

# РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИЯХ И ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

## DEVELOPMENT OF A RISK MANAGEMENT SYSTEM FOR INSPECTION AND TECHNICAL ASSESSMENT OF BUILDING OBJECTS

С. А. ЗЕНИН, канд. техн. наук

Д. В. КУЗЕВАНОВ, канд. техн. наук

*Современные принципы оценки технического состояния строительных конструкций развиваются по пути внедрения риск-информированного и вероятностного подхода к принятию решений, связанных с управлением жизненным циклом. На основе учета функций деградации материалов оцениваются риски наступления негативных последствий во времени, что, в свою очередь, позволяет назначать оптимальные планы проведения обследований строительных конструкций. При этом существует возможность назначать, классифицировать и выделять особые зоны для инспекционного контроля в течение жизненного цикла, поддерживая риск выхода сооружения из строя на одном уровне. В то же время отечественные стандарты пока ориентированы на декларативные формы оценки надежности и долговечности, что не позволяет объективно прогнозировать ресурс эксплуатации и затраты на нее, в том числе установлено, что многие положения,*

*Modern principles for the technical assessment of building structures are developing along the path to introducing a risk-informed and probabilistic approach for the decision making related to life cycle management. Based on material degradation functions the risks of negative consequences are estimated for a lifetime, which allows us to designate optimal plans for building structures inspections. It is possible to assign, classify and locate special zones for inspection control during the life cycle, maintaining the risk of failure of the structure at the same level. At the same time, national standards are still focused on declarative forms of assessing reliability and durability, which does not allow us to make an objective prediction of the exploitation resource and its costs. In particular, it was found that many of the provisions related to the technical condition rely on subjective assessments. The article formulates the main tasks and practical recommendations for the development of existing*

связанные с техническим состоянием, опираются на субъективные оценки. В статье сформулированы основные задачи и практические рекомендации по развитию существующих подходов для более объективной оценки технического состояния, контроля основных характеристик строительных материалов и выработки наиболее эффективных стратегий управления жизненным циклом строительных конструкций, зданий и сооружений.

*approaches for a more objective assessment of the technical condition, control of the main characteristics of building materials and the development of the most effective strategies for managing the life cycle of structures, buildings and infrastructures.*

### Ключевые слова:

*Жизненный цикл, контроль, обследование, риск, техническая диагностика, техническое состояние, управление жизненным циклом, управление риском*

### Key words:

*Control, diagnostic, inspection, life cycle, life cycle management, risk, risk management, technical assessment*

Объем эксплуатируемых сооружений, строительных конструкций и затрат на поддержание их технического состояния с каждым годом всё увеличивается. Современная концепция устойчивого развития, принимаемая при разработке новых нормативных документов и стандартов [1], определяет основные критерии, которым должны соответствовать материалы, конструкции, здания и сооружения: социальные (безопасность, соответствие интересам общества), экономические (низкие суммарные затраты на возведение и эксплуатацию, ремонтпригодность) и экологические (низкие суммарные показатели влияния на окружающую среду). При этом рассматривается необходимость соответствия этим критериям в течение всего жизненного цикла существования результатов строительства. Управление процессами проектирования, возведения и эксплуатации рассматривается как общая эффективная система управления жизненным циклом [2-5]. Такой подход требует особого отношения к оценкам и прогнозированию тех или иных сценариев, связанных техническим состоянием и с эксплуатацией.

На текущий момент нормативная база по вопросам оценки технического состояния позволяет лишь получить качественную оценку безопасности зданий и сооружений. Процедура оценки технического состояния применительно к механической безопасности и надежности строительных конструкций в общем виде определена в ГОСТ 27751 [6], в ГОСТ 31937 [7] — для гражданских зданий и в ряде сводов правил и отраслевых документов — для других типов сооружений. Под оценкой технического состояния, согласно указанным документам, понимается установление степени повреждения и категории технического состояния строительных конструкций или зданий и сооружений в целом. Согласно формулировкам ГОСТ 31937 [7] под категорией технического состояния понимается степень эксплуатационной пригодности несущей строительной конструкции или здания и

сооружения в целом, установленная в зависимости от доли снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик. Однако ГОСТ 31937 [7] определяет четыре категории технического состояния (нормативное, работоспособное, ограниченно работоспособное, аварийное), устанавливая лишь качественное описание этих состояний с применением формулировок «некоторые», «конкретные условия эксплуатации», «опасность обрушения» и т. п., не вводя никакие количественные критерии.

