

А.А. ШИЛИН, А.Б. ЩУКИНА✉ООО «Системные продукты для строительства», улица Введенского, д. 1, стр. 1,
Москва, 117342, Российская Федерация

О РАЗРАБОТКЕ СВОДА ПРАВИЛ «БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ. ПРАВИЛА РЕМОНТА»

Аннотация

Введение. Транспортные тоннели и метрополитены – сложные инженерные сооружения, подвергающиеся значительным нагрузкам и разнообразным воздействиям. Все это требует разработки системного подхода к обеспечению их эксплуатационной надежности. Бетонные и железобетонные конструкции, составляющие основу этих сооружений, нередко сталкиваются с повреждениями, снижающими их функциональные характеристики и безопасность. Актуализация и систематизация подходов к ремонту таких объектов стали насущными задачами в связи с обновлением нормативной базы, ростом требований к устойчивости объектов инфраструктуры и внедрением новых технологий.

Целью разработки проекта свода правил является формирование технических основ проектирования, организации и производства ремонтно-восстановительных работ бетонных и железобетонных конструкций, транспортных тоннелей и метрополитенов, как строящихся, так и находящихся в эксплуатации или выведенных из нее на короткий период, испытывающих постоянное воздействие воды и водяного пара, нагрузок и воздействий от окружающего массива горных пород, при возможности выполнения работ по восстановлению формы только на внутреннем контуре обделки или строительных конструкций заглубленных частей.

Материалы и методы. Проведен анализ действующих нормативных документов в области ремонта бетонных и железобетонных строительных конструкций, а также положений и рекомендаций международных организаций; изучены и учтены результаты НИОКР.

Результаты. Результатом является проект свода правил, который содержит основные положения по проектированию, организации и проведению ремонтных работ,

включая методы восстановления, усиления и герметизации конструкций. Проект охватывает современные технологии ремонта и учитывает особенности эксплуатации подземных транспортных сооружений. Документ прошел стадию публичного обсуждения, получил экспертные оценки профильных сообществ и ведомств и готовится к утверждению и вводу в действие.

Выводы. Введение в действие свода правил обеспечит повышение качества и надежности ремонтных работ, снижение затрат и увеличение межремонтных сроков, способствуя устойчивому развитию транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, бетонные конструкции, транспортные сооружения, тоннели, метрополитены, правила ремонта

Для цитирования: Шилин А.А., Щукина А.Б. О разработке свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта» // *Бетон и железобетон*. 2024. № 6 (625). С. 20–26. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-20-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-20-26). EDN: AOFMZU

Вклад авторов

Шилин А.А. – разработка проекта документа.

Щукина А.Б. – участие в разработке проекта документа.

Финансирование

Финансирование осуществлялось за счет средств федерального бюджета.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.11.2024

Поступила после рецензирования 14.12.2024

Принята к публикации 19.12.2024

ON THE DEVELOPMENT OF THE CODE OF PRACTICE "CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF TRANSPORT FACILITIES, TUNNELS, AND METRO SYSTEMS. REPAIR REGULATIONS"

Abstract

Introduction. Transport tunnels and metro systems are complex engineering structures subjected to significant loads and diverse environmental impacts, necessitating a systematic approach to ensuring their operational reliability. Concrete and reinforced concrete structures, which form the backbone of these facilities, frequently experience damage that compromises their functional characteristics and safety. The need to update and systematize approaches to repairing of such structures has become urgent due to updating of the regulatory framework, increasing demands for infrastructure resilience, and the adoption of advanced technologies.

The aim. The objective of developing the draft Code of Practice is to establish the technical foundations for designing, organizing, and conducting of the repair and restoration work on concrete and reinforced concrete structures of transport tunnels and metro systems. This applies to structures under construction, in operation, or temporarily taken out of service, which are subject to constant exposure to water and water vapor, loads, and impacts from surrounding rock masses. The work also considers the possibility of restoration being limited to the internal contour of the lining or the structural elements of subsurface sections.

Materials and methods. As part of the work, an analysis of existing regulatory documents in the field of repair of concrete and reinforced concrete structures was carried out, along with the review of provisions and recommendations of international organizations. Additionally, the results of research and development (R&D) were studied and taken into account.

Results. The result of the work is a Draft Code of Practice that includes key provisions for the design, organization, and implementation of repair works, including methods for

restoration, reinforcement, and sealing of the structures. The project incorporates modern repair technologies and takes into account the operational specifics of underground transport facilities. The document has undergone a stage of public discussion, received expert evaluations from professional communities and authorities, and is being prepared for approval and implementation.

