

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.С.Файвусович

Международная инженерная академия

Введение

Расчет надежности железобетонных конструкций с учетом процессов деградации связан с учетом глубины нейтрализации бетона и времени достижения критической концентрации в жидкой фазе агрессивного компонента на границе с арматурой. В настоящее время подавляющее большинство инженерных зависимостей построено на основе решения 3-й задачи Стефана, в которой впервые учтено наличие подвижных ГФП [1,3]. В ней по сути рассматривается процесс в капилляре с непроницаемыми стенками, заполненном химически активным веществом в твердой фазе, на который воздействует раствор агрессивного компонента. Однако в бетоне частички нейтрализуемого вещества расположены за пределами капилляров. Именно этим объясняется несоответствие в ряде случаев экспериментальных данных расчетным. Причем случай атмосферной коррозии, строго говоря, отношения к задаче Стефана не имеет. Поэтому для обеспечения требуемой точности в инженерные зависимости, построенные на основе решения 3-й задачи, вводится целый ряд поправочных коэффициентов или дополнительных зависимостей, что ограничивает область их применения и снижает точность расчетов [4, 6].

Для устранения указанных несоответствий были разработаны модели с учетом двойной системы пористости бетона и подвижных ГФП [1-3]. В них для исследований выделяется структурный элемент цилиндрической формы, в центре которого располагается сквозной капилляр, к которому в поперечном направлении примыкают микрокапилляры, ориентированные радиально. В общем случае в сквозном капилляре имеет место массоперенос газообразной и жидкой фаз, а в микрокапиллярах - жидкой с образованием подвижной ГФП с учетом нейтрализации частиц твердой фазы. Имеется еще одна сложность в использовании существующих инженерных зависимостей, связанная с подготовкой исходных данных. Определение расчетных значений с учетом сезонных и суточных колебаний температуры, относительной влажности, концентраций и т.д. связано с выполнением целого комплекса опе-

раций по их статистической обработке. В разработанных инженерных зависимостях все исходные параметры сведены к минимальному числу обобщенных. Их определение предусматривается осуществлять по данным натурного обследования конструкций, например, по стандартам ЕС, которыми предусматривается обязательное определение концентраций агрессивного компонента в связанном состоянии и общего (тотального).

Расчетные зависимости, приведенные ниже, характеризуют процессы коррозии в полубесконечном слое [3]. Дополнительно в них в явной форме выделены концентрации агрессивного компонента различных форм.

Коррозия бетона в жидких средах

$$C_f(x,t) = C_t(x,t) - C_b(x,t)$$

$$C_t(x,t) = (C_0 + \mu m_0) \operatorname{erfc} u \quad (a); \quad C_b(x,t) = \mu m_0 \theta(x,t) \quad (b);$$

$$\theta(x,t) = \ln(\alpha t + 1) \operatorname{erfc} u \quad (c).$$

$$u = \frac{x}{2\sqrt{D_1 t}}; \quad \alpha = 2D_2 \frac{\bar{C}}{\mu m_0}; \quad D_1 = D \cdot \varepsilon_f; \quad D_2 = \frac{2\varepsilon_r}{r_0^2}; \quad (1)$$

$$\operatorname{erfc} u = 1 - \operatorname{erf} u,$$

где D_1, D_2 – эффективные коэффициенты диффузии в направлении осей x и r ; D – коэффициент молекулярной диффузии; $\varepsilon_f, \varepsilon_r$ – капиллярная пористость в направлении осей x и r ; \bar{C} – усредненное значение концентрации жидкой фазы в свободном состоянии в зоне ГФП; C_f, C_b, C_t – концентрации агрессивного компонента в свободном, связанном состоянии и общая; m_0 – концентрация нейтрализованного вещества в твердой фазе; μ – стехиометрический коэффициент;

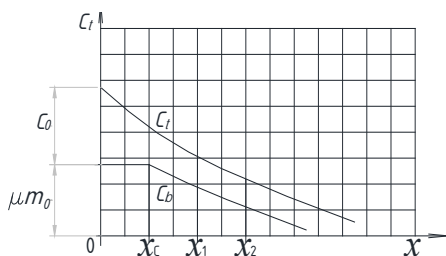


Рис.1 Распределение концентраций по глубине слоя бетона

$\operatorname{erf} u$ – функция ошибок, r_0 – средний радиус сквозного капилляра, C_0 – концентрация в свободном состоянии в точке $x = 0$.

Распределение концентраций C_t и C_b показано на рис.1.

На первом этапе определяются величины α и D_1

по экспериментальным значениям $\theta(x, t)$ в двух точках. В точке $x = C$; $\theta(x_c, t) = 1$.

В точке x_2 $\theta(x_2, t) = k$.

$$1 = \ln(\alpha t_1 + 1) \operatorname{erfc} \frac{x_c}{2\sqrt{D_1 t_1}} \quad (2)$$

$$k = \ln(\alpha t_1 + 1) \operatorname{erfc} \frac{x_2}{2\sqrt{D_1 t_1}}.$$

Далее из зависимости (а) по экспериментальным данным $C_1(x, t)$ для произвольной точки (x_1 или x_2) определяется усредненное значение C_0 с учетом особенностей эксплуатации в предшествующий период.

