравнение регрессии

$$y_x = 0{,}094\,x_1 + 0{,}076\,x_2 + 0{,}077\,x_3 + 0{,}03\,82 + 0{,}088\,x_5 + 0{,}096\,x_6 - 0{,}461$$

является статистически значимым при уровне надежности 95%.

Обсуждение

В связи с тем, что к настоящему времени отсутствует единый подход, нормативно-правовая база, а также методические и практические положения, позволяющие эффективно выполнять аварийно- и ремонтно- восстановительные работы, предлагается новый комплексный подход по организации восстановления поврежденных от взрывного воздействия объектов и применением агрегированного объектно-узлового метода, представляющего собой комплексный организационно-технологический подход, направленный на повышение эффективности ремонтно-восстановительных мероприятий [17,18]. Его сущность в разделении при ремонтно-восстановительных работах объекта на части технологические или же конструктивные. Результатом такого деления является наиболее оперативное, независимое решение организации ремонта объекта.

Этот метод может быть выгоден при восстановительных работах на аварийных объектах, так как такой подход позволяет совместить различные ремонтные работы и организовать их выполнение поточным методом, а также автономно производить пуско-наладочные работы. Ремонт узловым методом решает вопрос большой длительности проведения восстановления объекта, так как работы ведутся параллельно и независимо друг другу. Предлагаемый метод основан на принципах и элементах узлового строительства, бережливого производства и пакетирования работ.

Базисным элементом методологии являются принципы узлового строительства, интерпретированные в настоящем подходе и представленные правилом планирования восстановительного ремонта в зависимости от степени и типа аварийного (то есть требующего замены или ремонта) элемента: строительной конструкции, конструктивного элемента объекта, конструктивного узла, конструктивно-технологического узла или технологического узла.

С учетом выявленных факторов, влияющих на качество восстановительного ремонта разработан модульно-дескриптивный метод модернизации и ремонта (МДММР) поврежденных зданий структура которого представлена на рис. 1

Основными элементами МДММР ремонта поврежденных зданий являются: узловой метод, пакетирование работ, ТИМ и нейросетевое моделирование, лазерное сканирование. Применение узлового метода – в процессе восстановительного ремонта позволяет определить конструктивно и технологически обособленные элементы (узлы) для планирования и производства работ на основе типовых организационно-конструктивных решений (ТОКР) [6,8].

Исходя из того, что потенциал исполнения контракта на ВР масштабам и объёмам ВР, будет определяться имеющимися ограничениями по ресурсам - материальным, финансовым, трудовым, с исследовании и в дальнейшем как база нейросетевого моделирования в интегрированной среде PyCharm разработкан и предложен интегративный «симплекс-байесовский подход», геометрический смысл которого показан на рис. 2, а. Ввиду упрощенного линейного характера оптимизации задач «симплекс» подхода, байесовские сети дополняя первый - позволяют определять априорные маргинальные вероятности ОТН (рис. 2, б), что позиционирует этот метод как интегративный и эффективный, реализующий сложные задачи в условиях нечетких данных.

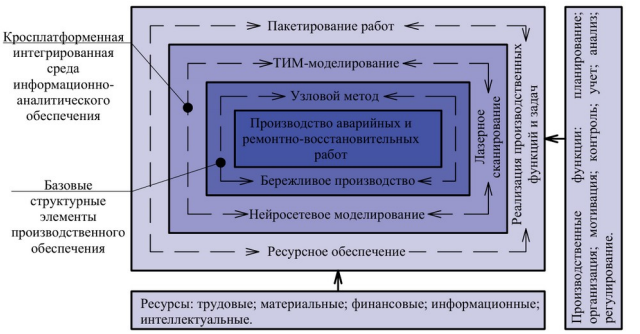


Рисунок 1- Элементы агрегированного метода ремонта и восстановления

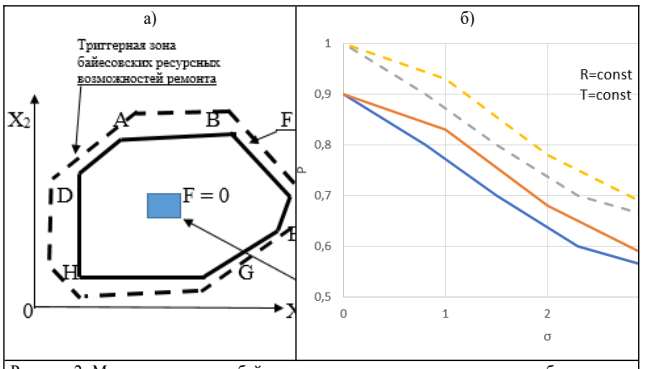


Рисунок 2- Модели «симплекс–байесовского» интегративного подхода к обеспечению ОТН восстановительного ремонта: а – структурная модель метода; б- экспериментальные модальные зависимости ОТН при новом строительстве и ремонте