Вопрос объективного отнесения зданий и сооружений к той или иной категории является весьма важным и актуальным с учетом необходимости выбора и проведения последующих мероприятий. В ГОСТ 31937 [7] отмечено, что указания по назначению категорий технического состояния базируются на оценках влияния дефектов на несущую способность. Вместе с тем в современной нормативной базе отсутствуют методики учета и оценки дефектов. Поверочные расчеты эксплуатируемых конструкций проводятся по тем же нормативным документам и правилам, что и вновь проектируемые конструкции. При этом стандарт допускает трактовки, позволяющие инженерно-техническим работникам определять категорию субъективно. Стандарт не определяет объективные критерии признания здания или сооружения аварийным и разграничения категории технического состояния аварийное (высокий риск обрушения) или ограниченно работоспособное (умеренный риск обрушения).

Кроме того, известны ранее изданные документы [8, 9], устанавливающие субъективные экспертные подходы к оценке износа и технического состояния, широко используемые в рамках эксплуатационного контроля жилых зданий, но также не связанные с определением рисков и объективным прогнозированием дальнейших сценариев существования сооружения.

В вопросах обеспечения безопасности сегодня всё больше находят место методы прогнозирования на основе оценки вероятностной природы учитываемых воздействий и качеств самой конструкции. Объединяя вопросы вероятности наступления негативных событий и оценки ущерба от этих событий, переходят к прямому учету рисков в сфере строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Комплексные подходы по управлению рисками появляются в смежных отраслях. Прежде всего это транспортное строительство и машиностроение [10].

Риск-ориентированный подход к вопросам менеджмента жизненного цикла строительных объектов сегодня активно развивается [11-14]. При этом вопросы объективной оценки вероятности наступления негативных событий, стоимости или эффектов их последствий уже предлагаются в качестве критериев принятия инженерных решений и выбора стратегий эксплуатации уже вводятся на уровне международных стандартов.

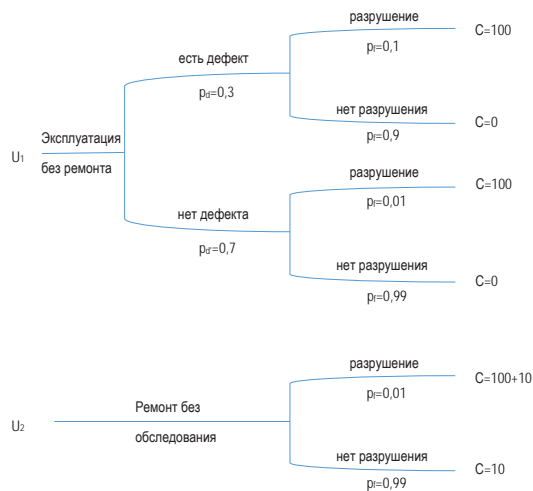
Пример такой оценки можно проиллюстрировать на следующей простой ситуации. Есть конструкция, для которой принимается решение выполнять ее ремонт и усиление или продолжать эксплуатацию. Пусть вероятность того, что в конструкции к данному моменту есть дефекты, снижающие несущую способность  $p_d = 0,3$ . Вероятность разрушения конструкции без дефектов  $p_f = 0,01$ . Вероятность разрушения конструкции с дефектами

$p_f=0,1$ . Стоимость последствий разрушения конструкции  $C_F = 100$  у.е., стоимость ремонта или усиления  $C_R = 10$  у.е. Сценарий возможных дальнейших событий представлен на рис. 1. Суммарная стоимостная оценка риска по рассматриваемым сценариям:

$$U_1 = 0,3 \cdot (0,1 \cdot 100 + 0,9 \cdot 0) + 0,7 \cdot (0,01 \cdot 100 + 0,99 \cdot 0) = 3,7 \text{ у.е.};$$

$$U_2 = (0,01 \cdot 110 + 0,99 \cdot 10) = 11 \text{ у.е.}$$

Из этого примера видно, что первый сценарий является более предпочтительным в такой постановке: вероятная стоимость последствий от разрушения конструкции меньше, чем убытки от ремонта всех конструкций без исключения. Но ситуация меняется на противоположную, если принять иное соотношение стоимости последствий разрушения и ремонта, например,  $C_F = 500$  у.е. и  $C_R = 10$  у.е. В этом случае уже выгоднее провести ремонт всех конструкций, чем продолжать эксплуатацию. Естественно, что более выгодные сценарии будут получены, если в схему добавить условия проведения обследований и вероятности выявления – не выявления дефектов. И это позволяет объективно выбрать и оптимизировать систему дальнейших действий, опираясь на численные критерии.



