

Нормативные сроки службы бетонных и железобетонных конструкций и принципы их проектирования по параметрам долговечности

Вячеслав Рувимович ФАЛИКМАН, доктор материаловедения, кандидат химических наук, зав. сектором долговечности железобетонных конструкций, e-mail: vfalikman@yandex.ru

Валентина Федоровна СТЕПАНОВА, доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией коррозии и долговечности бетона и железобетона, e-mail: vfstepanova@mail.ru

НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 109428 Москва, 2-я Институтская ул., 6, корп. 5

***Аннотация.** Систематизированы основные критерии, необходимые для определения нормативных сроков эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций, проведен анализ состояния отечественной и зарубежной нормативной базы в части 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 эксплуатирующихся железобетонных конструкций, 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, сроки службы, модели, расчеты, критерии технического состояния, стратегии эксплуатации, проектирование по жизненному циклу, своды правил, стандарты.*

NORMATIVE SERVICE LIFE OF CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES AND PRINCIPLES OF THEIR DESIGN BASED ON DURABILITY PARAMETERS

Vyacheslav R. FALIKMAN, e-mail: vfalikman@yandex.ru

Valentina F. STEPANOVA, e-mail: vfstepanova@mail.ru

JSC Research Center of Construction, NIIZHB named after A. A. Gvozdev, 2-ya Institutskaya ul., 6, korp. 5, Moscow 109428, Russian Federation

***Abstract.** The paper systematizes the main criteria necessary to determine the standard service life of concrete and reinforced concrete structures; the state of domestic and foreign regulatory framework is analyzed in terms of requirements for the service life of reinforced concrete structures; the main normative and technical documents are considered in the field of life cycle design of reinforced concrete structures of buildings and constructions. The types of corrosion damages of reinforced concrete structures and their determining factors are described; the internationally agreed models of durability for some degradation processes are given. On the basis of the work carried out, proposals were prepared to assess the corrosion state of the exploited reinforced concrete structures, their residual bearing capacity, operational serviceability, expected service life under specified aggressive actions, and methods for determining the standard service life of reinforced concrete structures. Proposals for the development and updating of a number of relevant regulatory, technical, organizational and methodological documents are given.*

***Key words:** concrete and reinforced concrete, durability, service life, models, calculations, serviceability criteria, maintenance strategy, life cycle design, codes of rules, standards.*

Основное свойство, определяющее надежность строительных конструкций, зданий и сооружений в целом, — это безотказность их работы, т. е. способность сохранять заданные эксплуатационные качества в течение определенного (нормативного) срока службы с учетом изменчивости свойств материалов, грунтов, нагрузок и воздействий, геометрических характеристик

конструкций, условий их работы, а также степени ответственности проектируемых объектов, определяемой материальным и социальным ущербом при нарушении их работоспособности. Уточнение нормативных сроков службы железобетонных конструкций зданий и сооружений имеет большое значение для экономики страны и во многом определяет задачи нового строительства

и сохранения существующих основных фондов.

В процессе эксплуатации железобетонные конструкции подвергаются воздействию разных факторов окружающей среды (силовые, физические, химические, техногенные и т. д.). Учет воздействия данных факторов на работу конструкции осуществляется, как правило, путем введения различных коэффициентов

запаса, которые не отражают в полной мере реальную работу конструкции, а зачастую не раскрывают механизма изменения свойств материала под действием агрессивных сред. Расчет долговечности и надежности конструкций должен учитывать динамику процессов, протекающих в материале под действием агрессивных сред. Для этого должны быть установлены основные характеристики сопротивления бетонов действию химически активных веществ и определен механизм взаимодействия материала со средой.

Имеющийся в настоящее время опыт эксплуатации железобетонных конструкций позволяет изучить процесс износа отдельных элементов и выявить тенденцию накопления повреждений в конструкциях с длительным сроком службы. Изучение закономерностей изменения состояния конструкций и экстраполяция их для будущих отрезков времени дают возможность прогнозировать срок службы как конструкций, так и здания в целом.

Общепринято, что расчет по предельным состояниям имеет целью обеспечить надежность здания или сооружения в течение всего его срока службы, а также при производстве работ. Вместе с тем многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что значения расчетно-конструктивных параметров конструкций и величины внешних воздействий носят случайный характер, т. е. отклоняются от средних значений, обычно принимаемых в расчетах. Можно утверждать, что метод, достоверно отражающий работу конструкции, должен в большей степени базироваться на методах теории вероятности. Следовательно, наличие достоверных статистических характеристик расчетно-конструктивных параметров и факторов окружающей

среды — необходимое условие для вероятностного расчета конструкций.

