

УДК 691.32:620.193:66.021.3

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАССОПЕРЕНОСА НА КИНЕТИКУ И ДИНАМИКУ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ЖИДКОСТНОЙ КОРРОЗИИ ПЕРВОГО ВИДА ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

**С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников**

*Ивановский государственный политехнический университет (г. Иваново)*

*Аннотация.* Большое количество накопленных теоретических и экспериментальных научных исследований о коррозионных процессах, протекающих в теле бетонных и железобетонных конструкций, позволяет создавать математические модели. Коррозия цементных бетонов обусловлена диффузией «свободного гидроксида кальция», находящегося в порах бетона, из объема цементного камня к его поверхности, граничащей с агрессивной средой, и дальнейшим переходом вещества через границу раздела фаз «твердое тело (бетон) – агрессивная среда (жидкость)». Ввиду того, что все минералы цементного камня существуют только в насыщенных или близких к ним растворах гидроксида кальция, уменьшение содержания «свободного гидроксида кальция» пор бетона в результате массообменных процессов вызывает изменение фазового и термодинамического равновесия в теле бетона, приводит к разложению высокоосновных соединений цементного камня и, как следствие, ухудшению механических свойств бетона. Оценить влияние тех или иных параметров эксплуатации конструкции на ее долговечность позволяют математические модели, основанные на теории массопереноса академика А. В. Лыкова.

В данной работе представлена задача массопереноса в безразмерном виде системой уравнений с неравномерным начальным условием и граничными условиями 2 и 3 рода. Полученные решения системы уравнений позволяют в совокупности производить расчеты динамики массопереноса целевого компонента из внутренних слоев конструкции к границе раздела фаз, а также кинетику перехода этого компонента через границу раздела фаз и переход от границы раздела в объем жидкости в резервуаре. Для оценки влияния параметров массопереноса проведен численный эксперимент, иллюстрирующий влияние критериев подобия (Фурье, Био, Померанцева) и коэффициента, учитывающего характеристики фаз, на интенсивность процесса коррозионного взаимодействия, динамику и кинетику в широком диапазоне параметров. Рассчитанные в ходе численного эксперимента графические зависимости согласуются с физическими представлениями о процессе коррозионного массопереноса по механизму первого вида.

*Ключевые слова:* математическое моделирование; массоперенос; коррозия; цементный бетон; концентрация; динамика и кинетика процесса.

**Введение.** За 150 лет исследований процессов коррозионной деструкции бетона учеными накоплен большой объем научных знаний о коррозионных процессах, протекающих в бетонах и железобетонах: установлены и исследованы принципиальные схемы химических реакций; даны математические описания некоторых коррозионных процессов; создана система нормативных документов по борьбе с коррозией в строительном комплексе [1-4].

Накопленный большой практический материал позволяет создавать математические модели, с помощью которых возможно с требуемой точностью рассчитать долговечность

бетонных и железобетонных конструкций.

Ранее представителями нашей научной школы были опубликованы работы по теоретическому исследованию процессов массопереноса при коррозии первого вида цементных бетонов, описывающих процесс на начальной стадии [5], учитывающих наличие внутреннего источника массы «свободного гидроксида кальция» [6] и нелинейность кривой равновесия [7]. Приведенные в работах [5-7] математические модели основаны на теории массопереноса академика А. В. Лыкова [8].

**Целью** данной работы является публикация результатов численного эксперимента,

проводимого по разработанной нами математической модели массопереноса в замкнутой системе «жидкость-резервуар» для процессов коррозии первого вида при наличии внутреннего источника массы – «свободного гидроксида кальция» в теле бетона.

**Разработка математической модели массопереноса в процессах коррозии цементных бетонов первого вида.** Математически задача массопереноса в безразмерном виде может быть представлена следующей системой уравнений с неравномерным начальным условием и граничными условиями 2 и 3 рода [9, 10]:

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2}, \quad (1)$$

$$0 \leq \bar{x} \leq 1, Fo_m > 0,$$

$$Z(\bar{x}, Fo_m) \Big|_{Fo_m=0} = \frac{C_0 - C(x, \tau)}{C_0} \Big|_{\tau=0} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=0} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{1}{Bi_m} \cdot \frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} = [Z_p(Fo_m) - Z(\bar{x}, Fo_m)] \Big|_{\bar{x}=1}, \quad (4)$$

$$-\frac{\partial Z_{жс}(Fo_m)}{\partial Fo_m} = K_m \cdot \frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}} \Big|_{\bar{x}=1}, \quad (5)$$

$$K_m = \frac{m \cdot S \cdot \delta}{V_{жс}} \cdot \frac{\rho_{бет}}{\rho_{жс}} = \frac{m \cdot G_{бет}}{G_{жс}}, \quad (6)$$

здесь  $Fo_m = k\tau / \delta^2$  – массообменный критерий Фурье;  $Bi_m = \beta^* \cdot \delta / k$  – массообменный критерий Био;  $Po_m^* = q_v \cdot \delta^2 / k \cdot C_0 \cdot \rho_{бет}$  – модифици-

