

УДК 69.057.12

МОДЕЛИРОВАНИЕ СУЛЬФАТНОЙ КОРРОЗИИ

*Н.В. Савицкий, д.т.н., проф., И.Н. Матюшенко, асп., Л.Н. Лаухина, к.т.н.
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

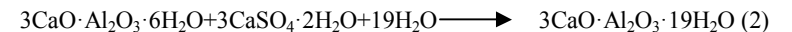
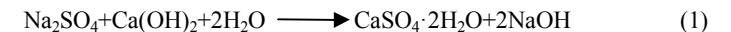
Постановка проблемы. Одними из наиболее распространенных агрессивных сред являются сульфатные растворы. В настоящее время существующие нормативные документы (СНиП 2.03.11-85) не позволяют определить долговечность железобетонных конструкций, работающих в агрессивных условиях.

Рассчитать долговечность бетона и железобетона при воздействии агрессивной среды весьма сложная задача, а тем более при воздействии сульфатов, когда проходит большое количество химических превращений с образованием продуктов реакции, увеличивающихся в объеме в несколько раз. С другой стороны происходит накопление продуктов коррозии и первоначальное уплотнение структуры с повышением прочности. Только через некоторый промежуток времени начинается снижение прочности [1].

Актуальность. Предложенные ранее методы прогноза сроков службы бетона недостаточно эффективны, так как они либо не учитывают все параметры, либо определение этих параметров связано с большой трудоемкостью [2-4]. Поэтому создание эффективной модели коррозии бетона и железобетона является актуальной проблемой. Так как отсутствие в практике проектирования и обследования конструкций из бетона и железобетона соответствующих прогнозных расчетов нередко приводит к появлению недостаточно обоснованных решений. В результате этого последующие мероприятия, предпринимаемые для устранения обнаруженных дефектов, оказываются, как правило, дорогостоящими и малоэффективными.

Целью настоящей работы является создание эффективной модели коррозии бетона для расчета долговечности бетонных и железобетонных конструкций при воздействии сульфатов.

В большинстве работ, посвященных исследованию сульфатной коррозии бетона, освещаются химические аспекты этой проблемы. Исследованиями установлено, что при воздействии на бетон сульфат-ионов образуются гидросульфаталюминат кальция и гипс [1-7]. Реакции протекают по следующим схемам (на примере воздействия Na_2SO_4):



В результате кристаллизации увеличивается объем новообразований. Вследствие этого возникают внутренние напряжения, приводящие к разрушению бетона.

Кинетику процесса сульфатной коррозии бетона при диффузионном механизме массопереноса можно описать известными дифференциальными

уравнениями (одномерный процесс массопереноса) [5]:

$$\begin{cases} \frac{\partial c_0}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_0 \frac{\partial c_0}{\partial x} \right) - k c_0^n c_1^m \\ \frac{\partial c_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_1 \frac{\partial c_1}{\partial x} \right) - \alpha k c_0^n c_1^m \\ \frac{\partial c_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_2 \frac{\partial c_2}{\partial x} \right) + k c_0^n c_1^m - k_1 c_1^l c_2^p \\ \frac{\partial c_3}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_3 \frac{\partial c_3}{\partial x} \right) - \varphi k_1 c_1^l c_2^p \\ \frac{\partial c_4}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_4 \frac{\partial c_4}{\partial x} \right) + k_1 c_1^l c_2^p \end{cases} \quad (3)$$

где c_{0-4} – концентрации сульфата натрия, гидроксида кальция, гипса, трехкальциевого алюмината, этtringита соответственно;

D_{0-4} – эффективные коэффициенты диффузии сульфата натрия, гидроксида кальция, гипса, трехкальциевого алюмината, этtringита соответственно;

α, φ – стехиометрические коэффициенты, учитывающие отношение реагирующих веществ;

k, k_1 – константы скорости химических реакций;

t – время;

x – координата. Порядок реакций условно принят единице.

Для решения системы дифференциальных уравнений (3) задаются краевые условия, которые включают начальные и граничные условия данной конкретной задачи.

Система уравнений (3) совместно с краевыми условиями позволяет учесть важнейшие особенности процесса сульфатной коррозии бетона при диффузии, осложненной химическими реакциями.

