

УДК 691.32+69.059.4
[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-126-134](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-126-134)

НОВОЕ МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО НАЗНАЧЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СРЕДЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИХ ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ

A NEW HANDBOOK ON STRUCTURAL CONCRETE SERVICE LIFE ASSIGNMENT TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATING ENVIRONMENT IMPACT IN THEIR LIFE CYCLE

В. Р. ФАЛИКМАН, д-р материаловедения, канд. хим. наук

В. Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук

В статье систематизированы основные критерии, необходимые для определения нормативных сроков эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций, проведен анализ состояния отечественной и зарубежной нормативной базы в отношении требований к срокам службы железобетонных конструкций, рассмотрены основные нормативно-технические документы в области проектирования железобетонных конструкций зданий и сооружений по их жизненному циклу. Описаны виды коррозионных повреждений железобетонных конструкций и определяющие их факторы, приведены согласованные на международном уровне модели долговечности для некоторых деградационных процессов. На основе проведенных работ подготовлены предложения по оценке коррозионного состояния эксплуатировавшихся железобетонных конструкций,

The article systematizes the main criteria necessary for service life determining the concrete and reinforced concrete structures, analyzes the state of the domestic and foreign regulatory framework in relation to the requirements for the service life of reinforced concrete structures, considers the main regulatory and technical documents in the field of reinforced concrete structures design of buildings and structures based on their life cycle. The types of corrosion damage to reinforced concrete structures and their determining factors are described, and internationally agreed models of durability for some degradation processes are given. On the basis of the work carried out, proposals have been prepared for the corrosion state assessing of operating reinforced concrete structures, their residual bearing capacity, serviceability, expected service life in given aggressive

их остаточной несущей способности, эксплуатационной пригодности, ожидаемого срока службы в заданных агрессивных условиях и методов определения нормативных сроков службы железобетонных конструкций. Даны предложения по разработке и актуализации ряда релевантных нормативных, технических и организационно-методических документов.

Ключевые слова:

Бетон и железобетон, долговечность, критерии технического состояния, методическое пособие, модели, проектирование по жизненному циклу, расчеты стратегии эксплуатации, сроки службы

conditions and methods for service life determining of reinforced concrete structures. Proposals are given on the development and updating of a number of relevant regulatory, technical, organizational and methodological documents.

Key words:

Calculations, durability, models, life cycle design, maintenance strategy, methodological rationale, structural concrete, service life, serviceability criteria

Согласно Техническому регламенту «О безопасности зданий и сооружений» (ФЗ № 384), «жизненный цикл здания или сооружения – период, в течение которого осуществляются инженерные изыскания, проектирование, строительство (в том числе консервация), эксплуатация (в том числе текущие ремонты), реконструкция, капитальный ремонт, снос здания или сооружения». Строительные конструкции и основания должны быть запроектированы таким образом, чтобы они обладали достаточной надежностью при возведении и эксплуатации с учетом, при необходимости, особых воздействий (например, в результате землетрясения, наводнения, пожара, взрыва).

Основным свойством, определяющим надежность строительных конструкций, зданий и сооружений в целом, является безотказность их работы – способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного срока службы.

В соответствии с действующими нормами строительные конструкции и основания рассчитываются по методу предельных состояний, основные положения которого должны быть направлены на обеспечение безотказной работы конструкций и оснований с учетом изменчивости свойств материалов, грунтов, нагрузок и воздействий, геометрических характеристик конструкций, условий их работы, а также степени ответственности (и народнохозяйственной значимости) проектируемых объектов, определяемой материальным и социальным ущербом при нарушении их работоспособности. Расчет по предельным состояниям имеет целью обеспечить надежность здания или сооружения в течение всего его срока службы, а также при производстве работ.

Несмотря на то что в ФЗ № 384 прямо упоминается необходимость такого подхода, нормативная и доказательная база его в Российской Федерации пока не разработана, что в значительной степени препятствует применению, как правило, изначально более дорогой инновационной продукции и переходу на контракты «жизненного цикла» как наиболее прогрессивной форме государственно-частного партнерства.

Уточнение нормативных сроков службы железобетонных конструкций зданий и сооружений – проблема, имеющая большое народнохозяйственное значение, во многом определяющая задачи нового строительства и сохранения существующих основных фондов. Состояние большинства отремонтированных сооружений из железобетона претерпевает серьезное ухудшение спустя уже несколько лет после того как в них производили ремонтные работы. По данным проведенных исследований, около 75% отказов при ремонте железобетонных конструкций наступает по истечении всего 5 лет.

