

УДК 624.21.055:693.5

## Анализ современной нормативной базы по проектированию железобетонных мостов с учетом воздействия окружающей среды

С. С. Салиханов<sup>1</sup>, Э. С. Карапетов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан, 100167, Ташкент, ул. Темирийулчилар, 1

<sup>2</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** Салиханов С. С., Карапетов Э. С. Анализ современной нормативной базы по проектированию железобетонных мостов с учетом воздействия окружающей среды // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 2. С. 473–482. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-473-482

### Аннотация

**Цель:** выполнить расширенный сравнительный анализ современной нормативной базы проектирования железобетонных мостов с учетом воздействия окружающей среды, включая стандарты EN 206 и Eurocode 2, AASHTO LRFD, национальные нормы России и Узбекистана, а также нормативные документы стран Азиатско-Тихоокеанского региона (Япония, Китай, Индия, Австралия, Новая Зеландия). Определить особенности методологических подходов к обеспечению долговечности мостовых сооружений и выявить направления совершенствования нормативных требований в условиях перехода к проектированию по сроку службы и управлению жизненным циклом конструкций. **Методы:** проведен сравнительный анализ международных и национальных нормативных документов по критериям учета воздействия окружающей среды, назначения, проектного срока службы, применения моделей деградации, вероятностной оценки надежности и интеграции методов Life-Cycle Cost (LCC) и Life-Cycle Assessment (LCA). Выполнен системный анализ нормативных подходов стран Европы, Северной Америки и Азиатско-Тихоокеанского региона с позиций устойчивого проектирования. **Результаты:** установлено, что международные нормативные системы предусматривают количественное проектирование долговечности с использованием математических моделей карбонизации и хлоридной диффузии, вероятностных методов оценки надежности и цифровых технологий управления жизненным циклом мостов. Нормативные документы стран АТР демонстрируют активный переход к Performance-Based Design и интеграции экологических показателей в проектные процедуры. Выявлено, что действующие нормативы СП 35.13330.2011 и ШНК 2.05.03-22 обеспечивают нормативную долговечность конструкций, однако не содержат формализованных моделей прогнозирования ресурса и количественной оценки экологической эффективности. Обоснованы направления совершенствования отечественной нормативной базы на основе принципов Service Life Design и Life-Cycle Design. **Практическая значимость:** полученные результаты могут быть использованы при актуализации национальных нормативных документов, разработке методик расчета долговечности железобетонных мостов и внедрении устойчивых проектных решений. Предложенные подходы способствуют повышению достоверности прогноза ресурса, оптимизации затрат жизненного цикла и снижению экологического воздействия мостовых сооружений.

**Ключевые слова:** железобетонные мосты, нормативная база, долговечность, проектирование по сроку службы, Service Life Design, Life-Cycle Design, карбонизация, хлоридная коррозия, остаточный ресурс, экологическая эффективность, AASHTO, EN 206, JSCE, GB 50010, AS 5100, устойчивое проектирование

## Введение

Современное развитие транспортной инфраструктуры требует перехода от традиционного расчета мостов по критериям прочности и устойчивости к методологии проектирования, в которой долговечность, надежность, экологическая эффективность и жизненный цикл сооружения рассматриваются как взаимосвязанные параметры единой инженерной системы [1–5].

В условиях изменения климата, роста транспортных нагрузок и ужесточения требований устойчивого развития возрастает необходимость количественного учета деградационных процессов бетона и арматуры, а также интеграции экологических показателей в процедуру проектирования [6–7].

Целью настоящего исследования являются сравнительный анализ современной нормативной базы различных стран по проектированию железобетонных мостов с учетом воздействия окружающей среды и выявление методологических направлений совершенствования отечественных нормативных документов в контексте перехода к Service Life Design (проектирование срока службы) и Life-Cycle Design (проектирование жизненного цикла).

