

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

В.В.Бабицкий

Факультет дорожного строительства, БГПА

г.Минск, Беларусь

Предложена аналитическая зависимость, позволяющая прогнозировать прочность бетона на различных стадиях его твердения.

Ключевые слова: прогнозирование, прочность бетона.

Общее развитие технологии бетона, накопленный экспериментальный материал убеждают исследователей в реальности и своевременности разработки обобщенной математической модели изменения структуры и основных физико-механических характеристик бетона во времени. Это важно как на стадии производства, так и в процессе эксплуатации конструкций.

Нетрудно предположить, что грядущие дальнейшие ограничения в затратах энергоносителей на производство единицы продукции и повлечет за собой интенсивное внедрение низкотемпературных режимов тепловой обработки, а в ряде случаев вообще к отказу от нее. Соответственно, это вызывает острую необходимость в корректном прогнозе прочностных характеристик бетона, "дозревающего" не в сравнительно стационарных (тепловой агрегат), а в изменяющихся температурно-влажностных условиях.

То есть, должна быть создана приемлемая общепринятая математическая модель твердения бетона, учитывающая как внешние (в первую очередь температуру и влажность окружающей среды), так и внутренние (водоцементное отношение, расход и активность цемента и др.) влияющие факторы.

Можно задаться вопросом - обеспечивают ли широко используемые в настоящее время многочисленные аналитические зависимости возможность прогнозирования прочности бетона не в какой-то определенный срок (традиционно 28 суток), а во времени? На наш взгляд, на данный вопрос вряд ли можно ответить утвердительно, поскольку в них отсутствует элемент, изменяющийся в процессе твердения бетона. Круг основных влияющих факторов в таких формулах ограничен активностью цемента, водоцементным отношением бетонной смеси и теми либо иными постоянными коэффициентами. Нетрудно убедиться в том, что все перечисленные факторы от времени никоим образом не зависят.

Однако существуют и иные модели, не столь популяризируемые, которые связывают прочность бетона с изменяющейся структурой цементного камня,

отражаемой в первую очередь степенью гидратации цемента (работы Т.Пауэрса, А.Е.Шейкина, И.В.Вольфа, В.В.Бабкова др.). К сожалению, предлагаемые ими аналитические зависимости по ряду причин не были доведены до широкого практического использования. Вместе с тем, на наш взгляд, именно такого типа модели имеют реальное будущее. В них присутствует такой динамичный, поддающийся прогнозу параметр, как степень гидратации цемента, величина которого зависит как от внутренних, так и внешних факторов.

В развитие данной модели автор предлагает еще одну аналитическую зависимость для расчета прочности бетона

$$R_b = K_z K_{ц1} R_{ц} \left\{ K_{ц2} / \left( 1 + \left[ \left( \frac{V}{C} \right)^b \left( \frac{\rho_{ц}}{\rho_{ж}} \right)^{\alpha} \right] \right) \right\}^n, \text{ МПа}$$

где  $K_z$  - коэффициент, зависящий от свойств мелкого и крупного заполнителей;

$K_{ц1}, K_{ц2}$  - коэффициенты, зависящие от вида, нормальной плотности и особенностей кинетики гидратации цемента;

$R_{ц}$  - активность цемента, МПа;

$(V/C)^b$  - водоцементное отношение бетонной смеси;

$\rho_{ц}, \rho_{ж}$  - плотность цемента и воды соответственно, кг/м куб;

$\alpha$  - степень гидратации цемента, доли единицы;

$n$  - коэффициент, зависящий от объемной доли цементного камня в бетоне.

Все факторы, входящие в данное выражение, имеют ясный физический смысл и легко учитываются на стадии подбора состава бетона. При первом рассмотрении сложным представляется учет величины степени гидратации цемента. В большинстве ранее предложенных зависимостей эта величина бралась постоянной - например, равной 0,7 (или соответственно 16 % химически связанной воды). На самом деле степень гидратации - это наиболее универсальный динамичный влияющий фактор, зависящий от водоцементного отношения бетонной смеси, вида цемента, вида и количества введенных химических добавок, температуры среды, ее влажности и многих других параметров.

Для выявления кинетики гидратационных процессов анализировались литературные источники (достаточно многочисленные, однако практически

не систематизированные), а также были поставлены целенаправленные эксперименты.

Например, для портландцемента Волковысского завода получены следующие значения степени гидратации цемента (в % от полной) в зависимости от начального водосодержания цементного теста (температура твердения 20 град С).

Условия твердения	Степень гидратации цемента в возрасте 28 суток при водоцементном отношении теста						
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60
Водные	52,0	62,5	70,5	74,0	75,0	75,5	76,0
Нормально-влажностные	49,5	58,0	65,0	68,5	69,0	69,5	70,0

Анализируя приведенные в таблице данные, нетрудно убедиться во взаимосвязи полноты гидратационных процессов цемента с водоцементным отношением теста. Так, до значения В/Ц, равного 0,35...0,40, степень гидратации цемента достаточно интенсивно нарастает с увеличением начального водосодержания цементного теста. При дальнейшем же увеличении В/Ц теста степень гидратации цемента практически не изменяется. Качественно эта зависимость коррелируется с полученной Т.Пауэрсом, но количественно несколько отлична от последней.

Аналогичные данные получены для иных цементов, причем с учетом таких факторов, как продолжительность и температурно-влажностные условия твердения, вид и количество химических добавок и др.

Накопленный материал, анализ литературных источников оказывают правильность такого пути. Рассчитанные по приведенной аналитической зависимости величины прочности бетона вполне приемлемы и сопоставимы с реальными.

Таким образом, предлагается аналитическая зависимость, логично описывающая изменение прочности бетона в связи с внутренними и внешними влияющими параметрами. Кроме того, выбор кинетики гидратационных процессов как первоосновы, позволяет прогнозировать не только прочность бетона, но также проницаемость, морозо- и коррозионную стойкость. Нами предпринята попытка реализовать открывающиеся возможности. В результате получена обобщающая модель кинетики твердения бетона, учитывающая достаточно ши-

рокий спектр как свойств самого бетона так и влияющих факторов. Модель дает вполне приемлемые практические результаты и положена в основу вычислительного комплекса "Технолог".