

Математическая теория процессов коррозии бетона

Борис Владимирович ГУСЕВ, член-кор. РАН, доктор технических наук, профессор, e-mail: info-rae@mail.ru
ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», 127994 Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

Александр Соломонович ФАЙВУСОВИЧ, доктор технических наук, профессор, e-mail: Fajvusovich@mail.ru
Международная инженерная академия, 125009 Москва, Газетный пер., 9, стр. 4

***Аннотация.** Прогнозирование процессов деградации конструкций, определяющих их безопасную эксплуатацию (особенно в агрессивных средах), представляет собой задачу государственной важности, учитывая значительные объемы конструкций, гарантированный срок эксплуатации которых исчерпан. В статье сформулированы основные направления совершенствования математической теории коррозии бетона. Для коррозии химического типа они включают в себя: учет фазовых превращений, двойную систему пористости и использование в качестве исходных данных для прогнозирования процессов деградации экспериментальных данных о распределении агрессивных компонентов по глубине слоя бетона эксплуатируемых конструкций. Функция скорости связывания агрессивного компонента при таком подходе получает теоретическое обоснование. Разработка общих положений принципов построения математических моделей, методов прогнозирования процессов деградации конструкций позволяет объединить исследования в этой области и представить их в качестве математической теории процессов коррозии бетона.*

***Ключевые слова:** коррозия бетона, фазовые превращения, двойная система пористости, задача Стефана, прогнозирование, деградация.*

MATHEMATICAL THEORY OF PROCESSES OF CONCRETE CORROSION

Boris V. GUSEV, e-mail: info-rae@mail.ru

Russian University of Transport, Obraztsova, 9, str. 9, Moscow 127994, Russian Federation

Alexandr S. FAYVUSOVICH, e-mail: Fajvusovich@mail.ru

International Academy of Engineering, Gazetny per., str. 4, Moscow 125009, Russian Federation

***Abstract.** Forecasting the processes of degradation of structures that determine their safe operation (especially in aggressive environments) is a task of national importance, given the significant volumes of structures whose service life is exhausted. The main directions of improving the mathematical theory of concrete corrosion are formulated in the article. For corrosion of chemical type they include: the account of phase transformations, dual porosity system and the use of experimental data on distribution of aggressive components along the depth of a layer of concrete of the operated structures as initial data for forecasting of processes of degradation. The function of the binding rate of the aggressive component under this approach is theoretically justified. The development of general provisions of the principles of building of mathematical models, methods of predicting the processes of degradation of structures makes it possible to combine research in this area and present them as a mathematical theory of corrosion processes of concrete.*

***Key words:** concrete corrosion, phase transformations, dual porosity system, Stefan's task, forecasting, degradation.*

В настоящее время объем бетонных и железобетонных конструкций, находящихся в эксплуатации, в России составляет ориентировочно 1,5 млрд м³. С увеличением продолжительности эксплуатации возрастает объем конструкций, срок безопасной эксплуатации которых согласно нормам, действовавшим во время строительства, исчерпан. Поэтому вопросы прогнозирования процессов деградации конструкций (прежде всего в условиях различных агрессивных воздей-

ствий), определяющих безопасность их эксплуатации, представляют собой проблему государственного значения.

Одним из наиболее актуальных направлений исследований в этой области является разработка математических моделей процессов коррозии и на их основе — инженерных методик прогнозирования, рассчитанных на массового потребителя.

Согласно действующим стандартам при прогнозировании определению подлежат: глубина

нейтрализованного слоя бетона на заданный срок эксплуатации и время достижения критической (пороговой) концентрации агрессивного компонента на границе с арматурой.

В статье анализируются виды коррозии, относящиеся к химическому типу (Chemical Damage), — сульфатная, карбонатная, хлоридная коррозия, выщелачивание, в том числе при фильтрации.

Разработка математических моделей осуществляется на основе механизма процесса, пред-

ставленного в виде последовательности стадий, кинетика протекания которых в данном случае описывается законами физической химии. При этом должны учитываться особенности структуры порового пространства бетона и характер распределения частиц химически активного вещества в цементной матрице.

В моделях должны учитываться фазовые превращения в процессах коррозии, число которых для сульфатной коррозии равно трем.