**Рис.1.** Пример представления сценариев работоспособности конструкции

Международный опыт нормирования описанного подхода можно проследить, изучив стандарты технического комитета ТК98 ИСО «Основы расчета строительных конструкций». Вопросы оценки технического состояния строительных конструкций рассматриваются в двух стандартах ИСО 2394 [15] и ИСО 13822 [16].

Техническая оценка (Assessment of structural performance) по стандарту ИСО 2394 [15] является обязательным элементом системы обеспечения качества на этапе эксплуатации и управления жизненным циклом. При технической оценке руководствуются теми же принципами, что и при проектировании, включая оценку рисков.

Главное отличие заключается в подходах к назначению параметров неопределенностей. При оценках на основе обследований проектные неопределенности могут быть существенно

снижены, но не исключены полностью. Вводится так называемая концепция вероятности обнаружения (Probability of Detection — PoD). Это обеспечивает еще и количественную оценку качества методов диагностики за счет учета вероятности обнаружения дефекта данного размера или степени. Кроме того, обозначено, что в оценках должны учитываться неопределенности, связанные с погрешностью измерений, изменчивостью измеряемых параметров, статистической неопределенности из-за ограниченного числа измерений. Учет этих неопределенностей предлагается использовать для оценки в вероятностных расчетах в явном виде или в детерминированных путём корректировки расчетных величин.

В отечественных документах подобных требований нет, но постановка вопроса о возможности нормирования такого подхода отвечает сразу на очень многие вопросы об объемах контроля, о выборе методов испытаний, о периодичности контроля и т. п. Действительно, на сегодняшний момент отечественная нормативная база в области оценки технического состояния определяет лишь понятие выборочный (3-6 однотипных конструкций в случайном порядке) и полный конструкции контроль (все конструкции). При этом понятие «полный контроль» в такой постановке представляется абстрактным для реальных эксплуатируемых зданий. Невозможно проконтролировать состояние абсолютно всех узлов и критических сечений конструкций в реальном здании за разумное время обследования, особенно для выявления скрытых дефектов. Поэтому необходима четкая формальная процедура определения объемов контроля при оценке технического состояния и связи этого объема с достоверностью результатов.

Отмечается также, что применение данных, основанных на нормированных представлениях об изменчивости параметров и обобщенных неопределенностях, — это разумный подход для этапа проектирования. В то же время для этапа оценки технического состояния такой подход может служить основанием для ремонта и даже остановки эксплуатации, что может быть связано с большими финансовыми потерями. Яркий пример — применение упрощенных методов контроля прочности бетона при обследовании, демонстрирующее данные, отличающиеся от более тщательного производственного контроля. Получение в этом случае заниженных значений класса прочности бетона при обследовании во многих случаях является причиной возникновения судебных разбирательств и подрыва доверия ко всей системе строительного контроля. Хотя указанная проблема именно методическая. Поэтому вопросы более точного учета неопределенностей для этапа технической оценки являются крайне важными для управления жизненным циклом в целом.

Общая концепция технической оценки по стандарту ИСО [15] выражается в процессе сбора информации, оценки функционального соответствия конструкций и разработки мер по восстановлению и усилению. Весь процесс оценки состоит в принятии решений с выявлением наиболее эффективных вариантов обследований и возможных сценариев дальнейшего состояния конструкций. Важно, чтобы он был оптимизирован с учетом общих затрат на эксплуатацию. Сама процедура оценки описана в ссыльном стандарте ИСО 13822 [16]. При этом специально оговаривается, что методы оценки технического состояния являются составной частью риск-информированного подхода к управлению жизненным

циклом строительных конструкций и сооружений, а также обеспечения экономически-эффективной эксплуатации на основе объективных критериев. Выработка решений по итогам технической оценки подразумевает две стратегии – стратегию устранения (ремонт, усиление) или контроль риска (введение ограничений или условий эксплуатации, включая плановые обследования и мониторинг).