Для более точной оценки долговечности и повышения безопасности при эксплуатации расчет конструкций должен отражать их реальную работу при совместном действии нагрузки и агрессивной среды, а также учитывать случайный характер величин, принятых в расчете. Поэтому внедрение проектирования конструкций по параметрам долговечности, использование вероятностных и полувероятностных методов расчета железобетонных конструкций, учитывающих воздействие различных факторов и достоверно передающих работу конструкции, определение реальных сроков службы конструкций для обоснованно выбранных стратегий их эксплуатации — актуальная задача, позволяющая обеспечить устойчивое развитие. Решение задач по уточнению нормативных сроков службы железобетонных конструкций должно способствовать повышению долговечности и безремонтного срока службы зданий и сооружений, а также сокращению затрат при возведении железобетонных зданий с пониженным уровнем ответственности или при низких уровнях агрессивного воздействия окружающей среды.

Сложность установления нормативных сроков службы железобетонных конструкций зданий и сооружений заключается в том, что отдельные элементы зданий и сооружений имеют сильно различающиеся нормативные сроки службы при установленных ГОСТ 27751—2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» рекомендуемых сроках службы зданий и сооружений.

В результате применения данного норматива на обязательной основе обеспечивается соблюде-

ние требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1]. ГОСТ 27751 предписывает, что для каждого сооружения следует установить его класс (КС-1, КС-2 или КС-3) в зависимости от назначения, а также социальных, экологических и экономических последствий повреждений и разрушений. В зависимости от класса сооружений при их проектировании необходимо использовать минимальные значения коэффициентов надежности по ответственности. Класс и уровень ответственности сооружений, а также численные значения коэффициента надежности по ответственности определяет генпроектировщик по согласованию с заказчиком в задании на проектирование, но не ниже тех, которые устанавливает ГОСТ.

Анализ результатов, полученных в многочисленных обследованиях, а также требований, приведенных в ВСН 58-88(р) «Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения», позволяет сделать следующие выводы:

- существует ряд элементов зданий, для которых фактические сроки службы значительно ниже нормативных. Это относится в первую очередь к рулонным кровлям, стыкам наружных стеновых панелей, полам из линолеума и поливинилхлоридных плиток;
- в некоторых видах сборных железобетонных элементов стен и перекрытий, срок службы которых определяет срок службы всего здания, в первый период эксплуатации возникают значительные повреждения, что не дает оснований рассчитывать на использование их в течение всего нормативного срока службы.

К таким элементам относятся, например, применявшиеся для стен и перекрытий тонкостенные вибропрокатные плиты, плоские плиты перекрытий толщиной 10 см, некоторые виды ячеистобетонных крупных блоков. Обследования показывают, что трещины и прогибы, возникшие в этих конструкциях, имеют тенденцию увеличения во времени;

- некоторые комбинированные, или композитные, конструкции, состоящие из нескольких материалов с различной долговечностью, не могут обеспечить требуемый срок службы в связи с тем, что не предусмотрено замены материалов с меньшим сроком службы без разрушения всей конструкции. Так, трехслойные стеновые панели с утеплителями, у которых срок службы 20–30 лет, не могут рассчитываться на 100–150-летний срок службы.

Принятые в настоящее время по ГОСТ 27751 нормативные сроки службы основного большинства капитальных зданий и сооружений классов КС-2, КС-3 определяют их в пределах 100–150 лет. При этом основные несущие железобетонные конструкции имеют срок службы, равный сроку службы здания.

Для всех остальных конструкций сроки службы установлены с учетом их замены в течение периода эксплуатации здания. Вместе с тем наблюдается достаточно значительный разброс значений показателя продолжительности эксплуатации t , что создает неопределенность в планировании ремонтов. Например, срок службы лестниц определен ВСН 58-88р в 40–60 лет. В этом случае для здания со сроком службы 125–150 лет необходимо заменить лестницы, причем новые элементы после замены не исчерпают своего срока службы. Как результат, заложенная в нормативах неопределенность предполагает необязательность

соблюдения установленных нормативов, что на практике приводит к невозможности четко обеспечить выполнение планово-предупредительных ремонтов или обосновать стратегию эксплуатации.

Таким образом, необходимо установить более четкие нормативные требования к срокам службы элементов зданий, и прежде всего железобетонных конструкций, выделив два этапа:

- нормирование требуемых сроков службы элементов и согласование их со сроком службы здания;
- уточнение и назначение сроков службы различных видов конструкций, используя принципы их проектирования по параметрам долговечности.

В соответствии с первым этапом целесообразно четко установить для каждой группы элементов нормативную кратность сроков их службы и всего здания или сооружения в целом (показатель t). Укрупненно на основании анализа состояния различных видов эксплуатируемых конструкций можно было бы для элементов несущих конструкций здания предложить $t = 1$; для перегородок, столярных изделий, полов паркетных, облицовок фасадов — $t = 0,5$; для полов из линолеума — $t = 0,2$; для кровли рулонной — $t = 0,1$; для отделки внутренней и наружной (окраска) — $t = 0,05$. Имея такие нормативы при проектировании здания заданной категории долговечности, удобно подбирать элементы зданий и объектов (строительные материалы, изделия и конструкции) с учетом выбранной стратегии технического обслуживания и эксплуатации.