## Основная часть

При рассмотрении эволюции нормативных подходов в историческом разрезе наблюдается, что нормы проектирования мостов формировались как детерминированные системы, ориентированные на обеспечение запаса прочности. Однако в последние десятилетия в развитых странах происходит переход к Performance-Based Design (дизайн на основе производительности), где долговечность рассматривается как проектируемый параметр [1–4].

При этом основными тенденциями являются назначение проектного срока службы (50–120 лет) [1–3], использование моделей деградации (карбонизация, хлоридная коррозия) [9, 34, 39], вероятностная оценка надежности [4, 37], интеграция LCC (Life Cycle Cost — стоимость жизненного цикла) и LCA (Life Cycle Assessment — оценка жизненного цикла) [6, 7, 12], а также цифровизация проектирования и управления мостами [8]. Проведем сравнительный анализ современной нормативной базы различных стран по проектированию железобетонных мостов с учетом воздействия окружающей среды.

При анализе **Европейской нормативной системы EN 206 и Eurocode 2** видно, что Стандарт EN 206:2023 и Eurocode 2 устанавливают систему классов воздействия (XC, XD, XS, XF, XA, XM) и связывают их с параметрами состава бетона и защитного слоя [1, 2].

Особенностями Европейской системы являются следующие тенденции:

- количественная связь W/C (водоцементное отношение) и долговечности;
- проектирование на срок 50, 75, 100 лет;
- возможность применения диффузионных моделей;
- интеграции этих нормативных систем с ISO 15686 (Service Life Planning).

Кроме этого, Европейская система формирует модельный подход к долговечности [9, 40].

**Американская нормативная система AASHTO LRFD** использует вероятностную модель предельных состояний во времени [10].

Ключевыми положениями американской системы являются:

- применение калиброванных коэффициентов надежности;
- учет коррозии арматуры;
- Life-Cycle Cost Analysis (анализ стоимости жизненного цикла);

- управление мостами через DOT и FHWA<sup>1</sup>. Американский подход основан на принципах структурной надежности [4] и активно использует Life-Cycle Cost Analysis [12].

При этом системы мониторинга мостов DOT и FHWA обеспечивают интеграцию расчетных моделей и эксплуатации [11].

При анализе нормативов стран Азиатско-Тихоокеанского региона по проектированию железобетонных мостов с учетом воздействия окружающей среды видим, что японские нормы **JSCE Standard Specifications for Concrete Structures** ориентированы на Performance-Based Design [13, 14].

Особенностями японских норм JSCE являются:

- интеграция долговечности и сейсмостойкости;
- прогноз карбонизации и хлоридной диффузии;
- обязательная стратегия инспекций;
- срок службы 100 лет и более.

Китайская нормативная система (GB 50010, GB/T 50476) [15–17] предусматривает:

- назначение срока службы 50–100 лет;
- региональную калибровку коэффициентов деградации;
- моделирование проникновения хлоридов;
- активное внедрение BIM.

Индийский стандарт (IRC 112) учитывает тропический климат и прибрежные зоны [18, 19]. Исходя из этого, к железобетонным мостовым сооружениям предъявляются усиленные требования к защитному слою; обязательный учет хлоридной агрессии; а также адаптация к высоким температурам.

---

<sup>1</sup>DOT — Department of Transport, Министерство Транспорта США; FHWA — Federal Highway Administration, Федеральное управление автомобильных дорог, подразделение Министерства транспорта США в области управления и развития федеральных автомобильных дорог и мостов.

Австралийские нормы (AS 5100) предусматривают следующие требования к железобетонным мостовым сооружениям:

- проектный срок службы 100 лет [20,21];
- анализ долговечности как обязательный этап;
- связь с устойчивым развитием;
- учет экстремальных климатических воздействий.

Норматив Новой Зеландии (NZTA Bridge Manual) [22,23] ориентирован на прогноз остаточного ресурса, интеграцию мониторинга, сочетание долговечности и сейсмостойкости.