На основе анализа экспериментальных данных принято, что в процессах гетерогенных химических реакций контролирующей стадией является подвод жидкой фазы к подвижной границе раздела фаз при кислотном воздействии и отвод в случае выщелачивания в мягкой воде, связанного с растворением. При выборе теории, характеризующей кинетику процесса кристаллизации, необходим учет условия непрерывности и баланса веществ на границах с другими стадиями.

Далее приводится анализ известных моделей, используемых для прогнозирования. Наибольшее распространение для описания процесса нейтрализации слоя бетона во времени получило решение задачи Стефана [1–4]. В ней рассматривается процесс нейтрализации слоя щелочного металла под воздействием кислоты. Подвижная граница раздела фаз остается плоской. На границе общая концентрация агрессивного вещества и концентрация в связанном состоянии равны нулю. Использование указанной зависимости для описания процесса нейтрализации бетона связано с введением некоторых допущений. Наличие капиллярной пористости означает, что все нейтрализуемые частицы из цементной матрицы перемещаются в капилляры, расстояние между которыми может дости-

гать 10 радиусов. Именно по этой причине на начальном временном интервале наблюдается значительное отклонение расчетных значений от экспериментальных. Принято положение, что при продолжительности испытания 180 сут устанавливается режим, соответствующий расчетному. Однако оно также не оправдывается во многих случаях [1–7].

Для определения глубины нейтрализации бетона x_c , м, в процессе коррозии широко используется зависимость [1–7]

$$x_c = a + \sqrt{\frac{2D\varepsilon_f C t}{\mu m_0}}, \quad (1)$$

где a – поправочный (эмпирический) коэффициент; D – молекулярный коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; ε_f – пористость бетона; C – концентрация агрессивного компонента в жидкой фазе, $\text{кг}/\text{м}^3$; t – продолжительность процесса, с; μ – стехиометрический коэффициент; m_0 – концентрация нейтразуемого вещества в твердой фазе, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Зависимость (1) построена на основе решения задачи Стефана с подвижной границей [1, 2, 5].

В решении задачи Стефана впервые учтены фазовые превращения и наличие подвижных границ, поэтому оно широко используется в технике. Однако перенос решения на процессы коррозии бетона из-за различных исходных расчетных схем приводит к невозможности описания ряда важных элементов процесса:

- отсутствует описание процесса нейтрализации с учетом фактического расположения частиц;
- отсутствует возможность определения сроков достижения критической (пороговой) концентрации на границе с арматурой, так как они не совпадают со сроками достижения глубины нейтрализации.

Для устранения названных недостатков в настоящее время развивается другое направление разработки определяющих уравнений массопереноса, особен-

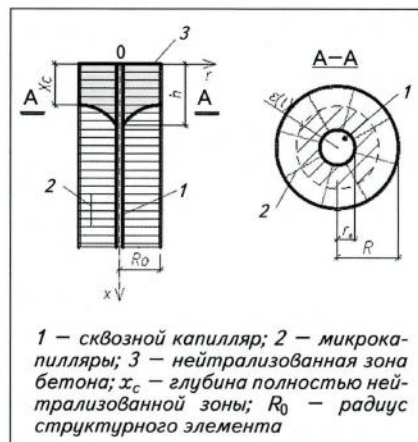


Рис. 1. Схема структурного элемента

ность которой заключается в том, что вместо взаимодействия с твердой фазой на подвижной границе учитывается взаимодействие по боковой поверхности капилляров. Причем в ряде случаев в качестве функции скорости связывания вещества в химической реакции используются зависимости теории адсорбции (осаждения) Ленгмюра или Фрейндлиха [2]. Достоинство такого подхода заключается в том, что из одного исходного определяющего уравнения на основе решения краевой задачи определяются глубина нейтрализации и время достижения критической концентрации на границе с арматурой. Параметры зависимости, характеризующей кинетику процесса адсорбции в экспериментальных исследованиях, определяются по распределению концентраций агрессивного компонента в свободном и связанном состоянии, т. е. фактически на основе результатов химической реакции.