МДММР основан на принципах узлового строительства, бережливого производства и элементах пакетирования работ [9,10,11]. Максимальная мощность подрядной организации (F_c) к выполнению плана восстановления по контрактным условиям определяется условием:

$$F_c = \frac{\left(V_з + \sum_{j=1}^{n} c_j x_j\right)}{V_o} \to \max, \qquad (6)$$

где $V_з$ – стоимость ресурсов, в запасах;

V_o – общая стоимость требуемых ресурсов подрядчика;

x_j – объем j-го вида ресурса;

c_j – стоимость единицы объема ресурса j-го вида.

При этом в любое время t потребность по всем ресурсов $A_{ij}^{p}(t)$, не может превышать общего количества этих ресурсов, имеющихся в распоряжении строительной организации, что и является тригерной зоной минимальный байесовских ресурсных ограничений.

$$\sum_i \sum_j \int_0^T \left(\sum_p A_{ij}^{p}(t)\, q_{ij}^{p}\right) dt - \sum_i \sum_j \int_0^T \left(\sum_p A_{ij}^{pa}(t)\, a_{ij}^{p}\right) dt \to max \qquad (7)$$

Узловой метод позволяет минимизировать простои производства, обеспечить последовательный ввод в эксплуатацию технологически независимых конструкций, узлов, обеспечить непрерывность работы в узлах, определить оптимальную последовательность ввода узлов, за счет обеспечения эффективности его реализации.

Ограничения ресурсов по узлам (элементам) показаны в равенстве 8:

$$\begin{pmatrix} \sum_{l=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} x_l^j \alpha_j = \sum_{l=1}^{m} K_{jl}^{l} N^{l} \Delta t & \left(j = 1,2,\ldots,n^{l}\right), \\ \sum_{l=1}^{m} x_l^j \alpha_j = B_{1j}^{'} & \left(j = 1,2,\ldots,n_1^{l}\right), \\ B_{2j}^{'} \le \sum_{l=1}^{m} x_l^j \alpha_j \le B_{3j}^{'} & \left(j = n_1^{l}+1, n_1^{l}+2,\ldots,n_2^{l}\right), \\ 0 \le \sum_{l=1}^{m} x_l^j \alpha_j \le B_{4j}^{'} & \left(j = n_2^{l}+1,\ldots,n^{1}\right), \end{pmatrix}, \qquad (8)$$

где l – порядковый номер объекта в комплексе;

m – количество блоков-объектов в комплексе;

$B_{1j}^{l}, B_{2j}^{l}, B_{3j}^{l}, B_{4j}^{l}$ – граничные значения объёмов j-ых ресурсов на l-ых объектах;

$B_{1j}^{'}, B_{2j}^{1'}, B_{3j}^{1'}, B_{4j}^{1'}$ - то же в целом на комплексе объектов.

Применение пакетирования работ, позволяет интегрировать все этапы производственного цикла сформировав его в укрупненные (агрегированные) пакеты от обследования объекта до ввода его в эксплуатацию, а также сократить сроки строительства за счет устранения простоев и улучшения взаимодействия между подрядными организациями и заказчиком, снизить затраты на производство, мониторинг всех процессов и повысить качество работ.

Основой системы пакетирования работ является структуризация, мониторинг и контроль всего технологического процесса на основе ТИМ моделирования и других информационных моделей [12,13,14].

Это позволяет произвести группировку работ по технологическим и пространственным зонам – разделить работы на пакеты, дискретные единицы с четко выстроенными взаимосвязями, визуализация проекта позволяет проводить постоянный мониторинг процесса реализации проекта, также ведение работ в информационной среде дает возможность беспрепятственной коммуникации между сотрудниками различных компаний и направлений. Для наполнения информационной модели точными данными о реальном состоянии здания используется лазерное сканирование, создающее детальное «облако точек» — трехмерную копию объекта [15-17].