рованный массообменный критерий Померанцева;  $Z(\bar{x}, Fo_m)$  – безразмерная концентрация переносимого компонента по толщине бетона;  $Z_p(Fo_m) = (C_0 - C_p) / C_0$  – безразмерная равновесная концентрация на поверхности твердого тела;  $Z_{жс}(Fo_m) = (C_0 - mC_{жс}) / C_0$  – безразмерная концентрация переносимого компонента в жидкой фазе;  $C(x, \tau)$  – концентрация «свободного гидроксида кальция» в бетоне в момент времени  $\tau$  в произвольной точке с координатой  $x$ , кг СаО/кг бетона;  $C_p(\tau)$  – равновесная концентрация на поверхности твердого тела, кг СаО/кг бетона;  $C_{жс}(\tau)$  – концентрация гидроксида кальция в жидкости, кг СаО/кг жидкости;  $k$  – коэффициент массопроводности в твердой фазе, м<sup>2</sup>/с;  $\beta^*$  – модифицированный коэффициент массоотдачи в жидкой среде, м/с;  $\delta$  – толщина стенки конструкции, м;  $x$  – координата, м;  $\tau$  – время, с;  $\rho_{бет}, \rho_{жс}$  – плотности бетона и жидкости соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – константа Генри, кг жидкости/кг бетона;  $K_m$  – коэффициент, учитывающий характеристики фаз;  $G_{бет}, G_{жс}$  – массы бетонного резервуара и жидкости, кг.

Решение системы уравнений велось методом интегрального преобразования Лапласа, т.е. исходная система уравнений отображалась в область комплексных чисел, в которых было получено решение системы, а затем произведен перевод решения в область оригиналов. В результате было получено общее решение задачи массопроводности, описывающее динамику полей концентраций:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{Z_p(0)}{K_m + 1} - 2Bi_m \cdot Z_p(0) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\mu_m \cdot \cos(\mu_m \bar{x})}{\psi'(Bi_m, K_m, \mu_m)} \cdot \exp(-\mu_m^2 Fo_m) + \quad (7)$$

$$+ 2Po_m^* \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_m \bar{x}) \cdot \varphi(Bi_m, K_m, \mu_m)}{\mu_m^2 \cdot \psi'(Bi_m, K_m, \mu_m)} \cdot \exp(-\mu_m^2 Fo_m),$$

$$\text{где } \varphi(Bi_m, K_m, \mu_m) = (\mu_m^2 - Bi_m \cdot K_m) \cdot \sin \mu_m - \mu_m \cdot Bi_m \cdot (\cos \mu_m - 1), \quad (8)$$

$$\psi'(Bi_m, K_m, \mu_m) = [\mu_m^2 (3 + Bi_m) - Bi_m \cdot K_m] \cdot \sin \mu_m + \mu_m [\mu_m^2 - Bi_m (K_m + 2)] \cdot \cos \mu_m, \quad (9)$$

$$\text{tg} \mu_m = \frac{\mu_m \cdot Bi_m}{\mu_m^2 - Bi_m \cdot K_m} - \text{характеристическое уравнение.} \quad (10)$$

Чтобы получить выражение для расчета кинетики массопереноса в жидкой фазе, необходимо возвратиться к выражению (5). С этой целью проводятся следующие математические процедуры: сначала решение (7) дифференцируется по  $\bar{x}$  и находится его выражение

$$Z_{ж}(Fo_m) = Z_{ж}(0) + 2Bi_m \cdot K_m \cdot Z_p(0) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_m}{\Psi'(Bi_m, K_m, \mu_m)} \cdot [\exp(-\mu_m^2 Fo_m) - 1] - 2Po_m^* \cdot K_m \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_m \cdot \varphi(Bi_m, K_m, \mu_m)}{\mu_m^3 \cdot \Psi'(Bi_m, K_m, \mu_m)} \cdot [\exp(-\mu_m^2 Fo_m) - 1]. \quad (11)$$

Таким образом, выражения (7) и (11) позволяют в совокупности производить расчеты динамики массопереноса целевого компонента из внутренних слоев конструкции к границе раздела фаз, а также кинетику перехода этого компонента через границу раздела фаз и переход от границы раздела в объем жидкости в резервуаре.

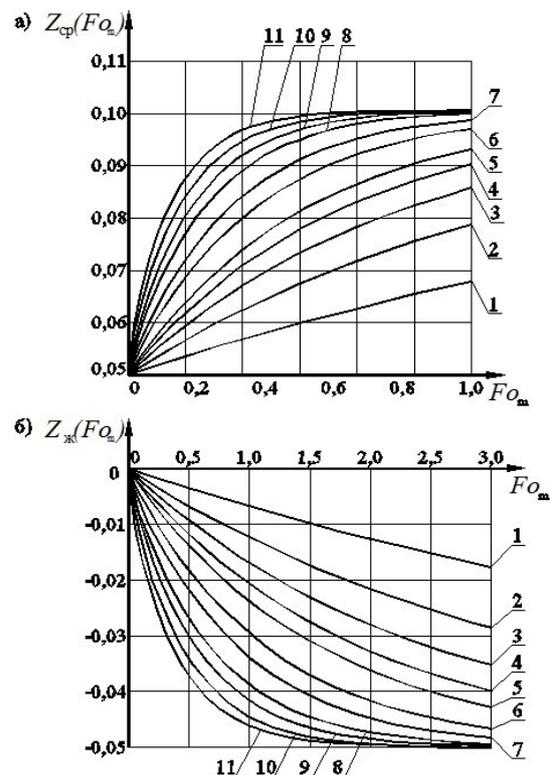
Для оценки влияния параметров массопереноса проведен численный эксперимент, иллюстрирующий влияние критериев подобия (Фурье, Био, Померанцева) и коэффициента, учитывающего характеристики фаз, на интенсивность процесса коррозионного взаимодействия, динамику и кинетику процесса в широком диапазоне параметров.