Российская и узбекистанская нормативные базы СП 35.13330.2011 и ШНК 2.05.03-22 обеспечивают нормативную долговечность конструкций [24, 29], однако не содержат формализованных моделей деградации.

В работах Э. С. Карапетова [30, 31] показана возможность прогнозирования срока службы железобетонных мостов на основе моделей карбонизации защитного слоя.

В исследованиях С. С. Салиханова разработаны расчетные модели взаимодействия железобетонных мостовых конструкций с окружающей средой [32] и выполнен анализ влияния климатических факторов на их работу [33], что подтверждает необходимость нормативного закрепления количественного расчета долговечности.

### Сравнительный анализ нормативных систем

Анализ полученных данных в табл. 1 и 2 демонстрирует, что ЕС, США и страны АТР используют модели деградации [1, 10, 15], внедряют LCC и LCA [6, 12]; интегрируют BIM и цифровые технологии [8].

При этом видим, что национальные нормативы стран СНГ сохраняют преимущественно детерминированный характер.

**ТАБЛИЦА 1. Сравнительная характеристика нормативных систем проектирования железобетонных мостовых сооружений с учетом воздействия окружающей среды**

Показатель	EN 206 / Eurocode	AASHTO LRFD	СП 35.13330.2011	ШНК 2.05.03-22
Подход к долговечности	Service Life Design, проектирование по сроку службы	Вероятностный подход, Life-Cycle Design	Детерминированный подход на основе коэффициентов надежности и требований долговечности	Коэффициенты условий эксплуатации и категорий среды
Учет воздействия окружающей среды	Классы воздействия (XC, XD, XS, XF, XA, XM)	Категории коррозионной агрессивности и эксплуатационных условий	Учет климатических районов, агрессивных сред, требований к защитному слою и маркам бетона	Агрессивные зоны по СНиП 2.03.11-85 и категориям эксплуатации
Модели деградации	Диффузионные модели карбонизации и проникновения хлоридов	Вероятностные модели усталости, коррозии и деградации	Прямые модели деградации не регламентированы, учитываются косвенно через нормативные требования	Математические модели деградации отсутствуют, используются нормативные параметры долговечности
Проектный срок службы	50, 75, 100 и более лет	75–120 лет	50–100 лет в зависимости от категории сооружения	50–75 лет
Учет жизненного цикла (LCC)	Предусмотрен (LCA, LCC, Service Life Planning)	Предусмотрен (Life-Cycle Cost Analysis)	Частично учитывается при выборе конструктивных решений и материалов	Ограниченно учитывается
Учет экологичности	Учитывается (углеродный след, устойчивое проектирование, экологические классы)	Учитывается при выборе материалов и проектных решений	Прямой экологический анализ не регламентирован	Не регламентирован
ВМ-интеграция	Предусмотрена и активно развивается (Eurocode, ISO 19650)	Активно внедряется в практике DOT и FHWA	Находится на стадии внедрения, нормативно не регламентирована напрямую	Отсутствует

**ТАБЛИЦА 2. Сравнение мировых подходов к проектированию по сроку службы**

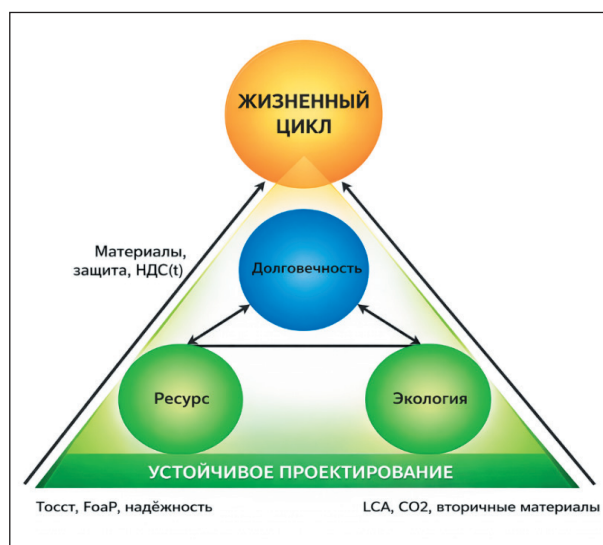
Регион	Service Life Design	Модели деградации	LCC	Экология	ВМ
ЕС	Да	Диффузионные	Да	Да	Да
США	Да	Вероятностные	Да	Частично	Да
Япония	Да	Да	Частично	Да	Да
Китай	Да	Да	Частично	Частично	Да
Австралия	Да	Да	Да	Да	Да
Россия	Частично	Нет	Ограниченно	Нет	Частично
Узбекистан	Ограниченно	Нет	Нет	Нет	Нет