Одним из элементов оценки является оценка надежности, т. е. сопоставление с целевым уровнем надежности, обусловленным критериями допустимости. При этом оговаривается возможность применения пониженных уровней надежности, если это может быть обосновано на основе социально-экономических критериев. В приложении к стандарту приведены допустимые значения пониженных уровней индексов надежности для этапа технической оценки в зависимости от возможных социально-экономических последствий).

Специальные положения по методикам учета рисков и последствий отказов в стандарте ИСО 13822 [16] не содержатся, однако, согласно данным ТК98 ИСО, именно по этой причине он будет пересматриваться в ближайшее время для приведения его в соответствие с положениями новой редакции ИСО 2394 [15]. На сегодняшний день этот стандарт можно считать соответствующим общим стандартам по обследованию строительных конструкций с возможностью специального обоснования пониженных уровней надежности для длительно функционирующих конструкций. Такой же подход сегодня декларируется и в работах международной федерации fib [17]. После учета положений ИСО 2394 [15] стандарт ИСО 13822 [16] полноценно войдет в общую систему стандартов управления рисками и оценки жизненного цикла строительных конструкций.

В нашей стране такой подход пока только обсуждается. Несмотря на формализованную процедуру оценки технического состояния строительных конструкций, всё еще остается ненормированной проблема классификации и анализа обнаруженных дефектов и повреждений, а также прогнозирования их развития. Причем проблема прогнозирования развития дефектов не решена не только в вероятностной постановке, что требуется для риск-ориентированного подхода, но и в простом, детерминированном, виде.

Развивающиеся сегодня методы прогнозирования сроков службы учитывают модели деградации материалов. Имеются многочисленные предложения применительно к таким моделям. Ожидаема в ближайшей перспективе разработка нормативных документов, которые позволят расчетным путем оценить время развития критических дефектов.

При этом наиболее перспективными сегодня представляются именно вероятностные расчетные модели для оценки достижения некоего критического уровня (рис. 2). Проведение же обследования и технической оценки реального уровня развития дефектов позволит сместить время ожидаемого достижения критического уровня, т. е. объективно продлить ресурс эксплуатации на основе вероятностного подхода.

Итоговый же результат оценки технического состояния – принятие решения. Риск-ориентированные подходы учитывают, помимо вероятностной природы наступления событий, тяжесть и стоимость последствий. Схема принятия решения в общем виде может выглядеть следующим образом (рис. 3). При этом блок, связанный с обследованием и

восстановлением, может быть продублирован многократно для продления срока службы. Пример развития сценария жизненного цикла показан на рис. 4. При этом не обязательно, что рассматриваемые сценарии сразу должны охватить весь жизненный срок. Эти сценарии могут актуализироваться по мере проведения обследований.

