

Рассмотренные модели разрушения бетона могут быть использованы для разработки общей модели разрушения капиллярно-пористых тел при попеременном замораживании и оттаивании, а также при моделировании процессов физической формы коррозии при воздействии солей хлоридов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vesikari E. (1994) Durability design of concrete structures with respect to frost attack. Proceedings of the Fourth International Symposium on Cold Region Development. 13-16 June. Association of Finnish Civil Engineers RIL, 2 pp.
1. Pihlajavaara S.E. (1994) Contributions for the development of the estimation of long-term performance and service life of concrete. Helsinki University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Surveying, Espoo, Report 3, 26 pp.
2. Srivastava K.N., Kumar M. A note on the problem of edge crack in a semi-circular plate // Int. J. Fract. — 1976. — 12, N4. — p.645-646.
3. Matala S. (1991) Service life model for frost resistance of concrete based on properties of fresh concrete, Nordisk Vagtekniska Forbundet, Broseminarium, Korsar, Denmark, 18 pp.
4. Vesikari E. (1995) Betonirakenteiden kayttoikamitoitus (Service life design of concrete structures). Association of Finnish Civil Engineers RIL, Helsinki. RIL 183-4.9/ (In Finnish, 120 pp.)

УДК 691.332:628.1

Прасол А.В.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОПЕРЕДАЧИ ВОДЫ И ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ В БЕТОНЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Цементный камень в бетоне относится к капиллярно-пористому гидрофильному материалу, способному не только адсорбировать влагу и газы из воздуха, но и легко поглощать, когда избыток воды или солевого раствора попадает на поверхность железобетонной конструкции, а в бетоне определенная часть пор не содержит влаги. В таких условиях массоперенос не должен подчиняться законам Фика. Поэтому представлялось интересным изучить массопередачу жидкой среды с помощью электрохимических методов, сочетая их с гравиметрическими.

Для изготовления образцов использовали портландцемент 500 Костюковичского завода с активностью  $320 \text{ кг/см}^2$ . В качестве заполнителей служили щебень гранитный фракции 5-10 и карьерный песок. Из бетона изготавливали балочки размером  $4 \times 4 \times 7 \text{ см}$ , в которые по центру заделывали стальные электроды размером  $1 \times 1 \times 1 \text{ см}$  из стали Ст3. К электродам припаивали токоотводы с полихлорвиниловой изоляцией. Места пайки и четыре грани кубов изолировали отвержденной эпоксидной смолой. Электроды заделывали в бетон таким образом, чтобы толщина защитного слоя составляла 15 мм.

Образцы были изготовлены из бетона следующего состава: 1:0,9:2,4 с В/Ц=0,5, где цемент: песок: щебень с В/Ц — водоцементное соотношение.

Для изучения кинетики массопереноса использовали воду и 3% раствор NaCl, который применяется в качестве антиобледенительного средства в песчано-сильвийных смесях.

Образцы после распалубки помещали в эксикатор с дистиллированной водой, где они находились 28 суток для набора прочности и окончания процесса гидратации.

Изучение кинетики массопереноса осуществляли, измеряя водопоглощение весовым методом для образцов, которые не содержали электродов и падение сопротивления образцов с электродами, помещенных в дистиллированную и 3% раствор NaCl.

Определение изменения массы осуществляли на весах ВЛК-500, позволяющих фиксировать вес с точностью  $\pm 2 \text{ мг}$ . Для образцов с электродами параллельно со взвешиванием определяли электрическое сопротивление бетона и его изменение во времени, а также потенциал стального электрода, имитировавшего стальную арматуру.

Сопротивления измеряли с помощью цифрового измерителя С. L. R. марки E7-8 в автоматическом режиме поиска при частоте тока 1000 Гц. Потенциалы измерялись при помощи иономера универсального ЭВ-74.