Далее полученные данные обрабатывают с помощью нейросетей: искусственный интеллект позволяет автоматически распознавать в этом облаке точек отдельные элементы (колонны, балки, стены) и превращать хаотичный массив измерений в готовую цифровую модель или чертежи, многократно ускоряя процесс перехода от обследования к проектированию [18-20].

Заключение

Согласно результатам исследования:

В процессе исследования был предложен показатель (Укач), который позволяет оценить качество и продолжительность выполнения ремонтно-восстановительных работ.

Определены факторы, влияющие на Укач, а именно: соблюдение равномерности и бесперебойности технологических циклов, $X1_{\Sigma рангов}$=231, соблюдение рационального и равномерного использования ресурсов сырья, материалов и оборудования, $X2_{\Sigma рангов}$=230, эффективность конструкторских и технологических решений, $X3_{\Sigma рангов}$=227, организация строительного контроля, $X4_{\Sigma рангов}$=225, соответствие материалов по качеству и проекту, $X5_{\Sigma рангов}$=220, квалификация сотрудников, $X6_{\Sigma рангов}$=218.

На основании полученной совокупности оценок влияния факторов оценки качества ремонтно-восстановительных работ было разработано уравнение множественной регрессии:

$$y_x = 0{,}094\,x_1 + 0{,}076\,x_2 + 0{,}077\,x_3 + 0{,}03\,82 + 0{,}088\,x_5 + 0{,}096\,x_6 - 0{,}461$$

Основными элементами модульно-дескриптивного метода модернизации и ремонта поврежденных объектов являются: пакетирование работ, нейросетевое моделирование, узловой метод и лазерное сканирование.

Литература

1. Лебедев В.М. Технология и организация производства реконструкции и ремонта зданий: Учебное пособие. — 1 / Лебедев В.М., - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2025 – 216 с.
2. Калугин Ю.Б., Романов Р.С. Особенности оптимизации поточной организации работ с вероятностными временными параметрами // Петербургская школа поточной организации строительства. Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения профессора Виктора Алексеевича Афанасьева. Санкт-Петербург, 21-22 февраля 2023 г. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 6-11.
3. Исупов Н. С. Технология лазерного сканирования на этапе строительства как инструмент управления жизненным циклом здания / Н. С. Исупов, Н. И. Фомин // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2023 года / Под общей редакцией А. А. Семенова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 47-52. – DOI 10.23968/BIMAC.2023.007. – EDN STLFRM.
4. Опарина Л.А., Барзыгин Е.А., Огурцов В.А., Карась Р.С. Совместное применение пакетно-узлового метода и технологий искусственного интеллекта в календарно-сетевом планировании строительных проектов. Вестник МГСУ. 2026;21(1):107-121. https://doi.org/10.22227/1997-0935.2026.1.107-121
5. Руденко А.А. Организационно-технологические и конструктивные решения по восстановлению, ремонту, усилению и замене поврежденных элементов зданий: монография / А. А. Руденко. – Курск: Университетская книга, 2025. – 174 с
6. Руденко А.А. Концепция и методология восстановительного ремонта объектов после взрывного воздействия/ А.А.Руденко// Перспективы науки. – 2026. - № 6. – С. 116-122
7. 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.
8. Гришин М.О., Шабунин А.В. «Методология „Пакетно-узловой метод 4.0“ (ПУМ 4.0) при управлении строительными проектами: основные положения» // Журнал «Управление проектами и программами». — 2022. — №4. — С. 264–279.
9. Сулейманова Л.А. Методологические основы обеспечения конструктивной безопасности зданий и сооружений с применением ТИМ // Сулейманова Л.А., Крючков А.А., Рябчевский И.С. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород, 2023 – 86с.
10. Информационное Моделирование И Искусственный Интеллект В Современном Строительстве И Жилищно-Коммунальном Хозяйстве // Курбатов В.Л.1, Римшин В.И., Шубин И.Л., Волкова С.В. – Москва: Издательский дом АСВ, Москва, 2023 – 420 с.
11. Шахраманьян А. М., Шахраманьян М. А. Способ мониторинга и прогнозирования технического состояния зданий и сооружений и система мониторинга и прогнозирования технического состояния зданий и сооружений (варианты) : патент № 2381470 C2, Российская Федерация, МПК G01M 7/00.
12. Информационное Моделирование В Задачах Строительства И Архитектуры / под общ. ред. Семенов А.А. – Санкт-Петербург: СПБГАСУ, 2024 – 381 с.
13. Устойчивое Развитие. Энерго- И Ресурсосбережение. Bim-Технологии В Строительной Отрасли // Шеина С.Г., Зильберова И.Ю., Федоровская А.А. и др. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2023 – 166 с.
14. Плешивцев А.А. Технология Bim-Проектирования Архитектурных Объектов // Плешивцев А.А. – Москва: Общество С Ограниченной Ответственностью "Русайнс", 2023 – 150 С.
15. Лапидус А. А., Муртазаев И. С., Эльмурзаев М. А., Алиев С. А. Расчет потребности временной складской площади на основе цифровой информационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2026. № 1. С. 50-55. doi: 10.33622/0869-7019.2026.01.50-55
16. Олейникова Я.И., Горбунова А.А., Есиков А.Н. Особенности изучения математической статистики // StudNet. 2022. №6.
17. Слепенкова М..В., Руденко, А.А., Бирюков, А.Н. Математическая модель, методика планирования и динамической корректировки продолжительности восстановительного ремонта объектов после взрывного воздействия / М.В. Слепенкова М.В., А. А. Руденко, А.Н. Бирюков // Экономика строительства. – 2026. – № 2. – С. 676-680.
18. 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. – Т. 15. – №. 15. – С. 118-148.
19. Chen X. et al. Developing a readiness model and a self-assessment tool for adopting digital technologies in construction organizations //Building Research & Information. – 2023. – Т. 51. – №. 3. – С. 241-256.
20. Kustikova, Yu. O. The effectiveness of flow charts in improving the quality control of repair and construction work / Yu. O. Kustikova, E. V. Pankova // E3S Web of Conferences : XII International Scientific and Practical Forum - «Environmentally sustainable cities and settlements: problems and solutions» (ESCP-2023), Moscow, Hanoi, 20–21 апреля 2023 года. Vol. 403. – Moscow, Hanoi: E3S Web of Conferences, 2023. – P. 03001.