Основное решение проблемы определения нормативных сроков эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций — имплементация методов их проектирования по параметрам долго-

вечности. Собственно задача проектирования долговечности — обеспечение возможности регулирования долговечности на протяжении всего срока эксплуатации сооружения.

Проектирование по параметрам долговечности в согласованных на международном уровне документах, например в стандарте ISO 16204 [2] или Модельном кодексе ФИБ 2010 г. [3], состоит из следующих операций:

- установление заданного и расчетного сроков службы;
- определение влияния окружающей среды;
- выявление факторов долговечности и механизмов деградации;
- выбор моделей долговечности для каждого механизма деградации;
- расчет параметров долговечности с использованием имеющихся расчетных моделей;
- внесение возможных коррективов в расчеты традиционного проектирования по прочности, например учет собственного веса конструкции;
- перенесение параметров долговечности в окончательный расчет.

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

- 1 — традиционное проектирование по прочности;
- 2 — проектирование по параметрам долговечности;
- 3 — окончательное проектирование.

Традиционное проектирование, при котором размеры сечений железобетонных конструкций подбирают из расчета на прочность, выполняют с использованием обычных методик. Его задача состоит в определении предварительных размеров элементов конструкции. Для окончательного проектирования предлагаются два метода: *раздель-*

ное проектирование, состоящее в простом объединении результатов фазы 1 и фазы 2, и *комбинированное проектирование*, в котором проектирование по прочности выполняют, 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.

Схема последовательных операций при проектировании приведена на *рисунке*.

Заданный срок службы определяют в соответствии с требованиями, приведенными в строительных правилах, нормах и стандартах, в дополнение к возможным специальным требованиям заказчика. Наиболее часто встречающиеся категории срока службы – 10, 25, 50, 75, 100 лет и т. д. Так, например, в Еврокоде 0 [4] содержится классификация заданных сроков службы, несколько отличающихся от указанных в ГОСТ 27751. В европейском стандарте применяют термин «расчетный срок работы», что можно интерпретировать как минимальный требуемый срок службы. В британском стандарте BS 7543 [5] приводится иная классификация с минимальными сроками службы от 10 до 120 лет для пяти категорий зданий и сооружений.

Расчетный срок службы находят из уравнения

$$t_d = \gamma_t t_g, \quad (1)$$

где t_d – расчетный срок службы; γ_t – коэффициент надежности по сроку службы; t_g – заданный срок службы.

При этом необходима проверка на выполнение условия: $m \leq 0,7$, где m – относительное снижение коэффициента запаса за период от 0 до t_d лет.

Анализ влияния окружающей среды подразумевает определение как климатических условий (учет колебаний температуры и

Схема последовательных операций при проектировании долговечности



влажности, дождей, конденсации влаги, замерзания, солнечной радиации, воздействия загрязненного воздуха), так и геологических условий, например, уровня грунтовых вод, возможного контакта с морской водой, загрязнения почвы агрессивными реагентами – сульфатами или хлоридами. Кроме того, необходимо также выявить и факторы воздействия, связанные с человеческой деятельностью, а именно: применение солей-антиобледенителей на дорогах, образование продуктов абразивного воздействия от транспорта и т. д.

Основываясь на анализе характера влияния окружающей среды, проектировщик определяет

факторы, воздействию которых рассматриваемая конструкция вероятнее всего будет подвергаться. Если конструкции полностью не защищены от такого воздействия, то обычно предполагают, что имеет место некоторый деградационный процесс и в бетоне, и в арматуре.

Задача проектировщика – установить деградационные факторы, которые оказывают решающее влияние на срок службы. При этом может возникнуть необходимость предварительно оценить скорость деградации для различных факторов. Для подобной оценки можно применить общепринятые расчетные модели.

Для всех бетонных конструкций, находящихся в обычном, незащищенном от атмосферного воздействия состоянии, механизмы деградации можно классифицировать по базовым конструктивным типам деградации. Это — коррозия арматуры в зоне расположения трещин в бетоне, которая приводит к уменьшению площади поперечного сечения арматурных стержней, и разрушения поверхностного слоя бетона или замораживание/оттаивание, что способствует сокращению площади поперечного сечения бетона.

Расчетные модели для установления срока службы при воздействии общей коррозии используют при определении времени появления трещин в защитном слое бетона.