**Численный эксперимент.** На рисунке 1 показано влияние массообменного критерия Био, характеризующего интенсивность влияния на процесс коэффициента массоотдачи, на изменение средней концентрации «свободного гидроксида кальция» в твердой фазе и концентрации гидроксида кальция в жидкости. Анализ построенных зависимостей показывает, что при  $Bi_m \leq 0,5$  изменение средней концентрации переносимого компонента в твердой фазе близко к линейному, а также то, что изменение числа Био в 2-3 раза при его малых значениях гораздо больше увеличивает градиент концентраций, чем такое же увеличение при больших значениях критерия Био.

Рассмотрим, как влияет на процесс коэффициент, учитывающий характеристики фаз  $K_m$ ,

при  $\bar{x} = 1$ , а затем интегрируется по  $Fo_m$  в пределах от 0 до  $Fo_m$ , в результате чего получается выражение, описывающее кинетику процесса в жидкой фазе:

зависящий от константы равновесия Генри  $m$ , а также от соотношения масс бетона и жидкости. На рисунке 2 продемонстрированы результаты расчета для различных чисел коэффициента  $K_m$ . Очевидно, что с увеличением  $K_m$  динамика и кинетика процесса интенсифицируются.



**Рис. 1.** Изменение средней безразмерной концентрации «свободного гидроксида кальция»  $Z_{cp}$  (а) и концентрации гидроксида кальция в жидкой фазе  $Z_{ж}$  (б) от числа Фурье при  $K_m = 0,5$ ;  $Z_p(0) = 0,15$ , с разными значениями числа Био  $Bi_m$ : 1-0,1; 2-0,2; 3-0,3; 4-0,4; 5-0,5; 6-0,75; 7-1; 8-1,5; 9-2; 10-3; 11-5

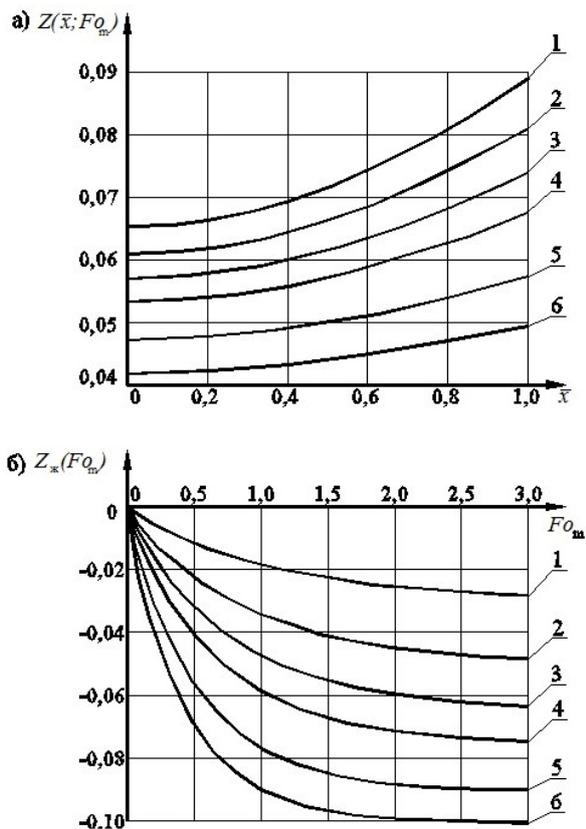


Рис. 2. Профиль безразмерной концентрации «свободного гидроксида кальция»  $Z(\bar{x}, Fo_m)$  при числе Фурье  $Fo_m = 1$  (а); изменение безразмерной концентрации гидроксида кальция в жидкой фазе  $Z_{ж}$  от числа Фурье при  $Z_p(0) = 0,15$ ,  $Bi_m = 1$ ; с разными значениями коэффициента, учитывающего характеристики фаз  $K_m$ : 1 – 0,25; 2 – 0,5; 3 – 0,75; 4 – 1; 5 – 1,5; 6 – 2 (б)

Для большей наглядности изменения динамики и кинетики процесса на рисунках 3-6 профили концентраций показаны в зависимости от двух переменных. В целях более удобного рассмотрения рисунков 3-6 начало отсчета осей отличается от общепринятого.

