

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗО-БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В. Н. Левченко к.т.н., профессор; В. Ф. Кириченко ст. преп.; Н. В. Боцман; Б. Я. Винокуров
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. Проблемы долговечности привлекают заметное и все возрастающее внимание в строительном мире. Это объясняется тем, что значительная часть зданий, сооружений и объектов инфраструктуры возведена 50-70 лет назад, и они находятся в настоящее время в изношенном состоянии. Многоплановая проблема долговечности железобетонных конструкций зданий и сооружений представляет собой совокупность ряда взаимосвязанных проблем: технологичности, надежности, экономичности, а также экологических аспектов. Ее решение должно осуществляться на основе системного подхода. В то же время в области долговечности еще много неясного; часто рассмотрение ограничивается практическим или даже коммерческим уровнями, и для дальнейшего продвижения необходимо решить ряд назревших проблем. Одна из важнейших – разработка современных методов прогнозирования долговечности или срока службы проектируемых элементов и конструкций. Другой существенной и актуальной проблемой является разработка практических методов повышения долговечности железобетонных конструкций инженерных сооружений, находящихся в эксплуатации. Обеспечение требуемого уровня долговечности и надежности зданий и сооружений в процессе их существования выполняется техническими и организационными методами. В статье изложены общие вопросы и современное состояние данной проблемы, включая основные положения проектирования долговечности железобетонных конструкций, существующие методы ее оценки, понятия и критерии, связанные с долговечностью.

Ключевые слова: долговечность, надежность, корреляция, моделирование, безотказная работа, деградация.



*Левченко
Виктор Николаевич*



*Кириченко
Владимир Федорович*



*Боцман
Наталья Владимировна*



*Винокуров
Богдан Яковлевич*

В настоящее время в развитии практики теории оценки долговечности и в вопросах аналитических подходов прогнозирования срока службы железобетонных конструкций сложилось несколько основных направлений.

Общий метод, который является в широком смысле экспертной оценкой; он основан на коллективном опыте и знаниях, полученных на базе лабораторных и производственных испытаний конструкций и материалов, а также специальных исследований [6].

При выборе железобетонных конструкций обычно учитываются эмпирические зависимости между проектными параметрами железобетонных конструкций и их качеством, контролируемым по результатам лабораторных, заводских и натуральных испытаний и опыта эксплуатации.

Данный подход допускает, что отобранная железобетонная конструкция будет иметь ожидаемый срок службы, так как предполагается, что если конструкция выполнена в соответствии с требованиями норм и стандартов, то ее требуемый срок эксплуатации будет обеспечен.

Такой метод обеспечивает соответствие между теорией и практикой лишь в тех случаях, когда срок службы конструкции невелик или если условия окружающей среды не являются агрессивными по отношению к материалу конструкции.

Метод прогнозирования, основанный на сравнении эксплуатационного качества. Он построен на предположении, что если железобетонная конструкция была долговечной для определенного времени, то

аналогичная конструкция, находящаяся в подобных условиях, будет иметь тот же срок службы. Ограниченность метода состоит в том, что любая железобетонная конструкция обладает определенной уникальностью из-за вариаций свойств материалов, геометрий и конкретной практики строительства или изготовления. Кроме того, составы бетонных смесей и свойства применяемого бетона или арматуры не остаются неизменными во времени. Поэтому сравнение между долговечностью известных старых и проектируемых новых аналогичных железобетонных конструкций не всегда приводит к достоверным результатам. Сроки службы однотипных конструкций, эксплуатируемых примерно в одинаковых условиях, могут отличаться друг от друга на целый порядок [5].

Другие подходы к отбору железобетонных конструкций основаны на прогнозировании срока службы, используя расчеты, построенные на знании деградационных механизмов и скорости деградационных процессов.

Ускоренные испытания. В тех случаях, когда нет опыта и знаний в отношении сопротивления воздействиям для новых материалов или конструкций, проводятся ускоренные возрастные испытания. Чтобы оценить срок службы новых материалов или конструкций, было сделано допущение, что число циклов ускоренных испытаний несет некоторый вид в зависимости от срока службы в реальных условиях.

Важное требование для использования ускоренных испытаний состоит в том, что деградационные механизмы в них должны быть такими же, как и при эксплуатации.