При этом остается неизвестной связь параметров со всеми особенностями протекания процессов с фазовыми превращениями. Если фазовых превращений два или более, то построение определяющих уравнений становится проблематичным. В случае кристаллизации процесс при ис-

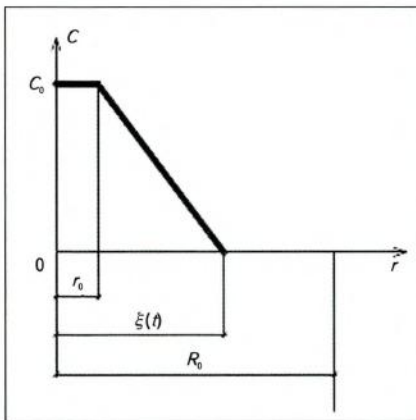


Рис. 2. Расчетная схема нейтрализации портландита в отдельном микрокапилляре

пользовании зависимости адсорбции должен прекращаться, но фактически продолжается. Таким образом, область применения данного подхода ограничена. Из выполненного анализа следует, что при использовании одинарной системы пористости самостоятельное определение функции скорости связывания невозможно.

В работах авторов статьи развито направление разработки математических моделей с использованием двойной системы пористости, которая основывается на следующих исходных предположениях [1–7]:

- все капилляры ($0,5 \cdot 10^{-7} \leq r_0 \leq 10^{-5}$) м с учетом площадей поперечного сечения разделяются на два типа. К первому типу относятся сквозные капилляры продольного направления, по которым возможен массоперенос жидкой, а в случае атмосферной коррозии также и газообразной фаз. В поперечных капиллярах, радиально примыкающих к сквозным, возможен массоперенос только жидкой фазы. Условно в данном случае поперечные капилляры называются микрокапиллярами;
- для описания процесса коррозии в массиве из всего разнообразия выделяется один структурный элемент, который характе-

ризуется значениями пористости в продольном (ε_{\parallel}) и поперечном (ε_{\perp}) направлениях, радиуса R_0 (рис. 1).

Основное требование, предъявляемое к структурному элементу, заключается в обеспечении соответствия распределения концентраций агрессивного компонента в бетоне эксплуатируемых конструкций и структурном элементе. Указанное достигается путем статистической обработки результатов распределения концентраций по глубине слоя эксплуатируемых конструкций и определения на их основе обобщенных параметров, применяемых для прогнозирования процессов деградации на дополнительный срок эксплуатации при известном текущем.

Более детальное описание алгоритма построения модели излагается далее.

Для описания процессов коррозии при фильтрационном массопереносе также используется двойная система пористости, включающая в себя фильтрационные поры или трещины продольного направления и примыкающие к ним капилляры поперечного направления.

Концентрация нейтразуемых частиц цементной матрицы определяется только той частью, которая расположена в капиллярах поперечного направления или примыкает непосредственно к ним.

Процесс нейтрализации химически активного вещества цементной матрицы при двойной системе пористости протекает по следующей схеме. При массопереносе агрессивного компонента в жидкой фазе в сквозном капилляре происходит ее переток в микрокапилляры, заполненные нейтразуемым веществом. В результате гетерогенной химической реакции образуются подвижные границы фазовых превращений. Для дальнейшего анали-

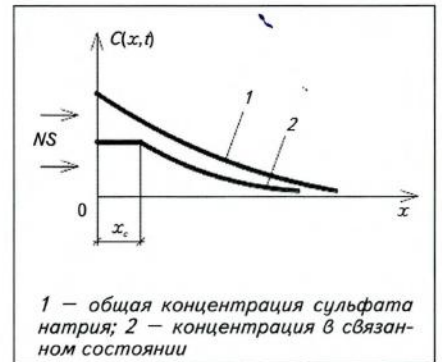


Рис. 3. Распределение концентраций по глубине слоя бетона

за и построения модели структурный элемент по высоте может быть разделен на элементарные слои, в каждом из которых располагается один ряд микрокапилляров. Процесс коррозии при фильтрации протекает аналогично. Однако в случае выщелачивания в мягкой воде последовательно выщелачиваются КОН, NaOH, Ca(OH)₂, гидросиликаты и гидроалюминаты.

