

Строитель Донбасса. 2025. Выпуск 1-2025. С. 12-20. ISSN 2617–1848 (print)  
The Builder of Donbass. 2025. Issue 1-2025. P. 12-20. ISSN 2617–1848 (print)

Научная статья  
УДК 624.01.046+69.059.4  
doi: 10.71536/sd.2025.1c30.2

## НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ И МЕТОДЫ ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Виктор Николаевич Левченко<sup>1</sup>, Сергей Николаевич Машталер<sup>2</sup>,  
Евгений Анатольевич Дмитренко<sup>3</sup>, Сергей Анатольевич Кушнир<sup>4</sup>,  
Никита Сергеевич Ковтун<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия,  
<sup>1</sup>v.n.levchenko@donnasa.ru, <sup>2</sup>s.n.mashtaler@donnasa.ru, <sup>3</sup>e.a.dmitrenko@donnasa.ru, <sup>4</sup>kushnir.s.a@mail.ru,  
<sup>5</sup>kovtun.n.s-pgsu-75a@donnasa.ru

**Аннотация.** Для обеспечения требуемых параметров надёжности и долговечности строительных объектов в инженерной практике применяется комплекс технических и организационных методов. Оценка экономической целесообразности мероприятий по обеспечению надёжности строительных конструкций представляет собой многокритериальную задачу, включающую анализ затрат на соблюдение нормативных требований к качеству на всех стадиях жизненного цикла объектов — от проектирования и возведения до эксплуатации.

Надёжность строительных конструкций определяется их способностью сохранять эксплуатационные характеристики без возникновения отказов и аварий в течение установленного срока службы. Долговечность характеризует способность конструкций поддерживать работоспособность в течение всего эксплуатационного периода с учётом влияния эксплуатационных и внешних воздействий.

В статье рассматриваются подходы к проектированию строительных конструкций с идентичными параметрами надёжности, анализируются технологические аспекты обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик конструктивных элементов на стадии проектирования, а также методы их поддержания в процессе эксплуатации, изложены теоретические принципы и практические рекомендации, направленные на повышение качества строительных процессов при минимизации совокупных затрат.

**Ключевые слова:** надёжность, эффективность, долговечность, вероятностная оценка, ремонтпригодность, безотказность

Original article

## RELIABILITY AND DURABILITY OF BUILDING STRUCTURES AND METHODS OF ITS ENSURING IN OPERATION

Viktor N. Levchenko<sup>1</sup>, Sergey N. Mashtaler<sup>2</sup>, Evgeny A. Dmitrenko<sup>3</sup>, Sergey A. Kushnir<sup>4</sup>,  
Nikita S. Kovtun<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia, <sup>1</sup>v.n.levchenko@donnasa.ru, <sup>2</sup>s.n.mashtaler@donnasa.ru, <sup>3</sup>e.a.dmitrenko@donnasa.ru, <sup>4</sup>kushnir.s.a@mail.ru, <sup>5</sup>kovtun.n.s-pgsu-75a@donnasa.ru

© Левченко В. И., Машталер С. Н., Дмитренко Е. А., Кушнир С. А., Ковтун Н. С., 2025



Левченко  
Виктор  
Николаевич



Машалов  
Сергей  
Николаевич



Дмитренко  
Евгений  
Анатольевич



Кушнир  
Сергей  
Анатольевич



Ковтун  
Никита  
Сергеевич

**Abstract.** Ensuring the required parameters of reliability and durability in construction projects is achieved by using a number of technical and organizational methods of engineering practice. Evaluation of the economic feasibility of measures to ensure the reliability of building structures is a multi-criteria task. It includes an analysis of the costs of compliance with regulatory quality requirements at all stages of the life cycle of objects – from design and construction to operation.

The reliability of building structures is determined by their ability to maintain operational characteristics without failures and accidents during the established service life. Durability characterizes the ability of structures to maintain operability throughout the entire operational period, taking into account the influence of operational and external influences.

The article examines approaches to the design of building structures with identical reliability parameters, analyzes technological aspects of ensuring the required operational characteristics of structural elements at the design stage, as well as methods for maintaining them during operation, sets out theoretical principles and practical recommendations aimed at improving the quality of construction processes while minimizing total costs.

**Keywords:** reliability, efficiency, durability, probabilistic assessment, maintainability, failure-free operation

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Решению задач по обеспечению надежности строительных конструкций уделено внимание в работах [11–17]. На этапе проектирования появляется возможность оценки фактора экономической эффективности с учетом определения необходимого уровня надежности, зависящего от конструктивных особенностей возводимого объекта, его функционального назначения и расчетного срока эксплуатации.

Одной из задач процесса проектирования является создание конструкций с эксплуатационными характеристиками и параметрами надёжности. Решения указанной задачи возможно достичь с использованием следующих методов [5, 6]:

- выбором рациональных конструктивных решений и адекватных методик и методов расчёта;
- подбором и определением рациональной производственной базы для выполнения проектных и строительно-монтажных работ;
- введением в проект обоснованных технологических, конструктивных и расчетных параметров качества.