Электропроводность бетона зависит в основном от ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$ , а количество жидкой фазы и структура порового пространства определяет величину ( $R_6$ ) критического сопротивления бетона [1]. Это позволило определить пористость бетона ( $P_6$ ) и изучить кинетику водонасыщения пор по скорости изменения  $R_6$  и параллельно весовым методом.

По минимальному значению  $R_6$  вычислили общую пористость бетона по формуле:

$$P_6 = (R_p/R_6) \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $R_p$  — сопротивление в насыщенном растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  стальных электродов с площадью  $1 \text{ см}^2$ , расположенных на удалении  $1,5 \text{ см}$ , Ом;

$R_6$  — сопротивление бетона с площадью электродов  $1 \text{ см}^2$ , Ом;

$$P_6 = (99/458) \cdot 100\% = 18,1\%$$

Полученные результаты сравним с вычисленными по формуле:

$$P_6 = (V - 0,84 \cdot \omega \cdot \text{Ц}/100) \cdot 100\% \quad (2)$$

где  $V$  — вода, используемая для приготовления смеси, л.;

$0,84$  — объем химически связанной воды ( $0,25 - 0,30$ );

$\text{Ц}$  — расход цемента, кг.

Формула (2) рекомендуется для расчета  $P_6$ , когда используются плотные горные породы заполнителей [2].

Расхождение значений  $P_6$  обусловлено худшим уплотнением при изготовлении образцов малой емкости.

Перед определением пористости образцы подвергали естественной обработке в течение 30 суток при  $18 - 20^\circ \text{C}$  при относительной влажности  $50\%$ . За это время потеря влаги составляла  $3,2\%$  от массы образцов, что соответствовало объемной потере влаги  $8,3\%$ . Следовательно, только  $8\%$  порового пространства было свободно от влаги. Оставшаяся влага распределялась по гелевым и капиллярным порам и не оказывала существенного влияния на  $R_6$ , так как  $R_6 = 2,6 \text{ МОм}$ , а при нагреве и выше.

При быстром погружении образцов в дистиллированную или водопроводную воду начинается процесс водонасыщения, кинетика которого представлена в таблице.

Таблица

Время, мин.	$\Delta m$ , г.; $\text{H}_2\text{O}$	% насыщения	$\Delta m \cdot 10^{-6}$ , г/см <sup>2</sup> ·мин	$\Delta R$ , кОм/см <sup>2</sup> ·мин	$\Delta E$ , В
0	0	0	0	290	+ 0,02
1	2,18	30	15139	4,00	- 0,08
5	1,44	19,8	2500	3,50	- 0,085
10	0,46	6,3	639	3,02	- 0,110
60	1,06	14,6	147	2,87	- 0,175
1440	1,78	24,5	8,6	0,84	- 0,195

В первую минуту наблюдается наибольшая скорость массопередачи воды с появлением по всей наружной поверхности образца пузырьков воздуха. Это свидетельствует об отсутствии влияния перепада гидростатического давления при вытеснении воздуха из поровой структуры. Можно предположить, что из-за высокого химического сродства воды к гидратированному цементному клинкеру в порах размером  $50 - 100 \text{ мкм}$  и больше вода перемещается по всему периметру стенок порового пространства, образуя мениски в тупиках. Вогнутость менисков обращена в сторону выхода пор, облегчая вытеснение воздуха. Поры указанного размера образуются за счет поверхностного и внутреннего водоотделения и называются седиментационными. Они являются главными транспортными путями проникновения воды в бетон [3]. В более узких порах скорость вытеснения воды идет медленней, что затормаживается также растворением кристаллической  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Потенциал стального электрода смещается к отрицательным значениям, но сохраняет пассивное состояние.