Динамику описываемого процесса при разных значениях модифицированного массообменного критерия Померанцева (т.е. при различной мощности внутреннего источника массы) при числе Фурье  $Fo_m = 0,1$  наглядно отражает рисунок 3. Для демонстрации возможностей разработанной математической модели рассматриваются значения модифицированного массообменного

критерия Померанцева как положительные (означающие выделение «свободного гидроксида кальция» в бетоне), так и отрицательные (означающие поглощение «свободного гидроксида кальция» в бетоне, хотя это не свойственно для жидкостной коррозии бетона первого вида).

Рисунок 4 отражает изменения в твердой фазе моделируемой системы при тех же параметрах, что и на рисунке 3, но большем числе Фурье  $Fo_m = 1$  (т.е. на более поздней стадии процесса). Совместный анализ рисунков 3 и 4 позволяет сделать вывод о том, что модифицированный массообменный критерий Померанцева оказывает значительное влияние на динамику процесса при небольших числах Фурье (в начале процесса), а затем с течением времени, т.е. при увеличении числа Фурье, степень его влияния на процесс уменьшается.

Рисунок 5 показывает изменение средней безразмерной концентрации в твердой фазе в зависимости от чисел Фурье и Померанцева. Как и на предыдущих рисунках, значения критерия Померанцева изменяются от  $-3$  до  $3$ . По рисунку 5 приблизительно видно, что наиболее интенсивное изменение система претерпевает в интервале чисел Фурье от  $0$  до  $1$ , далее изменение средней безразмерной концентрации становится незначительным.

Рисунок 6 иллюстрирует изменение безразмерной концентрации в жидкой фазе в зависимости от чисел Фурье и Померанцева. Очевидно, что при положительных числах Померанцева безразмерная концентрация гидроксида кальция уменьшается (т.е. в размерных величинах концентрация увеличивается), а при отрицательных – идет процесс поглощения бетоном гидроксида кальция из жидкости.

Рассчитанные в ходе численного эксперимента графические зависимости согласуются с физическими представлениями о процессе коррозионного массопереноса по механизму первого вида.

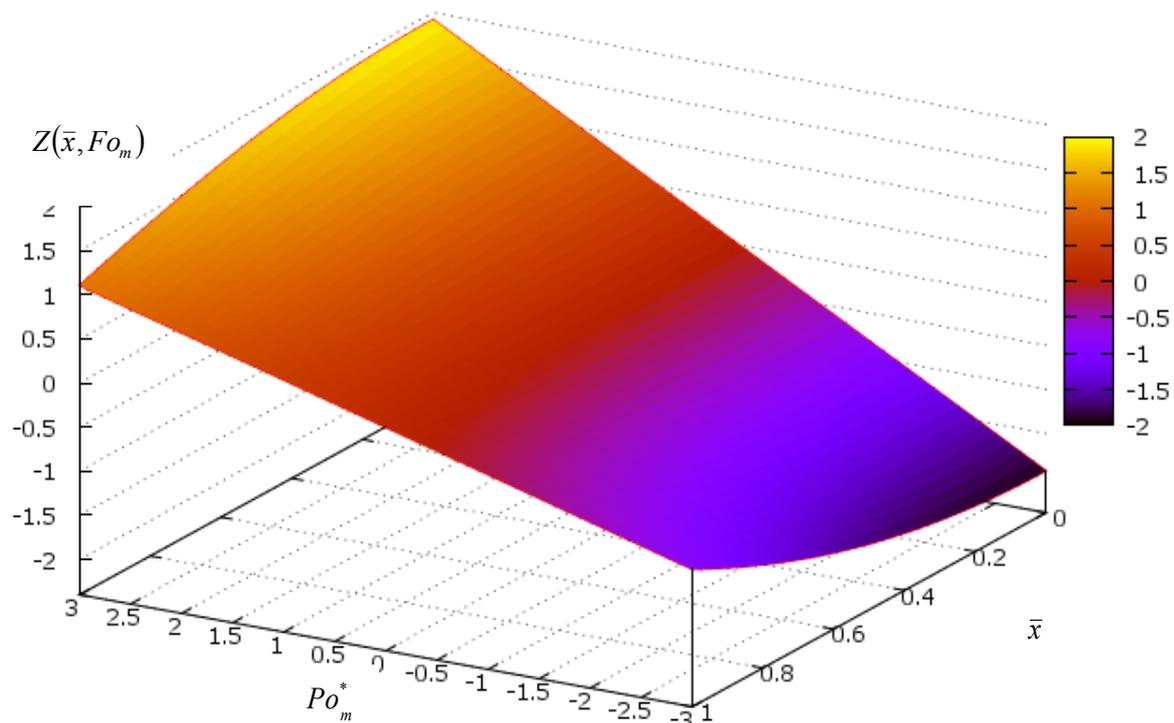


Рис. 3. Профиль безразмерной концентрации «свободного гидроксида кальция»  $Z(\bar{x}, Fo_m)$  в зависимости от модифицированного массообменного критерия Померанцева при  $Fo_m = 0,1$ ;  $Bi_m = 1$ ;  $K_m = 0,5$ ;  $Z_p(0) = 0,5$