На основе анализа имеющихся данных для совершенствования национальных нормативов стран СНГ и в целях их адаптации к европейским, американским, стран Азиатско-Тихоокеанского региона нормативным системам проектирования железобетонных мостовых сооружений с учетом воздействия окружающей среды, а также подходам к проектированию по сроку службы можно предложить следующие методологические направления:

1. Введение обязательного расчета долговечности.
2. Разработка регионально-калиброванных моделей деградации [34–39].
3. Интеграция экологических показателей (LCA) [6, 7].
4. Внедрение LCC в нормативную практику [12].
5. Интеграция BIM и цифровых двойников [8].
6. Формализация расчета остаточного ресурса на стадии проектирования.

Устойчивое проектирование мостовых сооружений должно базироваться на концептуальной модели интеграции долговечности, ресурса и экологии (рисунок). При этом интеграционная оценка объединяет в себе механическую надежность конструкции во времени [4]; моделирование физико-химической деградации материалов [34–39]; экономическую эффективность на протяжении жизненного цикла (LCC) [12]; экологические показатели, включая углеродный след (LCA) [6].

Рисунок иллюстрирует концептуальную модель устойчивого проектирования, в которой долговечность выступает системообразующим параметром, связывающим оценку надежности, остаточного ресурса и экологической эффективности в рамках полного жизненного цикла сооружения.



**Рисунок.** Интеграция «Долговечность — Ресурс — Экология — Жизненный цикл»

## Выводы

В статье выполнен расширенный сравнительный анализ современной нормативной базы проектирования железобетонных мостов с учетом воздействия окружающей среды, включая стандарты EN 206 и Eurocode 2, AASHTO LRFD, национальные нормы России и Узбекистана, а также нормативные документы стран Азиатско-Тихоокеанского региона (Япония, Китай, Индия, Австралия, Новая Зеландия).

Данный анализ позволил определить особенности методологических подходов к обеспечению долговечности железобетонных мостовых сооружений и выявить направления совершенствования нормативных требований в условиях перехода к проектированию по сроку службы и управлению жизненным циклом конструкций.

Таким образом, цель исследования достигнута, а выводы могут быть сведены к следующим:

1. Международные нормативные системы перешли к проектированию по сроку службы [1–4].

2. Страны ЕС, США и АТР используют количественные модели деградации [9, 15, 34].

3. СП 35.13330.2011 и ШНК 2.05.03-22 обеспечивают безопасность, но не формализуют расчет долговечности [24, 29].

4. Работы соавторов настоящей статьи Э. С. Карапетова и С. С. Салиханова подтверждают возможность интеграции моделей деградации в нормативную практику [30–33].

5. Перспективой исследования является интеграция надежности, ресурса и экологической эффективности в рамках полного жизненного цикла мостов.

