

## Идентификация и оценка рисков дефектов на этапе строительного контроля бетонных работ в многоэтажном строительстве

*А. Н. Макаров, А. М. Забара*

*Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Москва, Россия*

**Аннотация:** В статье разработана математическая модель для оценки рисков дефектов, возникающих при производстве бетонных работ в процессе многоэтажного строительства. Модель включает дефекты, их классификацию и оценку ущерба. Риск определяется произведением вероятности возникновения дефекта и величины потенциального ущерба. Идентификация дефектов проведена на всех основных этапах строительного контроля. Экспертный опрос определил показатели вероятности и значимости критериев качества. Для каждого дефекта установлены значение риска и категория опасности. Данное исследование позволяет оптимизировать процесс управления рисками, что ведёт к повышению безопасности железобетонных конструкций. Результаты могут быть использованы для обоснованных решений по управлению монолитными работами в строительстве.

**Ключевые слова:** оценка рисков, условия вероятности, бетонные работы, риск-ориентировочный подход, идентификация рисков,

**Введение.** Оценка и идентификация рисков на этапе строительного контроля бетонных работ является критически важным элементом обеспечения безопасности и качества работ [1, 2]. В современных условиях, когда на строительных площадках используется большое количество технологий и материалов, которые подвержены различным видам рисков, особенно важно иметь систему оценки и идентификации этих рисков. Эти исследования и их результат потенциально могут оказать существенное влияние на будущее строительной индустрии и качество реализуемых проектов. Статья направлена на помощь в повышении надёжности и безопасности в строительстве многоэтажных железобетонных зданий путем выявления и анализа потенциальных проблем и рисков, которые могут возникнуть в процессе выполнения бетонных работ. Данное исследование предоставляет модель, которая может быть использована для принятия решений и минимизации возможных негативных последствий при возведении монолитных конструкций.

---

Ранее были проведены исследования рисков в системе строительного контроля, к примеру, [3,4], также следует отметить, что на данную тему существуют нормативные документы и стандарты, но в них отсутствует информация по вероятности возникновения дефектов, не достаточно подробно представлена характеристика по степени их ущерба, нет непосредственной взаимосвязи дефектов с критериями качества строительных конструкций, на которые они влияют, и нет взаимосвязи рисков дефектов.

Цель данной статьи – разработать математическую модель для оценки риска дефектов и их ущерба, возникающих в железобетонных конструкциях в процессе строительства и по его завершению.

Для осуществления поставленной цели, в статье решены следующие задачи: изучены и идентифицированы основные дефекты монолитных работ, установлена связь между дефектами и критериями качества, на которые они влияют, каждое повреждение охарактеризовано по степени ущерба, проведены экспертные опросы по значимости критериев качества и вероятности возникновения дефектов, выполнен анализ риска дефектов для железобетонных конструкций.

**Методы исследования.** В исследовании проводились: анализ документации, проведение наблюдений на строительной площадке, опрос специалистов по бетонным работам, обработка результатов экспертных оценок и математическое моделирование. Анализ документации включал в себя изучение проектной документации, технических условий, нормативных документов и т.д. [5, 6]. Наблюдения на строительной площадке проводились с целью выявления и изучения дефектов. Экспертный опрос специалистов по железобетонным конструкциям позволил получить информацию о вероятности возникновения повреждений и наиболее точно определить их ущерб. Математическая модель построена на теории вероятности и

---

прогнозировании возможных последствий, и, в последующем, служит для расчёта риска события. Формула, используемая для подсчёта риска  $R_{dn}$ , имеет вид [7, 8]:

$$R_{dn}=P_{dn}U_{dn} \quad (1)$$

Где:

$P_{dn}$  – условная вероятность возникновения и причинения ущерба дефектом;

$U_{dn}$  – ущерб дефекта.

Чтобы применить формулу (1), рассмотрим по отдельности вероятность возникновения дефекта и его ущерб.