Если деградационный процесс при соответственной пропорциональной скорости деградации одного и того же механизма одинаков для ускоренных по времени испытаний и долговременных испытаний в эксплуатационных условиях, коэффициент ускорения K может быть получен из:

$$K = R_{AT} / R_{CT} \quad (1)$$

где: R_{AT} — скорость деградации в ускоренных испытаниях; R_{CT} — скорость деградации при долговременных испытаниях в эксплуатационных условиях [6].

Наибольшей трудностью в использовании такой методики прогнозирования срока службы является получение обеспеченных данных о параметрах эксплуатационного значения за длительный отрезок времени, что приводит к необходимости развивать зависимости, выраженные через K .

Метод получил приложение к оценке долговечности конструкций при действии на них только отдельных факторов, например, отрицательных температур. Долговечность образца при ускоренных испытаниях t' к сроку службы железобетонной конструкции t определяется как:

$$t_i = kt', \quad (2)$$

где k — постоянная.

В ускоренных испытаниях на морозостойкость при циклическом замораживании и оттаивании количественная оценка долговечности может быть выраже-

на в терминах номера цикла замораживания и оттаивания, при котором достигается заданный уровень повреждений. Тогда срок службы конструкции может быть оценен как:

$$t_i = k_e N, \quad (3)$$

где k_e — коэффициент, зависящий от условий окружающей среды; N — число циклов замораживания и оттаивания, вызывающих требуемый уровень повреждений лабораторного образца.

Методы математического моделирования, основанные на физике и химии деградационных процессов. Ключевым вопросом здесь является значение закономерностей снижения эксплуатационного качества, то есть изменения основных свойств материалов и характеристик конструкций. В рамках детерминированного подхода для оценки долговечности получил развитие диаграммный метод расчета сечений железобетонных элементов, в котором используются трансформированные значения главных параметров диаграмм деформирования бетона и арматуры [1].

Методы, в которых используются практические приложения теории надежности и методов математической статистики. Одним из подходов при разработке расчетных моделей долговечности является оценка условной надежности, при которой характеристики прочности сечений и действующие на конструкцию нагрузки рассматриваются как случайные величины. При этом снижение несущей способности в период эксплуатации конструкции условно заменяется понятием статистической изменчивости расчетных параметров.

В соответствии с другим подходом, вероятность безотказной работы в период эксплуатации подчиняется статистическим закономерностям, характерным для данного объекта. Они должны быть найдены по результатам статистической обработки большого объема информации об эксплуатационных отказах изучаемых объектов. Основным препятствием в реализации данного подхода является ограниченность объема информации об отказах.

Современными задачами здесь являются: а) надежность при износе; б) долговечность железобетонных конструкций в реальных условиях.

Одним из методов данной группы является метод расчета долговечности железобетонных конструкций с использованием коэффициента надежности по сроку службы. Следует заметить, что реальная безопасность и долговечность могут быть несколько иными, чем те, которые определены в рамках теории надежности и вероятностных методов, так как крупные ошибки проектирования и другие причины нестатистического характера требуют иных подходов.

Методы механики разрушений. В последние 10-15 лет проявилась новая тенденция в оценке долговечности железобетонных конструкций, в основе которой лежат практические аспекты механики разрушений и метода конечных элементов (МКЭ) [1].

Методы строительной механики железобетонных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой. Этот раздел теории конструкций, работающих в агрессивных средах, включает в себя приложение

аналитических методов механики сплошного тела к задачам сопротивления железобетонных конструкций коррозионным воздействиям, особенно в тех случаях, когда не удастся выявить общую схему разрушения конструкции, и когда возможности метода предельных состояний ограничены.

Рассмотренная классификация основных подходов к оценке долговечности является неполной и в известной степени условной, поскольку они часто применяются в сочетании, но общим является то, что концепциями расчета в них предусмотрен прямой учет фактора времени. Развитие расчетного аппарата для оценки долговечности и продолжительности эксплуатации с использованием количественных показателей прогнозируется на основе энергетических представлений механики деформирования и разрушения конструкций, теории накопления повреждений и деградационных функций с учетом комплексного характера силовых и несиловых воздействий, управления ресурсом конструктивной безопасности.

При любых, даже самых совершенных технических решениях, вероятность отказа конструкций и оборудования всегда остается. Предотвратить отказы или сделать их последствия минимальными, призваны организационные методы обеспечения надежности.