Conclusions. The implementation of the Code of Practice will enhance the quality and reliability of repair works, reduce costs, and extend the intervals between repairs, thereby contributing to the sustainable development of transport infrastructure.

Keywords: reinforced concrete structures, concrete structures, transportation facilities, tunnels, metro systems, repair regulations

For citation: Shilin A.A., Shchukina A.B. On the development of the code of practice "Concrete and reinforced concrete structures of transport facilities, tunnels, and metro systems. Repair regulations". *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2024, no. 6 (625), pp. 20–26. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6\(625\)-20-26](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-6(625)-20-26). EDN: AOFMZ

Authors contribution statement

Shilin A.A. – development of the document draft.

Shchukina A.B. – participation in the development of the document draft.

Funding

The funding was provided from the federal budget.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 21.11.2024

Revised 14.12.2024

Accepted 19.12.2024

Коллективом сотрудников ООО «Системные продукты для строительства» при участии АО «НИЦ «Строительство», Общероссийской общественной организации «Тоннельная ассоциация России», ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», АО «Мосинжпроект», ГУП «Московский метрополитен», филиала ОАО «РЖД» Центральная дирекция инфраструктуры был разработан проект свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта».

Необходимость работы обусловлена формированием современного нормативного подхода к обеспечению безопасности, надежности и долговечности строительных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов, а также совершенствования методов ремонта данных объектов.

Современные экономические, технологические и законодательные изменения требуют пересмотра действующих нормативных требований в части выполнения ремонтно-восстановительных работ, особенно с учетом специфики подземных сооружений.

Значительные изменения в нормативно-правовом регулировании, включая поправки, внесенные в ФЗ № 384 [1], а также изменения, утвержденные ПП РФ № 589 [2], требуют пересмотра требований к проектной документации, капитальному ремонту и эксплуатации объектов.

Существующий СП 349.1325800.2017 [3] охватывает принципы ремонта и усиления бетонных и железобетонных конструкций, однако не учитывает специфических условий эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. Особую сложность представляют ремонтные работы в тоннелях, где конструкции подвержены различным типам нагрузок и воздействиям, а также ограничение возможности доступа к рабочим поверхностям. Это требует корректировки подходов к выбору методов ремонта и материалов для обеспечения защиты и восстановления конструкций.

Разработанный проект свода правил призван устранить противоречия в нормативной базе и сформировать унифицированный подход к проведению ремонтно-восстановительных работ бетонных и железобетонных строительных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. Основное внимание уделено созданию эффективных инструментов для обеспечения безопасности, увеличения межремонтных сроков и снижения затрат на капитальный ремонт и реконструкцию.

Одновременно документ поддерживает параметрический подход нормирования, позволяющий участникам проектирования выбирать оптимальные инструменты для достижения установленных параметров надежности, долговечности и безопасности.

При разработке свода правил были учтены положения ведомственных строительных норм, а также положения и рекомендации следующих международных

организаций в области эксплуатации, ремонта, реконструкции и усиления бетонных и железобетонных конструкций: Американский институт бетона (ACI) [4–7]; Международный институт ремонта бетона (ICRI) [8]; Международная ассоциация железобетона (FIB) [9–18].

Ниже приведены отдельные положения разработанного проекта свода правил, представляющие собой наибольший интерес для профессионального сообщества.

Раздел 1 «Область применения». Свод правил устанавливает требования к приведению в нормативное состояние бетонных и железобетонных строительных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. Документ охватывает железнодорожные тоннели шириной колеи 1520 мм, автомобильные тоннели на дорогах общего пользования, городские транспортные тоннели, а также метрополитены и их станционные комплексы, вспомогательные сооружения и депо.

Предусматривается использование требований свода правил при разработке проектной и технической документации для выполнения текущего содержания, ремонта (текущего и капитального) и работ в рамках нового строительства.

Свод правил исключает объекты, подпадающие под действие Технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 014/2011) «Безопасность автомобильных дорог» [19], но допускает его применение в случаях, когда это не противоречит требованиям данного регламента и межгосударственным стандартам, входящим в его доказательную базу.