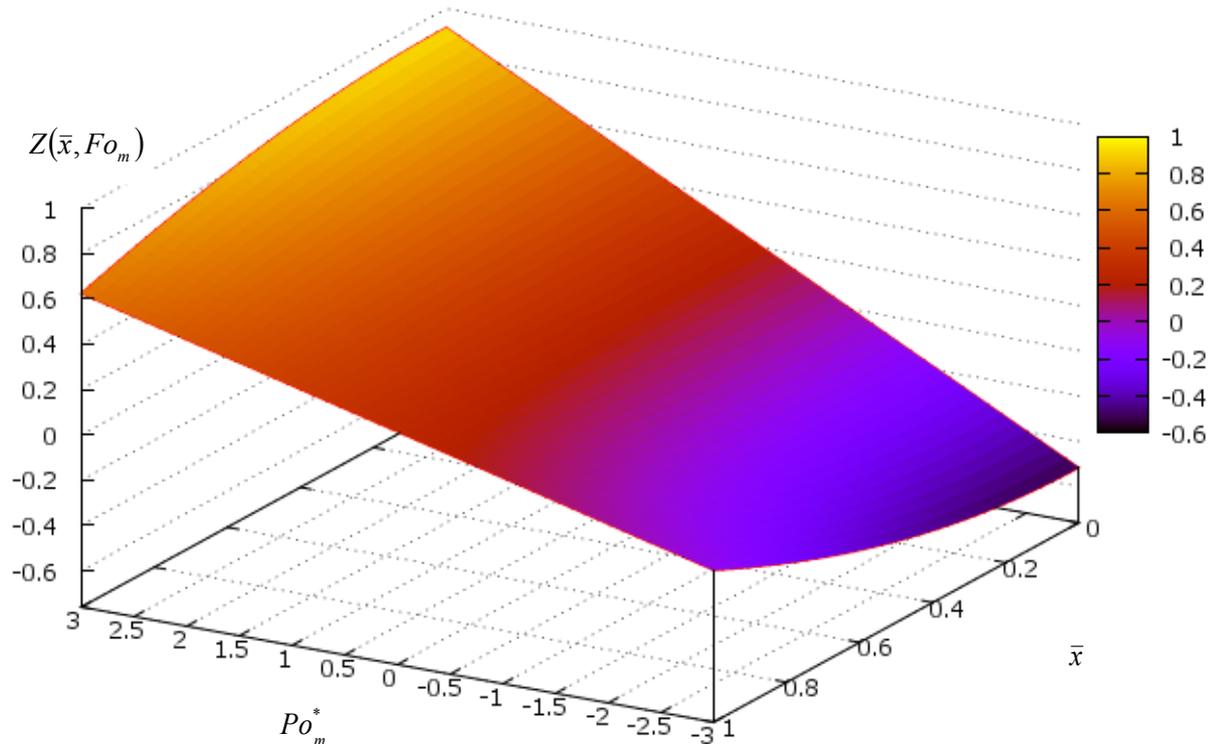


Рис. 4. Профиль безразмерной концентрации «свободного гидроксида кальция»  $Z(\bar{x}, Fo_m)$  в зависимости от модифицированного массообменного критерия Померанцева при  $Fo_m = 1$ ;  $Bi_m = 1$ ;  $K_m = 0,5$ ;  $Z_p(0) = 0,5$