В общем виде уравнение, характеризующее процессы коррозии данного типа при одномерном массопереносе, записывается в виде [1–7]:

$$\frac{\partial C_f(x, t)}{\partial t} = D_1 \frac{\partial C_f(x, t)}{\partial x^2} - V_0 \frac{\partial C_f(x, t)}{\partial x} \pm \frac{\partial C_b(x, t)}{\partial t}, \quad (2)$$

где $C_f(x, t)$, $C_b(x, t)$, $C_t(x, t)$ – концентрация агрессивного компонента соответственно в свободном, связанном состоянии и общая, кг/м³; D_1 – эффективный коэффициент диффузии в продольном направлении, м²/с; V_0 – скорость фильтрации, м/с.

В случае выделения вещества (+) функция называется источником, при связывании (-) функция называется стоком.

Один из наиболее важных этапов построения определяющего уравнения – формулирование и решение соответствующей краевой задачи для нахождения функции стока или источника. Для этого в структурном элемен-

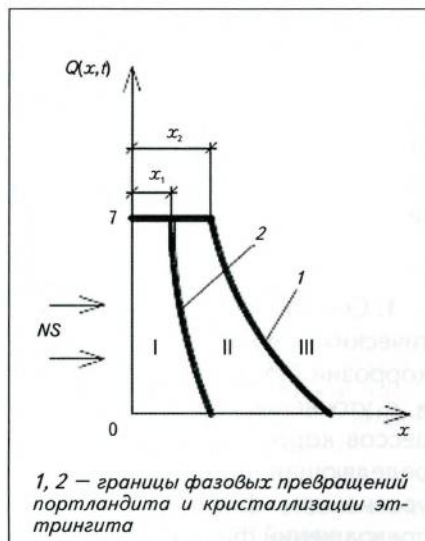


Рис. 4. Распределение продуктов коррозии по глубине слоя бетона

те выделяется элементарный слой и принимается, что концентрация в сквозном капилляре поддерживается постоянной. Далее формулируется задача Стефана с подвижной границей гетерогенной химической реакции в отдельных микрокапиллярах с учетом условия квазистационарности (рис. 2). Условие квазистационарности означает, что ввиду крайне низкой скорости процесса распределение концентраций агрессивного вещества в жидкой фазе в любой момент времени совпадает со стационарным.

Затем решение обобщается на всю площадь элементарного слоя, ограниченного подвижной границей. Скорость связывания равна:

$$\frac{\partial C_b(t)}{\partial t} = \frac{\lambda C_o}{\beta C_o t + 1}; \lambda = \frac{2D_1}{r_o^2}; \beta = \frac{2D_2}{\mu_1 m_1 r_o^2} \quad (3)$$

где D_1, D_2 — эффективные коэффициенты диффузии в направлениях x и r , m^2/c ; λ и β — обобщенные параметры.

Полученная зависимость скорости связывания имеет принципиальное отличие от уравнения Ленгмюра, в частности скорость

связывания обратно пропорциональна продолжительности процесса. Однако при $t = 0$ она постоянна. Также важно, что все параметры процесса сведены к двум обобщенным.

Непосредственное использование полученной зависимости для практического применения нецелесообразно, так как оно связано с необходимостью учета переменного значения концентрации по глубине слоя и численным решением нелинейного уравнения с большим количеством параметров, стандартные методы нахождения которых отсутствуют. Более целесообразным является другой вариант решения, основанный на линеаризации определяющего уравнения. Принимается, что в функции стока (скорости связывания) концентрация равна некоторому осредненному значению, которое определяется статистическими методами на основе данных о распределении концентраций (общей и в связанном состоянии) по глубине слоя бетона эксплуатируемых конструкций. Методика вычисления распределения концентраций регламентирована стандартами. Схема распределения концентраций для одностадийного процесса в жидкой среде с фазовым превращением показана на рис. 3. Она совпадает со стадией образования гипса сульфатной коррозии.

