

УДК 69.057.12

РАСЧЕТ ОТКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ БЕТОНА ПРИ АГРЕССИВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ СУЛЬФАТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ЦЕМЕНТА

*д.т.н., проф. Савицкий Н.В., к.т.н., доц. Матюшенко И.Н.,
к.т.н., доц. Никифорова Т.Д., соискатель А.Е. Бардах*

Государственное высшее учебное заведение

«Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»

Постановка проблемы. В последние годы возрастает интерес к прогнозированию срока службы железобетонных конструкций, находящихся под агрессивным воздействием жидких сред, содержащих сульфаты. Одним из важнейших параметров, который следует учитывать при моделировании коррозионных процессов, а соответственно и при прогнозировании долговечности, является структура бетона. Основной характеристикой структуры бетона является открытая (эффективная) пористость. Открытая пористость бетона является функцией, как внутренних параметров бетона, так и внешних факторов, которые изменяют исходные характеристики структуры.

Анализ последних исследований и публикаций. В проведенных ранее исследованиях при моделировании коррозионных процессов в бетоне, находящемся под воздействием сульфатов предложена методика и разработаны программные модули, которые описывают изменение открытой пористости в зависимости от накопления продуктов новообразований [1, 2, 3]. Однако в моделях не учитывается влияние вида цемента и различный выход продуктов реакции в зависимости от концентрации сульфатов [2, 3].

Целью данной работы является уточнение моделей коррозионных процессов в бетоне при воздействии сульфатов.

Изложение основного материала исследований. Изменение открытой пористости в зависимости от накопления продуктов новообразований описывается зависимостью [1, 2]:

$$\omega_{b_0}(t) = \begin{cases} \omega_{b_0}(t=0) - \frac{C_{sv}(t)}{C_{sv,u}} \omega_{b_{0n,u}}, & \text{при } 0 < C_{sv}(t) \leq C_{sv,1} \\ \omega_{b_0}(t=0) - \frac{C_{sv}(t)}{C_{sv,u}} \omega_{b_{0n,u}} + \left[1 + \frac{C_{sv}(t)}{C_{sv,u}} \omega_{b_{0n,u}} - \right. \\ \left. - \omega_{b_0}(t=0) \right] \frac{C_{sv}(t) - C_{sv,1}}{C_{sv,u} - C_{sv,1}}, & \text{при } C_{sv,1} < C_{sv}(t) \leq C_{sv,u} \end{cases} \quad (1)$$

где $C_{sv}(t)$ - количество связанных сульфат - ионов в момент времени t ; $\omega_{b_{0n,u}}$ - величина открытой пористости, занятая продуктами новообразований в момент разрушения бетона, $C_{sv,1}$, $C_{sv,u}$ - соответственно, количество связанных сульфат - ионов, вызывающее максимальное упрочнение бетона и его полное разрушение.

В результате анализа проведенных ранее испытаний [1, 4, 5] было выявлено, что количество связанных сульфат – ионов, вызывающее максимальное упрочнение бетона, также как и вызывающее полное его разрушение, зависит от содержания C_3A (табл.1).

Таблица 1
Характеристические значения SO_3 для бетона при сжатии

Вид цемента	Содержание, %		
	C_3A	$C_{sv,1}$	$C_{sv,u}$
Низкоалюминатный	5	2,90	19,85
Среднеалюминатный	7	3,41	15,84
Высокоалюминатный	12	3,41	11,87

Исходя из результатов, приведенных в табл. 1, объем, занимаемый продуктами новообразований, вызывающий максимальное упрочнение структуры, равен 1,09 от начального объема открытой пористости для низкоалюминатного цемента и 1,1 – для средне- и высокоалюминатного цемента (при средней плотности продуктов новообразований 1,7кг/л), то есть:

$$\omega_{sv} = \omega_{b0}(t=0) \cdot \begin{cases} 1,09, & \text{при } C_3A \leq 5\% \\ 1,1, & \text{при } C_3A > 5\% \end{cases} \quad (2)$$

где ω_{sv} - объем, занимаемый продуктами новообразований, вызывающий максимальное упрочнение бетона, $\omega_{b0}(t=0)$ - величина открытой пористости в начальный момент времени.