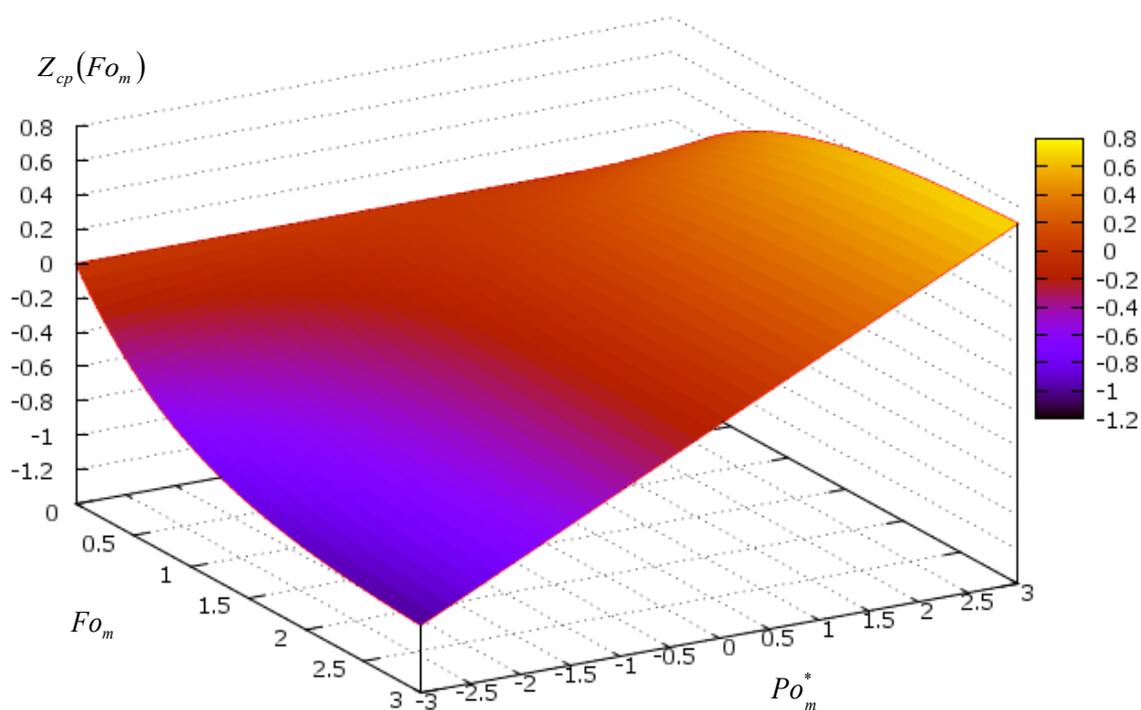


Рис. 5. Изменение средней безразмерной концентрации «свободного гидроксида кальция»  $Z_{cp}(Fo_m)$  в зависимости от массообменного модифицированного критерия Померанцева и критерия Фурье при  $Bi_m = 1$ ;  $K_m = 0,5$ ;  $Z_p(0) = 0,5$

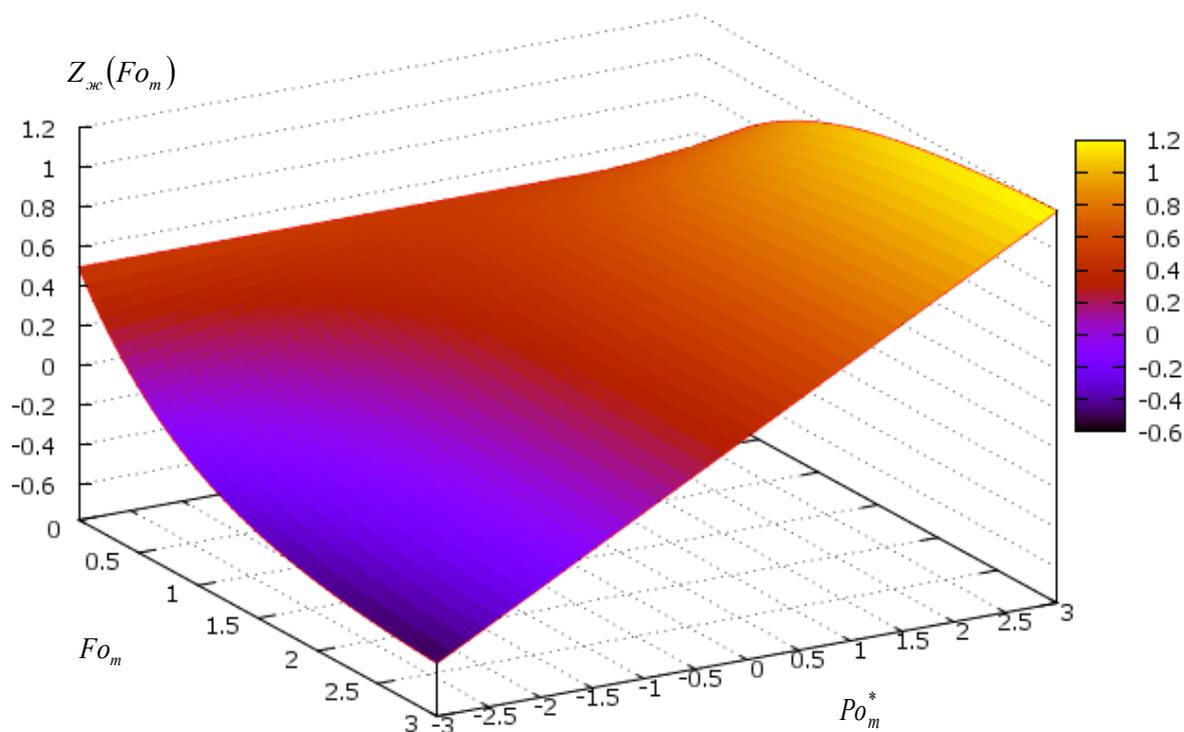


Рис. 6. Изменение безразмерной концентрации гидроксида кальция в жидкой фазе в зависимости от модифицированного массообменного критерия Померанцева и критерия Фурье при  $Bi_m = 1$ ;  $K_m = 0,5$ ;  $Z_p(0) = 0,5$

**Выводы.** Полученное решение позволяет производить расчеты профилей концентраций «свободного гидроксида кальция» в бетоне и находить условия, при которых эти концентрации достигают значений начала разложения высокоосновных соединений цементного бетона: алита, белита, трехкаль-