Проектирование долговечности железобетонных конструкций традиционно основывали на установленных правилах и требованиях к характеристикам материалов, к качеству их составляющих, к условиям работы конструкции, к размерам поперечного сечения элементов и т.д.

Примером подобного кажущегося удовлетворительным подхода, отраженным в действующих отечественных нормативных документах (ГОСТ 31384, СП 28.13330, СП 63.13330, СП 72.13330 и т. д.), ряде документов зарубежных стран (EN 206, EN 1504, ACI 318 и т.д.), являются требования к минимальной толщине защитного слоя, максимально допустимому водоцементному отношению, минимальному содержанию цемента, ограничениям ширины раскрытия трещин, объему вовлеченного воздуха, типу цемента и защитным покрытиям бетона. Эти правила иногда отражают тип агрессивности окружающей среды, например, атмосферу внутри помещения, влажность атмосферы, вероятность замораживания, возможность воздействия растворов-антиобледенителей, морской воды и т.д. Предназначение всех этих правил заключалось в том, чтобы обеспечить «живучесть» конструкции, хотя при этом не приводился никакой критерий, определяющий ее возможный срок службы.

В последние годы всё большее число строительных норм основывается на критерии пригодности сооружения к эксплуатации. Эта пригодность должна быть обеспечена на протяжении всего срока службы сооружения. Применяя «кажущиеся удовлетворительными» правила, невозможно выявить четкую взаимозависимость между работой конструкции и ее сроком службы. Как для бетона, так и для других строительных материалов эти взаимозависимости еще не стали инструментом проектировщика.

В процессе работы над Методическим пособием по назначению срока службы бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл были отобраны и проанализированы документы профильных международных организаций, США, ряда стран Европы и Азии, в первую очередь, стран, достигших определенного уровня «зрелости», в которых накоплен значительный практический опыт, а также в том или ином виде декларирована государственная политика (центральная или отдельных структур государственного сектора) в области проектирования по жизненному циклу.

При отборе таких документов принималось во внимание авторство (характер организации), уровень распространения (применение их также в других странах), использование при разработке международных стандартов ISO. Примененные в Методическом пособии документы [1 – 7], как правило, общепризнаны или уже получили статус международных стандартов ISO и применяются во многих странах мира.

За срок службы обычно принимают период времени, отсчитываемый от пуска объекта в эксплуатацию, в течение которого выполняются требования по его работоспособности. Понятие срока службы также может рассматриваться на различных уровнях. Характер мероприятий, выполняемых в конце срока службы, зависит от выбранного уровня. На уров-

не сооружения окончание срока службы обычно влечет за собой полное восстановление, реконструкцию или отказ от его использования. На уровне конструктивного элемента или на уровне материала это означает замену или серьезный ремонт элемента или материала.

С другой стороны, проблему срока службы можно рассматривать, по крайней мере, с трех различных точек зрения: (1) технической; (2) функциональной; (3) экономической. В зависимости от выбранной точки зрения можно говорить о техническом, функциональном или экономическом обосновании срока службы. Различные точки зрения заставляют предъявлять к одному и тому же объекту различные требования.

Технические требования вызывают необходимость соблюдения технических характеристик работоспособности. В зависимости от уровня рассмотрения к числу таких требований можно отнести конструктивную целостность сооружения, несущую способность конструкции и/или прочность материалов. Значительная часть этих требований включена в состав норм проектирования и стандартов.

Функциональные требования определяют характер нормального использования сооружения или конструкции. Например, ширину и высоту моста назначают в зависимости от характеристик транспортных средств, движущихся как по мосту, так и под ним. В этом случае продолжительность срока службы будет зависеть, в первую очередь, не столько от технического состояния конструкции, сколько от характера развития транспорта. С экономической точки зрения сооружение, конструктивный элемент или материал рассматриваются как капиталовложение, и требования к сроку службы определяются на основании условия соблюдения прибыльности.

В контексте Пособия проблемы срока службы рассматриваются, в основном, с точки зрения технического состояния конструкции. Технический подход сосредоточивается на трех аспектах: (1) физическая работа конструкции, (2) эксплуатационная пригодность и удобство пользования, (3) эстетика. При этом основное внимание уделяется физическим и иным конструктивным функциям железобетонных конструкций.