В процессе выполнения поставленной задачи под анализ попадают факторы, которые непосредственно связаны с процессом проектирования, выполняемыми производственными процессами и теми технологическими аспектами, которые непосредственно влияют на явление надёжности конструкций. Необходимым условием в данном случае является условие неизменности внешних факторов. Теоретическое повышение значения надёжности возможно за счёт снижения расчётного коэффициента надёжности при одновременной оптимизации затрат на возведение объекта. Для достижения данной цели необходимо:

- оптимизировать геометрические размеры сборных элементов с целью минимизации выполнения количества соединений;
- в процессе проектирования применять конструктивные схемы, которым характерен запас уровня надежности, с целью предотвращения появления отказов конструкций;
- более часто применять пространственные конструкции для обеспечения жесткости и устойчивости конструктивных элементов;
- внедрять апробированные стандартные и унифицированные элементы, которым свойственен высокий уровень надёжностью вследствие совершенствования методики и технологии их изготовления;
- неизменно учитывать конструкционную прочность и параметры напряженно-деформированного состояния элементов железобетонных конструкций;
- выполнять проектирование узлов сопряжений элементов с повышенными и высокими характеристиками надёжности;
- применять монолитные конструкции с выполнением контроля качества выполнения, несмотря на отсутствие возможности опти-

мального размещения элементов с дифференцированным уровнем надёжности;

- выполнять учет факторов долговечности и ремонтпригодности конструкций, оценив срок службы и техническое состояние защитных покрытий, а также изменение прочностных характеристик материалов для расчёта интервалов технического обслуживания;
- обеспечивать явление технологичности производства конструкций и выполнения рабочих чертежей, оптимизируя процессы строительного-монтажных и ремонтных работ с учётом пооперационного предупредительного контроля качества.

Снижение расчётного коэффициента надёжности при сохранении заданных эксплуатационных характеристик материалов и сечений требует максимального соответствия фактических параметров качества возведённой конструкции её расчётной модели [2, 7]. Организация комплексной системы производственного контроля технологических процессов требует дополнительных материальных ресурсов, но позволит решить поставленную задачу.

Цель исследования — анализ проблем надёжности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений, а также разработка методов их обеспечения в процессе эксплуатации.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В процессе выполнения проектирования и возведения железобетонных конструкций предусмотрены дополнительные методы оптимального использования материальных ресурсов [1, 3]:

1. Повышение коэффициента однородности бетонной смеси и снижение нагрузки от собственного веса за счет уменьшения поперечных сечений элементов.
2. Определение прочности контрольных образцов для анализа характеристик физико-механических свойств. Данный параметр основан на выполнении сплошного контроля готовой продукции и применении неразрушающих методов контроля, позволяющих определить фактические значения прочностных характеристик в различных сечениях.

В соответствии с методикой расчёта железобетонных конструкций по предельным состояниям каждому элементу назначается единый класс бетона, при выполнении расчетов поперечное сечение остаётся постоянным по всей длине. Однако из-за неравномерности распределения усилий по длине элемента прочностные характеристики, требуемые в расчётном сечении, могут быть избыточными для других зон элемента.

Технологические особенности производства железобетонных изделий приводят к вариативности прочностных характеристик внутри одного элемента. Поэтому необходимо принимать в расчет вероятность соответствия фактических значений прочности в отдельных сечениях расчётным усилиям, действующим непосредственно в рассматриваемых сечениях.

Методика, представленная в работе [4], позволяет оценить вероятность совпадения фактических и расчётных прочностных характеристик. Применение данного подхода даёт возможность снизить требуемый класс бетона и, соответственно, уменьшить расчётный коэффициент надёжности, что обеспечивает экономию материалов за счет изменения размеров поперечного сечения.

Для анализа фактических прочностных характеристик бетона в однопролётной железобетонной балке (см. рис. 1) и их сопоставления с расчётными значениями прочности различных сечений выполняется построение эпюры усилий. Значения усилий на эпюре определяются расчётом бетона на сжатие, возникающее под действием изгибающих моментов, а также на сжимающие нагрузки от поперечных сил. При этом учитывается взаимодействие арматуры с бетоном и способность сечения воспринимать внешние нагрузки.

Расчёты выполняются с учётом изменения изгибающих моментов и поперечных сил вдоль длины балки (см. эпюры  $M$  и  $Q$ ). В процессе операционного контроля прочности бетона в конструкциях для каждого проверяемого участка должно выполняться следующее условие:

$$R_{в_{изм.}} < R_{в_x} \quad (1)$$

где  $R_{в_{изм.}}$  — измеренная прочность бетона в контролируемом сечении элемента;

$R_{в_x}$  — расчетное сопротивление бетона в том же сечении.