циевого алюмината и четырехкальциевого алюмоферрита, а значит, и переходить к дальнейшим этапам изучения и моделирования коррозионных процессов, что позволит экономически обоснованно назначать средства защиты и устанавливать сроки их применения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвин В. М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 342 с.
2. Полак А. Ф. Математическая модель процесса коррозии бетона в жидких средах // Бетон и железобетон. 1988. № 3. С. 30-31.
3. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Физико-математическая модель процессов коррозии арматуры железобетонных конструкций в агрессивных средах. Теория. М.: Научный мир, 2011. 56 с.
4. Розенталь Н. К. Новый Свод правил по защите строительных конструкций от коррозии // Инновационные технологии бетона: материалы I Германо-Российской конференции. М.: МГСУ, 2012. С. 6-8.
5. Моделирование массопереноса в процессах коррозии бетонов первого вида (малые значения числа Фурье) / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. А. Хрунов, Л. Н. Аксаковская // Строительные материалы. 2007. № 5. С. 70-71.
6. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, И. В. Красильников, Н. С. Касьяненко // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 44-47.
7. Румянцева В. Е., Красильников И. В., Шестеркин М. Е. Теоретические исследования динамики и кинетики процесса массопереноса при коррозии бетона первого вида в замкнутой системе «жидкость-резервуар» с учетом нелинейности кривой равновесия // Международная научно-техническая конференция «Проблемы ресурсо- и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК» (ПРЭТ-2014) (23-26 сентября 2014, Иваново, Россия): сборник трудов (секционные доклады). Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2014. С. 149-154.
8. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954. 296 с.
9. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Теоретические исследования влияния мощности внутреннего источника массы на процесс массопереноса при коррозии первого вида цементных бетонов // Academia. Архитектура и строительство. 2014. № 1. С. 102-105.
10. Fedosov S. V., Roumyantseva V. E., Khrunov V. A. Safety and longevity technologies of infrastructure, buildings and facilities // Procedia Engineering 111. 2015. P. 194-201.

#### Информация об авторах

*ФЕДОСОВ Сергей Викторович* – академик РААСН, доктор технических наук, профессор, президент и заведующий кафедрой техносферной безопасности Ивановского государственного политехнического университета. Область научных интересов – научные основы разработки процессов, технологии и оборудования для термической обработки строительных материалов. Автор более 400 научных и методических трудов, в том числе 16 монографий и более 10 учебных пособий. E-mail: prezident@ivgpu.com.

*РУМЯНЦЕВА Варвара Евгеньевна* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор и заведующая кафедрой химии, экологии и микробиологии, директор Института социально-гуманитарных и естественных наук Ивановского государственного политехнического университета. Область научных интересов – коррозия строительных материалов и конструкций; коррозионный массоперенос; прогнозирование долговечности строительных материалов; физика и химия строительных материалов. Автор более 250 публикаций. E-mail: varrym@gmail.com.

*КРАСИЛЬНИКОВ Игорь Викторович* – кандидат технических наук, руководитель центра научно-исследовательских работ и технической экспертизы Ивановского государственного политехнического университета. Область научных интересов – коррозия строительных материалов и конструкций; коррозионный массоперенос; прогнозирование долговечности строительных материалов, физика и химия строительных материалов. Автор 30 публикаций. E-mail: shesterkin86@mail.ru.

UDC 691.32:620.193:66.021.3

## EVALUATION OF THE INFLUENCE OF MASS TRANSFER PARAMETERS ON KINETICS AND THE DYNAMICS OF PROCESSES ARISING IN LIQUID CORROSION OF FIRST TYPE OF CEMENT CONCRETE

**S. V. Fedosov, V. E. Roumyantseva, I. V. Krasilnikov**  
*Ivanovo State Polytechnical University (Ivanovo)*

*Abstract.* A large number of accumulated theoretical and experimental scientific studies on the corrosion processes occurring in the body of concrete and reinforced concrete structures allow the creation of mathematical models. Corrosion of cement concretes is caused by the diffusion of "free calcium hydroxide" in the pores of concrete, from the volume of the cement stone to its surface bordering the aggressive environment and the subsequent transfer of matter through the interface between the phases "solid (concrete) – aggressive environment (liquid)". In view of the fact that all the minerals of cement stone exist only in saturated or close to them calcium hydroxide solutions, a decrease in the "free calcium hydroxide" content of concrete pores as a result of mass exchange processes causes a change in the phase and thermodynamic equilibrium in the body of concrete, leading to the decomposition of highly basic cement stone compounds. And, as a consequence, deterioration of the mechanical properties of concrete. Mathematical models based on the theory of mass transfer of Academician A. V. Lykov allow us to evaluate the influence of various parameters of operation of a structure on its durability. In this paper we present the problem of mass transfer in a dimensionless form by a system of equations with a non-uniform initial condition and boundary conditions of 2 and 3 kinds. The obtained solutions of the system of equations make it possible in the aggregate to calculate the dynamics of the mass transfer of the target component from the inner layers of the structure to the phase boundary; And the kinetics of the transition of this component through the interface and the transition from the interface to the volume of the liquid in the reservoir. To assess the influence of mass transfer parameters, a numerical experiment was performed illustrating the influence of the similarity criteria (Fourier, Bio, Pomerantsev) and the factor taking into account the phase characteristics on the intensity of the corrosion interaction of dynamics and kinetics in a wide range of parameters. The graphical dependences calculated in the course of the numerical experiment are consistent with the physical concepts of the process of corrosion mass transfer by the mechanism of the first type.

*Keywords:* mathematical modeling; mass transfer; corrosion; cement concrete; concentration; the dynamics and kinetics of the process.

