

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ БЕТОНА

Коваль С.В., Савченко С.В.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, Украина

Для бетонов, работающих в условиях воздействия разнообразных климатических факторов и технологических сред, требуется надежное обоснование введения добавок. Прогнозирование долговечности бетона основано на различных физико-химических моделях, позволяющих объяснить отдельные стороны механизма деструкционных процессов. Однако использование таких моделей для назначения рационального состава бетона затруднено из-за различных допущений и ограничений, непрерывного изменения во времени структуры цементного камня, наличия градиентов переноса, воздействия различных технологических и эксплуатационных факторов. Для количественного анализа полифункциональных добавок, наряду с физико-химическим подходом, эффективно использование экспериментально-статистических моделей (ЭС-моделей) [1, 2].

В качестве критериев оценки воздействий добавок на надежность свойств бетона используются не только средние оценки свойств \bar{Y} , но и вероятностные показатели Y_α - числовые характеристики распределений, учет которых необходим, в первую очередь, при проектировании бетонов с повышенной обеспеченностью свойств для ответственных конструкций - систем без резервирования (трубопроводов, резервуаров и др.). Основными вероятностными показателями являются параметры распределения: $\alpha(Y_{\text{норм}})$ - вероятность отказа (брака, разрушения и т.п.) при заданном нормативном уровне качества, которую необходимо минимизировать; $Y_{\alpha\text{норм}}$ - граничные значения критерия качества, отвечающие заданному риску отказа α [3].

Опыт показывает, что по мере увеличения эксплуатационных воздействий распределения могут трансформироваться по-разному (рис.1), отражая, тем самым, изменение поврежденности материала. На начальных этапах воздействия среды могут продолжаться структурообразующие процессы в одних элементарных объемах и накапливаться необратимые процессы в других, что без изменения среднего \bar{Y} повлечет увеличение рассеяния показателя качества [2].

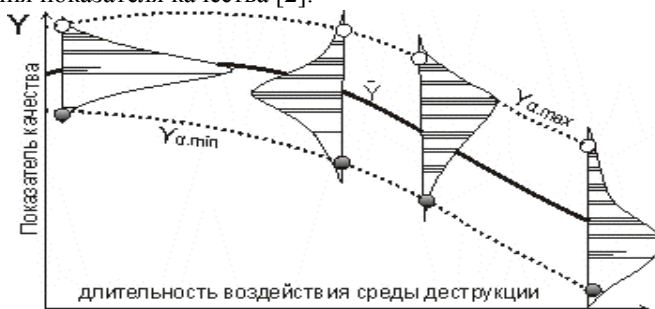


Рис.1. Обобщенная схема влияния длительности воздействия деструктирующей среды на трансформацию распределений показателей качества

Поскольку теоретические законы распределения в большинстве случаев неизвестны, вероятностные показатели Y_α наиболее просто определяются по результатам многократно повторяемых экспериментов или с использованием методов компьютерной статистики при генерировании случайных оценок свойств [3].

В отличие от данного подхода, в настоящих исследованиях значения Y_α определялись по результатам натурального эксперимента, в котором число параллельных испытаний достаточно велико ($N \geq 50$). По ЭС-моделям, описывающим влияние факторов X_i на средние \bar{Y} и вероятностные показатели Y_α принимались технологические решения, гарантированные и для показателей качества, и для рецептурно-технологических факторов [2].

Гистограммы на рис.2 отражают трансформацию распределения прочности на растяжение при изгибе $R_{\text{н}}$ двух мелкозернистых бетонов (Ц:П = 1:2,5; В/Ц=0,48) - бездобавочного (полигон 1) и модифицированного комплексной добавкой «СП + микрокремнезем» (полигон 2).

Испытывались не менее 150 образцов бетонов в процессе циклического увлажнения в растворе NaCl и высушивания. Эмпирические распределения характеризуют параметрические числовые характеристики: \bar{R} - среднее, МПа; $v\{R\}$ - коэффициент вариации, %; A^* - асимметрии; E^* - эксцесса и др., а также непараметрические показатели, поскольку часть распределений отличается от нормального. В частности, это квантиль R_{05} минимально допустимой (с риском $\alpha = 0,05$) прочности и ее «относительная граница» $\gamma_\alpha = 1 - \bar{R} / R_\alpha$ [2], которые использованы для оценки опасных хвостовых значений эмпирических распределений.