### Список источников

1. EN 206:2023. Concrete — Specification, performance, production and conformity. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2023. 128 p.
2. EN 1992-1-1:2004+A1:2014. Eurocode 2: Design of Concrete Structures. Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. Brussels: CEN, 2014. 225 p.
3. ISO 15686-1:2022. Buildings and Constructed Assets. Service Life Planning. Part 1: General Principles. Geneva: ISO, 2022. 40 p.
4. ISO 2394:2015. General Principles on Reliability for Structures. Geneva: ISO, 2015. 111 p.
5. ISO 13823:2008. General Principles on the Design of Structures for Durability. Geneva: ISO, 2008. 22 p.
6. ISO 14040:2006. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework. Geneva: ISO, 2006. 20 p.
7. ISO 14044:2006. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines. Geneva: ISO, 2006. 46 p.
8. ISO 19650-1:2018. Organization and Digitization of Information About Buildings and Civil Engineering Works — Information Management Using BIM. Geneva: ISO, 2018. 44 p.
9. FIB Model Code for Concrete Structures 2010. Lausanne: Fédération Internationale du Béton (FIB), 2013. 434 p.
10. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 9th ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020. 1800 p.
11. FHWA. Bridge Preservation Guide. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2018. 220 p.
12. Stewart M.G. Life-Cycle Cost Analysis of Corrosion Damage in Reinforced Concrete Bridges // Engineering Structures. 2004. Vol. 26. Pp. 963–973.
13. JSCE. Standard Specifications for Concrete Structures, 2017. Tokyo: Japan Society of Civil Engineers, 2017. 356 p.
14. Nishida T. Durability design of concrete structures in Japan // Structural Concrete. 2018. Vol. 19. Pp. 1253–1262.
15. GB 50010-2010. Code for Design of Concrete Structures. Beijing: Ministry of Housing and Urban-Rural Development of PRC, 2010. 398 p.
16. GB/T 50476-2019. Code for Durability Design of Concrete Structures. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019. 215 p.
17. Zhang Y., Li C. Service Life Prediction of Concrete Bridges in China // Engineering Structures. 2021. Vol. 232. P. 111845.
18. IRC 112:2011. Code of Practice for Concrete Road Bridges. New Delhi: Indian Roads Congress, 2011. 214 p.
19. Mehta P.K., Monteiro P.J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2014. 704 p.
20. AS 5100-2017. Bridge Design. Sydney: Standards Australia, 2017. 950 p.
21. Austroads. Guide to Bridge Technology. Sydney: Austroads Ltd., 2018. 310 p.
22. NZTA Bridge Manual. Wellington: New Zealand Transport Agency, 2020. 420 p.
23. New Zealand Transport Agency. Durability Planning Guidelines for Bridges. Wellington, 2019. 150 p.
24. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84. М.: Минрегион России, 2011. 178 с.

25. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: Минстрой России, 2018. 168 с.
26. ГОСТ 31384-2017. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. М.: Стандартинформ, 2017. 48 с.
27. Васильев В.Ю., Киселев А.А. Долговечность железобетонных конструкций транспортных сооружений: монография. М.: Транспорт, 2018. 312 с.
28. Соловьев К.Н., Агафонов С.И. Расчет железобетонных мостов по критерию срока службы // Мосты и тоннели. 2022. № 2. С. 21–29.
29. ШНК 2.05.03-22. Мосты и трубы. Нормы проектирования. Ташкент: Госкомархстрой РУз, 2022. 96 с.
30. Карапетов Э.С., Шестовицкий Д.А. Прогноз срока службы железобетонных мостов на основе модели процесса карбонизации защитного слоя // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. № 1 (46). С. 52–60.
31. Карапетов Э.С., Белый А.А. Эксплуатационная надежность мостовых сооружений в суровых климатических условиях // Путевой Навигатор. 2020. № 43 (69). С. 54–59.
32. Салиханов С.С. Расчетные модели и уравнения взаимодействия железобетонных мостовых конструкций с окружающей средой // Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации. 2025. № 4. С. 113–120.
33. Салиханов С.С. Влияние факторов окружающей среды на работу железобетонных мостовых конструкций // Железнодорожный транспорт: актуальные задачи и инновации. 2025. № 4. С. 127–130.
34. Tuutti K. Corrosion of Steel in Concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982. 469 p.
35. Papadakis V.G. Effect of Carbonation on Concrete Durability // Cement and Concrete Research. 2000. Vol. 30. Pp. 291–299.
36. Andrade C., Alonso C. Corrosion Rate Monitoring in Concrete Structures // Construction and Building Materials. 2004. Vol. 18. Pp. 567–573.
37. Bastidas-Arteaga E., Stewart M.G. Reliability of Reinforced Concrete Structures Subjected to Chloride Ingress // Structural Safety. 2015. Vol. 56. Pp. 13–22.
38. Biondini F., Frangopol D.M. Life-Cycle Performance of Reinforced Concrete Bridges // Journal of Structural Engineering. 2014. Vol. 140 (3). P. 04013060.
39. Tang L., Nilsson L.O. Chloride Diffusion Modelling of Concrete // Cement and Concrete Research. 1992. Vol. 22. Pp. 673–684.
40. DuraCrete. Probabilistic Performance-based Durability Design of Concrete Structures. Brussels: EU Brite-Euram Project Report, 2000. 350 p.