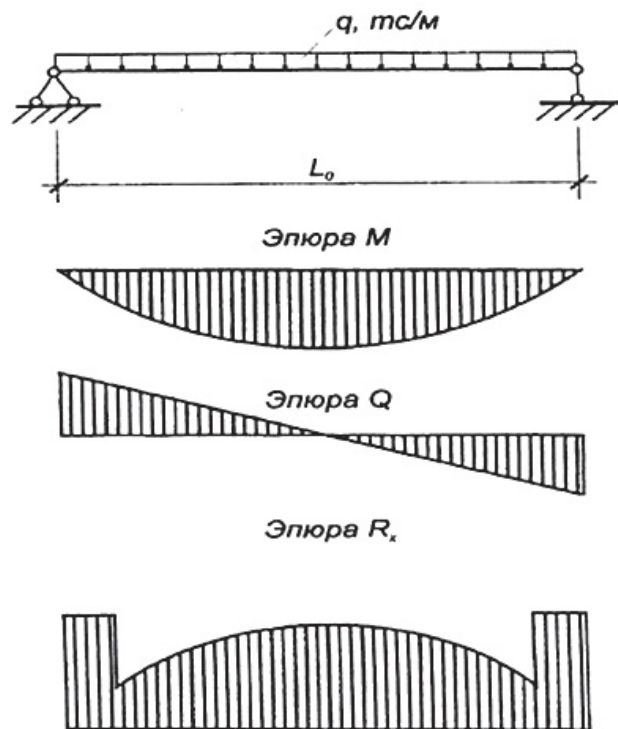


Рис.1. — Расчётные и контрольные эпюры усилий для однопролётной железобетонной балки

а — схема каркаса; б — график изменения надёжности конструкции по высоте здания; в — изменчивость характеристик прочности партии элементов сборных колонн



3. Применение метода селективного отбора в процессе сплошного контроля физико-механических и геометрических параметров качества позволяет классифицировать однотипные элементы сборных конструкций по уровням надёжности и рационально распределять их в конструктивной системе.

На рисунке 2 представлена схема каркаса многоэтажного здания (а) и график, отражающий требуемый теоретический уровень надёжности в зависимости от расположения сжатых конструктивных элементов (колонн) в системе (б).

Предлагается разделение здания по высоте на три зоны с одинаковыми допустимыми уровнями надёжности элементов, что обеспечивает равномерное распределение эксплуатационной нагрузки и повышает эффективность использования материалов.

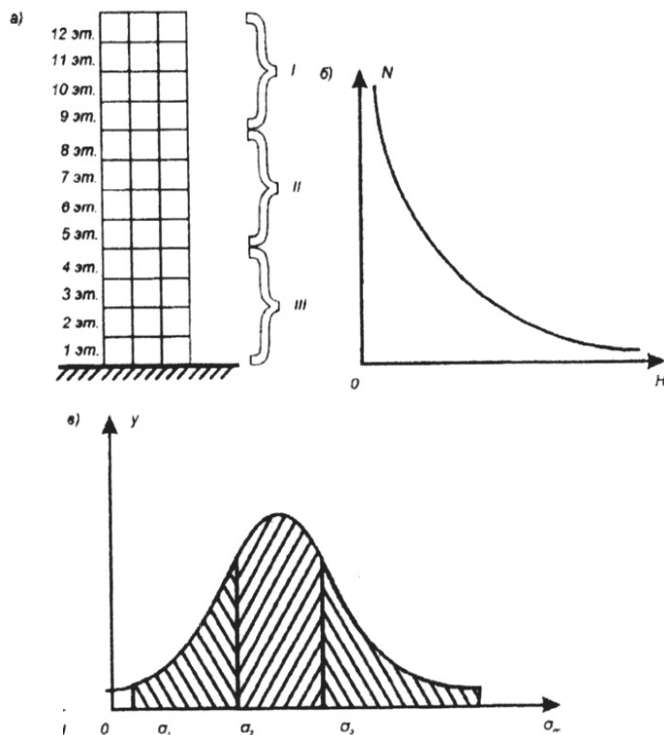


Рис. 2. — Обеспечение равнонадежности конструкций

а — схема каркаса; б — график изменения надёжности конструкции по высоте здания;  
в — изменчивость характеристик прочности партии элементов сборных колонн

Конструкция разделена на три участка надёжности:

Первый участок (12–9 этажи). Второй участок (8–5 этажи). Третий участок (4–1 этажи).

Обозначения:

$N$  — надёжность конструкции;

$N$  — число ярусов (этажей) колонн;

$\sigma_b$  — прочность элементов;

$y$  — количество элементов с определённой прочностью (частота распределения).

Исходя из рисунка 2, для нижнего (третьего) участка требуется использование наиболее надёжных элементов, а для верхнего — наименее надёжных.

Для оценки прочности элементов сборных колонн проведен сплошной контроль качества изготовления партии с последующим построением кривой распределения характеристик прочности.

Площадь под кривой нормального распределения разделяется на три участка, характеризующих минимальное, среднее и максимальное значение прочности элементов.