Глубину коррозии выявляют с помощью t_d в качестве расчетного времени. После этого подбирают диаметры муфт (хомуты) и другой возможной несущей арматуры. Минимальный начальный диаметр стержней D_{0min} равен двойной толщине коррозии, суммированной с минимальным конечным (после окончания срока службы) диаметром стержня. Минимальный конечный диаметр определяет проектировщик (≥ 0). При этом первоначальный диаметр должен назначаться с учетом стандартов на прокат ($D_0 \geq D_{0min}$).

Глубину разрушения бетона находят, принимая также t_d в качестве расчетного времени. Минимальную толщину защитного слоя бетона C_{0min} рассчитывают как сумму глубины разрушения бетона и минимальной конечной толщины защитного слоя (после окончания срока службы). Минимальную конечную толщину защитного слоя бетона задает проектировщик (≥ 0). Первоначальная толщина защитного слоя бетона C_0 назначается путем округления в большую сторону, при

этом должны учитываться требования норм.

Кроме этого, необходимо выполнить проверку на общую коррозию в целях гарантированного исключения за весь срок службы растрескивания или отслаивания защитного слоя бетона, что привело бы к нарушению сцепления бетона с арматурой. Это можно выполнить с помощью применения расчетных моделей срока службы к процессу общей коррозии при условии назначения в качестве параметров толщины защитного слоя бетона и диаметров арматурных стержней. Вместо арматуры, повышающей сопротивление к образованию трещин и отслаиванию, обычно используют специальные хомуты.

Некоторые параметры из расчета на долговечность могут оказывать влияние на процесс проектирования по прочности. Таким взаимноактивным влиянием будет, например, увеличение размеров поперечного сечения железобетонных конструкций, которое повышает постоянную нагрузку на горизонтально расположенные элементы, что в свою очередь увеличивает воздействие нагрузки как на горизонтальные, так и на вертикальные элементы. При применении комбинированного метода эта фаза может отсутствовать.

Параметры, полученные в процессе проектирования долговечности, фиксируют и затем на стадии окончательного проектирования переносят в расчеты по выбору проектных размеров поперечного сечения элементов.

В окончательном (конечном) проектировании используют метод отдельного проектирования или комбинированного проектирования. При этом методе проектирование по прочности и по параметрам долговечности выполняют отдельно друг от друга.

Результатом традиционного

прочностного расчета (фаза 1) становятся критерии обеспечения прочностной надежности и параметры эксплуатационной пригодности, в то время как в процессе проектирования долговечности (фаза 2) получают параметры долговечности. Обе эти группы параметров затем объединяют в окончательном проектировании конструкции.

В обычных условиях возможную взаимосвязь между параметрами прочностного проектирования и проектирования долговечности не учитывают. Однако в некоторых случаях эта взаимосвязь может существовать, и тогда возникает необходимость увязать параметры прочностных расчетов. Довольно часто встречается случай, когда прочность бетона возрастает со временем, что в свою очередь оказывает влияние на несущую способность конструкций и может снизить размеры поперечного сечения элементов, особенно сжатых.

Предполагается, что размеры поперечных сечений, полученные при традиционном проектировании, представляют собой размеры, необходимые к концу срока службы. Таким образом, эти размеры должны быть увеличены на величины, соответствующие глубине разрушения и коррозии за весь период срока службы.

Глубину разрушения поверхностного слоя бетона суммируют с конструктивными размерами, рассчитанными при традиционном проектировании. Если воздействию деградационных факторов подвергаются две противоположные стороны конструкции, то размеры, найденные при традиционном расчете, увеличивают на двойную глубину разрушения. Окончательный размер получают путем округления в большую сторону.

Диаметры арматурных стержней, полученные с помощью про-

чностного расчета конструкции, увеличивают на двойную глубину коррозии. Окончательный диаметр находят путем округления в большую сторону, учитывая при этом диаметры стандартов на прокат. Проверки m (относительное уменьшение размеров поля безопасности за время от 0 до t_d) не требуется.

В методе комбинированного проектирования прочностной расчет выполняют вновь, принимая во внимание результаты расчета долговечности и требуемую степень безопасности к концу срока службы. Комбинированный метод особенно удобен для тех механизмов деградации, которые непосредственно влияют на несущую способность или на эксплуатационную пригодность конструкций. Кроме того, в некоторых случаях этот метод позволяет использовать меньшие коэффициенты надежности по сроку службы, чем те, которые применяют в методе отдельного проектирования, поскольку m должно проверяться после окончания расчетов. Согласно еврокодам для класса безопасности 2 (критическое состояние) требуемый коэффициент безопасности по окончании срока службы может быть немного меньше, чем при традиционном проектировании.

К основным показателям конструкций относятся их размеры и прочностные характеристики материалов. Именно по ним проверяют выполнение условия:

$$R_d(t_d) - S_d(t_d) \geq 0, \quad (2)$$

где $R_d(t_d)$ – расчетная несущая способность конструкции к концу расчетного срока службы; $S_d(t_d)$ – расчетная нагрузка на конструкцию к концу расчетного срока службы.

