

Л.В. Янковский

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТА УРАЛА И СИБИРИ

Рассмотрены актуальные предпосылки изучения оценки состояния цементобетонных конструкций, эксплуатирующихся в реальных изменяющихся климатических условиях Урала и Сибири. Предложен метод прогноза остаточного ресурса и долговечности цементных бетонов.

Ключевые слова: оценка состояния, цементобетонные конструкции, воздействие климата, остаточный ресурс, бетон, долговечность, срок службы.

Систематическое воздействие изменяющихся параметров реальной климатической среды северных территорий на бетон конструкций способствует развитию микро- и макродефектов в бетоне, что приводит к снижению долговечности конструкций или сооружений (рис. 1).



Рис. 1. Цементобетонное покрытие дороги треснуло!

Неблагоприятное воздействие климата на бетон должно быть учтено, особенно при проектировании и эксплуатации конструкций и сооружений (транспортные, гидротехнические и др.), к которым предъ-

являются повышенные требования с точки зрения эксплуатационной надежности. В связи с этим необходимо тщательно изучать изменения структуры и свойств цементных бетонов в суровых климатических условиях.

Объем уже построенных и эксплуатирующихся в условиях воздействия климата сооружений из бетона и железобетона значителен и растет с каждым годом и, соответственно, растет объем ремонтно-восстановительных работ, требующих вложения значительных средств (рис. 2).



Рис. 2. Ремонт цементобетонной автомобильной дороги

Одной из важнейших проблем строительной отрасли РФ является повышение эксплуатационных качеств зданий и сооружений из бетона и железобетона и увеличение их срока службы. Срок службы может быть существенно продлен использованием различных технологий, добавок в бетоны, выбор и обоснование которых должны базироваться на результатах детальных обследований состояния бетона конструкций и сооружений и прогнозировании развития различных видов разрушений.

Последствия длительного воздействия северного климата на структуру и свойства бетонов, приготовленных по традиционным и новым технологиям, изучены недостаточно полно. Нормативного расчета долговечности цементобетона напрямую вообще не существует. Обычно рассчитывают морозостойкость, которая является основным нормируемым показателем качества бетона, предопределяющим

долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях попеременного замораживания – оттаивания в водонасыщенном состоянии [1, 2].

Для разработки экономически рациональной стратегии сохранности, содержания и ремонта конструкций и сооружений из бетона и железобетона необходима также оценка их остаточного ресурса на текущем этапе эксплуатации. Эффективность любой системы управления состоянием зданий и сооружений определяется достоверностью прогнозирования изменений состояния и процесса разрушения цементного бетона. Именно поэтому совершенствование методов оценки остаточного ресурса и долговечности цементных бетонов является актуальной задачей строительной отрасли.

Целью работы является исследование особенностей изменения характеристик свойств и структур различных бетонов при длительном (18–34 месяца) воздействии природной климатической среды, выявление комплекса характеристик, достаточно полно описывающих состояние бетона. Разработка теоретических основ и методов оценки состояния, определения остаточного ресурса и прогнозирования долговечности цементных бетонов, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата Урала и Сибири.

Научная новизна состоит в создании и реализации принципиально нового комплексного подхода к оценке остаточного ресурса бетона конструкций и сооружений, эксплуатируемых в условиях воздействия реального климата, который основан на применении теоретических методов моделирования накопления повреждений цементного бетона с учетом реального состояния, выявленного экспериментально на текущем этапе эксплуатации.

Достоверность теоретических решений определяется математической строгостью и обоснованностью применения методов теории распознавания образов, использованием подходов теории надежности при разработке математических моделей, сопоставлением расчетных характеристик с экспериментальными данными, полученными в натуральных условиях, а также в исследованиях других ученых. Достоверность получаемых результатов обеспечена также статистическим анализом и многократной проверкой результатов испытаний, корректным применением современных методов исследований (химических, рентгенографических и дифференциально-термических анализов).

В большом количестве работ советских и российских ученых рассматривались вопросы негативного влияния климата, но только на некоторые физико-механические свойства бетонов и состояние их структур. В большинстве случаев исследователи ограничивались изучением характеристик свойств и структуры бетона в период становления его структуры. Значительная часть исследований проводилась в лабораторных условиях. Бетоны при этом подвергались воздействию различных сред, имитирующих природные условия климата. Параметры имитирующей среды отражали мнение исследователя об определяющем факторе негативного воздействия на бетон.