Следующим шагом является проведение селективного отбора партии по характеристикам прочности на основании графика, представленного на рисунке 2в:

- для первых четырёх этажей (участок III) отбираются участки колонн с характеристикой прочность более  $\sigma_3$ ;

- для 5–8 этажей (участок II) — с прочностью от  $\sigma_2$  до  $\sigma_3$ ;

- для 9–12 этажей (участок I) — с прочностью от  $\sigma_1$  до  $\sigma_2$  и от  $\sigma_2$  до  $\sigma_3$ .

Точность выполнения монтажных работ должна варьироваться в зависимости от высоты здания. Для нижних ярусов необходима максимальная точность соединений для минимизации горизонтальных перемещений (эксцентриситеты). Такое распределение должно быть подтверждено расчётом надёжности конструкций и экономическими обоснованиями.

4. Повышение качества строительных работ, снижение количества бракованной продукции и увеличение интервала между ремонтами.

5. Использование рекомендаций службы надёжности для оптимизации проектных решений и производственных процессов, что способствует повышению уровня надёжности и улучшению технико-экономических показателей строительства.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основной функцией службы эксплуатации строительных конструкций является обеспечение требуемого уровня надёжности в течение всего жизненного цикла объекта. Повышение надёжности конструкций приводит к увеличению капитальных затрат на их возведение, однако снижает эксплуатационные расходы.

Для временных сооружений, рассчитанных на небольшой срок эксплуатации, затраты на техническое обслуживание минимальны, тогда как для зданий 1 и 2 классов ответственности требуется детальный анализ соотношения эксплуатационных расходов и первоначальной стоимости строительства.

Экономическая эффективность затрат на профилактические осмотры и ремонт определяется сравнением данных расходов с инвестициями в строительство.

Частота проведения профилактических ремонтов зависит от скорости износа конструктивных элементов, которая определяется следующими факторами:

- физико-механическими характеристиками применяемых материалов,
- проектными решениями,
- воздействием внешних факторов,
- условиями эксплуатации.

Эти параметры напрямую связаны с ремонтпригодностью конструкций и эффективностью эксплуатации. В агрессивных средах высокая ремонтпригодность и надёжность эксплуатационных характеристик позволяют снизить расчётный коэффициент рабочих условий.

На этапе проектирования необходимо выполнить оценку объёма ремонтных работ, их стоимости и периодичности в течение всего срока службы объекта. Данные показатели могут быть рассчитаны с применением соответствующей формулы:

$$C_9^n = C_9^{II} n, \quad (2)$$

где  $C_9^n$  — сумма затрат на проведение профилактических ремонтов;  $C_9^{II}$  — средняя стоимость одного профилактического ремонта;  $n$  — количество профилактических ремонтов на весь срок службы конструкции.

Формирование эксплуатационной службы с учётом функционального назначения объекта (например, жилищно-эксплуатационные организации, ремонтно-строительные подразделения промышленных предприятий, инженерные службы общественных зданий) позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы за счёт продления срока службы строительных конструкций.

Надёжность зданий и сооружений является критически важным параметром как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации. В ходе проектирования устанавливаются расчётные нагрузки и внешние воздействия, подбираются материалы с необходимыми характеристиками и разрабатываются конструктивные решения, соответствующие эксплуатационным требованиям. Это позволяет задать базовые показатели долговечности и безотказности объекта. Дополнительно предусматривается запас прочности и деформативности конструкций, определяемый как начальное резервирование.

На этапе строительства надёжность и долговечность элементов во многом зависят от качества выполнения монтажных работ, применения сертифицированных материалов, соответствующих проектной документации, а также соблюдения технологического регламента производства.

В ходе эксплуатации восстановление надёжности конструктивных элементов и инженерных систем обеспечивается плановыми ремонтными работами и заменой изношенных компонентов. Использование современных технологий и высокоизносостойких материалов в процессе ремонта повышает эксплуатационные характеристики элементов. В то же время несоблюдение регламентов эксплуатации и несвоевременное проведение профилактического обслуживания могут привести к сокращению расчётного срока службы объекта.

Интеграция усовершенствованных конструктивных решений при проведении капитального

и планового ремонта способствует улучшению ремонтпригодности объектов и повышению их эксплуатационной эффективности.

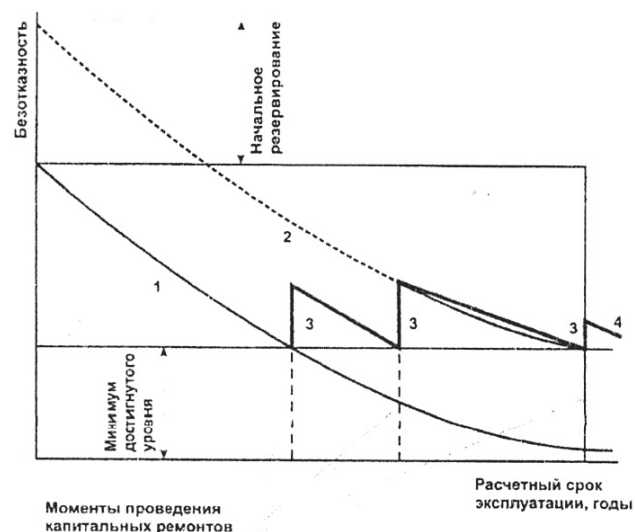


Рис. 3. — Формирование и изменение надёжности здания на стадиях проектирования и эксплуатации