Величина x_c (нейтрализованного слоя бетона) для заданного значения времени определяется из зависимости (с) с учетом вычисленных значений α и D_1 и условия $\theta(x_c, t) = 1$. Время достижения критической концентрации в жидкой фазе C_{cr} (считается известной) t_p определяется из зависимости :

$$C_{cr} = (C_0 + \mu m_0) \operatorname{erfc} \frac{a}{2\sqrt{D_1 t_p}} \quad (3)$$

Здесь a - толщина защитного слоя бетона.

Атмосферная коррозия бетона

Ниже приведены исходные предпосылки и допущения, при которых инженерная зависимость (1) может быть распространена на случай атмосферной коррозии:

- в бетонах низкой проницаемости глубина массопереноса газообразной фазы с учетом абсорбции в жидкой фазе ограничена по длине. Массоперенос жидкой фазы за пределами зоны абсорбции (l_{abs}) соответствует случаю массопереноса жидкой фаз с эквивалентным сечением;

- в зоне абсорбции вначале наблюдается рост концентраций C_f , затем спад. Максимум зависит от относительной влажности воздушной среды и распределения капилляров по радиусам. Восходящая ветвь характеризует область, в которой процесс контролируется массопереносом в жидкой, а нисходящая ветвь процессами массопереноса в газооб-

разной фазе (рис 2). На интервале $0 \leq x \leq l_{abs}$ значение $C_f \approx \bar{C}$, где \bar{C}

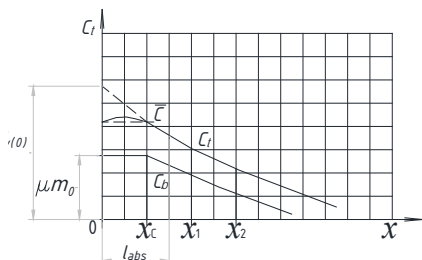


Рис.2 Распределение концентраций по глубине слоя бетона

- усредненное значение концентраций.

- для описания концентрации $C_t(x, t)$ на интервале $x > l_{abs}$ требуется определение фиктивного значения $C_v(0)$ точке $x = 0$.

Ниже приводится алгоритм расчета процесса нейтрализации бетона. При этом учитывается, что:

$$D_1 = D\varepsilon_f\varphi, \quad (4)$$

где φ - степень заполнения капилляров жидкой фазой.

По данным послыонного определения $C_b(x, t)$ в двух точках определяются значения параметров α и D_1 .

Далее определяется фиктивное значение $C_v(0)$ точке $x = 0$.

Из зависимости (1) с учетом известных значений $C_t(x, t)$ и $C_b(x, t)$ определяются значения x_c и t_p по зависимости C_{cr} в жидкой фазе. Значение x_c определяется аналогично предыдущему случаю. Величина t_p определяется из зависимости:

$$C_{cr} = C_v(0) \operatorname{erfc} \frac{a}{2\sqrt{D_1 t_p}} - \mu m_0 \theta(a, t_p), \quad (5)$$

где $C_v(0) = \frac{C_t(x_1, t_1)}{\operatorname{erfc} \frac{x_1}{2\sqrt{D_1 t_1}}}$.

Заключение

Отличительными особенностями разработанной методики прогнозирования долговечности железобетонных конструкций является использование инженерных зависимостей, основанных на учете двойной системы пористости и наличия подвижных ГФП. Указанные особенности более правильно отражают структуру бетона и процессы коррозии. Использование для расчетов части параметров, полученных при натурном обследовании конструкций (указанные обследования являются

обязательными, например, в странах ЕС) представляется обоснованным. Применение различного рода поправочных коэффициентов и зависимостей, полученных при фиксированных режимах и ограниченных по продолжительности в сочетании с недостатками исходных зависимостей, не может обеспечить требуемой точности.

Отметим, что до настоящего времени в странах СНГ ограничиваются при расчетах значением глубины нейтрализации, а для оценки коррозионного состояния арматуры используется величина общей концентрации, а не в свободном состоянии.

Summary

We present computational and experimental methods of predicting the durability of concrete structures. Engineering dependence derived from the analytical solution based on the dual system of porosity of the concrete and the presence of moving boundaries of phase transition (EMG).

1. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Обобщенные уравнения коррозии бетона (Атмосферная коррозия). Изд-е 2, дополненное, переработанное. - М.: Научный мир, 2011. – 53 с.

2. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Математическая модель процессов атмосферной коррозии бетонов с учетом фазовых переходов // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. - 2013.- Вып.31 (50). Ч.2. Строительные науки.-С.308-325.

3. Гусев Б.В., Файвусович А.С. Прогнозирование долговечности бетона при выщелачивании.- М.: Научный мир, 2014.-112с.

4. СЕВ-Fip. Model code service life design (2006) FIB Bulletin .34

5. Овчинников И.И. Современное состояние проблемы расчета армированных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред // Интернет-журнал «Строительство уникальных зданий и сооружений» 2012, №2 с. 46-60

6. Чернякевич О.Ю, Леонович С.Н. Применение европейских стандартов при оценке эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций при коррозии карбонизации// Минск БНТУ-22-23.05.2013. ч.2.с 2010-224.