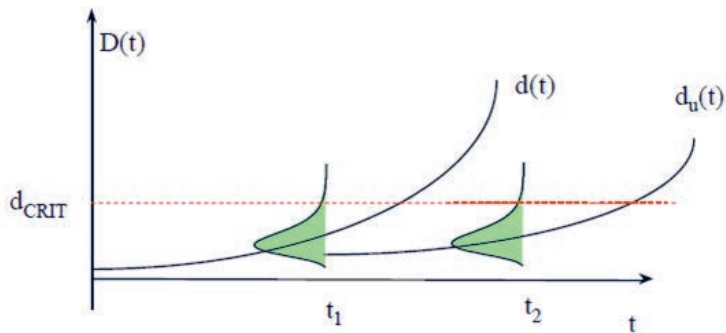


Рис.2. Типовая модель прогнозирования развития критических дефектов во времени



Рис.3. Общий вид схемы сценариев эксплуатации

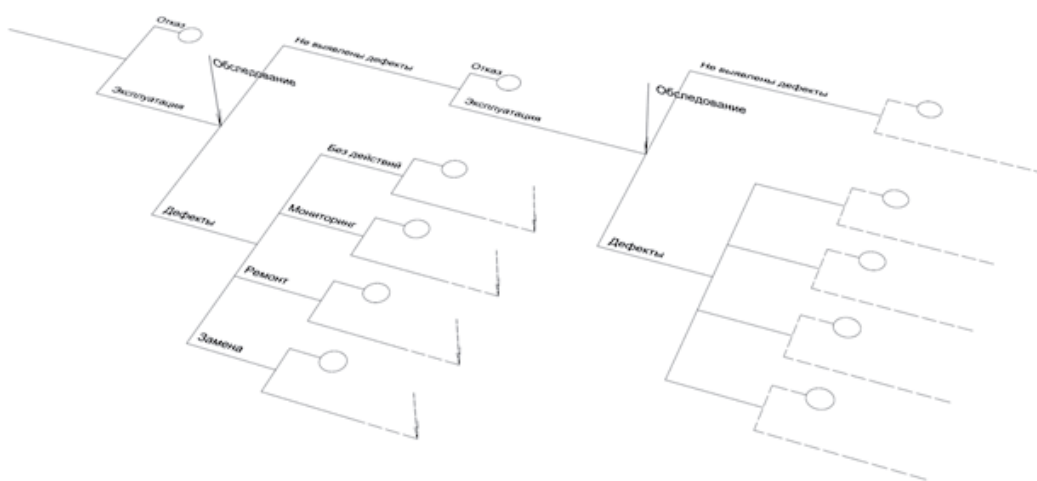


Рис.4. Пример реализации сценариев эксплуатации

Риск-ориентированный подход, в отличие от существующих сегодня оценок на основе детерминированных расчетов и субъективных выводов, позволит учесть объективные показатели для каждого из сценариев. Оценка последствий того или иного решения включает следующие расчеты:

- Оценка вероятной стоимости обследований и осмотров (Синсп);
- Оценка вероятной стоимости ремонтных работ (Срем);
- Оценка вероятной стоимости последствий разрушения (Сотказ).

В этом случае можно добиться минимизации суммарных вероятных расходов, выбирая оптимальный план технических обследований, это и будет оптимальная стратегия жизненного цикла с учетом риск-ориентированного подхода.

Именно такой путь системного развития принципов оценки технического состояния является сегодня наиболее целесообразным. Стратегия обследований и инспекционных наблюдений за зданием должна закладываться изначально при планировании управления жизненным циклом здания. При этом понятие стратегии обследования должно включать параметры качества диагностики, числа и интервалов между обследованиями, принципы устранения дефектов. Регулируя соотношения между этими компонентами, можно добиться оптимального срока службы и затрат на эксплуатацию. В этом случае техническая диагностика и обследования будут проводиться по конкретным заданиям с целью уменьшить неопределенность знания о наиболее ответственных и «высокорисковых» зонах зданий и сооружений. При учете такого подхода будет совсем другое отношение и к первичной информации о качестве и условиях ее сохранения.

С учетом общих тенденций и опыта международной стандартизации представляется целесообразным также и на национальном уровне развитие новых риск-ориентированных подходов в целях совершенствования системы принятия решений по планированию жизненного цикла строительных сооружений и оценки остаточного ресурса. При этом необходимыми представляются постановка и решение следующих задач:

- Ввести объективные критерии определения категорий технического состояния зданий и сооружений, в особенности — аварийного состояния, требующего незамедлительных мер. В качестве таких критериев следует определить уровни допустимого риска отказа (обрушения) строительных конструкций как для вероятностных расчетов, так и для традиционных детерминированных расчетов.
- Ввести в нормативные документы и стандарты обеспечения надежности общие положения по учету неопределенностей, возникающих на этапе оценки технического состояния в отношении проектных параметров конструкций и дефектов.
- Разделить требования к обследованию в зависимости от сохранности и полноты исходной информации о качестве проектирования, строительства и исходных материалов.
- Увязать положения нормативной базы в области производственного статистического контроля и выборочного объектного контроля, дополнив ее методиками оценки соответствия.
- Сформировать перечень стандартных статистических моделей параметров и



характеристик строительных конструкций и материалов, а также статистических методов по их уточнению.