- 1 — изменение безотказности объекта в результате старения и износа; 2 — то же при начальном резервировании; 3 — повышение безотказности при капитальном ремонте; 4 — увеличение долговечности объекта

Своевременная диагностика и устранение дефектов, возникающих в процессе эксплуатации, предотвращает возникновение отказов конструкций, обеспечивая требуемый уровень эксплуатационной надёжности зданий и сооружений.

При проектировании объектов возможны два основных подхода к обеспечению безотказности:

1. **Повышенная начальная безотказность** — достигается за счёт введения конструктивного резервирования, что увеличивает капитальные затраты на строительство. В данном случае уровень безотказности снижается в процессе эксплуатации, достигая к концу расчётного срока минимально допустимого значения.

2. **Отсутствие начального резервирования** — более экономически целесообразный вариант, при котором предусматривается система капитальных ремонтов, позволяющая поддерживать уровень безотказности на требуемом уровне в течение всего срока службы. Однако такой подход может привести к увеличению эксплуатационных затрат по сравнению с первым вариантом.

Для поддержания требуемого уровня эксплуатационной надёжности применяются как технические, так и организационные меры. Комплексный подход к оценке надёжности включает анализ социальных, технических, экономических и экологических факторов.

Несмотря на использование передовых технологических решений, вероятность отказа конструкций и оборудования не может быть полностью исключена. Организационные методы обеспечения надёж-

ности направлены на предотвращение отказов или минимизацию их последствий.

Функции эксплуатационных служб в области обеспечения надёжности включают:

- раннее выявление признаков деградации конструкций и оборудования с целью предотвращения их перехода в отказ;
- снижение вероятности отказов посредством предупредительных мероприятий (регулярное техническое обслуживание, плановые ремонты и т. д.).

В случае возникновения неисправности эксплуатационные параметры объекта отклоняются от нормативных значений до уровня R1, выходя за пределы допустимого диапазона.

Процесс устранения неисправности включает следующие временные составляющие:

- $t_1$  — время поступления информации о неисправности в эксплуатационную службу;
- $t_2$  — временной интервал, необходимый для диагностики и принятия решения о ремонте;
- $t_3$  — длительность устранения неисправности, зависящая от ремонтпригодности конструкции;
- $t_4$  — период восстановления эксплуатационных характеристик до номинальных значений с учётом технической инерции объекта.

Суммарный период существования неисправности определяется следующей формулой:

$$T_{\text{неиспр}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (3)$$

Период передачи информации о неисправности определяется совокупностью эксплуатационных факторов и технических характеристик объекта. Интервал, необходимый для диагностики, выявления причин отказа, разработки стратегии устранения неисправности и выполнения ремонтных мероприятий, зависит от уровня квалификации и технических возможностей обслуживающего персонала.

Обслуживающий персонал обладает данными о сбоях и принятием решений по управлению неисправностью ( $t_{2\min}$ ), а также минимальным возможным временем выполнения ремонтных работ ( $t_{3\min}$ ) в рамках существующих эксплуатационных условий.

Таким образом, минимизация времени существования неисправности достигается при выполнении следующего условия:

$$T_{\text{неиспр, min}} = t_1 + t_{2, \min} + t_{3, \min} + t_4 \quad (4)$$

В ряде случаев после обнаружения неисправности эксплуатационная служба не приступает к её устранению незамедлительно. Однако при постепенном изменении параметров объекта, а не их резком отклонении, существует возможность предотвратить отказ до момента его наступления через интервал времени  $T_{\text{от}}$ .

Для этого эксплуатационный персонал должен своевременно выполнить ремонтные работы в момент времени  $i_x$ , затратив минимальное время  $t_{3\min}$ , чтобы исключить возникновение отказа.

Наличие подобной ситуации свидетельствует о наличии дополнительного временного резерва, превышающего минимально необходимый, величина которого определяется по следующей формуле:

$$T_{\text{рез}} = T_{\text{от}} - T_{\text{рег}} = T_{\text{от}} - (t_1 + t_{2, \min} + t_{3, \min} + t_4) \quad (5)$$

Параметр резервного времени позволяет оценить соответствие требований, предъявляемых к эксплуатационной службе, её фактическим возможностям с учётом как внутренних, так и внешних ограничений.

Вероятность безотказной работы объекта является функцией времени эксплуатации: по мере увеличения срока службы возрастает вероятность отказа конструктивных элементов. Один из способов повышения надёжности — проведение плановой замены конструкций или их элементов до наступления отказа. Однако данный подход сопровождается ростом эксплуатационных затрат (см. рис. 4).