Твердение бетона под воздействием окружающей среды – сложный противоречивый процесс, в котором упрочнение и разупрочнение материала протекают параллельно, накладываясь друг на друга. В благоприятных условиях преобладают процессы структурообразующие, в неблагоприятных – деструктивные. Закономерность изменения параметров климата довольно сложна для моделирования, поэтому исследователи пошли по пути выделения одного или нескольких климатических факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на свойства бетона.

Анализ практикуемых способов моделирования воздействия климатических факторов выявил отсутствие единства мнений об определяющем параметре. Данные анализа свидетельствуют о несопоставимости результатов исследований изменения свойств бетона под воздействием имитационных сред. Оценка сопротивляемости бетона воздействию климата производится с помощью различных критериев, основанных на изменении их под влиянием климата или имитационной среды в сопоставлении с аналогичными характеристиками бетонов нормального твердения. Однако научного обоснования доминирования этих критериев не приводится.

Существующие в настоящее время методы оценки долговечности бетонов основаны на установлении зависимости между долговечностью образцов, испытываемых в лабораторных условиях, и значениями каких-либо физико-химических или физико-механических характеристик материала. Оценка эксплуатационной пригодности бетона по одной его характеристике, в случае воздействия климата, является неполной, так как сложный процесс образования и развития дефектов бетона при нестационарном воздействии реальной среды требует оценки по нескольким свойствам, отражающим различные стороны этого процесса.

Стремясь получить более полную информацию об изменениях, происходящих в бетоне под воздействием климатической среды, исследователи увеличивают число изучаемых характеристик свойств бетона и переходом к изучению характеристик структуры. Увеличение количества изучаемых характеристик свойств и структуры бетонов, твердевших или испытывающих воздействие климата, позволяет получить более полные данные об изменениях бетона под воздействием климата, но создает затруднения при сопоставлении экспериментальных данных различных исследователей и практически не решает вопросов, связанных с оценкой сравнительной информативности этих характеристик.

Исследованиями НИИЖБ и МИСИ установлено, что процессы разрушения бетона при различных циклических воздействиях сред можно анализировать с единых позиций. Для прогноза стойкости могут быть использованы как характеристики макроструктуры, так и показатели микроструктурного уровня. Высказано мнение, что при переходе от начальных этапов разрушения к конечным прогноз стойкости с помощью только микроструктуры существенно ограничивает его точность.

Анализ критериев оценки стойкости бетонов в условиях воздействия климата показывает тенденцию исследователей к поиску наиболее информативного отклика системы (бетона) на возмущающий сигнал (воздействие климата). Установлено, что деструкция бетона под воздействием климата представляет собой физический процесс постепенного повреждения структуры, что не исключает возможности прогнозирования деструкции во времени. Причем оценку стойкости, характеристики свойств и структуры бетона и показателей среды необходимо анализировать в комплексе. Наименее исследованным является процесс образования трещин и накопление повреждений, а также выбор характеристик свойств и структуры, достаточно полно характеризующих изменения, происходящие в бетоне под воздействием климатической среды.

Анализ состояния вопроса показал, что результаты выполненных до настоящего времени исследований еще не дают возможности сделать достаточно надежные обобщения и предложить рекомендации по оценке и прогнозированию долговечности бетона, испытывающего негативное воздействие климата.

Отсутствие единой методики проведения исследований и критерия оценки состояния бетона, испытывающего негативное воздействие природных условий климата, затрудняет сопоставление эксперимен-

тальных данных различных исследователей. Недостаточно полно изучены также последствия воздействия природного климата на бетоны с пластифицирующими добавками, в частности высокоэффективного пластификатора ПЯ-01.

Рядом исследователей установлено, что действие параметров климата приводит к сбросу структурных напряжений, уменьшению трещиностойкости и темпов роста прочности во времени бетонов с добавками, что не исключает снижение долговечности бетонов, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата, при использовании добавок. Следовательно, дальнейшее изучение последствий воздействия природной климатической среды на бетоны с добавкой ПЯ-01 и разработка метода оценки и прогнозирования состояния бетонов, испытывающих негативное воздействие климата, представляет значительный научный и практический интерес.

Автором были рассмотрены предпосылки теории оценки и прогнозирования состояния цементных бетонов, обосновано применение прогностической терминологии, уточнен объект прогнозирования. Доказана целесообразность рассмотрения объекта одновременно с «прогноznым фоном», что предопределило использование принципа системности, требующего взаимосвязанности и соподчиненности прогнозов объекта прогнозирования, прогнозного фона и их элементов. Бетон в конструкции или сооружении представлен в виде интерактивной системы, которая характеризуется метастабильными состояниями, сменяющимися друг друга случайным образом. Эти состояния могут самопроизвольно существенно удаляться от равновесного состояния.