Дата поступления: 19.03.2026

Решение о публикации: 26.04.2026

#### Сведения об авторах

САЛИХАНОВ Саидхон Салиханович — кандидат техн. наук, профессор кафедры «Мосты и тоннели», Ташкентский государственный транспортный университет; saidkhansalikhanov@gmail.com

КАРАПЕТОВ Эдуард Степанович — кандидат техн. наук, профессор кафедры «Мосты», Петербургский государственный университет путей сообщения; eskar@yandex.ru

## Analysis of the Modern Regulatory Framework for the Design of Reinforced Concrete Bridges Considering Environmental Impact

S. S. Salikhanov<sup>1</sup>, E. S. Karapetov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent State Transport University, 1 Temiryulchilar st., Tashkent, 100167, Republic of Uzbekistan

<sup>2</sup>Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

**For citation:** *Salikhanov S. S., Karapetov E. S. Analysis of the Modern Regulatory Framework for the Design of Reinforced Concrete Bridges Considering Environmental Impact // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 2. Pp. 473–482. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-473-482 (In Russian)*

### Abstract

**Objective:** to perform an extended comparative analysis of the modern regulatory framework governing the design of reinforced concrete bridges considering environmental impact, including EN 206 and Eurocode 2, AASHTO LRFD, national standards of Russia and Uzbekistan, as well as regulatory documents of the Asia-Pacific region (Japan, China, India, Australia, and New Zealand). The study aims to identify the specific features of methodological approaches to ensuring bridge durability and to determine directions for improving regulatory requirements under the transition to service life design and life-cycle management of structures.

**Methods:** a comparative analysis of international and national regulatory documents was conducted based on criteria including environmental exposure consideration, design service life specification, application of degradation models, probabilistic reliability assessment, and integration of Life-Cycle Cost (LCC) and Life-Cycle Assessment (LCA) methods. A systematic analysis of regulatory approaches in Europe, North America, and the Asia-Pacific region was carried out from the perspective of sustainable design. **Results:** it was established that international regulatory systems provide for quantitative durability design using mathematical models of carbonation and chloride diffusion, probabilistic reliability methods, and digital technologies for bridge life-cycle management. Regulatory documents of the Asia-Pacific region demonstrate an active transition toward performance-based design and the integration of environmental indicators into design procedures. It was found that the current Russian standard SP 35.13330.2011 and the Uzbek standard SHNK 2.05.03-22 ensure normative durability of structures; however, they do not include formalized service life prediction models or quantitative environmental performance assessment. Directions for improving the national regulatory framework are substantiated based on the principles of Service Life Design and Life-Cycle Design. **Practical significance:** the obtained results may be applied in updating national regulatory documents, developing durability assessment methodologies for reinforced concrete bridges, and implementing sustainable design solutions. The proposed approaches improve the reliability of service life prediction, optimize life-cycle costs, and reduce the environmental impact of bridge structures.