Для достижения оптимального соотношения между требуемым уровнем надёжности объекта и затратами на его обеспечение необходимо разработать стратегически обоснованную систему ремонтно-профилактических мероприятий.

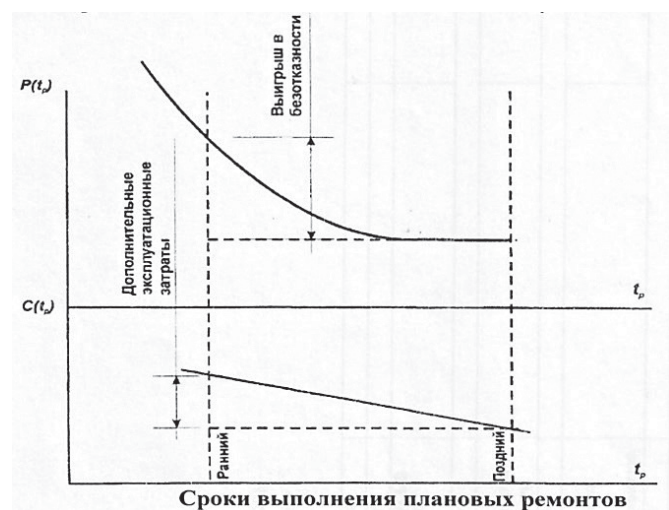


Рис. 4. — Зависимость между выигрышем в надёжности и материальными затратами на его достижение при предупредительной замене конструкций

Для разработки оптимальной стратегии проведения ремонтных работ необходимо учитывать два ключевых показателя: частоту возникновения отказов и экономическую целесообразность.

Интенсивность эксплуатационных затрат представляет собой совокупность материальных расходов, связанных с появлением и устранением отказов, а также с профилактическими мероприятиями, приведённую к единице времени [1].

Для каждой конструкции определяется предельное значение частоты отказов, которое должно поддерживаться эксплуатационной службой. Этот показатель обозначается как  $I_{\text{от}}$ .



Обеспечение допустимого уровня частоты отказов может быть достигнуто за счёт регулирования периодичности плановой замены конструктивных элементов. Ожидаемая частота отказов при проведении таких замен определяется по следующей формуле:

$$I_{от} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{T_{пл}}{T_{ср}^2}, \quad (6)$$

где  $T_{пл}$  — назначаемая периодичность проведения плановых замен конструкции (или ее элементов);  $T_{ср}$  — средний срок службы конструкции.

Задача обеспечения требуемого уровня частоты отказов сводится к выполнению неравенства:

$$I_{от} \leq I_{доп} \quad (7)$$

Периодичность проведения плановых замен конструкции:

$$T_{ср} \leq \frac{\pi}{4} \cdot I_{доп} \cdot T_{ср}^2, \quad (8)$$

Допустимым с точки зрения надежности считается межремонтный интервал, удовлетворяющий заданному неравенству.

Далее решается задача оптимизации эксплуатационных затрат: среди всех интервалов, обеспечивающих требуемый уровень надежности конструкции, необходимо определить такой, при котором интенсивность затрат минимальна.

Для этого строится графическая зависимость интенсивности эксплуатационных затрат от межремонтного интервала. Минимальное значение данной функции определяет оптимальный межремонтный интервал, координата которого по оси ординат соответствует наименьшей интенсивности эксплуатационных затрат.

## ВЫВОДЫ

1. Обеспечение надежности строительных конструкций требует согласованной интеграции процессов проектирования, производства и эксплуатации. На этапе проектирования необходимо учитывать технологический уровень производственной базы и организацию строительного процесса, чтобы гарантировать соответствие фактических параметров качества установленным проектным требованиям.

2. Ключевая задача производственного процесса — внедрение системы управления качеством в строительстве зданий и сооружений с применением методов активного контроля на всех этапах производства. Проектирование технологического оборудования, оснастки и строительных процессов должно осуществляться с учетом проектных требований к надежности, а также с возможностью оперативного мониторинга технологических параметров.

3. Повышение надежности и долговечности несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений способствует значительному технико-экономическому эффекту в капитальном

строительстве. Это достигается путем снижения расчетного коэффициента надежности без ухудшения качества конструктивных элементов и узлов, а также за счет продления их эксплуатационного ресурса.

4. Проектирование строительных конструкций включает анализ надежности их элементов, что является критическим техническим и экономическим параметром, определяющим эффективность проектных решений.

