

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ДИФФУЗИОННОГО МАССОПЕРЕНОСА

Хрунов В.А., доц.

Ивановский государственный политехнический университет,

г. Иваново, Российская Федерация

Реферат. Проблема обеспечения долговечности бетонных конструкций обуславливает необходимость разработки эффективных методов прогноза. Основу таких методов составляют результаты теоретических и экспериментальных исследований коррозионных явлений в бетоне. В статье проведено математическое моделирование массопереноса в процессах коррозии первого вида. Полученные выражения позволяют прогнозировать динамику и кинетику процессов коррозионной деструкции.

Ключевые слова: долговечность, прогнозирование, коррозия, цементный бетон, диффузия, массоперенос, математическое моделирование.

Широкое использование бетона в гражданском и промышленном строительстве, в том числе для изготовления конструктивных элементов зданий и сооружений предприятий текстильной и легкой промышленности, обусловлено теми большими возможностями, которые предоставляет этот материал строителям.

Значительная часть сооружений, возведённых из бетона и железобетона, в процессе эксплуатации подвержены интенсивному воздействию различных агрессивных сред, повышая тем самым риски опасного обрушения строительных конструкций и возникновения техногенных аварий.

Основная причина таких катастроф - коррозия бетона, которая может проявляться в виде частичного или полного разрушения одной или нескольких составных частей цементного камня в результате физического, химического, физико-химического или биологического воздействий коррозионной среды или внутренних процессов в бетоне.

Для снижения рисков техногенных аварий и катастроф, которые могут сопровождаться негативным влиянием на окружающую среду и здоровье человека следует использовать современные подходы к оценке степени аварийности промышленных объектов.

Отсюда возникает настоятельная потребность в детальном изучении коррозионных явлений в бетоне и определении на этой основе характеристик, необходимых для прогноза долговечности и расчета остаточного ресурса конструкций, обусловленная необходимостью увеличения сроков эксплуатации зданий и сооружений, а также снижения расходов по их содержанию.

Прогнозирование долговечности - весьма сложный аналитический процесс, требующий многообразных системных знаний ряда разделов науки: физической химии, электрохимии, термодинамики, теории и кинетики гетерогенных химических процессов, массопереноса в капиллярно-пористых телах.

К настоящему времени в строительном материаловедении накоплен большой объем научных данных о коррозионных процессах, протекающих в бетонах и железобетонах под влиянием окружающей среды того или иного состава: установлены и исследованы принципиальные схемы химических реакций; даны математические описания некоторых коррозионных процессов, основанные на использовании уравнений тепломассопереноса; создана система нормативных документов по борьбе с коррозией в строительном комплексе [1].

На основе полученных экспериментальных данных и накопленного опыта многочисленны процессы, протекающие при коррозии бетона, разделены на три основных вида: первый, второй и третий [2].

Выделение трех основных видов коррозии, основанное на принципе доминирующих факторов, дает возможность установить общие для каждого вида закономерности. Это, в свою очередь, облегчает правильный выбор мероприятий, необходимых для

предотвращения развития коррозии бетона и обеспечения его долговечности.

При прогнозировании долговечности цементных бетонов традиционно опираются на значения концентраций растворенного гидроксида кальция в жидкости пор бетона, т.к. стабильное существование основных минералов цементного камня возможно только в насыщенных (или близких к ним) растворах гидроксида кальция. При этом, после затвердевания, в порах цементного бетона находится перенасыщенный раствор гидроксида кальция. Далее, после начала эксплуатации бетонной конструкции в жидкой среде, происходит постепенное понижение концентрации гидроксида кальция в порах бетона. При достижении определенных значений концентрации гидроксида кальция начинается процесс разложения высокоосновных соединений цементного камня с выделением гидроксида кальция, впоследствии приводящий к потере прочности и разрушению конструкции.

В этих условиях разработка математических моделей процессов коррозии бетона базируется на физических моделях диффузии переносимых компонентов в пористой структуре бетона и математическом аппарате краевых задач массопереноса с использованием дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа.

Под общим руководством академика РААСН С.В. Федосова специалистами его научной школы разработан и апробирован ряд математических моделей жидкостной коррозии цементных бетонов. В работах [3-6], посвященных моделированию коррозионной деструкции, протекающей по механизму I вида в условиях ограниченного объема жидкой среды, показано, что математически эта задача может быть представлена уравнениями:

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = k \cdot \frac{\partial^2 C(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad \tau > 0, \quad 0 \leq x \leq \delta. \quad (1)$$

$$\text{Начальное условие: } C(x, \tau) \Big|_{\tau=0} = C(x, 0) = C_0. \quad (2)$$

$$\text{Граничные условия: } \frac{\partial C(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0; \quad (3)$$

$$k \cdot \frac{\partial C(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = \beta [C_p(\tau) - C(\delta, \tau)]. \quad (4)$$

где $C(x, \tau)$ - концентрация «свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ » в бетоне в момент времени τ в произвольной точке с координатой x , в пересчете на CaO , кг $\text{CaO}/\text{кг}$ бетона; C_0 - концентрация «свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ » в бетоне в начальный момент времени в произвольной точке с координатой x , в пересчете на CaO , кг $\text{CaO}/\text{кг}$ бетона; $C_p(\tau)$ - равновесная концентрация на поверхности твердого тела, кг $\text{CaO}/\text{кг}$ бетона; k - коэффициент массопроводности в твердой фазе, $\text{м}^2/\text{с}$; δ - толщина стенки конструкции, м; x - координата, м; τ - время, с; β - коэффициент массоотдачи в жидкой среде, $\text{м}/\text{с}$.