Аналогичная зависимость наблюдается, когда использовали  $3\%$  раствор  $\text{NaCl}$ . В этом случае уже на вторые сутки потенциал электрода в бетоне достигал более отрицательных значений ( $-0,395 \text{ В}$ ). При таких значениях потенциалов стальная арматура распассивируется и появляется возможность развития коррозионного процесса. Нельзя исключать того, что медленная фаза обусловлена постепенным вытеснением остатков воздуха за счет перепада гидростатического давления жидкой среды.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии защитных свойств сухого бетона при обводнении его хлоридными растворами, а массопередача не подчиняется законам диффузии, так как скорость насыщения порового пространства на три порядка выше рассчитанной по законам Фика ( $10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{с}$ ).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вершинник Ю. Н., Левчиненко А. Г., Репих Л. Н., Федорова З. Н. Электросопротивление клинкерных материалов и их гидратов. Труды Сибирского НИИ энергетики-Новосибирск. ЦБТИ, вып. 2, 1964.
2. Домокеев А. Г. Строительное производство-М.: "Высшая школа", 1989.
3. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах-М.: Стройиздат, 1990.

УДК 624.131+624.01.04:712

Шведовский П.В., Волчек А.А., Лукаш В.В.

ОЦЕНКА РИСКА И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Анализ исследований по эксплуатационной надежности инженерных объектов позволяет отметить, что одним из важнейших компонентов формирования базовой и прогнозной моделей надежности является оценка риска и неопределенности функционирования объекта [1, 4].

Так как даже для технически несложных инженерных объектов характерно не менее 200 значимых подсистемных и межкомпонентных связей, знание о которых более чем на 80% малодостоверно, то функционирование любого объекта нужно рассматривать как функционирование целостной динамически противоречивой пространственно-временной системы с длительным циклом функционирования, состоящей из подсистем (коммуникационных, технологических, связевых, строительных, средовых, прочностных, защитных и т.д.), обеспечивающих ее стабильное функционирование в настоящем и будущем.

Исходя из законов композиции общей теории таких систем, необратимости принципов неполноты информации о внутренней природе составляющих подсистем, компонент и механизмах их устойчивости (надежности и уязвимости) с учетом логических правил соразмерности и истинности, надежное функционирование объекта может быть описано методами теории принятия решений в условиях неопределенности, непараметрическими методами математической микростатистики, методами морфологического анализа, через суммарные статистики на базе теории векторов или интервальными оценками таких параметров экологической надежности и экологической устойчивости, как доверительные границы, степень и границы максимального риска, их приемлимость и рискозащищенность.

Анализ исследований в области создания общей структуры и принципов оценки надежности (рисков) структурно- и связесложных систем [2, 3] показывает, что любая структура должна удовлетворять принципам относительной полноты и непересекаемости и, соответственно, оценка (анализ и синтез) рисков должна базироваться на трехуровневой системе принципов: методологической (определяющей концептуальные положения), методической (связанной со спецификой систем, надсистем, подсистем и конкретикой условий) и операциональной (связанной с однозначностью и достоверностью информационных потоков).

Анализ концептуальных основ позволил сформировать следующую значимую группу методологических принципов – объективность, корректность, ограниченность, системность, взаимозависимость, позитивность и однотипность.

Объективность риска означает, что при оценке необходимо обеспечить достоверность отражения структуры и характеристик системы, при этом нужно полно, по мере возможного, учесть как качественные и количественные параметры переходных процессов, так и степень недостоверности и неопределенности, объективно присущую будущему.

Корректность рисков означает, что при оценке должны выполняться такие формальные требования, как аддитивность, транзитивность, непропорциональность и интервальная монотонность, т. е.  $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$ ;  $R_{\text{общ}}^i < R_{\text{общ}}^{i+1} < R_{\text{общ}}^{i+2}$ ;  $R_i \notin R_{\text{общ}}^i$ , где  $R_i$  – общие и частные риски.

Ограниченность рисков означает, что их формирование во многом зависит от наличия ресурсов однократного или многократного пользования (природные, социальные, финансовые и информационные), а системность (комплексность) – что в своей совокупности они должны образовывать замкнутую систему иерархического типа: эмерджентные ↔ неэмерджентные риски.