

УДК 666. 9. 015.7

Гридин А.М., докт. техн. наук, проф.,

Редькин Г.М., канд. техн. наук, доц. (Белгородский технологический университет.им В.Г. Шухова)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Эффективные технологии строительной и дорожно - строительной индустрии возможны в том случае, когда производство строительных и дорожно – строительных материалов, изделий, конструкций и сооружений базируется на изученности физических, механических, химических свойств исходных природных и изготавливаемых материалов, на познании процессов в смесях твердых и неорганических вяжущих веществ и т.д.

Одним из основных методов изучения свойств и процессов в строительном материаловедении является их математическое моделирование, которое отражает внутреннюю сущность исследуемых явлений и процессов. Математические модели, будучи математическим эквивалентом исследуемых свойств и процессов, являются носителями информации об изучаемых объектах и ее дополнительными источниками. При этом дополнительная информация, полученная в результате моделирования объекта, обуславливает эффективность математического моделирования.

В свете изложенного актуальным является математическое описание физико – химических процессов кинетики твердения бетонов.

Основным показателем качественных характеристик бетона является его прочность, которая зависит от времени, минералогического состава вяжущих, пористости цементного камня, температуры и влажности окружающей среды, водоцементного отношения и других факторов. Многообразие факторов затрудняет вывод математической зависимости прочности бетона от времени, которая и учитывала бы и эти факторы.

Данному вопросу посвящено сравнительно небольшое количество работ [1, 2, 3], в которых полученные зависимости весьма громоздки и страдают различными недостатками. Поэтому в теоретико – практических исследованиях кинетики роста прочности бетонов чаще всего используют формулу [4]

$$\sigma = a + b \lg \tau \quad (1)$$

где σ - предел прочности бетона; a и b – постоянные, зависящие от приведенных выше факторов; τ - время твердения бетона.

Формула (1) проще других разработанных зависимостей [1, 2, 3], она адекватно отражает процесс твердения бетонов для значений времени больших одних или нескольких суток. Однако для начальных значений времени из окрестности момента затворения цемента водой ($\tau = 0$) формула (1) дает результаты противоречащие реальности.

Действительно, пусть параметры a и b удовлетворяют неравенству $b < -a$. Тогда, полагая в (1) $\tau = 1$ (сутки), получим $\sigma < 0$ отрицательную прочность бетона через сутки твердения, что не имеет физического смысла. Более того, полагая в (1) $\tau = 0$ (сутки), получим прочность бетона $\sigma = -\infty$, при любых значениях параметров a и b , что противоречит не только опыту, но и здравому смыслу.

Из проведенного анализа формулы (1) следует, что ее недостатки можно устранить, аппроксимировав экспериментальные данные твердения бетонов функцией

$$\sigma(\tau) = \alpha \ln(1 + \tau) + \beta, \quad (2)$$

где единица под знаком натурального логарифма имеет размерность времени τ .

Опытные данные свидетельствуют, что началу упрочнения первичной структуры бетона соответствует начальное условие $\sigma = 0$ при $\tau = 0$ или

$$\sigma(0) = 0. \quad (3)$$

Можно показать, что требованию выполнения функцией (2) начального условия (3) отвечает значение параметра $\beta = 0$. Таким образом n экспериментальных данных $(\tau_i; \sigma_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ будем аппроксимировать функцией

$$\sigma(\tau) = \alpha \ln(1 + \tau), \quad (4)$$

которая, в отличие от формулы (1), удовлетворяет начальному условию (3) и при всех значениях $\tau > 0$ принимает положительные значения $\sigma(\tau) > 0$, что не противоречит опытным данным.

Данную задачу аппроксимации решим по методу наименьших квадратов. Составим сумму квадратов отклонений экспериментальных значений от функции (4), которая зависит от параметра α и найдем ее минимум, т.е.

$$S(\alpha) = \sum_{i=1}^n [\sigma_i - \alpha \ln(1 + \tau_i)]^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

В силу необходимого условия экстремума функций приравняем производную суммы (5) к нулю $S'(\alpha) = 0$ и найдем значение параметра α

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i \ln(1 + \tau_i)}{\sum_{i=1}^n \ln^2(1 + \tau_i)} \quad (6)$$

Вторая производная суммы (5) $S''(\alpha) = \sum_{i=1}^n \ln^2(1 + \tau_i) > 0$ принимает

положительное значение. Значит, в силу достаточного условия экстремума, сумма (5) достигает минимума при значении параметра α , определенного равенством (6). Следовательно функция (4) при значении параметра α (6) наилучшим в смысле критерия (5) образом отражает тенденции кинетики твердения бетонов.

На основе полученных выражений (4), (6) рассмотрим пример выявления закономерности кинетики твердения бетона по реальным экспериментальным данным [5], приведенным в таблице.

Таблица

Прочность бетона при сжатии (МПа)

| | | | | |
|----------------|-----|-----|------|------|
| τ , сут | 1 | 3 | 7 | 28 |
| δ , МПа | 3,5 | 7,7 | 11,1 | 20,6 |

По данным табл. вычислен по формуле (6) коэффициент $\alpha = 5,84$ и на основе выражения (4) получена зависимость

$$\sigma(\tau) = 5,84 \ln(1 + \tau), \quad (7)$$

которая описывает закономерность изменения прочности исследуемого бетона от времени, обеспечивая корреляционное отношение $\eta = 0,99$.

Функцией вида (4) при определении коэффициента α по формуле (6) аппроксимированным многочисленным результатам экспериментальных исследований кинетики прочности бетонов, при этом корреляционное отношение всегда весьма незначительно отличалось от единицы.

Близость к единице корреляционного отношения свидетельствует о почти функциональной зависимости прочности бетона от времени, определенной по формулам (4), (6), (7), что позволяет в строительном материаловедении сформулировать следующий закон: прочность твердения бетонов прямо пропорциональна логарифму от линейной функции времени.

Литература

1. Безверхий А.А., Никитский В.Н. Изменение прочности бетона от В/Ц и времени изотермического твердения // Бетон и железобетон.-1983.-№2.-с.14-15.
2. Прогнозирование прочности бетона при повышенных температурах выдерживания // Бетон и железобетон.-1994.-№4.-с.11-13.
3. Головнев И.И., Вальт А.Б., Гольденберг Н.И. Прочность выдерживаемого при различных температурах бетона // Бетон и железобетон.-1986.-№7.-с.27-28.
4. Рахимбаев Ш.М., Пospelова М.А., Елистраткин М.Ю. Кинетика твердения вяжущих веществ: Методические указания.-Белгород: Изд – во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003.-43с.
5. Ли Ф.М. Химия цемента и бетона / Пер. с англ.-М.: Стройиздат, 1961.-646с.