Коэффициенты надежности по материалу и нагрузке зависят от класса безопасности. Например, для класса безопасности 1 по еврокодам ($\beta = 3,8$) коэффициен-

Классификация безопасности при проектировании долговечности и соответствующие коэффициенты надежности по сроку службы

Предельное состояние	Класс безопасности при проектировании долговечности	Раздельное проектирование		Комбинированное проектирование	
		Коэффициент надежности			
		по сроку службы γ_t	по нагрузке и материалу	по сроку службы γ_t	по нагрузке и материалу
Критическое предельное состояние	Серьезные социальные, экономические или экологические последствия физического разрушения	3,3	Нормальные*	2,5	Нормальные
	Последствия физического разрушения несерьезны	2,9	Нормальные*	2,2	$\gamma_g = 1,3^{**}$ $\gamma_p = 1,38$ $\gamma_c = 1,4$ $\gamma_s = 1,13$
Предельное состояние по эксплуатационной надежности	Заметные последствия и значительные затраты на ремонт	2,5	—	1,9	—
	Незначительные последствия и затраты на ремонт	1,9	—	1,5	—

* Используют коэффициенты надежности по нагрузкам и материалам из прочностного проектирования.
 ** В проектировании долговечности можно применять пониженные коэффициенты надежности по нагрузке и материалу. Однако надежность в начале срока службы ($t = 0$) должна быть, по крайней мере, такой же, какую требует традиционное проектирование.

ты надежности по материалу и нагрузке выбирают такие же, как и в традиционном проектировании [6, 7]. Для класса безопасности 2 ($\beta = 3,1$) применяют следующие коэффициенты надежности: $\gamma_g = 1,3$; $\gamma_p = 1,38$; $\gamma_c = 1,4$; $\gamma_s = 1,13$.

Обобщенная классификация безопасности при проектировании долговечности и соответствующие коэффициенты надежности по сроку службы для проектирования долговечности железобетонных конструкций [8] приведены в таблице. Кроме того, даны еще и коэффициенты надежности по нагрузкам и материалам.

После решения задачи по определению размеров поперечного сечения элементов конструкции и прочностных характери-

стик материалов нужно выполнить следующие проверки. Условие на ограничение m (относительное снижение коэффициента запаса за период от 0 до t_d лет) выглядит следующим образом:

$$m = \frac{\Theta_0 - \Theta_m}{\Theta_0} \leq 0,7. \quad (3)$$

В данном уравнении Θ представляет собой коэффициент запаса, который определяют по нормативным значениям нагрузок и прочностным характеристикам материалов. Индекс «0» относится к начальному состоянию конструкции, а « m » – к конечному состоянию по прошествии расчетного периода времени t_d . Θ_m получают по окончательному прочностному расчету, назначая коэффициенты надежно-

сти по нагрузке и материалу, равными 1. Θ_0 может быть также найден путем подстановки γ_b равного 0.

Если m больше 0,7, то требуемая надежность, по-видимому, не обеспечена, поскольку принятый в расчетах коэффициент надежности по сроку службы оказался слишком малым для реальной величины m . Возможно также, что прочность запроектированной конструкции получилась намного больше, чем в соответствующем традиционном прочностном расчете.

Для возвращения в фазу 2 с целью внесения изменений в результаты расчета на долговечность может оказаться необходимым удерживать m более низким, чем требуется. Проектировщик должен быть готов ответить на вопрос, нет ли какого-либо способа снизить скорость деградации или как-либо иначе изменить основные предпосылки расчета. Если это невозможно, то прогнозируемый срок службы конструкции может оказаться нереалистичным для предполагаемых условий окружающей среды. В подобных случаях следует рассмотреть возможность снижения заданного срока службы.

Если в окончательном расчете применены пониженные значения коэффициентов надежности по материалу и нагрузке, то нужно выполнить проверку, чтобы размеры поля безопасности Θ_0 и несущая способность R_0 (в начальный период эксплуатации) не были меньше этих же величин, полученных с помощью традиционного прочностного расчета. Если это условие не выполнено, то размеры из традиционного прочностного расчета будут определяющими. Окончательная надежность сооружения никогда не должна быть меньше той надежности, которая получена из традиционного прочностного расчета.

В качестве методов оценки коррозионного состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций, их остаточной несущей способности, эксплуатационной пригодности и ожидаемого срока службы в заданных агрессивных условиях используют методы, изложенные в ГОСТ 31383–2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний» и в ряде зарубежных нормативно-технических документов, а именно:

- коррозионное состояние арматуры оценивают по площади и глубине коррозионного поражения;
- глубину карбонизации бетона определяет эффективный коэффициент диффузии CO_2 в карбонизированном слое бетона;
- глубину проникновения хлорид-иона устанавливают по его диффузионной проницаемости в бетоне;
- сульфатостойкость бетона оценивают по глубине проникновения SO_4^{2-} в бетон и по изменению прочности бетона $R_{\text{сж}}$.