Раздел 3 «Термины, определения и сокращения» включает термины и определения, направленные на обеспечение единства понимания ключевых понятий между различными ведомственными структурами, к которым относятся метрополитены, железнодорожные и автомобильные тоннели. Это позволяет унифицировать подходы к проектированию, эксплуатации и ремонту строительных конструкций транспортных тоннелей, минимизируя разночтения и обеспечивая взаимодействие всех участников. Термины охватывают основные аспекты надзора, эксплуатации, ремонта и использования конформативных технологий, что делает их применимыми для широкого спектра задач в рамках различных систем.

Раздел 4 «Общие положения» устанавливает ключевые принципы и требования для разработки и реализации решений, связанных с ремонтом транспортных тоннелей и метрополитенов. Основное внимание уделено соблюдению механической, пожарной и экологической безопасности, а также учету влияния на здоровье людей. Все принимаемые решения должны быть обоснованы результатами обследований и изысканий, проведенных в соответствии с действующими нормативными документами. Учитываются эксплуатационные нагрузки, изменения окружающей среды, реологические свойства материалов и влияние соседних

объектов в условиях плотной городской застройки. Решения должны быть экономически обоснованы, этапность и контроль выполнения работ обязательны, включая освидетельствование скрытых работ. Дополнительно подчеркивается необходимость мониторинга состояния сооружений и инженерных коммуникаций в зоне влияния ремонтных работ. Эти меры направлены на обеспечение надежности, долговечности и безопасности транспортных сооружений с учетом их функциональных и эксплуатационных особенностей.

Раздел 5 «Общие правила ремонта основных несущих элементов и конструкций» содержит основные принципы и правила, применяемые при ремонте бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. Особое внимание уделено использованию конформативных технологических решений, которые учитывают преимущества и недостатки различных подходов на этапе проектирования. Решения по выбору и комплектации технологических процессов ремонта должны быть основаны на технологических маршрутах, которые учитывают техническое состояние конструкций, доступную элементную базу, категории технического состояния, прогноз их изменения, а также исчерпание эксплуатационной надежности.

Эксплуатационная надежность конструкций линейных сооружений определяется согласно категории технического состояния, установленной в ГОСТ 31937-2024 [20]. Основными критериями перехода конструкций из одной категории состояния в следующую (вплоть до аварийного) являются такие факторы, как увеличение притока воды, появление трещин, разрушение бетона под воздействием агрессивных вод, отслоение защитного слоя бетона и кор-

розия арматуры в несущих элементах. Эти критерии обеспечивают объективную оценку состояния конструкций и служат основой для принятия обоснованных решений по ремонту.

Раздел 6 «Методы ремонта трещин бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов» описывает методы ремонта трещин в бетонных и железобетонных конструкциях тоннелей и метрополитенов, предлагая системный подход к выбору технологий, материалов и реализации работ в зависимости от условий эксплуатации. Каждый метод в разделе может быть заменен альтернативным, в зависимости от ширины раскрытия трещин, степени их увлажнения, эксплуатационных требований к конструкции, а также применяемых материалов. Такой подход позволяет гибко адаптировать технологии ремонта к специфическим условиям и требованиям объекта, обеспечивая надежность, долговечность и экономическую эффективность восстановительных работ.

Описание методов и их особенности приведены в табл. 1.

Раздел 7 «Методы восстановления форм и несущей способности бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов» посвящен методам восстановления формы и усиления бетонных и железобетонных конструкций транспортных тоннелей и метрополитенов. В нем подробно описаны различные подходы к восстановлению геометрии и несущей способности конструкций, включая использование опалубки, нанесение ремонтных составов различными методами, замену дефектных элементов и применение композитных материалов.

Таблица 1
Table 1

Методы ремонта трещин бетонных и железобетонных конструкций тоннелей и метрополитенов
Methods for repairing of the cracks in concrete and reinforced concrete structures of tunnels and metro systems

Метод	Область применения	Применяемые материалы	Особенности
Метод заполнения трещин под действием гравитации (6.2)	Трещины с раскрытием до 0,3 мм	Минеральные и (или) органические инъекционные материалы, как с наполнителем, так и без	Дополняется методами 6.3, 6.4 и 6.5. Эффективен при минимальной подвижности трещин и отсутствии значительных внешних нагрузок
Метод уплотнения деформационных швов (6.3)	Деформационные швы тоннельных сооружений, подпорных стен, конструкционные швы между тубингами	Эластичные шнуры или другие упругие материалы с замкнутыми порами, обеспечивающие постоянное давление на контакте с бетонной поверхностью и способные воспринимать необходимое давление при последующем нагнетании инъекционных составов, полиуретановые и (или) акрилатные составы	Требует учета сезонных изменений ширины шва и выбора профиля с оптимальной компрессией