Организационным обеспечением надежности зданий и сооружений занимаются эксплуатационные службы, выполняющие две основные задачи [3]:

- выявление первых признаков возникновения отказа конструкций или оборудования и предотвращение его дальнейшего развития;
- снижение предупредительными мероприятиями (плановые ремонты, техническое обслуживание и т.п.) вероятности возникновения отказов.

При возникновении неисправности в конструкции или оборудовании здания значения их эксплуатационных параметров отклоняются до величины R_1 , которая выходит за пределы допустимых значений. Информация о нарушении появится у эксплуатационной службы через время t_1 . Для выявления причин неисправности, ее оценки и принятия решения по ней требуется время t_2 . На выполнение действий по устранению неисправности затрачивается время t_3 , определяемое свойствами ремонтпригодности объекта. После завершения восстановительных работ для приведения отклонившегося параметра в исходное состояние требуется время t_4 , обусловленное технической инерцией объекта. Таким образом, период существования неисправности определяется по формуле:

$$T_{\text{неисп}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (4)$$

Время прохождения информации о неисправности зависит от субъективных факторов и технического решения объекта. Время же выявления причин возникновения неисправности и выработки плана действий по ее ликвидации, а также время устранения неисправности зависит от эксплуатационной службы. В конкретных условиях у эксплуатационного персонала существуют определенные возможности по восприятию информации о неисправности и принятию

управляющего решения $t_{2\text{min}}$, а также по выполнению ремонта $t_{3\text{min}}$. При этом время существования неисправности станет минимальным при выполнении следующего условия:

$$T_{\text{неисп. min}} = t_1 + t_{2\text{min}} + t_{3\text{min}} + t_4 \quad (5)$$

Не всегда, получив информацию о наличии неисправности, эксплуатационный персонал немедленно начинает заниматься ее устранением. В этом случае, если неисправность вызывает не скачкообразное, а постепенное отклонение параметров объекта, до наступления отказа объекта через время $T_{\text{от}}$ его можно предотвратить. Для этого в момент времени i_x эксплуатационный персонал должен оперативно (за время $t_{3\text{min}}$) выполнить ремонтные работы и не допустить возникновения отказа. Если описанная ситуация возможна, то это означает, что имеется некоторый избыток времени (резерв времени) над минимально необходимым, который определяется по формуле:

$$T_{\text{рез}} = T_{\text{от}} - T_{\text{пез}} = T_{\text{от}} - (t_1 + t_{2\text{min}} + t_{3\text{min}} + t_4) \quad (6)$$

Показатель резервного времени учитывает одновременно как внешние, так и внутренние ограничения эксплуатационного персонала, т.е. позволяет соотносить предъявляемые требования с возможностями эксплуатационной службы.

Вероятность безотказной работы является функцией времени. Чем дольше объект находится в эксплуатации, тем больше вероятность того, что произойдет отказ в его работе. Заблаговременное проведение планово-предупредительных замен конструкций или их элементов до момента возникновения отказа повышает вероятность безотказной работы, но влечет за собой увеличение эксплуатационных затрат (рис. 1). Найти приемлемое соотношение между требуемым уровнем надежности объекта и материальными затратами, связанными с ее обеспечением, можно посредством разработки оптимальной стратегии выполнения ремонтов.

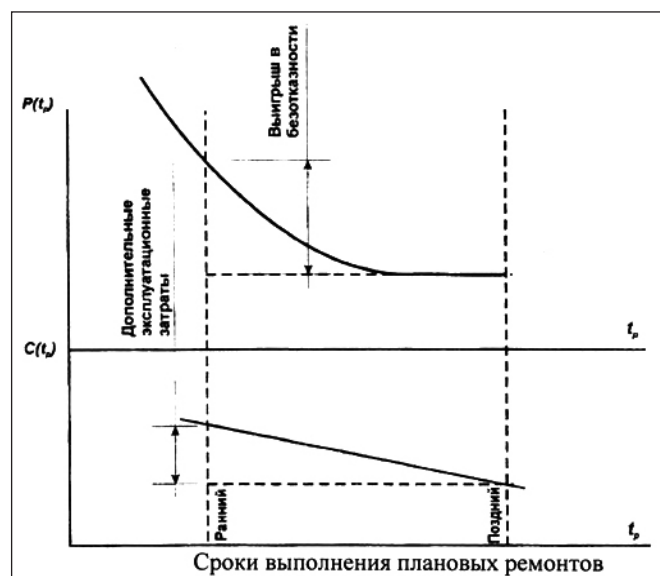


Рис. 1. Зависимость между выигрышем в надежности и материальными затратами на его достижение при предупредительной замене конструкций