Эти показатели закладываются в расчет прогнозируемого срока службы конструкций и в оценку соответствия нормативному сроку службы.

Задача определения нормативных сроков службы железобетонных конструкций направлена на повышение долговечности и безремонтного срока эксплуатации зданий и сооружений различного назначения классов КС-3 и КС-2 по ГОСТ 27751 и на сокращение затрат при возведении железобетонных конструкций зданий и сооружений с пониженным уровнем ответственности класса КС-1, зданий с малым предполагаемым сроком службы конструкций, а также конструкций, эксплуатируемых при низком уровне воздействия окружающей среды.

Необходимость в определении

(прогнозировании) срока службы возникает и при принятии решения о видах, объемах и времени выполнения работ по усилению, восстановлению и антикоррозионной защите конструкций; о возможности продолжения эксплуатации сохраняемых конструкций на период реконструкции и в новых условиях эксплуатации и тому подобных случаях. Практические способы прогнозирования развития во времени всех признаков, характеризующих состояние железобетонных конструкций, пока до конца не разработаны. Существующие методики позволяют лишь отчасти оценить развитие во времени процесса потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре и изменения несущей способности конструкции. Исчерпание бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре служит определяющим признаком выхода конструкций в рассматриваемый момент времени из I категории состояния (исправное) в одну из последующих категорий (II, III, IV и V) согласно [9]. При этом следует учитывать требования ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Как правило, в литературных источниках и зарубежных нормативных документах рассматриваются два способа определения ожидаемого срока службы — детерминированный и вероятностный. При детерминированном способе используют средние значения величин, входящие в расчетные формулы, в вероятностной постановке обеспеченность принята равной 0,95. При вероятностном способе оценки долговечности по истечении прогнозируемого срока службы железобетонные конструкции должны быть обследованы, после чего решается вопрос о возмож-

ности дальнейшей их эксплуатации без проведения дополнительных защитных мероприятий или о времени проведения, составе и объеме ремонтных работ. По принятой в ряде документов практике эти сроки должны быть указаны в паспорте на здание или сооружение.

Практика по-прежнему остро нуждается в дальнейшем изучении методов проектирования железобетонных конструкций, подверженных воздействию зависящих от времени деградационных процессов. Для оптимизации численных значений коэффициентов надежности по сроку службы необходимы более точные расчеты, направленные на определение разброса срока службы в различных условиях эксплуатации конструкции. Требуемая надежность конструкции в течение ее срока службы и связанная с ней вероятность невыполнения продолжительности требуемого срока службы также подлежат дальнейшему исследованию. Коэффициенты надежности по сроку службы для железобетонных конструкций должны быть согласованы в международном формате и включены в государственные нормы и стандарты.

Методы проектирования долговечности должны применяться также и к специальным типам железобетонных конструкций. Необходимо более глубокое изучение методов проектирования при разных сочетаниях внешнего воздействия на конструкцию. Нужно знать не только «первый уровень» работы поперечного сечения, но и «второй уровень» работы всей конструкции, обращая должное внимание на деформации, протекание арматуры, ее «выпучивание» и т. п.

Без сомнения, многие модели деградации и коррозионных процессов нуждаются в дальнейшей проработке. Точность моделей

следует повышать путем проведения соответствующих полевых и лабораторных исследований. Для некоторых факторов деградации еще только предстоит выполнить полный объем работ по созданию моделей.

Кроме этого, необходимо осуществить дальнейший анализ дополнительных критериев по проблеме предельного состояния срока службы для каждого деградационного процесса и согласовать их в международном формате.

Задача будущих исследований состоит в проведении количественного и качественного анализа различных форм взаимодействия деградационных факторов, а также методов учета подобных взаимозависимых процессов в проектировании по параметрам долговечности.

Для внедрения в практику проектирования по параметрам долговечности инженеры-строители нуждаются в официальном руководстве по проектированию, гармонизированных нормах и стандартах, описывающих эти подходы. Это очень важно для объектов в особо агрессивной среде и для тех сооружений, эксплуатация которых сопряжена с большим экономическим или экологическим риском.

Методология проектирования долговечности открывает большие возможности для ее применения при планировании реконструкции и ремонта существующих сооружений. При этом работоспособность сооружения после проведенного ремонта повышается, и с этого времени начинается отсчет нового периода срока службы. Эти проблемы требуют проведения проектных мероприятий и развития моделей деградации путем выполнения теоретических и экспериментальных исследований по различным типам ремонтных работ, которые сегодня реализуются в Междуна-

родной федерации по конструкционному бетону ФИБ в рамках проекта «Модельный кодекс по проектированию железобетонных конструкций — 2020» [10].