### REFERENCES

1. Moskvina V. M. Korrozija betona [Corrosion of concrete], Moscow: Gosstrojizdat, 1952, 342 p.
2. Polak A. F. Matematicheskaja model' processa korrozii betona v zhidkih sredah [Mathematical model of concrete corrosion process in liquid media], *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 1988, No. 3, pp. 30-31.
3. Gusev B. V., Faibusovich A. S. Fiziko-matematicheskaja model' processov korrozii armatury zhelezobetonnyh konstrukcij v agressivnyh sredah. Teorija [Physical and mathematical model of corrosion processes of reinforcement concrete structures in aggressive environments. Theory], Moscow: Nauchnyj mir, 2011, 56 p.
4. Rosenthal N. K. Novyj Svod pravil po zashhite stroitel'nyh konstrukcij ot korrozii [New Set of rules for corrosion protection of building structures], *Innovacionnye tehnologii betona: materialy I Germano-Rossijskoj konferencii* [Innovative technologies for concrete: materials of the first German-Russian conference], Moscow: MGSU, 2012, pp. 6-8.
5. Fedosov S. V., Rumyantseva V. E., Khrunov V. A., Aksakovskaya L. N. Modelirovanie massoperenosa v processah korrozii betonov pervogo vida (malye znachenija chisla Fur'e) [Modeling of mass transfer in the processes of corrosion of concrete of the first type (small values of the Fourier number)], *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2007, No 5, pp. 70-71.

6. Fedosov S. V., Rummyantseva V. E., Krasilnikov I. V., Kasyanenko N. S. Teoreticheskie i jeksperimental'nye issledovanija processov korrozii pervogo vida cementnyh betonov pri nalichii vnutrennego istochnika massy [Theoretical and experimental studies of corrosion processes of the first type of cement concrete in the presence of an internal source of mass], *Stroitel'nye materialy* [Building materials], 2013, No. 6, pp. 44-47.
7. Rummyantsev E. V., Krasilnikov V. I., Shesterkin, M. E. Teoreticheskie issledovanija dinamiki i kinetiki processa massoperenosa pri korrozii betona pervogo vida v zamknojoj sisteme "zhidkost'-rezervuar" s uchedom nelinejnosti krivoj ravnovesija [Theoretical studies of the dynamics and kinetics of the mass transfer process in corrosion of concrete of the first type in a closed system "liquid-tank" taking into account the nonlinearity of the equilibrium curve], *Mezhdunarodnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija "Problemy resurso- i jenergosberegajushhij tehnologij v promyshlennosti i APK"* (PRJeT-2014) (23-26 sentjabrja 2014, Ivanovo, Rossija): sbornik trudov (sekcionnye doklady) [International scientific and technical conference "Issues related to resource and energy-saving technologies in industry and agriculture" (PRET - 2014) (23-26 September 2014, Ivanovo, Russia): proceedings (sectional reports)], Ivan. gos. him.-tehnol. un-t, Ivanovo, 2014, pp. 149-154.
8. Lykov A. V. Javlenija perenosa v kapilljarno-poristyh telah [Transport phenomena in capillary-porous items], Moscow: Gostehizdat, 1954, 296 p.
9. Fedosov S. V., Rummyantseva V. E., Krasilnikov I. V. Teoreticheskie issledovanija vlijanija moshhnosti vnutrennego istochnika massy na process massoperenosa pri korrozii pervogo vida cementnyh betonov [Theoretical studies of the influence of the internal mass source on the process of mass transfer in the corrosion of the first type of cement concrete], *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and construction], 2014, No. 1, pp. 102-105.
10. Fedosov S. V., Rummyantseva V. E., Khrunov V. A. Safety and longevity technologies of infrastructure, buildings and facilities, *Procedia Engineering* 111, 2015, pp. 194-201.

#### Information about the authors

*FEDOSOV Sergey Viktorovich* – Academician of RAABS, Doctor of Technical Sciences, Professor, President and the Head of department "Technosphere safety", Ivanovo State Polytechnic University. Research interests – scientific bases of development of processes, technology and equipment for heat treatment of building materials. Author of over 400 scientific and methodical works, including 16 monographs and more than 10 education guidances. E-mail: prezident@ivgpu.com.

*RUMYANTSEVA Varvara Evgenevna* – Adviser of RAABS, Doctor of Technical Sciences, Professor and the Head of department "Chemistry, ecology and microbiology", Director of the Institute of Social-humanitarian and Natural Sciences, Ivanovo State Polytechnic University. Research interests – corrosion of construction materials and structures; corrosion mass transfer; prediction of durability of building materials; physics and chemistry of building materials. Author of over 250 publications. E-mail: varrym@gmail.com.

*KRASILNIKOV Igor Viktorovich* – Candidate of Chemical Sciences, Head of the Center of Scientific Research and Technical Expertise, Ivanovo State Polytechnic University. Research interests – corrosion of construction materials and structures; corrosion mass transfer; prediction of durability of building materials; physics and chemistry of building materials. Author of 30 publications. E-mail: korasb@mail.ru

#### Библиографическая ссылка

Федосов С. В., Румянцева В. Е., Красильников И. В. Оценка влияния параметров массопереноса на кинетику и динамику процессов, протекающих при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 1(5). – С. 14-22.