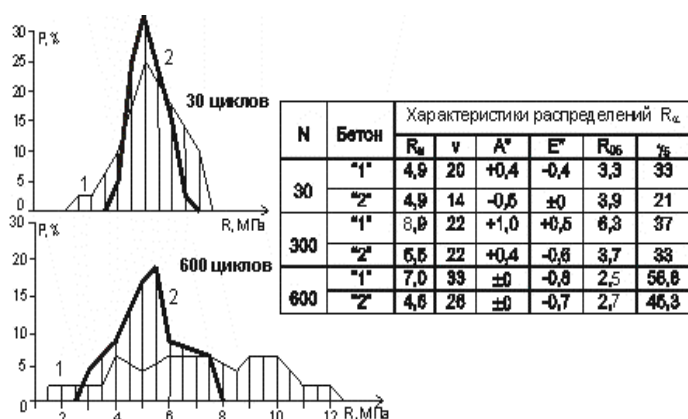


Рис.2. Изменение распределений R_n двух мелкозернистых бетонов в процессе воздействия среды (1- без добавок; 2- модифицированный)

Сравнительный анализ вероятностных показателей двух бетонов до испытаний показывает повышенную обеспеченность при заданном риске прочности модифицированного бетона при одинаковых средних \bar{R} . После 600 циклов средняя прочность бетона с комплексным модификатором «СП + микрокремнезем» изменилась незначительно, а прочность бетона без добавок даже несколько возросла. Однако «расползание» распределений (рис.2) свидетельствует о том, что происходит не только упрочнение наименее дефектных элементов структуры, но и усиливается тенденция деградации наиболее поврежденных, «слабых» микрообъемов. Значительное увеличение разброса R_n (судя по вариации $v\{R_n\}$), удлинение опасного хвоста распределения (по показателю γ_{05}) и повышение его асимметричности (по A^*), в сравнение с начальным состоянием, указывает на более быстрые структурные изменения в бетоне без добавок. Введение добавки уменьшает разброс оценок, так как под действием среды «худшие» элементы модифицированного бетона разрушаются менее интенсивно, чем бетона без добавок.

Для оценки управления вероятностными показателями в эксперименте с мелкозернистым бетоном (Ц:П =1:3) из равноподвижных смесей изменялась концентрация воздухововлекающей добавки СНВ ($X_1 = 0,02 \pm 0,02 \%$) и суперпластификатора С-3 ($X_2 = 0,3 \pm 0,3 \%$). В точке плана $x_1=x_2=-1$ испытывался бетон без добавок, по двум сторонам квадрата собиралась информация об индивидуальном действии добавок. Деструкция бетона вызывалась периодическим увлажнением в воде и высушиванием ($t=70^\circ\text{C}$).

Двухфакторная ЭС-модель (1) в виде неполного полинома четвертой степени описывает влияние на R_n добавок до воздействия среды:

$$R_n = 3,86 - 1,28x_1 + 0,55x_2 + 1,13x_1^2 + 1,02x_2^2 + 0,91x_1^2x_2^2 + 1,16x_1x_2^2 \quad (1)$$

Судя по изменению вероятностных показателей (v , A^* , E^* и γ_{05}), полифункциональная добавка влияет не только на вариацию оценок свойств - она вызывает изменение самой формы кривой распределения. Как показал анализ ЭС-моделей характеристик распределений, в значительной части факторного пространства распределение может отличаться от нормального. Управление концентрацией СП приводит к уменьшению коэффициента вариации до 7,3%; при оптимальных сочетаниях X_1 и X_2 в факторном пространстве формируется зона повышенной однородности R .

Выводы

Влияние деструктивных процессов показатель относительной границы допустимой прочности γ_{05} обнаруживает, в первую очередь, для эталонного бетона. Уменьшение опасных хвостовых значений $\gamma_{05}\{R_n\}$ исходного бетона связано, в первую очередь, с управлением концентрацией СП. Однако после 300 циклов характер влияния добавок значительно изменяется, и к минимизации $\gamma_{05}\{R_n\}$ приводит только введение комплексной добавки $D_B = 0,035\%$, $D_{СП} = 0,8\%$.

Экспериментально показано, что при рациональном управлении составом комплексного модификатора улучшаются вероятностные показатели структурно-механических свойств бетона, что способствует повышению его эксплуатационной надежности.

SUMMARY

If you are using experimental and statistical models studied the effect of additives on the durability of concrete when exposed to liquid corrosion. It is shown that for a rational structure of complex additives improve the probability indices - numerical characteristics of the distributions of properties, and thus provides a guaranteed quality of concrete.

Литература

1. Коваль С.В. Модифицированные бетоны: моделирование и оптимизация // Строительные материалы. 2004. №6. С.23-25.

2. Вознесенский В.А., Коваль С.В., Ляшенко Т.В., Феофанов В.А. Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация вероятностных показателей качества композиционных материалов. Киев: Знание. 1991. 32 с.

3. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. Киев: Высшая школа., 1989. 328 с.