В результате выполненного моделирования на базе программного пакета Mathcad 11 создан программный модуль, позволяющий решить систему дифференциальных уравнений совместно с краевыми условиями. Это позволило получить относительное распределение концентраций c_{0-4} во времени (рис. 1):

Согласно работам Гузеева Е.А., Савицкого Н.В. и др. количественно процесс сульфатной коррозии бетона можно охарактеризовать величиной связанных цементным камнем сульфат-ионов или степенью заполнения пор осадком новообразований [6]. На рис. 2 представлено относительное распределение связанных цементным камнем сульфат-ионов в бетоне.

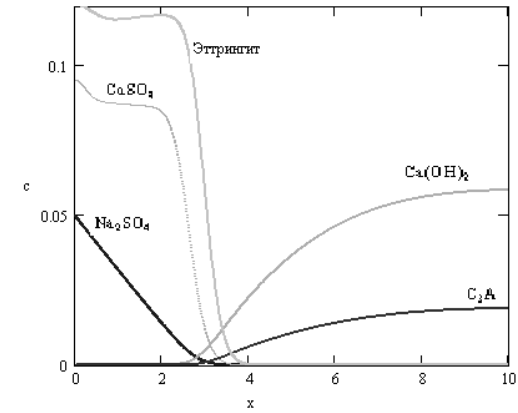


Рис. 1. Относительное распределение концентраций c_{0-4} во времени

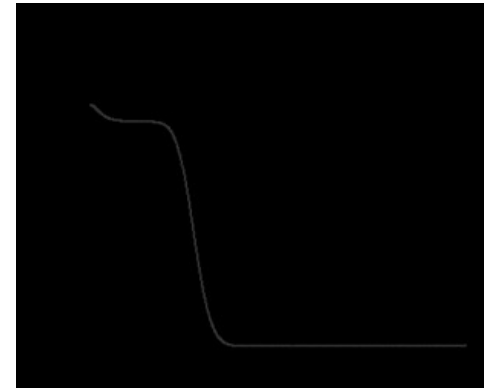


Рис. 2. Относительное распределение концентрации связанных цементным камнем сульфат-ионов в бетоне

Описать зависимость между относительным изменением прочности бетона в растворах сульфата натрия и количеством связанных цементным камнем сульфат-ионов можно уравнением (4) [6]:

$$R(x, t) = 1 + a_1 Q_{so_3}(x, t) (1 - a_2 Q_{so_3}(x, t)) \quad (4)$$

где $Q(x, t)$ – количество связанных цементным камнем сульфат-ионов в слое с координатой x в момент времени t ;

a_1 и a_2 – коэффициенты.

На рис. 3 представлено относительное изменение прочности бетона (в процентах от начальной прочности бетона) в растворах сульфата натрия.

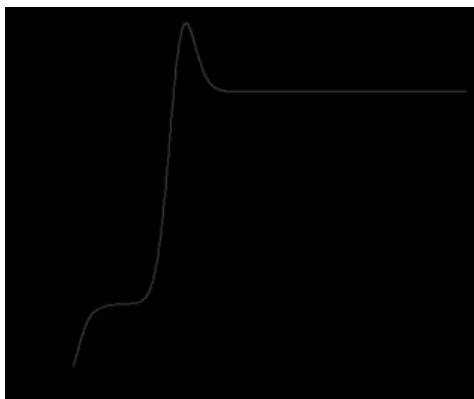


Рис. 3. Относительное изменение прочности бетона

Выводы. Разработана модель и численный метод решения модели коррозии бетона в сульфатных растворах, которая позволяет учесть все важнейшие особенности процесса коррозии.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М.: Стройиздат, 1990.
2. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты.//Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. – М.: Стройиздат, 1980.
3. Математические модели процессов коррозии бетона.//Гусев Б.В., Файвусович А.С., Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. – М., 1996.
4. Полак А.Ф. Расчет долговечности железобетонных конструкций. - Уфа: Изд-во Уфимского Нефт. ин-та, 1983. - 116 с.
5. Гузеев Е.А., Савицкий Н.В. Расчет железобетонных конструкций с учетом кинетики коррозии бетона третьего вида // Сборник научных трудов / НИИЖБ. – Москва, 1989. – Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах. – С. 16-20.
6. Гузеев Е.А., Савицкий Н.В., Борисенко В.М., Тытюк А.А. О прочности бетона при воздействии сульфатных растворов // Тезисы докладов / НИИЖБ. – Волгоград, 1990. – Научно-технический семинар "Защита подземных железобетонных конструкций от коррозии". – С. 34-36.
7. Пунагин В.Н., Приходько А.П., Савицкий Н.В. Долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций. – Киев: УМК ВО, 1988. – 112 с.