## Список литературы

1. Агаджанов, В. И. Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций / В. И. Агаджанов. — Москва: Стройиздат, 1988. — 173 с.
2. Бондаренко, В. М. Надежность строительных конструкций и мостов / В. М. Бондаренко, Л. И. Иосилевский, В. П. Чирков. — Москва: РААСН, 1996. — 230 с.
3. Колотилкин Б. М. Проблемы долговечности и надежности зданий / Б. М. Колотилкин. — Москва: Знание, 1969. — 46 с.
4. Крылов, Н. А. Радиотехнические методы контроля качества железобетона / Н. А. Крылов, В. А. Калашников, А. М. Полищук. — Москва: Стройиздат, 1966. — 121 с.
5. Левченко, В. Н. Эффективные конструктивные и технические инженерные решения и анализ факторов, влияющих на долговечность железобетонных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений: учебное пособие / В. Н. Левченко, Н. А. Невгень. — Магеевка, 2018. — 243 с.
6. Райзер, В. Д. Теория надежности в строительном проектировании / В. Д. Райзер. — Москва: Издательство АСБ, 1998. — 304 с.
7. Райзер, В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций / В. Д. Райзер. — Москва: Стройиздат, 1995. — 352 с.
8. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций, промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении. — Москва: Стройиздат, 1990. — 176 с.
9. Руководство по определению экономической эффективности качества и долговечности строительных конструкций / НИИЖБ Госстроя СССР. — Москва: Стройиздат, 1981. — 55 с.
10. Чирков, В. П. Надежность и долговечность железобетонных конструкций зданий и сооружений // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. — Т. V. — Москва: ВНИИТПИ Госстроя Российской Федерации, 1998. — С. 86–117.
11. Мушанов, В. Ф. Надежность пространственных стержневых металлических конструкций высокого уровня ответственности / В. Ф. Мушанов, А. Н. Оржиховский, А. В. Мушанов, М. Н. Цепляев // Вестник МГСУ. — 2024. — Т. 19, № 5. — С. 763–777. — DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.763-777. — URL: <https://www.vestnikmgsu.ru/jour/issue/viewIssue/195/198> (дата обращения: 05.11.2024).

12. Муцанов, В. Ф. Комплексный подход к оценке надежности пространственных металлических конструкций / В. Ф. Муцанов, А. Н. Оржиховский, М. Н. Цепляев, А. В. Муцанов // *Строительство: наука и образование*. — 2024. — Т. 14, № 1. — С. 6–23. — DOI: 10.22227/2305-5502.2024.1.1. — URL: <https://www.nso-journal.ru/jour/issue/viewIssue/18/6> (дата обращения: 05.11.2024).
13. Определение численных характеристик надежности и анализ склонности к прогрессирующему обрушению конструкций усеченных сетчатых куполов / В. Ф. Муцанов, А. Н. Оржиховский, М. П. Кащенко [и др.] // *Металлические конструкции*. — 2024. — Т. 30, № 2. — С. 75–92. — DOI: 10.71536/мс.2024.v30n2.3. — ISSN 1993-3517.
14. Refined methods for calculating and designing engineering structures / V. P. Mushchanov, A. N. Orzhekhovskii, A. V. Zubenko, S. A. Fomenko // *Magazine of Civil Engineering*. — 2018. — № 2. — P. 101–115. — DOI: 10.18720/MCE.78.8.
15. Orzhekhovskiy A. Design of stadium roofs with a given level of reliability / A. Orzhekhovskiy, I. Priadko, A. Tanasoglo, S. Fomenko // *Engineering Structures*. — 2020. — Vol. 209. — P. 110245. — DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110245.
16. Mushchanov V. F. Numerical methods in assessing the reliability of spatial metal structures with a high level of responsibility / V. F. Mushchanov, A. N. Orzhekhovsky // *Construction of Unique Buildings and Structures*. — 2023. — No. 1(106). — P. 10605. — DOI: 10.4123/CUBS.106.5. — EDN HX-AWWA.
17. Начальная безотказность строительных конструкций и пути решения проблемы их надежности в зданиях и сооружениях / В. Н. Левченко, О. Э. Брыжатый, С. Н. Машталер [и др.] // *Строитель Донбасса*. — 2024. — Выпуск 2-2024. — С. 29–33. — ISSN 2617-1848.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Левченко Виктор Николаевич** — кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Железобетонные конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: проектирование экономических строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Машталер Сергей Николаевич** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Железобетонные конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных (сталефибробетонных) элементов при простых режимах силового и температурного воздействия. Оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Дмитренко Евгений Анатольевич** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Железобетонные конструкции» Донбасской национальной

академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействия. Оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Кушнир Сергей Анатольевич** — старший преподаватель кафедры «Железобетонные конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Ковтун Никита Сергеевич** — магистрант кафедры «Железобетонные конструкции» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: исследование взаимосвязи конструктивных и технологических решений промышленных зданий.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Levchenko Viktor N.** — Ph. D. (Eng.), Professor, Head of the «Reinforced Concrete Structures» Department at the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Research interests: design of cost-effective building structures and development of optimal constructive and volumetric-planning solutions for industrial buildings and engineering structures.

**Mashtaler Sergey N.** — Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the «Reinforced Concrete Structures» Department at the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Research interests: advancement of methods for determining the characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete (steel fiber concrete) elements under simple modes of force and temperature impact. Assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Dmitrenko Evgeny A.** — Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the «Reinforced Concrete Structures» Department at the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Research interests: development of methods for determining the characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of force and temperature impact. Assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Kushnir Sergey A.** — Senior Lecturer of the «Reinforced Concrete Structures» Department at the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Research interests: assessment of technical condition and design of reinforced concrete structures.