Ущерб дефекта  $U_{dn}$  будет рассчитываться по формуле (2) путём сложения показателей качества ( $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$ ), которые имеют весовые коэффициенты ( $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$ ). Показатель назначения –  $F_1$  (прочность, жёсткость, трещиностойкость), показатель конструктивности –  $F_2$  (геометрические размеры, форма, состав, структура), показатель надежности –  $F_3$  (вероятность возникновения отказов, стойкость к коррозии, срок службы, время, и условия хранения), показатель ремонтпригодности –  $F_4$  (продолжительность, трудоёмкость и стоимость восстановления при отказах), показатель эстетики –  $F_5$  (художественная выразительность, внешний вид, качество поверхностей), показатель безопасности эксплуатации –  $F_6$  (опасность для жизни и здоровья человека при эксплуатации, соответствие пожарным, санитарно-эпидемиологическим, экологическим нормам) [9, 10].

$$U_{dn}=w_1F_1+ w_2F_2+ w_3F_3+ w_4F_4+ w_5F_5+ w_6F_6 \quad (2)$$

Для расчета весовых коэффициентов  $w_n$  показателей назначения, конструктивности, надежности, ремонтпригодности, эстетики и

безопасности эксплуатации, используется метод анкетирования экспертов, посредством ранжирования от наименее до наиболее значимого фактора.

Для определения условной вероятности возникновения и причинения ущерба дефектом воспользуемся формулой:

$$P_{dn}=P_{(U/Dn)}/P_{(dn)} \quad (3)$$

Где:

$P_{(U/Dn)}/P_{(dn)}$  – вероятность, с которой происходит ущерб по причине дефекта  $d_n$ ;

$P_{(dn)}$  – вероятность возникновения дефекта  $d_n$  ;

Вероятность возникновения дефектов  $P_{(dn)}$  также определяется путём экспертного опроса, методом оценки по шкале от 1 до 10, где, 1 - на моей практике не было такого дефекта, 2 - очень редко (1-2 раза при строительстве объекта), 3-4 - редко (через 4-5 этажей), 5-6 - появляется время от времени (через 1-2 этажа), 7-8 - часто (на каждом этаже), 9-10 - постоянно появляется (почти на каждой конструкции).

**Результаты исследования.** В представленной аналитической таблице 1 перечислены основные дефекты, выявленные при приемочном строительном контроле бетонных работ, которые были классифицированы с учетом их вида и степени потенциального ущерба для железобетонных конструкций. Приведённая таблица позволяет более детально оценить и конкретизировать дефекты.

Таблица №1

Идентификация дефектов железобетонных конструкций и их классификация на стадии строительного контроля

Виды дефектов	Критерии качества, на который влияет дефект
---------------	---

1	2
Отклонение по вертикали, прямолинейности, горизонтальности конструкций, отклонения размеров сечения вне допуска ( $d_1$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_4$ )
Участки неуплотнённого бетона ( $d_2$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_6$ )
Трещины в бетоне шириной раскрытия более 0,2мм ( $d_3$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_5, F_6$ )
Уменьшение прочности бетона конструкции ( $d_4$ )	( $F_2, F_3, F_6$ )
Загрязнение арматуры бетонным молочком, маслом и т.п. ( $d_5$ )	( $F_1, F_3, F_6$ )
Раковины, сколы на поверхности бетона вне допуска ( $d_6$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_5, F_6$ )
1	2
Изменение защитного слоя бетона вне допуска ( $d_7$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_4, F_6$ )
Нарушения при стыковке арматуры ( $d_8$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_4$ )
Жировые и ржавые пятна на поверхности бетона ( $d_9$ )	( $F_5$ )
Уменьшение диаметра, шага, количества арматуры ( $d_{10}$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_4$ )
Уменьшение морозостойкости,	( $F_2, F_3, F_6$ )

водонепроницаемости бетона конструкции ( $d_{11}$ )	
Повышенный уровень химического/радиационного загрязнения ( $d_{12}$ )	( $F_1, F_2, F_3, F_4, F_6$ )

На представленном ниже рисунке 1 приведены полученные в результате экспертного опроса результаты оценки весовых значений  $w_n$  для показателей качества  $F_n$ .

На рисунке 2, путём приведения ответов экспертов к процентному соотношению, приведены результаты анкетирования специалистов по вопросу вероятности возникновения дефектов в ж/б конструкциях.

На рисунке 3 приведены результаты анкетирования специалистов по вопросу вероятности, с которой происходит ущерб от возникновения дефектов в ж/б конструкциях.