**Keywords:** reinforced concrete bridges, regulatory framework, durability, service life design, Service Life Design, Life-Cycle Design, carbonation, chloride corrosion, residual service life, environmental efficiency, AASHTO, EN 206, JSCE, GB 50010, AS 5100, sustainable design

### References

1. EN 206:2023. Concrete – Specification, Performance, Production and Conformity, Brussels, European Committee for Standardization (CEN), 2023, 128 p.
2. EN 1992-1-1:2004+A1:2014. Eurocode 2: Design of Concrete Structures, Part 1-1, General Rules and Rules for Buildings, Brussels, CEN, 2014, 225 p.
3. ISO 15686-1:2022. Buildings and Constructed Assets — Service Life Planning, Part 1, General Principles, Geneva, ISO, 2022, 40 p.
4. ISO 2394:2015. General Principles on Reliability for Structures, Geneva, ISO, 2015, 111 p.

5. ISO 13823:2008. General Principles on the Design of Structures for Durability, Geneva, ISO, 2008, 22 p.
6. ISO 14040:2006. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework, Geneva, ISO, 2006, 20 p.
7. ISO 14044:2006. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines, Geneva, ISO, 2006, 46 p.
8. ISO 19650-1:2018. Organization and Digitization of Information About Buildings and Civil Engineering Works — Information Management Using BIM, Geneva, ISO, 2018, 44 p.
9. FIB Model Code for Concrete Structures 2010, Lausanne: Fédération Internationale du Béton (FIB), 2013, 434 p.
10. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. 9th ed., Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2020, 1800 p.
11. FHWA. Bridge Preservation Guide, Washington, DC, Federal Highway Administration, 2018, 220 p.
12. Stewart M.G. Life-Cycle Cost Analysis of Corrosion Damage in Reinforced Concrete Bridges, *Engineering Structures*, 2004, vol. 26, pp. 963–973.
13. JSCE. Standard Specifications for Concrete Structures — 2017, Tokyo, *Japan Society of Civil Engineers*, 2017, 356 p.
14. Nishida T. Durability Design of Concrete Structures in Japan, *Structural Concrete*, 2018, vol. 19, pp. 1253–1262.
15. GB 50010-2010. Code for Design of Concrete Structures, Beijing, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of PRC, 2010, 398 p.
16. GB/T 50476-2019. Code for Durability Design of Concrete Structures, Beijing, China Architecture & Building Press, 2019, 215 p.
17. Zhang Y., Li C. Service Life Prediction of Concrete Bridges in China, *Engineering Structures*, 2021, vol. 232, 111845.
18. IRC 112:2011. Code of Practice for Concrete Road Bridges, New Delhi: Indian Roads Congress, 2011, 214 p.
19. Mehta P.K., Monteiro P.J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, 4th ed., New York, McGraw-Hill, 2014, 704 p.
20. AS 5100-2017. Bridge Design, Sydney: Standards Australia, 2017, 950 p.
21. Austroads. Guide to Bridge Technology, Sydney: Austroads Ltd., 2018, 310 p.
22. NZTA Bridge Manual, Wellington, New Zealand Transport Agency, 2020, 420 p.
23. New Zealand Transport Agency. Durability Planning Guidelines for Bridges, Wellington, 2019, 150 p.
24. SP 35.13330.2011. Mosty i truby. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.05.03–84 [Bridges and Pipes. Updated version of SNIp 2.05.03–84], Moscow: Minregion Rossii [Ministry of Regional Development of the Russian Federation], 2011, 178 p. (In Russian)
25. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya [Concrete and Reinforced Concrete Structures. The Main Provisions], Moscow, Minstroy Rossii [Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation], 2018, 168 p. (In Russian)
26. GOST 31384-2017. Zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy ot korrozii [Protection of Concrete and Reinforced Concrete Structures from Corrosion], Moscow, Standartinform, 2017, 48 p. (In Russian)
27. Vasil'ev V. Yu., Kiselev A.A. Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruksiy transportnykh so-ruzheniy: monografiya [Durability of Reinforced Concrete Structures of Transport Facilities: Monograph], Moscow, Transport, 2018, 312 p. (In Russian)
28. Solov'ev K. N., Agafonov S.I. Raschet zhelezobetonnykh mostov po kriteriyu sroka sluzhby [Calculation of Reinforced Concrete Bridges by the Criterion of Service Life], *Mosty i tonneli [Bridges and Tunnels]*, 2022, no. 2, pp. 21–29. (In Russian)
29. ShNK 2.05.03-22. Mosty i truby. Normy proektirovaniya [Bridges and Pipes. Design Standards], Tashkent, Goskomarkhstroï Ruz [The State Committee