Исследования коррозии бетона в агрессивных средах, прямые связанные с определением срока службы железобетонных конструкций как существующих, так и вновь возводимых зданий и сооружений, должны развиваться на основе углубленного изучения физико-химических процессов которые протекают в цементном камне и бетоне в процессе коррозии [11].

С целью разработки бетонов нового поколения, которые вмещали бы в себе высокую технологичность и физико-механические характеристики с низкой проницаемостью и повышенной стойкостью в агрессивных средах, необходимо выполнить исследования коррозионной стойкости бетонов заданной функциональности с регулируемой пористой структурой и фазовым составом цементного камня. Основная идея таких работ — создание бетонов с микропористой структурой, в которой активную роль играет заряд поверхности пор и капилляров, препятствующий переносу агрессивных веществ в тело бетона. Параллельно должна решаться прямо противоположная задача — придание затвердевшему и старому бетону свойств высокой диффузионной проницаемости с целью насыщения веществами, улучшающими технические характеристики такого бетона, в частности снижающими его капиллярную проницаемость, повышающими защитное действие по отношению к стальной арматуре, морозостойкость и другие показатели.

Помимо развития методов усовершенствованных испытаний бетонов в агрессивных средах необходимо воссоздать в России систему на-

турных испытаний бетонов, для чего в различных климатических районах, и особенно в арктических зонах, нужно обустроить коррозионные станции. На основе результатов испытаний материалов на коррозионных станциях и ранее полученных данных лабораторных и натурных исследований следует создать электронный банк данных о бетонах, стойких в различных условиях эксплуатации, и о сроках службы железобетонных конструкций.

Следует продолжить исследование мало изученных до настоящего времени вопросов биологической коррозии бетонов. Исследования должны включать выявление случаев биологической коррозии бетона, изучение биологических объектов, вызывающих повреждение бетона, изучение механизма коррозионных повреждений, поиск и исследование средств, предупреждающих биологическую коррозию бетона.

В настоящее время наиболее полный технический кодекс в области железобетонных конструкций — Модельный кодекс *fib* 2010 г. [3]. В число основных задач Модельного кодекса как предварительных норм входит обеспечение основы для создания будущих нормативов в области железобетонных конструкций и отражение новых разработок в области железобетонных конструкций, строительных материалов и новых идей для достижения оптимального поведения конструкций. На основе этого кодекса сегодня создается новая версия еврокодов. Несомненно, кодекс может и должен стать основой для разработки отечественных норм проектирования, определяющих нормативные сроки службы бетонных и железобетонных конструкций [12].

Требования к долговечности в Модельном кодексе — 2010 оп-

ределяются рядом соответствующих предельных состояний, где срок службы конструкции заканчивается, когда превышено одно или более из этих предельных состояний. В их числе следующие предельные состояния: связанные с долговечностью, устойчивым развитием, эксплуатацией; по надежности; по конструктивной безопасности при экстремальных воздействиях.

Для обеспечения безопасности зданий и сооружений их эксплуатация должна быть организована в соответствии с требованиями законодательства нашей страны, нормативно-правовых актов органов государственной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления, с учетом нормативных сроков службы бетонных и железобетонных конструкций. Эти конструкции стали базовыми элементами современного индустриального строительства. Именно поэтому разработка основанных на международной практике современных методов проектирования по параметрам долговечности на основе адекватных моделей коррозионных процессов, позволяющих надежно описывать развитие деструктивных процессов во времени, а также использование новых методик и подходов к кодификации и классификации материалов, изделий и конструкций по срокам их эксплуатационной пригодности, которые могут быть интегрированы в BIM-процессы и управление проектами современного строительства по их жизненному циклу, приобретают первостепенную важность.

Выводы

1. Предпринята попытка систематизации всех мероприятий и международного опыта, которые могут быть рекомендованы в целях увеличения и/или назначения рациональных сроков службы железобетонных конструкций

зданий и сооружений с учетом параметров долговечности.

2. Исходя из международной практики и требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в России следует создать общую систему, охватывающую все этапы проектирования, строительства и эксплуатации зданий по всему жизненному циклу.

3. В рамках концепции «устойчивого развития» должен быть реализован подход, связанный, с одной стороны, с увеличением срока службы конструкций в пределах долговечности использованных в них материалов, а с другой — с установлением рациональных сроков службы элементов, восстанавливаемых или заменяемых в эксплуатационный период в соответствии с выбранной стратегией эксплуатации, с обязательным обеспечением ремонтпригодности конструкций.

4. Целесообразно ранжировать нормативные сроки службы конструкций эксплуатируемых зданий в соответствии с их фактическим состоянием и прогнозируемым сроком службы с учетом положений, разрабатываемых в рамках Модельного кодекса ФИБ—2020.