я

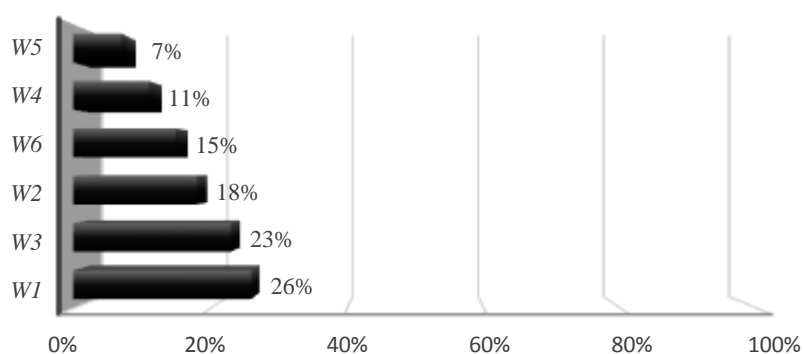


Рис. 1. - Результаты экспертного опроса значимости критериев качества

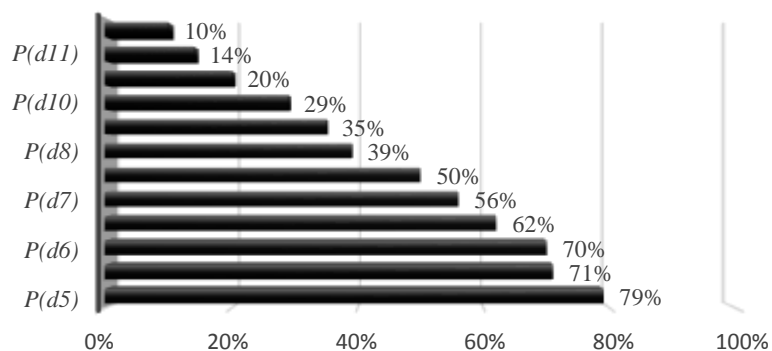


Рис. 2. - Результаты экспертного опроса о вероятности возникновения дефектов в ж/б конструкциях

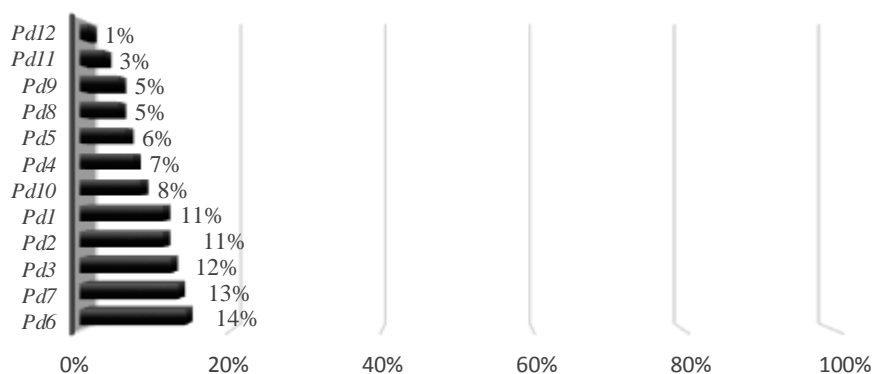


Рис. 3. - Результаты экспертного опроса о вероятности, с которой происходит ущерб по причине дефектов

На рисунке 4 приведены результаты расчёта условных вероятностей наступления ущерба, вычисленных по формуле (3).

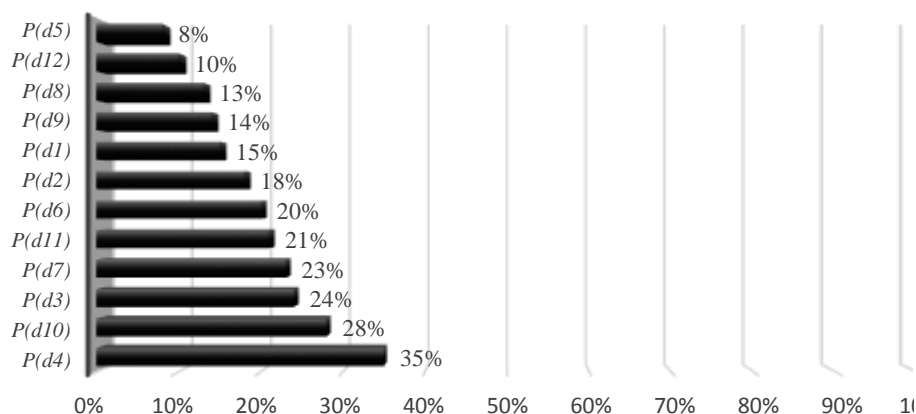


Рис. 4. - Результаты расчёта условных вероятностей возникновения и наступления ущерба дефекта

Таким образом, методика оценки значимости риска на основе формулы (1) включает анализ типов дефектов, весовых показателей для критериев качества ж/б конструкций, вероятности возникновения дефекта, вероятности с которой дефект может причинить ущерб, а также, непосредственно, оценка степени критичности самого ущерба, связанного с каждым дефектом. Оценка значимости риска позволяет определить наиболее критические дефекты и принять меры по их предотвращению.