- Разработать методику, определяющую связь объема контроля при выявлении дефектов, точности и достоверности применяемых методов, для учета в качестве объективного фактора результатов контроля (рисков невыявления существующих дефектов).
- Сформировать перечень стандартных моделей (детерминированных и вероятностных) для прогнозирования развития дефектов во времени, а также расчетные модели учета существующих дефектов (расчет конструкций с коррозионными повреждениями и повреждениями сечений).
- Определить методики и модели стоимостного прогнозирования затрат на обследования и ремонты.
- Организовать систематическую работу по формированию четкой структуры и классификации дефектов и причинно-следственных связей их появления для учета методами оценки рисков.

Решение указанных задач позволит сформировать принципиально новую комплексную систему оценки технического состояния зданий и сооружений на основе объективных принципов в рамках разрабатываемой системы управления жизненным циклом. Такой подход будет полностью отвечать концепции устойчивого развития (sustainability), выбранного общим направлением современного развития строительной отрасли и нормативных документов.

## Библиографический список

1. Давидюк А.Н., Никитин А.Е., Волков Ю.С., Кузеванов Д.В. К итогам выездной сессии в Москве технического комитета 71 (ТК 71) «Бетон, железобетон, предварительно напряженный железобетон» Международной организации по стандартизации ИСО // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 4 (19). С. 5-17.

2. Силка Д.Н., Мищенко А.С. Современные вызовы и ожидания при применении контрактов жизненного цикла в строительстве / В сб.: Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании / сборник материалов международной научной конференции. ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». 2017. С. 522-526.

3. Бенуж А.А. Эколого-экономическая модель для расчета стоимости строительства с учетом жизненного цикла здания и совокупных затрат // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2014. № 2 (954). С. 58-59.

4. Лосев К.Ю. Создание и внедрение технологии управления жизненным циклом объектов строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 11. С. 80-83.

5. Селютина Л.Г. Управление жизненным циклом объекта капитального строительства на основе современной технологии информационного моделирования (BIM) / В сб.: BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры / Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2018. С. 3-8.

6. ГОСТ 27751-2014 Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

7. ГОСТ 31937-2011 Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
8. ВСН 53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий. М.: Госгражданстрой, 1986.
9. ВСН 57-88(р) Положение по техническому обследованию жилых зданий. М.: Госкомархитектуры, 1988.
10. Кочетков А.В., Андронов С.Ю., Щеголева Н.В., Валиев Ш.Н., Талалай В.В. Отраслевая система управления риском в техническом регулировании транспортного строительства // Строительные материалы. 2018. № 5. С. 61–67.
11. Волкова А.В. Классификация рисков в строительстве на основе жизненного цикла проекта / В сб.: Фундаментальные и прикладные исследования в области экономики и финансов. Международная научно-практическая конференция: материалы и доклады. Под общ. ред. О.А. Строевой. 2015. С. 236-238.
12. Ковалев Р.Б., Ковалев Б.И. Оценка риска в строительстве на различных стадиях жизненного цикла / В сб.: Молодежь и XXI век - 2018 / Материалы VIII Международной молодежной научной конференции: в 5 томах. 2018. Том 4. С. 288-291.
13. Faber M.H., Stewart M.G. Risk assessment for civil engineering facilities: critical overview and discussion // Reliability engineering & system safety, 2003 № 80(2). Pp.173-184.
14. Faber M.H., Miraglia S., Qin J., Stewart M.G. Bridging resilience and sustainability — decision analysis for design and management of infrastructure systems // Sustainable and Resilient Infrastructure. — 2018 DOI: 10.1080/23789689.2017.1417348.
15. ISO 2394:2015 General principles on reliability for structures.
16. ISO 13822:2010 Bases for design of structures — Assessment of existing structures.
17. fib Bulletin 80 — Partial factor methods for existing concrete structures. Recommendation. ISBN 978-2-88394-120-5, 2016.

## Авторы:

Сергей Алексеевич ЗЕНИН, канд. техн. наук, заведующий лабораторией теории железобетона и конструктивных систем НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey ZENIN, Ph.D. (Engineering), Head of the Laboratory of the Theory of reinforced concrete and constructive systems of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab01@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-75-17

Дмитрий Владимирович КУЗЕВАНОВ, канд. техн. наук, директор НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry KUZEVANOV, Ph.D. (Engineering), director NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

тел.: +7 (903) 772-17-49