**Kovtun Nikita S.** — Master's student of the «Reinforced Concrete Structures» Department at the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Research interests: investigation of the interconnection between constructive and technological solutions in industrial buildings.



## References

1. Agadzhanov V. I. (1988). *Economics of Increasing the Durability and Corrosion Resistance of Building Structures*. Moscow: Stroyizdat. 173 pp.
2. Bondarenko V. M., Iosilevskii L. I., Chirkov V. P. (1996). *Reliability of Building Structures and Bridges*. Moscow: RAAiSN. 230 pp.
3. Kolotilkin B. M. (1969). *Problems of Durability and Reliability of Buildings*. Moscow: Znanie. 46 pp.
4. Krylov N. A., Kalashnikov V. A., Polischuk A. M. (1966). *Radiotechnical Methods for Quality Control of Concrete*. Moscow: Stroyizdat. 121 pp.
5. Levchenko V. N., Nevgen N. A. (2018). *Effective Structural and Technical Engineering Solutions and Analysis of Factors Affecting the Durability of Reinforced Concrete Structures in Operating Buildings and Structures: A Textbook*. Makeevka. 243 pp.
6. Raizer V. D. (1998). *Theory of Reliability in Construction Design*. Moscow: ASB Publishing. 304 pp.
7. Raizer V. D. (1995). *Calculation and Standardization of Reliability of Building Structures*. Moscow: Stroyizdat. 352 pp.
8. *Recommendations on Ensuring the Reliability and Durability of Reinforced Concrete Structures, Industrial Buildings, and Structures during Their Reconstruction and Restoration* (1990). Moscow: Stroyizdat. 176 pp.
9. *Guidelines for Determining the Economic Efficiency of Quality and Durability of Building Structures / NIIZhB Gosstroy USSR* (1981). Moscow: Stroyizdat. 55 pp.
10. Chirkov V. P. (1998). *Reliability and Durability of Reinforced Concrete Structures of Buildings and Structures*. In: *Russian Architectural and Construction Encyclopedia*, Vol. V. Moscow: VNIINTPI Gosstroy RF, pp. 86–117.
11. Mushchanov V. F., Orzhekhovskii A. N., Mushchanov A. V., Tseplyaev M. N. (2024). *Reliability of Spatial Truss Metal Structures of High Responsibility*. *Bulletin of MGSU*, Vol. 19, No. 5, pp. 763–777. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.5.763-777. Available at: <https://www.vestnikmgsu.ru/jour/issue/viewIssue/195/198> (Accessed: November 5, 2024).
12. Mushchanov V. F., Orzhekhovskii A. N., Tseplyaev M. N., Mushchanov A. V. (2024). *Comprehensive Approach to Assessing the Reliability of Spatial Metal Structures*. *Construction: Science and Education*, Vol. 14, No. 1, pp. 6–23. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.1.1. Available at: <https://www.nso-journal.ru/jour/issue/viewIssue/18/6> (Accessed: November 5, 2024).
13. Mushchanov V. F., Orzhekhovskii A. N., Kashchenko M. P., et al. (2024). *Determination of Numerical Characteristics of Reliability and Analysis of Progressive Collapse Risk of Truncated Grid Shells*. *Metal Constructions*, Vol. 30, No. 2, pp. 75–92. DOI: 10.71536/mc.2024.v30n2.3. ISSN 1993–3517.
14. Mushchanov V. P., Orzhekhovskii A. N., Zubenko A. V., Fomenko S. A. (2018). *Refined Methods for Calculating and Designing Engineering Structures*. *Magazine of Civil Engineering*, No. 2, pp. 101–115. DOI: 10.18720/MCE.78.8.
15. Orzhekhovskiy A., Priadko I., Tanasoglo A., Fomenko S. (2020). *Design of Stadium Roofs with a Given Level of Reliability*. *Engineering Structures*, Vol. 209, Article 110245. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.110245.
16. Mushchanov V. F., Orzhekhovsky A. N. (2023). *Numerical Methods in Assessing the Reliability of Spatial Metal Structures with a High Level of Responsibility*. *Construction of Unique Buildings and Structures*, No. 1(106), p. 10605. DOI: 10.4123/CUBS.106.5. EDN HXAWWA.
17. Levchenko V. N., Bryzhatyi O. E., Mashataler S. N., et al. (2024). *Initial Fail-Free Operation of Building Structures and Ways to Solve the Problem of Their Reliability in Buildings and Structures*. *Builder of Donbass*, Issue 2-2024, pp. 29–33. ISSN 2617-1848.

Статья поступила в редакцию 05.02.2025; одобрена после рецензирования 14.02.2025; принята к публикации 21.02.2025.

The article was submitted 05.02.2025; approved after reviewing 14.02.2025; accepted for publication 21.02.2025.