Оценка ущерба дефекта по каждому критерию должна проводиться экспертной группой на строительной площадке, в которую должны входить: представитель проектной организации, специалист по организации строительства от Подрядной организации и представитель Застройщика/технического Заказчика по вопросам строительного контроля [11].

Ущерб по каждому критерию  $F_{dn}$  оценивается в условных единицах от 0 до 1,0, согласно Таблице 2, где: малозначительная степень ущерба 0-0,3; значительная – 0,3-0,7; критическая – 0,7-1,0.

Таблица №2

Шкала оценки ущерба дефекта по каждому критерию



---

№	Вербальная оценка	Числовая оценка
1	Малозначительная степень ущерба	0-0,3
2	Значительная	0,3-0,7
3	Критическая	0,7-1,0

### **Внедрение результатов исследования**

Алгоритм применения изображён на блок-схеме, под рисунком номер 5.

#### **Блок 1.**

На строительной площадке, в рамках проведения строительного контроля, на железобетонных вертикальных несущих конструкциях стен были идентифицированы следующие дефекты:

- трещины в бетоне шириной раскрытия более 0,2мм - R<sub>d3</sub>;
- загрязнение арматуры бетонным молочком, маслом и т.п. - R<sub>d5</sub>;
- жировые и ржавые пятна на поверхности бетона - R<sub>d9</sub>;
- уменьшение морозостойкости, водонепроницаемости бетона конструкции - R<sub>d11</sub>;

#### **Блок 2.**

Вопрос по оценке ущерба по каждому критерию F выносится на обсуждение экспертной группе. В качестве примера и для простоты оценки предположим, что степень влияния рассматриваемых дефектов на все критерии качества были оценены экспертной группой, как «критическая», с числовой оценкой 1,0.

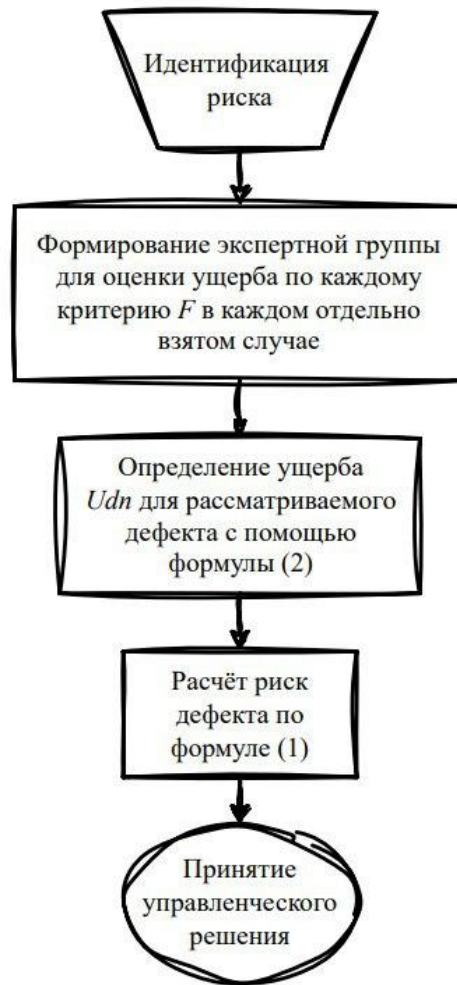


Рис. 5 - Алгоритм применения исследования

### Блок 3.

По информации, представленной в таблице 1 и на рисунке под номером 1, определяется ущерб  $U_{dn}$  для каждого рассматриваемого дефекта. Результаты оценки изображены на рисунке 6.

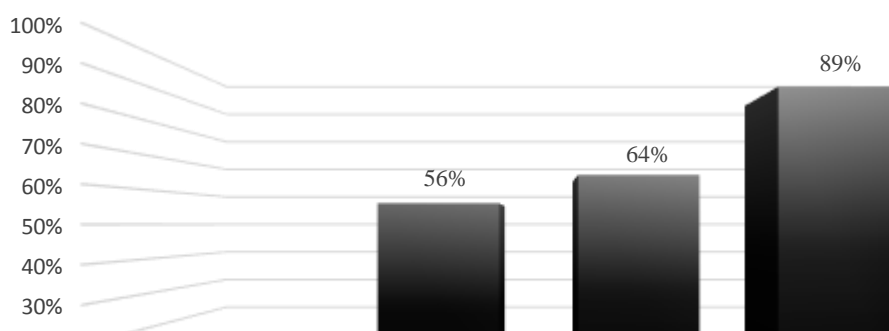


Рис. 6. - Результаты оценки ущерба  $U$  для ж/б конструкций от идентифицированных дефектов  $d_n$

#### Блок 4.

На данном этапе имеются все исходные данные для определения риска дефекта. Тогда, с помощью расчётов по формуле (1), результаты числовых показателей рисков рассматриваемых дефектов продемонстрированы на рисунке 7.

