

Окончание таблицы 1

Конструктивные элементы	Регрессионная зависимость*	F-статистика Фишера	P-Value
<i>Условия открытой атмосферы</i>			
Колонны	$P_k = 7,33 + 1,75t$	33,2867	0,00042
Стропильные фермы (балки)	$P_{сп} = 13,8 + 1,99t$	125,016	3,67E-06
Стеновые панели	$P_{ст} = 7,68 + 1,52t$	77,8476	2,14E-05
Плиты покрытия	$P_{пл} = 21,0 + 1,70t$	23,8789	0,001214

* P_k , P_b , $P_{сп}$, $P_{пл}$ – прогнозные значения поврежденности соответственно колонны (стоечной части полурам), балок (балочной части полурам), стеновых панелей, плит покрытия, %

Проверка значимости полученных регрессионных зависимостей для различных типов ЖБЭ показала, что предлагаемые модели адекватны, поскольку параметр P-Value $\ll 0,05$ – уровня значимости, принятого в инженерной практике.

Выполненный анализ повреждений ЖБЭ, эксплуатировавшихся различные сроки в разных воздушных средах, показал, что за длительный период эксплуатации коррозионным повреждениям бетона и стальной арматуры различной степени опасности подвержены практически все элементы. По результатам исследований их доля в длительно эксплуатируемых ЖБЭ составляет до 90 %.

Предложенные зависимости могут быть использованы для укрупненного прогнозирования поврежденности различных типов ЖБЭ и ЖБК как на стадии проектирования, так и эксплуатирующихся в различных атмосферных средах при их общем и детальном обследованиях.

Список литературы

- 1 Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М. : Готика, 2001. – 684 с.
- 2 Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.] // Совм. Изд. СССР – ЧССР – ФРГ. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.

УДК 624.012.45/46

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

С. В. ДАШКЕВИЧ

«Дойче Бан Инжениринг & Консалтинг GmbH филиал Вильнюс», Литва

Искусственные сооружения (ИССО) являются неотъемлемой частью железнодорожного пути. Несмотря на то, что их доля по протяженности в среднем менее 1,5 % от общей длины путей, их стоимость составляет почти 10 % пути. Это обуславливает необходимость проектирования ИССО на длительные эксплуатационные сроки. Повсеместное использование железобетона (до 90 % элементов) при устройстве ИССО в значительной степени определяет долговечность пути и его безопасную эксплуатацию.

Железобетонные конструкции (ЖБК) ИССО при длительной эксплуатации подвергаются воздействию различных по характеру и степени действия нагрузок: по степени агрессивности эксплуатационных сред, температурно-влажностных деформаций, других внешних и внутренних факторов, поэтому проблема долговечности, оценки ресурса ЖБК ИССО очень сложна. Ее корректная постановка требует учета изменчивости материалов и нагрузок во времени, чувствительности к деградации конструктивной формы сооружения, условий строительства и эксплуатации, социально-экономических требований. Задача оценки ресурса ИССО как на этапе проектирования, так и в процессе эксплуатации всегда была наименее изученной в теории сооружений, в то же время – наиболее значимой в социально-экономическом плане. Сегодня, в условиях весьма ограниченного финансирования системы эксплуатации, стратегическое планирование финансирования отрасли должно опираться на как можно более реалистичный прогноз технического состояния ИССО.

В настоящее время проблема прогнозирования сроков службы ИССО решается несколькими направлениями [1], к основным из которых относятся:

1 **Общепринятый метод**, являющийся, по сути, экспертной оценкой, основанной на коллективном опыте и знаниях, полученных на базе лабораторных и производственных испытаний конструкций и материалов, а также специальных исследований. Данный подход допускает, что принятая ЖБК будет иметь ожидаемый срок службы, так как конструкция выполнена в соответствии с требованиями норм и стандартов. Такой метод достаточно надежен в тех случаях, когда срок службы конструкции невелик либо агрессивность эксплуатационной среды не изменяется во времени. Однако он не дает качественного прогнозирования срока службы ЖБК, если срок их эксплуатации превышает пределы опыта, либо применены новые виды бетона и арматуры, а информация о возможной длительности их применения ограничена.

2 **Метод прогнозирования**, основанный на сравнении эксплуатационных качеств. Он построен на предположении, что если ЖБК 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 примененных материалов, конкретной практики изготовления (строительства), а также нагрузок и эксплуатационной среды. Поэтому сравнение между долговечностью известных старых и проектируемых новых аналогичных ЖБК не всегда приводит к достоверным результатам. Сроки службы однотипных конструкций, эксплуатируемых даже примерно в одинаковых условиях, могут отличаться друг от друга на целый порядок.