Решение системы уравнений (1)-(4) для малых чисел Фурье методом интегрального преобразования Лапласа даёт выражения, позволяющие рассчитать профиль безразмерных концентраций переносимого компонента по толщине бетона в произвольный момент времени (5), среднюю по толщине конструкции концентрация переносимого компонента (6) и концентрацию перенесенного компонента в жидкой фазе (7).

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0} = \frac{Bi_m}{1 + K_m} - 2Bi_m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n \cdot \bar{x}) \exp(-\mu_n \cdot Fo_m)}{\mu_n \cdot [1 - K_m + Bi_m] \sin \mu_n + [\mu_n^2 - K_m] \cdot \cos \mu_n}. \quad (5)$$

$$Z_{cp}(Fo_m) = \frac{Bi_m}{1 + K_m} - 2Bi_m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_m)}{\mu_n \cdot [\mu_n \cdot (1 + Bi_m - K_m) \sin \mu_n + (\mu_n^2 - K_m) \cdot \cos \mu_n]}. \quad (6)$$

$$Z_{ж}(Fo_m) = \frac{C_0 - mC_{ж}(\tau)}{C_0} = 1 + 2Bi_m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n \cdot [1 - \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo_m)]}{\mu_n \cdot [\mu_n (1 + Bi_m - K_m) \sin \mu_n + (\mu_n^2 - K_m) \cos \mu_n]}. \quad (7)$$

В полученных выражениях μ_n - корни характеристического уравнения:

$$\operatorname{ctg} \mu_n = \frac{\mu_n^2 - K_m}{\mu_n \cdot Bi_m}. \quad (8)$$

Выражения (5)-(7) позволяют рассчитывать профили концентраций «свободного гидроксида кальция» по толщине бетонной и железобетонной конструкции в любой момент времени, определять содержание растворенного гидроксида кальция в жидкой фазе, вычислять среднее по толщине и объему конструкции и на границе раздела фаз, что в совокупности позволит осуществлять мониторинг процесса массопереноса при коррозии первого вида цементных бетонов.

Безусловным положительным моментом полученных зависимостей является возможность решения обратной задачи, когда имеющиеся экспериментальные данные с помощью данной модели позволяют прогнозировать численное значение свободного гидроксида кальция, что в конечном итоге позволяет с минимальной погрешностью прогнозировать долговечность зданий и сооружений.

Список использованных источников

1. Леонович, С.Н. Общие закономерности процессов коррозии конструкционного бетона АЭС и их моделирование [Текст] / С.Н. Леонович // Наука и техника.–2010.– №3.–С. 11-15.
2. Москвин, В.М. Коррозия бетона [Текст] / В.М. Москвин.–М.: Стройиздат, 1952.–342 с.
3. Федосов, С.В. Моделирование массопереноса в процессах коррозии бетонов первого вида (малые значения числа Фурье) [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, Л.Н. Аксаковская // Строительные материалы.–2007.– №5.–С. 70-71.
4. Федосов, С.В. О некоторых проблемах технологии безопасности и долговечности зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, М.Е. Шестеркин // Строительные материалы.–2015.– №3.–С. 8-11.
5. Румянцева, В.Е. Определение ресурса безопасной эксплуатации зданий и сооружений из бетона [Текст] / В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, М.Е. Шестеркин // Известия высших учебных заведений. Серия: Технология текстильной промышленности.–2015.–№4.– С.131-136.
6. Федосов, С.В. Повышение экологической и промышленной безопасности опасных производственных объектов [Текст] / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов // Строительство и реконструкция.–2016.–№5 (67).–С. 76-83.

УДК 677.11.027.62

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ РАСШЛИХТОВКА ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ

Ясинская Н.Н., доц., Скобова Н.В., доц., Котко К.А., студ.

Витебский государственный технологический университет,

г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. В статье рассматривается эффективность применения ферментных препаратов на базе α -амилаз в процессе расшлихтовки суровых хлопчатобумажных тканей. Проведена оценка свойств тканей, биорасшлихтованных по периодическому и непрерывному способу.

Ключевые слова: хлопчатобумажная ткань, ферментативные технологии, α -амилазы, расшлихтовка, физико-механические свойства.

В последние годы все большая роль отводится совершенствованию технологий химической отделки текстильных материалов, связанному с экологическими проблемами, а именно переходом на применение нетоксичных препаратов и снижением сбросов вредных веществ в сточные воды. Одним из способов решения этой проблемы является