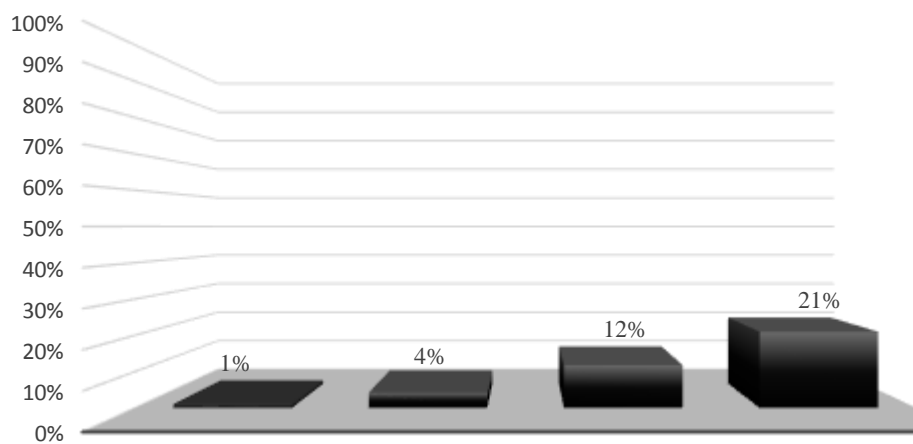


Рис. 7. - Результаты оценки рисков для ж/б конструкций от идентифицированных дефектов  $d_n$

#### Блок 5.

---

Учитывая значения, полученные при внедрении, риск нарушения этих показателей  $R_{dn}$  оценивается по следующей шкале: 3-5% - допустимый риск, 5-10% - повышенный риск, 10% и более – высокий [12, 13]. Выше приведена диаграмма, на которой изображены разобранные дефекты с точным указанием их значения риска  $R_{dn}$  и их положением относительно друг друга в порядке возрастания этого показателя. На основании этой информации принимается управленческое решение по устранению или согласованию риска дефекта.

### **Обсуждение результатов исследования.**

Таким образом, можно сказать, что инструмент расчёта риска дефектов  $R_{dn}$ , предложенный в данной статье, позволяет определить риски и ущерб от различных повреждений конструкций не только опытным путём, но и их представлением в численном виде, что, несомненно, даёт более понятное представление. По результатам расчёта видно, что каждый дефект, определённый с помощью многих факторов, представляет разный риск для надёжности железобетонных конструкций. Делая вывод по разобранным дефектам, наглядно видно, что, например: дефекты  $R_{d9}$  и  $R_{d5}$  по отдельности показывают низкий уровень риска для ж/б конструкций, это говорит о том, что, скорее всего, такие дефекты несут незначительный ущерб и допускается их неустранение. Однако, их сочетание  $R_{d5, d9}$  уже равно пяти процентам риска и более, что означает повышенный уровень риска. В таком случае, этот показатель послужит очень весомым подспорьем, что такую конструкцию нельзя согласовывать, и группе экспертов на строительной площадке необходимо принимать управленческое решение: исправлять данные дефекты, что повлечёт за собой дополнительные траты, несоблюдение графика строительства и другие последствия. Дефекты с высоким показателем риска, бесспорно, подлежат устранению. Таким образом,

---

благодаря результатам исследования можно обосновать управленческое решение не устранять дефекты для экономии ресурсов только в том случае, если у дефекта низкое значение риска.

**Заключение.** Оценка и идентификация рисков дефектов и их ущерба на этапе строительного контроля бетонных работ помогает снизить возможность возникновения дефектов и повреждений железобетонных конструкций, а также, в случае их появления, позволяет сделать выводы, насколько эти дефекты опасны. В статье разработана математическая модель оценки значимости риска, основанная на анализе ущерба и вероятности возникновения дефектов и приведения их к ущербу. Предложенная модель выполняет численную оценку риска и ущерба дефектов для надёжности железобетонных конструкций и может быть использована для поддержки принятия управленческих решений при возведении монолитных конструкций, в частности, при управлении качеством работ.