Продолжение таблицы 1

Метод	Область применения	Применяемые материалы	Особенности
Метод инъектирования под давлением (6.4)	Трещины с раскрытием от 0,2–0,3 мм и более, крупные пустоты, к которым имеются высокие требования по несущей способности, герметичности и долговечности	Материалы на полимерной и (или) минеральной основе	Обеспечивает восстановление несущей способности, важен контроль давления и расхода материала
Метод заполнения без избыточного давления (6.5)	Бетонные и железобетонные конструкции транспортных тоннелей и метрополитенов с насыщенностью водой, с трещинами с раскрытием более 0,8 мм	Минеральные или полимерные составы с высокой текучестью	Применим для участков с ограниченным доступом

Особое внимание уделено выбору методов в зависимости от состояния конструкции, характера повреждений и эксплуатационных условий. Рассмотрены способы ручного нанесения растворов, пневматического нанесения (сухого и мокрого), а также методы раздельного бетонирования и замены элементов. Каждый из методов сопровождается описанием применяемых материалов, оборудования и требований к качеству.

Выводы

Разработка проекта свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта» стала необходимым шагом для систематизации подходов к ремонту сложных инженерных объектов. Каждый из методов ремонта адаптирован к эксплуатационным условиям и типу повреждений, что обеспечивает гибкость в применении и высокую эффективность решений.

Проект свода правил подчеркивает важность выбора подходящих материалов для проведения ремонтных работ, а также необходимость строгого контроля качества на всех этапах.

Реализация предложенных технологий и методов способна значительно повысить качество и надежность ремонтных работ, сократить затраты на их выполнение и увеличить межремонтные сроки. Это особенно важно в условиях интенсивной эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, где минимизация простоев играет ключевую роль.

Список литературы

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 25 декабря 2023 года) // *Российская газета*. 2009. № 255. С. 31 декабря. Собрание законодательства Российской Федерации. 2010. № 1. Ст. 5. Режим доступа:

<https://nps2.cntd.ru/kodeks02/> (дата обращения: 01.11.2024).

2. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 06.05.2024 № 589. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 10.05.2024, № 0001202405100010. Собрание законодательства Российской Федерации. 2024. № 20. Ст. 2624. Режим доступа: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.11.2024).

3. СП 349.1325800.2017. Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления. Москва, 2017.

4. ACI 116R-00. Cement and Concrete Terminology. Reported by ACI Committee 116. ACI Publication SP-19 (00).

5. ACI Manual of Concrete Practice. Part 7-2017. ACI 446.4R-04 to ACI 5447R-16. Part 7 of 8. American Concrete Institute.

6. ACI 546.3R-06. Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete. ACI Committee 546, American Concrete Institute.

7. ACI Manual of Concrete Practice. Part 5-2017. ACI 350.1-10 to ACI 374.3R-16. Part 5 of 8. American Concrete Institute.

8. ICR/ACI. Concrete Repair Manual. Joint publication by International Concrete Repair Institute and American Concrete Institute. Detroit, MI, 1999.

9. FIB Bulletin No. 102. Guide for Protection and Repair of Concrete Structures. Guide for Good Practice. March 2022, 291 p.

10. FIB Bulletin No. 03. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Assessment, Maintenance and Repair – Practical Aspects. December 1999.