Следует учесть, что соотношение продуктов реакции (ГСАК-3 и гипса) изменяется в зависимости от концентрации сульфат-ионов. При концентрации SO_4^{2-} 250-1055 мг/л протекает реакция образования ГСАК, при 1055-4000 мг/л – 20% ГСАК и 80% гипса, больше 4000 мг/л - гипса. При диффузионном механизме массопереноса концентрация сульфат-ионов в объёме бетона изменяется от нуля до концентрации SO_4^{2-} в окружающей среде. В зависимости от этой величины возможна различная степень развития реакции взаимодействия активных компонентов цементного камня, а, следовательно, и различный выход продуктов реакции. Тогда количество связанных сульфат - ионов, вызывающее максимальное упрочнение бетона будет равно:

$$C_{sv,1} = \omega_{b0}(t=0) \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1,09, \text{ при } C_3A \leq 5\% \\ 1,1, \text{ при } C_3A > 5\% \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \rho_{etr}, \text{ при } 0 < C_{so_4} \leq 1,055 \\ \rho_{etr} \cdot 0,2 + \rho_g \cdot 0,8, \text{ при } 1,055 < C_{so_4} \leq 4,0 \\ \rho_g, \text{ при } 4,0 < C_{so_4} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где $C_{sv,1}$ - соответственно, количество связанных сульфат - ионов, вызывающее максимальное упрочнение бетона, $\omega_{b0}(t=0)$ - величина открытой пористости в начальный момент времени, C_{so_4} - концентрация сульфат-ионов в агрессивном растворе, ρ_{etr} - плотность этtringита (1,48 г/см³), ρ_g - плотность гипса (2,4 г/см³)

Объем, занимаемый продуктами новообразований, вызывающих полное разрушение бетона (с учетом данных табл. 1), равен 1,59 от начального объема открытой пористости для низкоалюминатного цемента, 1,47 - для среднеалюминатного цемента и 1,35 - для высокоалюминатного цемента (при средней плотности продуктов новообразований 1,7кг/л). То есть величина открытой пористости, занятая продуктами новообразований в момент разрушения бетона $\omega_{b0n,u}$:

$$\omega_{b0n,u} = \omega_{b0}(t=0) \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1,59, \text{ при } C_3A \leq 5\% \\ 1,47, \text{ при } 5\% < C_3A < 12\% \\ 1,35, \text{ при } C_3A > 12\% \end{array} \right\} \quad (4)$$

где $\omega_{b0n,u}$ - объем, занимаемый продуктами новообразований, вызывающий полное разрушение бетона, $\omega_{b0}(t=0)$ - величина открытой пористости в начальный момент времени.

По аналогии с (2, 3) количество связанных сульфат - ионов, вызывающих полное разрушение бетона:

$$C_{sv,u} = \omega_{b0}(t=0) \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1,59, \text{ при } C_3A \leq 5\% \\ 1,47, \text{ при } 5\% < C_3A < 12\% \\ 1,35, \text{ при } C_3A > 12\% \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \rho_{etr}, \text{ при } 0 < C_{so_4} \leq 1,055 \\ \rho_{etr} \cdot 0,2 + \rho_g \cdot 0,8, \text{ при } 1,055 < C_{so_4} \leq 4,0 \\ \rho_g, \text{ при } 4,0 < C_{so_4} \end{array} \right\}, \quad (5)$$

где $C_{sv,и}$ - соответственно, количество связанных сульфат - ионов, вызывающее полное разрушение бетона, $\omega_{в0}(t=0)$ - величина открытой пористости в начальный момент времени, C_{so_4} - концентрация сульфат-ионов в агрессивном растворе, $\rho_{еттr}$ - плотность этtringита ($1,48 \text{ г/см}^3$), ρ_g - плотность гипса ($2,4 \text{ г/см}^3$)

Выводы. Использование предложенных зависимостей позволяет учитывать тип цемента и различный выход продуктов реакции в зависимости от концентрации сульфат-ионов в объеме бетона, что в свою очередь дает возможность с большей точностью описывать коррозионные процессы в бетоне при воздействии сульфатов, а соответственно с большей точностью определять долговечность бетона.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савицкий Н.В. Основы расчета надежности железобетонных конструкций в агрессивных средах. Дисс... д.т.н. – Дн-ск, 1994. – 410 с.
2. Параметры, характеризующие степень внутренней поверхности бетона, при агрессивном воздействии жидких сред (на примере воздействия сульфатов) /Савицкий Н.В., Матюшенко И.Н., Никифорова Т.Д., Лаухина Л.Н.// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2006, №21 – С.232-238.
3. Матюшенко И.Н., Никифорова Т.Д., Савицкий Н.В. Моделирование эффективного коэффициента диффузии сульфат-ионов в бетоне // Сб. научн. трудов. Вісник академії № 6. - Днепропетровск, 2006. – С. 44–48.
4. Ракутумаву Ф.А. Надежность и долговечность железобетонных элементов из бетона на карбонатных заполнителях в жидких сульфатных средах. Дисс. к.т.н. – Днепропетровск, 1991. – 228 с.
5. Тытюк А.А. Долговечность железобетонных изгибаемых элементов в жидких сульфатных средах. Дисс. к.т.н. – М., 1990. – 226 с.