Точное определение срока службы конструкции осложняется тем, что в течение этого срока обычно выполняются плановые мероприятия по уходу и обслуживанию, которые могут влиять на продолжительность срока службы сооружения, и поэтому они также должны быть включены в рассмотрение. По этой причине в определении понятия «срока службы» в Пособии имеется добавление: «при условии обеспечения планового обслуживания». Срок службы, заявленный заказчиком или владельцем сооружения при его проектировании, называют заданным сроком службы.

Как это особенно явно обнаружилось в 50-х годах, арендаторы и владельцы зданий и сооружений стали проявлять всё возрастающий интерес к установлению требований относительно срока службы сооружений. Этот интерес – логическое следствие осознания проблем качества строительства и его стоимости.

Сегодня стала очевидной естественная связь между качеством сооружения и его сроком службы. Кроме того, люди стали понимать, что общая стоимость складывается не только и не столько из стоимости непосредственного строительства, но и из стоимости эксплуатации и ремонта. В результате в условия контрактов на строительство сложных объектов теперь всё чаще включают требования по долговечности сооружения и его сроку службы. Именно отсюда возникла необходимость и в новых методах более точного определения проектной долговечности конструкций.

С другой стороны, огромный объем исследований по проблемам долговечности бетона, проведенных в период 1970–2000 гг., дал достаточно надежные сведения о процессах разрушения [8]. Приняв эти знания за основу, можно включить феномен долговечности в процесс конструктивного проектирования железобетонных конструкций.

Проектировщик конструкций обязан доказать, что он выполнил требования по обеспечению срока службы сооружения. При этом достаточно простая математическая модель долговечности, отражающая характер работы конструкции во времени, или модель срока службы как функция соответствующих расчетных параметров, явились бы для него весьма ценным инструментом. Используя модели долговечности, проектировщик получает возможность принимать решения относительно требуемых размеров поперечного сечения элемента и относительно характеристик материалов, из которых сделана конструкция, в полном соответствии с заданным сроком ее службы. Даже упрощенные математические модели долговечности могут служить рациональной основой ее проектирования [9].

На процесс деградации материалов оказывают воздействие многие составляющие окружающей среды, однако их математически точное влияние трудно определить, поскольку они резко меняются в зависимости от местных условий. Кроме того, существуют значительные различия характеристик самих строительных материалов. Учитывая перечисленные и иные факторы, которые являются причиной сильного разброса данных, описание работы конструкции и показатели ее срока службы целесообразно выражать, используя вероятностные понятия. Это означает, что придется прибегать не только к осредненным значениям переменных, но и к законам их распределения. Вероятностный подход к проблемам проектирования учитывает реальную природу работы конструкции, а это обеспечивает надежность результатов ее проектирования.

В вероятностном методе проектирования долговечности необходимо иметь в виду не только заданный срок службы, но и дать определение максимально допустимой вероятности того, что заданный срок службы не будет достигнут. Эту вероятность называют вероятностью разрушения. С другой стороны, вероятность разрушения можно обозначить как вероятность того, что будет превышено некоторое предельное состояние, которое может определяться либо предельным состоянием несущей способности, либо предельным состоянием эксплуатационной пригодности.

Нормируемая вероятность разрушения зависит от того, каким образом определяют событие разрушения и какие последствия возможны в результате разрушения. Если разрушение приведет к серьезным последствиям, максимально допустимая вероятность разрушения должна быть, естественно, малой. Для оценки последствий разрушения обычно применяют концепцию риска, под которым понимают произведение вероятности разрушения и объема ущерба. В общем случае при определении требуемой вероятности разрушения необходимо учитывать социальные и экономические критерии, а также критерии, связанные с сохранением окружающей среды.

Собственно, задача проектирования долговечности состоит в обеспечении возможности регулирования долговечности на протяжении всего срока эксплуатации сооружения.

Проектирование по параметрам долговечности в согласованных на международном уровне документах, например, в стандарте ISO 16204 [4] или в Модельном кодексе ФИБ 2010 года [5], и отображенное в Методическом пособии состоит из следующих операций:

1. Определение заданного и расчетного сроков службы.
2. Определение влияния окружающей среды.
3. Выявление факторов долговечности и механизмов деградации.
4. Выбор моделей долговечности для каждого механизма деградации.
5. Расчет параметров долговечности с использованием имеющихся расчетных моделей.
6. Внесение возможных корректировок в расчеты традиционного проектирования по прочности (например, учет собственного веса конструкции).
7. Перенесение параметров долговечности в окончательный расчет.