### Литература

1. Edwards P., Bowen P. Risk and risk management in construction: a review and future directions for research, *Engineering // Construction and Architectural Management*, 1998, Vol. 5, No. 4, pp. 339-349.
2. Kumamoto H. *Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists // Wiley*, 2000, P. 616.
3. Макарова, В. О. Методические подходы к оценке строительных рисков // *Молодой ученый*. 2017. № 3 (137). С. 364-367.
4. Lapidus A.A., Makarov A.N. The application of a risk-based approach when performing the functions of construction control by a technical customer // *Vestnik MGSU*. 2022; 17(2): 232-241.

5. Болотова А.С. Формирование модели базы данных для повышения организационно-технологической надежности монолитного строительства // Вестник МГСУ, 2017, № 9 (108), С. 1061-1069.
6. Ovidiu Cretu, Robert B. Stewart, Terry Berends Risk Management for Design and Construction // John Wiley & Sons, 2011, P. 288.
7. Черешкин, Д.С. Проблемы управления рисками и безопасностью // Труды Института системного анализа РАН, 2007, № 31, С. 336.
8. Кошелев В.А. Источники рисков в строительстве // Вестник евразийской науки, 2015, Том 7, № 1. С. 1- 13.
9. Shahid Iqbal, Rafiq M. Choudhry, Rafiq M. Choudhry, Ahsan Ali. Risk management in construction projects // Technological and Economic Development of Economy, 2015, № 21 (1), pp. 65-78.
10. Руфферт Г. Дефекты бетонных конструкций // Стройиздат, 1987, 111 с.
11. Гроздов В.Т. Дефекты основных несущих железобетонных конструкций каркасных многоэтажных промышленных и общественных зданий и методы их устранения // Санкт-Петербургское высшее военное инженерное строительное краснознамённое училище имени генерала армии А. Н. Комаровского. – СПб, 1993. - с. 185-189.
12. Габрусенко В. В. Аварии, дефекты и усиление железобетонных и каменных конструкций // Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН), 2012, С. 124.
13. Топчий Д. В. Концепция контроля качества организации строительных процессов при проведении строительного надзора на основе использования информационных технологий // Вестник евразийской науки, 2019, № 3, Том 11, С. 1-9.

---

## References

---

1. Edwards P., Bowen P. Construction and Architectural Management, 1998, Vol. 5, No. 4, pp. 339-349.
2. Kumamoto H. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. Wiley, 2000, P. 616.
3. Makarova, V. O. Molodoj ucheny`j. 2017. № 3 (137). pp. 364-367.
4. Lapidus A.A., Makarov A.N. Vestnik MGSU. 2022; 17(2): pp. 232-241.
5. Bolotova A.S. Vestnik MGSU, 2017, № 9 (108), pp. 1061-1069.
6. Ovidiu Cretu, Robert B. Stewart, Terry Berends Risk Management for Design and Construction. John Wiley & Sons, 2011, P. 288.
7. Chereskin, D.S. Trudy` Instituta sistemnogo analiza RAN, 2007, № 31, p. 336.
8. Koshelev V.A Vestnik evrazijskoj nauki, 2015, Tom 7, № 1. pp.1-13.
9. Shahid Iqbal, Rafiq M. Choudhry, Rafiq M. Choudhry, Ahsan Ali. Technological and Economic Development of Economy, 2015, № 21 (1), pp. 65-78.
10. Ruffert G. Defekty` betonny`x konstrukcij [Defects in Concrete Structures]. Strojizdat, 1987, 111 p.
11. Grozdov V.T Sankt-Peterburgskoe vy`sшее voennoe inzhenernoe stroitel`noe krasnoznamyonnoe uchilishhe imeni generala armii A. N. Komarovskogo. SPb, 1993. pp. 185-189.
12. Gabrusenko V. V. Avarii, defekty` i usilenie zhelezobetonny`x i kamenny`x konstrukcij [Accidents, defects, and strengthening of reinforced concrete and stone structures]. Novosibirskij gosudarstvenny`j arxitekturno-stroitel`ny`j universitet (SIBSTRIN), 2012, p. 124.
13. Topchij D. V. Vestnik evrazijskoj nauki, 2019, № 3, Tom 11, pp. 1-9.

**Дата поступления: 3.04.2024**

**Дата публикации: 16.05.2024**

---