of the Republic of Uzbekistan for Architecture and Construction], 2022, 96 p. (In Russian)

30. Karapetov E.S., Shestovitskij D.A. Prognoz sroka sluzhby zhelezobetonnykh mostov na osnove modeli protsessa karbonizatsii zashchitnogo sloya [Forecast of the Service Life of Reinforced Concrete Bridges Based on the Carbonation Process Model of the Protective Layer], *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya [Proceedings of Petersburg State Transport University]*, 2016, no. 1 (46), pp. 52–60. (In Russian)

31. Karapetov E.S., Belyj A.A. Eksploatatsionnaya nadezhnost' mostovykh sooruzhenij v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh [Operational Reliability of Bridge Structures in Harsh Climatic Conditions], *Putevoj Navigator [Path Navigator]*, 2020, № 43 (69), pp. 54–59. (In Russian)

32. Salikhanov S.S. Raschetnye modeli i uravneniya vzaimodeystviya zhelezobetonnykh mostovykh konstruksiy s okruzhayushchey sredoy [Computational Models and Equations of Interaction of Reinforced Concrete Bridge Structures with the Environment], *Zheleznodorozhnyy transport: aktual'nye zadachi i innovatsii [Railway Transport: Current Challenges and Innovations]*, 2025, no. 4, pp. 113–120. (In Russian)

33. Salikhanov S.S. Vliyaniye faktorov okruzhayushchey sredy na rabotu zhelezobetonnykh mostovykh konstruksiy [Influence of Environmental Factors on the Operation of Reinforced Concrete Bridge Structures], *Zheleznodorozhnyy transport: aktual'nye zadachi i innovatsii [Railway Transport: Current Challenges and Innovations]*, 2025, no. 4, pp. 127–130. (In Russian)

34. Tuutti K. Corrosion of Steel in Concrete, Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982, 469 p.

35. Papadakis V.G. Effect of Carbonation on Concrete Durability, *Cement and Concrete Research*, 2000, vol. 30, pp. 291–299.

36. Andrade C., Alonso C. Corrosion Rate Monitoring in Concrete Structures, *Construction and Building Materials*, 2004, vol. 18, pp. 567–573.

37. Bastidas-Arteaga E., Stewart M.G. Reliability of Reinforced Concrete Structures Subjected to Chloride Ingress, *Structural Safety*, 2015, vol. 56, pp. 13–22.

38. Biondini F., Frangopol D.M. Life-Cycle Performance of Reinforced Concrete Bridges, *Journal of Structural Engineering*, 2014, vol. 140 (3), 04013060.

39. Tang L., Nilsson L.O. Chloride Diffusion Modelling of Concrete, *Cement and Concrete Research*, 1992, vol. 22, pp. 673–684.

40. Duracrete. Probabilistic Performance-Based Durability Design of Concrete Structures, Brussels, EU Brite-Euram Project Report, 2000, 350 p.

Received: March 19, 2026

Accepted: April 26, 2026

**Author's information:**

Saidkhon S. SALIKHANOV — PhD in Engineering, Professor of the Department “Bridges and Tunnels”, Tashkent State Transport University; saidkhansalikhanov@gmail.com

Eduard S. KARAPETOV — PhD in Engineering, Associate Professor of Bridges Department, Petersburg State Transport University; eskar@yandex.ru