Возможна также эволюция состояний бетона под внешним воздействием на фоне внутренних процессов, вопреки понятию «энтропия» от хаоса к порядку и усложнению структур, вплоть до самопроизвольного «самозалечивания дефектов» и протекания структурообразующих процессов. В процессе своей эволюции они самопроизвольно переходят из-за износа, перегрузок, экстремальных воздействий климата и т.д. от субкритического к критическому и суперкритическому состоянию, стремясь к разрушению. Доказано, что прогнозирование долговечности бетона в конструкции или сооружении возможно, но при этом необходима разработка достаточно информативного метода определения состояний системы.

Произведен выбор параметров для описания состояния бетона. Связь между изменениями отдельных характеристик бетона под воздействием климата установлена в виде матрицы парных коэффициен-

тов корреляции, использование которых позволило выявить аналитические связи между характеристиками. Анализ корреляционных зависимостей методом корреляционных плеяд и более точным методом Лумельского позволил произвести группировку параметров. Компонентным анализом экспериментальных данных доказано, что различного вида бетоны могут рассматриваться с единых позиций, при этом следует учитывать начальное состояние бетона. При изучении свойств бетона в условиях воздействия климата бетоны изделий могут заменяться бетонами образцов. На основе оценки информативности подсистем признаков доказано, что состояния бетонов достаточно полно описываются (информативность от 79,6 до 86,7 %) относительными изменениями значений трех характеристик R_b , R_{crc}^0 , W .

Установлено, что состояния бетона в различных возрастах можно сопоставлять с помощью угла между векторами, описывающими состояния в n -мерном пространстве признаков. Закономерность накопления повреждений принята в виде

$$\frac{t_1}{T} + \frac{t_2}{T} + \dots + \frac{t_{i-1}}{T} + \frac{t_i}{T} \leq 1 \text{ или } \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{T} \leq 1,$$

где t_i – время воздействия климата на бетон к моменту определения повреждения i (текущего состояния); T – полное возможное время воздействия климата для достижения бетоном состояния, принятого за предельное.

Поврежденность бетона под воздействием климата представлена изменением угла между векторами, описывающими состояния изучаемого бетона и бетона в предельном состоянии. Прогнозирование долговечности бетона можно осуществлять по формуле

$$T = \frac{\frac{\pi}{2} t_i}{\frac{\pi}{2} - \varphi},$$

где φ – угол между векторами, описывающими состояния бетона.

Точность прогнозирования становится вполне приемлемой, при определении текущего состояния после воздействия климата в течение одного года и более.

Показано также изменение абсолютной величины определяемой долговечности в зависимости от времени воздействия климата на изучаемый бетон к моменту определения его текущего состояния (рис. 3).

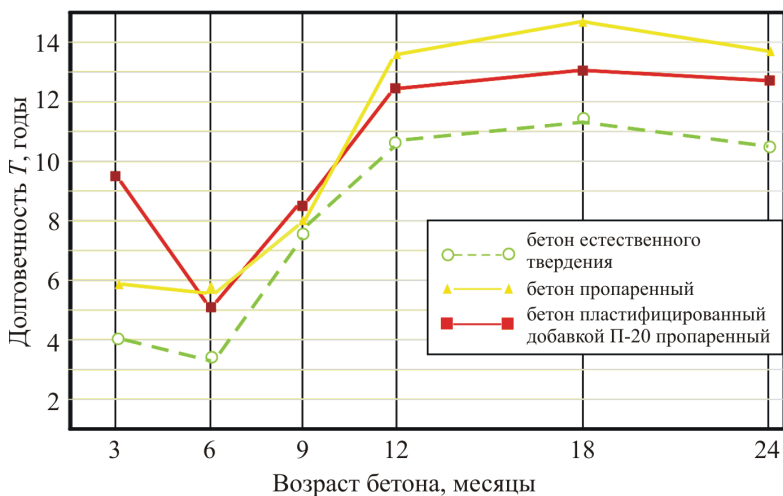


Рис. 3. К определению области применимости метода прогнозирования состояния бетона

Эта величина становится стабильной при воздействии климатической среды на изучаемый бетон, к моменту определения его текущего состояния, 12 и более месяцев, т.е. когда изучаемый бетон испытал все сезонные изменения климата.