Методы, основанные на прогнозировании срока службы при использовании расчетов, построенных на знании деградационных механизмов и скорости деградационных процессов:

1 **Метод ускоренных испытаний**. В случаях отсутствия достаточного опыта в отношении сопротивления воздействиям для новых материалов или конструкций, проводятся ускоренные возрастные испытания. Сравнивая скорость изменения эксплуатационного качества материала при испытаниях с тем же параметром, полученным при долговременных испытаниях в реальных условиях, можно оценить срок службы новых материалов или конструкций. Наибольшей трудностью в использовании такой методики прогнозирования срока службы является получение обеспеченных данных о параметрах эксплуатационного значения за длительный отрезок времени.

2 **Методы математического моделирования**, основанные на законах физики и химии деградационных процессов. Ключевым вопросом здесь является получение закономерностей снижения эксплуатационного качества, то есть изменения во времени в зависимости от эксплуатационных условий 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.

3 **Методы**, в которых используются практические приложения теории надежности и методов математической статистики. Одним из них 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.

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.

5 **Методы строительной механики ЖБК**, взаимодействующих с агрессивной средой. Этот раздел теории конструкций, работающих в агрессивных средах, включает в себя приложение аналитических методов механики сплошного тела к задачам сопротивления ЖБК коррозионным воздействи-

ям, особенно в тех случаях, когда не удается выяснить общую схему разрушения конструкции и когда возможности метода предельных состояний ограничены.

Приведенные основные методы и подходы к оценке долговечности ЖБК ИССО достаточно условны, поскольку они часто применяются в сочетании, но общим является то, что концепциями расчета в них предусмотрен прямой учет фактора времени. Их развитие 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.

Железобетонные конструкции ИССО имеют конечный срок службы, так как они значительно подвержены физическим, химическим и механическим воздействиям, следствием которых являются деградационные процессы, приводящие к невозможности их длительной эксплуатации в соответствии с функциональным назначением. В настоящее время на детерминистском и вероятностном уровнях разработаны отдельные методики, однако в целом проблема прогнозирования срока службы ЖБК ИССО еще находится в стадии развития; отсутствуют системный подход и стандартные модели для оценки долговечности и прогнозирования их срока службы. В этих условиях перспективным и приемлемым подходом для прогнозирования срока службы ЖБК ИССО, основанным на знании деградационных механизмов и скорости деградационных процессов, является использование математических моделей в детерминистской и стохастической постановке [2].

Список литературы

1 Основные положения проектирования долговечности железобетонных конструкций и сооружений / В. Н. Левченко [и др.] // Вестник ДонНАСА «Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства», Вып. 2016-6 (122) – С. 43–51.

2 Васильев, А. А. Химический анализ бетона – основа оценки долговечности бетонных и железобетонных элементов искусственных сооружений / А. А. Васильев, С. В. Дашкевич // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 75–76.

УДК 624.01/04.004.6

АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СТРАН СНГ В ПЕРИОД С 2001 ПО 2015 гг.

А. В. ВИТОВТОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Строительная авария представляет собой внезапное неконтролируемое разрушение объекта строительства либо его части, происходящее в процессе его (ее) строительства или эксплуатации. Такое разрушение представляет собой возникшие по техногенным (конструктивным, производственным, технологическим, эксплуатационным) причинам или из-за природно-климатических воздействий (землетрясение, ветровой напор, снеговая нагрузка), интенсивность которых не превышала расчетных нагрузок, обрушения и повреждения здания, сооружения, их частей или отдельных конструктивных элементов, при которых отмечается в конструктивных элементах превышение предельно допустимых деформаций, угрожающих безопасному ведению работ и повлекших приостановку производства или эксплуатации объекта, и (или) причинение телесных повреждений, и (или) гибель одного и более человек.

Аварии строительных конструкций зданий и сооружений наносят значительный экономический ущерб и часто сопровождаются ранением и гибелью людей. Происходят аварии строительных конструкций обычно из-за совокупности причин: ошибок при проектировании, низкого качества материалов, используемых для несущих конструкций, нарушения технологии изготовления и монтажа строительных конструкций, несоблюдения правил эксплуатации зданий и сооружений.

Аварии строительных конструкций можно предвидеть и устранить предвестники на раннем этапе. Если своевременно заметить признаки приближающейся аварии, то можно вовремя принять профилактические меры: вывести людей из опасной зоны, произвести разгрузку аварийной конструкции, установить временные крепления и т. п. Поэтому так важно инженерно-техническому персоналу строительных и эксплуатационных организаций знать признаки аварийного состояния конструкций.