5. Вопрос об установлении рациональных сроков службы конструкций, несомненно, должен решаться путем перехода на их проектирование по параметрам долговечности, хотя необходимая для этого нормативная база и общий согласованный подход к этой проблеме в России в настоящее время отсутствуют.

6. По результатам анализа действующих нормативных документов в области проектирования железобетонных конструкций зданий и сооружений по их жизненному циклу и определению сроков их эксплуатации с учетом требований строительного комплекса по состоянию на

2019 г. и последующие годы в Плане стандартизации необходимо предусмотреть разработку и актуализацию ряда нормативных документов, прежде всего разработку ГОСТ Р ИСО 16204 «Долговечность. Проектирование железобетонных конструкций по жизненному циклу» и свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции. Проектирование на срок службы».

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Постановление правительства РФ от 26.12.2014 г. № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изменениями от 7 декабря 2016 г.).
1. *Postanovlenie pravitel'stva RF ot 26.12.2014 g. N 1521 «Ob utverzhdenii perechnya natsional'nykh standartov i svodov pravil (chastei takikh standartov i svodov pravil), v rezul'tate primeneniya kotorykh na obyazatel'noy osnove obespechivaetsya soblyudeniye trebovaniy federal'nogo zakona "Tekhnicheskii reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy" (s izmeneniyami ot 7 dekabrya 2016 g.)* [The order of the government of the Russian Federation of 26.12.2014 n 1521 "About the approval of the list of national standards and codes of practice (parts of such standards and codes of practice) as a result of which application on the obligatory basis observance of requirements of the Federal law "Technical regulations on safety of buildings and constructions" (with changes of December 7, 2016) is provided.] (In Russian).
2. ISO 16204:2012. Durability – service life design of concrete structures [Долговечность – проектирование бетонных конструкций по жизненному циклу].
3. *fib Model code for concrete structures 2010* [Модельный кодекс ФИБ 2010 года для бетонных конструкций].
4. EN 1990:2002. Eurocode 0. Basis of structural design [Еврокод 0: Основы проектирования конструкций].
5. BS 7543:2015. Guide to durability of buildings and building elements, products and components [Руководство по долговечности зданий и конструктивных элементов, изделий и конструкций].
6. EN 1991:2002–2006. Eurocode 1: Actions on structures [Еврокод 1: Воздействия на конструкции].
7. EN 1992:2004–2006. Eurocode 2: Design of concrete structures [Еврокод 2: Проектирование бетонных конструкций].
8. Durability design of concrete structures [Проектирование бетонных конструкций по долговечности. *Rilem Report*, 1996. Series 14. 155 p.
9. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении. М.: Стройиздат, 1990. 176 с.
9. *Rekomendatsii po obespecheniyu nadezhnosti i dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktсий promyshlennykh zdaniy i sooruzheniy pri ikh rekonstruktsii i vosstanovlenii* [Recommendations for ensuring reliability and durability of reinforced concrete structures of industrial buildings and structures during the reconstruction and restoration]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990. 176 p. (In Russian).
10. Мюллер Х. С., Фернандес-Ордоньес Д. Международная федерация по конструкционному бетону (ФИБ) и инициатива по созданию Модельного кодекса 2020 // Вестник НИЦ «Строительство». 2018. Вып. 1(16). С. 143–158.
10. Mueller H. S., Fernandes-Ordon'es D. International Federation for structural concrete (FIB) and the model code 2020 initiative. *Vestnik NITs "Stroitel'stvo"*, 2018. iss. 1(16), pp. 143–158. (In Russian).
11. Степанова В. Ф., Фаликман В. Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Вестник НИЦ «Строительство». 2014. Вып. 9 (XXXII). С. 87–98.
11. Stepanova V. F., Falikman V. R. Actual problems of structural concrete durability ensuring. *Vestnik NIT. "Stroitel'stvo"*, 2014, iss. 9(XXXII), pp. 87–98. (In Russian).
12. Falikman V. R., Zvezdov A. I. The fib Model code for concrete structures 2010: the role in development and revision of Russian national codes [Модельный кодекс ФИБ 2010 г. для бетонных конструкций: роль в развитии и пересмотре российских национальных норм] *Proc. fib Symposium 2016. "Performance-Based Approaches for Concrete Structures"*, Cape Town, South Africa, pp. 105–106.

Для цитирования: Фаликман В. Р., Степанова В. Ф. Нормативные сроки службы бетонных и железобетонных конструкций и принципы их проектирования по параметрам долговечности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 13–22. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.13-22.

For citation: Falikman V. R., Stepanova V. F. Normative Service Life of Concrete and Reinforced Concrete Structures and Principles of Their Design Based on Durability Parameters. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 6, pp. 13–22. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.06.13-22.