Апробирование разработанного метода на собственных экспериментальных данных и данных, заимствованных из работ М.М. Селимова (результаты изучения свойств бетонов дорожных цементобетонных покрытий за 11 лет) [3] и У.Ф. Фазылова (результаты изучения свойств бетонов, испытывающих воздействие среды, имитирующей климатическую), доказало его приемлемость [4].

При рассмотрении изменения характеристик бетона под воздействием климата как случайного процесса выявлено, что автокорреляционная функция

$$R_{(\tau)} = \frac{1}{n - \tau} \sum_{i=1}^{n-\tau} \Delta x_i \Delta x_{i+\tau},$$

где $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$, $i = 1, 2, \dots, n$; n – объем выборки; $\tau = t_1 - t_2$; t_i – момент времени реализации или сечения случайного процесса; \bar{x} – среднеарифметическое выборки x_i , стремится к нулю, что свидетельствует о эргодичности процесса и подтверждает сделанный ранее вывод о возможности использования в целях прогноза изменения под воздействием климата в течение года таких характеристик, как R_b , R_{crc}^0 , W .

Реализация математической модели изменения состояния бетона под воздействием климата позволяет получать зависимости долговечности от изменения отдельных параметров состояния за 1 год (рис. 4) или в виде определения области допускаемых изменений параметров состояния за 1 год, обеспечивающих проектную долговечность бетона.

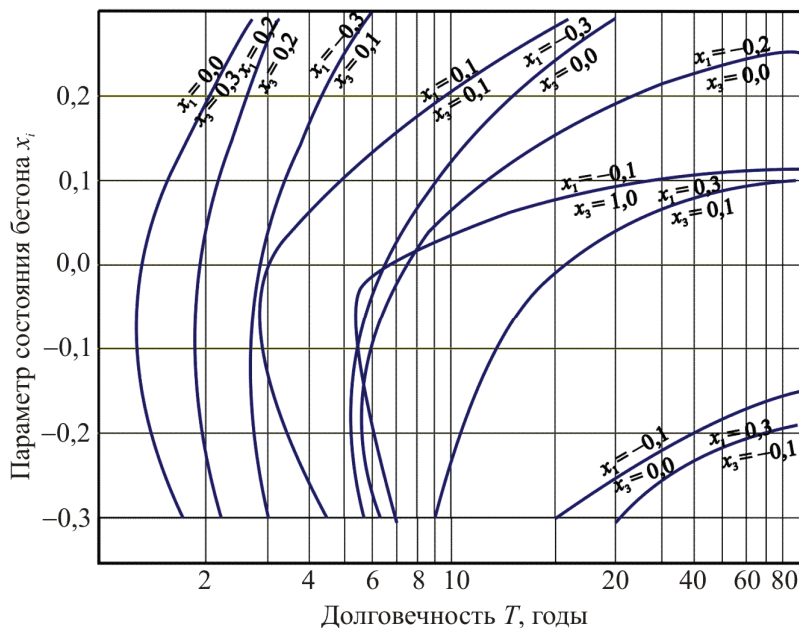


Рис. 4. Зависимость долговечности бетона (T) от изменений параметров его состояния (x_i)

Выводы:

1. При оценке и прогнозировании состояния цементных бетонов, испытывающих воздействие природных условий климатической среды, можно ограничиться рассмотрением совокупности наиболее информативных параметров R_b , R_{crc}^0 , W .
2. Предложен практический метод прогнозирования состояния бетона, претерпевающего негативное воздействие природных условий климата. Определены область и условия применимости метода прогнозирования.
3. Предлагаемая методика прогнозирования состояния бетона требует детализации климатической среды, но предполагает ее повторяемость в пределах циклов (за цикл принят 1 год).

Список литературы

1. Несветаев Г.В. Бетоны: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 381 с.
2. Янковский Л.В. Долговечность цементных бетонов в свете перехода на европейские стандарты // Строительные материалы. – 2012. – №1. – С. 16–18.
3. Динамика изменения свойств бетона монолитных конструкций в процессе службы / М.М. Селимов, В.Я. Липский, Р. Краснознаменская, А. Алимов // Строительство и архитектура Узбекистана. – 1983. – № 6. – С. 31–33.
4. Влияние комплексных климатических воздействий на прочность и деформации бетона / У.Ф. Фазылов, Р.Р. Юсупов, Т. Мукумов, А.Р. Шрамов // Исследование строительных материалов и конструкций: сб. тр. / Ташк. политехн. ин-т, 1986. – С. 80–86.

Получено 28.02.2012