Modular-descriptive method of modernization and repair of construction facilities in conditions of technogenic pollution

Rudenko A.A.

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

This article examines the selection, evaluation, and regression analysis of factors influencing the quality of modernization and repair of facilities with various types of defects and accident damage.

JEL classification: L61, L74, R53

Research methods include factor and regression analysis, synthesis, induction, and forecasting. The objective of the study is to assess the influence of factors affecting the efficiency of repair of buildings with varying levels of defects and accident damage, and to develop a model for a modular-descriptive method for the modernization and repair of capital construction projects.

Based on the resulting set of factor impact assessments, a multiple regression equation was developed for assessing the quality of repair and restoration work. The proposed key elements of the modular-descriptive method include: the nodal method, work packaging, neural network modeling, and laser scanning.

This article is published based on the results of the 2026 SPbGASU grant (research) No. 23-NPR-26.

Keywords: Repair and restoration work, modular-descriptive method, regression equation.

References

1. Lebedev V.M. Technology and Organization of Production of Reconstruction and Repair of Buildings: Textbook. 1st ed. Moscow: INFRA-M Scientific Publishing Center LLC, 2025. 216 p.
2. Kalugin Yu.B., Romanov R.S. Features of optimizing the flow organization of work with probabilistic time parameters. In: St. Petersburg School of Flow Organization of Construction. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor Viktor Alekseevich Afanasyev. St. Petersburg, February 21–22, 2023. St. Petersburg: SPbGASU, 2023, pp. 6–11.
3. Isupov N.S., Fomin N.I. Laser scanning technology at the construction stage as a tool for building lifecycle management. In: Semenov A.A., ed. BIM Modeling in Construction and Architecture Tasks: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, April 19–21, 2023. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2023, pp. 47–52. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.007. EDN: STLFRM.
4. Oparina L.A., Barzygin E.A., Ogurtsov V.A., Karas R.S. Combined application of the package-node method and artificial intelligence technologies in scheduling of construction projects. Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2026, vol. 21, no. 1, pp. 107–121. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.1.107-121.
5. Rudenko A.A. Organizational, Technological and Structural Solutions for Restoration, Repair, Strengthening and Replacement of Damaged Building Elements: monograph. Kursk: Universitetskaya kniga, 2025. 174 p.