11. FIB Bulletin No. 17. Management, Maintenance and Strengthening of Concrete Structures. Technical Report. April 2002, 180 p.
12. FIB Bulletin No. 34. Model Code for Service Life Design. Model Code. February 2006, 116 p.
13. FIB Bulletin No. 44. Concrete Structure Management: Guide to Ownership and Good Practice. February 2008, 210 p.
14. FIB Bulletin No. 59. Condition Control and Assessment of Reinforced Concrete Structures Exposed to Corrosive Environments (Carbonation/Chlorides). State-of-Art Report. May 2011, 80 p.
15. FIB Bulletin No. 53. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 3: Design of Durable Concrete Structures. December 2009, 390 p.
16. FIB Bulletin No. 54. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 4: Design of Concrete Buildings for Fire Resistance, Design of Members, Practical Aspects. October 2010, 196 p.
17. FIB Bulletin No. 52. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 2: Basis of Design. January 2010, 350 p.
18. FIB Bulletin No. 51. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 1: Design of Concrete Structures, Conceptual Design, Materials. November 2009, 306 p.
19. Технический регламент Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог»: [утв. решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 827]. Официальный сайт Комиссии Таможенного союза. URL: <http://www.tsouz.ru> (дата обращения: 02.11.2024).
20. ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: ФГБУ «РСТ», 2024.
4. ACI 116R-00. Cement and Concrete Terminology. Reported by ACI Committee 116. ACI Publication SP-19 (00).
5. ACI Manual of Concrete Practice. Part 7-2017. ACI 446.4R-04 to ACI 5447R-16. Part 7 of 8. American Concrete Institute.
6. ACI 546.3R-06. Guide for the Selection of Materials for the Repair of Concrete. ACI Committee 546, American Concrete Institute.
7. ACI Manual of Concrete Practice. Part 5-2017. ACI 350.1-10 to ACI 374.3R-16. Part 5 of 8. American Concrete Institute.
8. ICRI/ACI. Concrete Repair Manual. Joint publication by International Concrete Repair Institute and American Concrete Institute. Detroit, MI, 1999.
9. FIB Bulletin No. 102. Guide for Protection and Repair of Concrete Structures. Guide for Good Practice. March 2022, 291 p.
10. FIB Bulletin No. 03. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Volume 3: Durability – Design for Fire Resistance – Member Design – Assessment, Maintenance and Repair – Practical Aspects. December 1999.
11. FIB Bulletin No. 17. Management, Maintenance and Strengthening of Concrete Structures. Technical Report. April 2002, 180 p.
12. FIB Bulletin No. 34. Model Code for Service Life Design. Model Code. February 2006, 116 p.
13. FIB Bulletin No. 44. Concrete Structure Management: Guide to Ownership and Good Practice. February 2008, 210 p.
14. FIB Bulletin No. 59. Condition Control and Assessment of Reinforced Concrete Structures Exposed to Corrosive Environments (Carbonation/Chlorides). State-of-Art Report. May 2011, 80 p.
15. FIB Bulletin No. 53. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 3: Design of Durable Concrete Structures. December 2009, 390 p.
16. FIB Bulletin No. 54. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 4: Design of Concrete Buildings for Fire Resistance, Design of Members, Practical Aspects. October 2010, 196 p.
17. FIB Bulletin No. 52. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 2: Basis of Design. January 2010, 350 p.
18. FIB Bulletin No. 51. Structural Concrete Textbook on Behaviour, Design and Performance. Second Edition. Volume 1: Design of Concrete Structures, Conceptual Design, Materials. November 2009, 306 p.
19. Technical Regulation of the Customs Union "Road Safety": [approved by Decision of the Customs Union Commission dated October 18, 2011, No. 827]. Official website of the Customs Union Commission. URL: <http://www.tsouz.ru> (accessed: 02 November 2024).

References

1. Technical regulations on the safety of buildings and structures (as amended on December 25, 2023). *Rossiyskaya Gazeta*. 2009. No. 255. December 31. Collection of legislation of the Russian Federation. 2010. No. 1. Art. 5. Available at: <https://nps2.cntd.ru/kodeks02/> (accessed: 01 November 2024). (In Russian).
2. On amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation: Decree of the Government of the Russian Federation of May 6, 2024 No. 589. Official Legal Information Portal www.pravo.gov.ru, May 10, 2024, No. 0001202405100010. Collection of legislation of the Russian Federation. 2024. No. 20. Art. 2624. Available at: <http://www.pravo.gov.ru> (accessed: 01 November 2024). (In Russian).
3. SP 349.1325800.2017. Concrete and reinforced concrete structures. Rules of structural reinforcement and repair. Moscow, 2017. (In Russian).

20. State Standard 31937-2024. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Moscow: FGUP "RST", 2024.

Информация об авторах
Information about the authors

Андрей Александрович Шилин, д-р техн. наук, генеральный директор, ООО «Системные продукты для строительства», Москва

Andrey A. Shilin, Dr. Sci. (Engineering), General Director, LLC "System Products for Construction", Moscow

Анастасия Борисовна Щукина[✉], заместитель генерального директора, ООО «Системные продукты для строительства», Москва

e-mail: shchukina.sps@gmail.com

Anastasia B. Shchukina[✉], Deputy General Director, LLC "System Products for Construction", Moscow

e-mail: shchukina.sps@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author