Как правило, приемы проектирования долговечности конструкций включают в себя три фазы:

фаза 1 – Традиционное проектирование по прочности;

фаза 2 – Проектирование по параметрам долговечности;

фаза 3 – Окончательное проектирование.

Схема последовательных операций при проектировании приведена на рисунке.

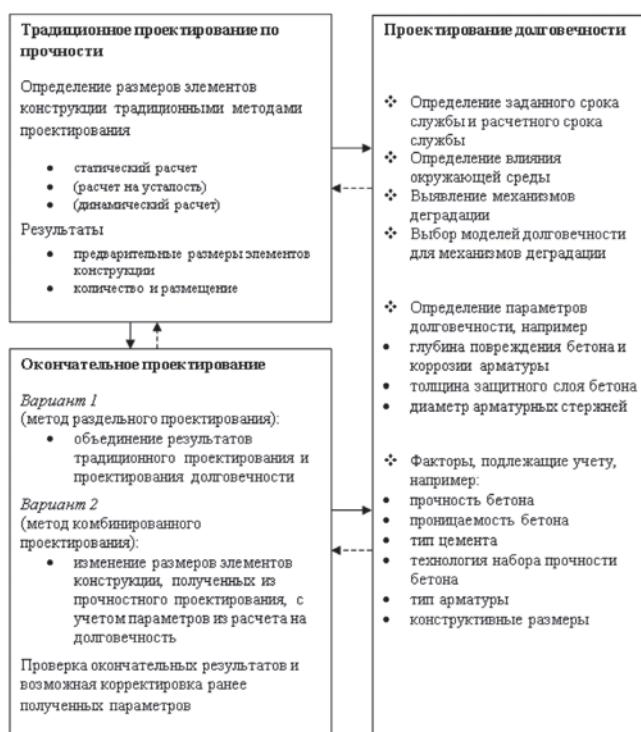


Рис. Схема последовательных операций при проектировании долговечности

Традиционное проектирование, при котором размеры сечений железобетонных конструкций определяют из расчета на прочность, выполняют с использованием обычных методик. Его задача состоит в определении предварительных размеров элементов конструкции. Для окончательного проектирования предлагаются два метода: метод раздельного проектирования, состоящий в простом объединении результатов фазы 1 и фазы 2, и метод комбинированного проектирования, в котором проектирование по прочности проводят заново, используя

результаты фазы 2. В этом случае фаза 1 служит, в основном, для проверки, однако в некоторых случаях, как это будет показано далее, именно она может оказаться определяющей.

Заданный срок службы определяют в соответствии с требованиями, приведенными в строительных правилах, нормах и стандартах, в дополнение к возможным специальным требованиям заказчика.

Неопределенность по поводу конечного качества здания на стадии проектирования значительно выше, чем для уже существующих зданий. Поэтому для существующих зданий требуемый запас прочности может быть меньшим, чем для проектируемых, в то время как вероятность разрушения как для одних, так и для других, в принципе, одинакова [10]. По этой же причине можно утверждать, что при оценке влияния деградации на поведение конструкции в большинстве случаев можно применить одну и ту же теорию как для существующих, так и для проектируемых сооружений. Единственная разница заключается в том, что, в конечном счете, запас прочности для существующих сооружений будет назначен меньшим, чем для сооружений на стадии проектирования.

В настоящее время проектирование конструкции с обеспеченным запасом надежности подразумевает учет времени, в течение которого должны выполняться требования безопасности эксплуатации. Другими словами, необходимо введение требования на гарантированный срок службы. В практике проектирования конструкций потребный срок службы называют заданным сроком службы. Уровень безопасности выражают как максимально допустимую вероятность разрушения.

При разработке Пособия были использованы данные, полученные научно-исследовательскими организациями, и информация в этой области за последние десять лет, а также положения законодательства Российской Федерации о техническом регулировании и о градостроительной деятельности.

Задача Методического пособия заключается в том, чтобы показать, каким образом явление деградации материалов может учитываться при определении несущей способности конструкции, и дать представление о том, как происходит снижение ее несущей способности и надежности во времени.

Пособие разработано в развитие положений ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» (разделы 2-5, 9-11, 13, 14) для реализации проектировщиками требований, заложенных в строительных нормах и правилах, и для выполнения более грамотного и рационального проектирования зданий и сооружений, имея в виду назначение срока службы бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл.