Критериями оптимальной стратегии выполнения ремонтов служат частота возникновения отказов и экономический показатель. Суммарные материальные затраты, связанные с возникновением и существованием отказа, с мероприятиями по его предупреждению и ликвидации, отнесенные к единице времени, называются интенсивностью эксплуатационных затрат [3].

Для каждой конструкции существует некоторый предельный уровень частоты отказов $I_{отказов}$, который должны обеспечить эксплуатационные службы. Обеспечить допустимый уровень частоты отказов можно за счет изменения периода проведения плановых замен конструкции или ее элементов. Ожидаемая частота отказов при периодических плановых заменах конструкции рассчитывается по формуле:

$$I_{от} = (\pi/4) \cdot (T_{пл}/T_{ср}^2), \quad (7)$$

где $T_{пл}$ – назначаемая периодичность проведения плановых замен конструкции (или ее элементов);
 $T_{ср}$ – средний срок службы конструкции.

Задача обеспечения требуемого уровня частоты отказов сводится к выполнению неравенства:

$$I_{от} \leq I_{дон}. \quad (8)$$

Отсюда определяется периодичность проведения плановых замен конструкции:

$$T_{пл} \leq ((\pi/4) \cdot I_{дон}) \cdot T_{ср}^2. \quad (9)$$

Любой межремонтный период, удовлетворяющий приведенному неравенству, является приемлемым с точки зрения обеспечения надежности конструкции. Далее решается экономическая задача: из всех возможных межремонтных периодов, удовлетворяющих условию обеспечения надежности конструкции, выбрать тот, при котором интенсивность эксплуатационных затрат наименьшая. Для решения этой задачи строится график зависимости интенсивности эксплуатационных затрат от межремонтного периода конструкции, по которому определяется наименьшее значение функции. Это значение ординаты и будет соответствовать оптимальному межремонтному периоду.

ВЫВОД

Железобетонные конструкции имеют конечный срок службы, так как они значительно подвержены физическим, химическим и механическим изменениям, следствием которых является их деградация и уменьшение их способностей выполнять требуемые функции.

Ключевым в области долговечности является вопрос о прогнозировании срока службы новых железобетонных конструкций, который рассматривается как параметр более гарантированный, чем долговечность. На детерминистском и вероятностном уровнях разработаны отдельные методологии, однако в целом проблема прогнозирования срока службы еще находится в стадии развития; отсутствуют системный подход и стандартные модели для оценки долговечности и прогнозирования срока службы.

В расчете на надежность и долговечность железобетонных конструкций нет единого общепринятого подхода, а теория расчета железобетонных конструкций, взаимодействующих с агрессивной и другими типами сред, еще далека от окончательного решения. По-видимому, в этих условиях перспективным и приемлемым подходом для прогнозирования срока службы железобетонных конструкций зданий и сооружений, основанным на знании деградационных механизмов и скорости деградационных процессов, является использование математических моделей в детерминистской и стохастической постановке и ускоренные испытания.

Список литературы

1. Пухонто, Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) / Л. М. Пухонто. – Москва : Издательство АСВ, 2004. – 419 с. – Текст : непосредственный.
2. Райзер, В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций / В. Д. Райзер. – Москва : Стройиздат, 1995. – 352 с. – Текст : непосредственный.
3. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский Промстройинипроект. – Москва : Стройиздат, 1990. – 176 с.
4. Чирков, В. П. Надежность и долговечность железобетонных конструкций зданий и сооружений / В. П. Чирков. – [Текст : непосредственный] // Российская архитектурно-строительная энциклопедия, 1998. – Том V. – С.86-177.
5. Clanvil, I. Prediction of Concrete Durability / I. Clanvil, A. Neville, G. Sommerville. – London : EFN Spon, 1996. – 208 p. – Текст : непосредственный.
6. Clifton, P. I. Preheating the life of concrete / P. I. Clifton. – [Текст : непосредственный] // ACI. Materials Journal, 1993. – No. 6. – P. 611-617.