Задачами разработки Пособия являются разъяснение особенностей проектирования зданий и сооружений с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл, а также назначения срока службы бетонных и железобетонных конструкций и обеспечение реализации требований ГОСТ 27751-2014; увеличение срока службы железобетонных конструкций при минимизации затрат в процессе эксплуатации; развитие положений СП 63.13330.2018, СП 28.13330.2017, СП 20.13330.2016 для повышения качества выполняемых проектных работ, сокращения сроков и снижения стоимости проектирования, а также снижения эксплуатационных издержек в процессе эксплуатации зданий и сооружений, что в значительной степени дополняет требования действующих нормативно-технических документов [11, 12].

В Пособии приведены основные принципы проектирования бетонных и железобетонных конструкций с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл с целью назначения их срока службы. Его содержание включает основы проектирования бетонных и железобетонных конструкций по срокам их службы с учетом воздействия среды эксплуатации на их жизненный цикл; примеры проектирования долговечности с использованием вероятностных методов; способы определения коэффициентов надежности по сроку службы; общепризнанные модели долговечности для важнейших деградационных процессов; критерии технического состояния железобетонных конструкций по показателям долговечности и стратегии их эксплуатации применительно к срокам службы; верификацию и действия в случае несоответствия проекта; правила производства работ и управление их качеством; техническое обслуживание и контроль состояния конструкций в течение их срока службы. Отдельное Приложение описывает принципы управления надежностью на срок службы железобетонных конструкций при их проектировании по жизненному циклу. Кроме того, в Методическом пособии приведена обширная библиография и перечень нормативных документов, связанных с особенностями проектирования железобетонных конструкций по параметрам долговечности с учетом их полного жизненного цикла.

Методическое пособие разработано для применения широким кругом специалистов, чья деятельность связана с проектированием и исследованиями в области проектирования железобетонных конструкций, в том числе специалистами проектных организаций, государственных и иных органов экспертизы и согласования, надзорных служб в сфере природопользования, охраны водных ресурсов, защиты прав потребителей и благополучия человека, органов лицензирования и сертификации.

Библиографический список

1. ISO 16204:2012 Durability – Service life design of concrete structures.
2. *fib Model Code for Concrete Structures* 2010, Ernst & Sohn, 2013, 402 p.
3. EN 1990:2002 Eurocode 0 – Basis of structural design.
4. BS 7543:2015 Guide to durability of buildings and building elements, products and components.
5. EN 1991: 2002-2006 Eurocode 1: Actions on structures.
6. EN 1992:2004-2006 Eurocode 2: Design of concrete structures.
7. Durability Design of Concrete Structures (edited by Sarja A. & Vesikari E.), Rilem Report Series 14. E & FN Spon, London, UK, 1996, 155 p.
8. Степанова В.Ф. Долговечность бетона. Учебное пособие для вузов. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2014. – 126 с.
9. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Математическая теория процессов коррозии бетона и железобетона // Технологии бетонов, 2014. № 10. С. 35-39.
10. Мюллер Х.С., Фернандес-Ордоñес Д. Международная федерация по конструкционному бетону (ФИБ) и инициатива по созданию Модельного кодекса 2020 // Вестник НИЦ «Строительство». Сб. статей. Вып.1 (16). 2018. С. 143 – 158.
11. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении. М.: Стройиздат, 1990. – 176 с.

2 Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования: ВСН 58–88(р) /Госкомархитектуры. – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 42 с.

3 ГОСТ Р 53778–2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Авторы:

Вячеслав Рувимович ФАЛИКМАН, д-р материаловедения, канд. хим. наук, действительный член Российской и Международной инженерных академий, Почетный пожизненный член ФИБ, Почетный член РИЛЕМ, заведующий сектором долговечности железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Vyacheslav FALIKMAN, Dr. of Material Science, Ph. D. (Chem.), full member of Russian and International Engineering Academies, fib Honorary Life Member, RILEM Honorary Member, Head of sector on structural concrete durability of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

е-mail: vfalikman@yandex.ru

тел.: +7 (499) 171-03-84

Валентина Федоровна СТЕПАНОВА, докт. техн. наук, профессор, действительный член Международной инженерной академии, заведующая лабораторией коррозии и долговечности бетона и железобетона НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Valentina STEPANOVA, D. Sci. (Engineering), Prof., full member of International Academy of Engineering, Head of laboratory on corrosion and structural concrete durability of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

е-mail: vfstepanova@mail.ru

тел.: +7 (499) 171-43-74