Решение соответствующей краевой задачи с линеаризованным определяющим уравнением представлено в виде зависимости, в которой концентрация в свободном состоянии равна разности общей и в связанном состоянии [2, 4, 6]:

$$C_f(x, t) = C_f(0) \operatorname{erfc} u - C_b(x, t); \quad (4)$$

$$C_b(x, t) = \mu_1 m_1 \theta(x, t);$$

$$\theta(x, t) = \ln(\alpha t + 1) \operatorname{erfc} u; \theta(x, t) \leq 1;$$

$$\Theta(x, t) = \frac{r^2(x, t) - r_0^2}{R_0^2 - r_0^2}; 0 \leq \Theta(x, t) \leq 1;$$

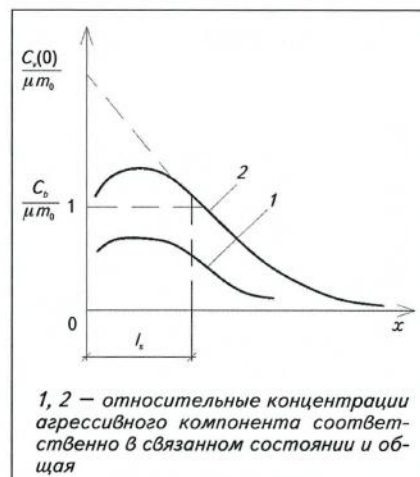


Рис. 5. Схема процесса атмосферной коррозии

$$u = \frac{x}{2\sqrt{D_1 t}}; \alpha = \frac{2D_2 C_f^0}{\mu m_0 r_0^2};$$

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

где $C_f(0)$ — концентрация агрессивного вещества на границе $x = 0$; D_1, D_2 — эффективные коэффициенты диффузии в направлениях x и r ; $\operatorname{erf} u$ — функция ошибок; u — обобщенная переменная; α — обобщенный параметр; Θ — относительная степень нейтрализации.

Глубину нейтрализации бетона для заданного срока эксплуатации находят из условия $\theta(x, t) = 1,0$, а достижение критической концентрации определяют для глубины слоя, равного толщине защитного слоя.

В полученном решении все параметры процесса представлены в виде двух обобщенных, так что отпадает необходимость раздельного их определения. Нахождение обобщенных параметров на основе статистической обработки экспериментальных данных о распределении концентраций характеризует их как осредненные с учетом всех особенностей процесса эксплуатации. При этом отпадает необходимость в использовании значительного количества поправочных коэффициентов, одновременное применение которых приводит к снижению точности прогнозирования.

Принципиально важно, что по-

лученная зависимость скорости связывания при корректировке значения концентрации с учетом растворимости справедлива для случая процесса выщелачивания, в том числе при фильтрации. Показано, что каждая стадия процесса коррозии с фазовым превращением представляет собой самостоятельную (частную) задачу Стефана [2, 3, 5–7]. При наличии нескольких таких стадий математическая модель представляет собой последовательность частных задач, объединенных условиями непрерывности и баланса веществ.

На рис. 4 показаны границы фазовых превращений при протекании сульфатной коррозии с образованием этtringита.

На схеме выделяются три зоны, размеры которых при прочих равных условиях определяются общей продолжительностью процесса.

Зона I характеризуется наличием в ней этtringита в кристаллической форме $Et(cr)$. В зоне II распределены C_3A в твердой фазе и Et , CSH_2 , NS в жидкой. Наличие микрокапилляров, заполненных жидкой фазой вместо CH и C_3A в твердой, приводит к снижению прочности бетона в данной зоне. Поэтому при кристаллизации и набухании этtringита,

преимущественно в указанной зоне, происходит образование микротрещин с последующим разрушением бетона.

В зоне III находятся портландит и трехкальциевый алюминат. Границами зон являются подвижные границы фазовых превращений: 1 – кристаллизации этtringита, 2 – нейтрализации портландита под действием раствора NS . Полученное распределение продуктов ESA хорошо согласуется с экспериментальными данными [4].

В случае атмосферной коррозии схема, показанная на рис. 3, дополняется стадией, характеризующей абсорбцию газообразного компонента в интервале $0 < x < L_s$ (рис. 5) [1, 2].

Наличие однотипных по форме функций стока и источника позволяет из ограниченного количества частных задач конструировать различные модели или их модификации. Так, в случае сульфатной коррозии в зависимости от соотношения количества портландита или трехкальциевого алюмината может кристаллизироваться гипс или этtringит. Следует подчеркнуть, что сравнительный анализ различных типов коррозии также позволяет установить подобие протекания отдельных стадий.

Например, развитие напряженно-деформированного состояния бетона при щелочекремнеземистой реакции, вызванное набуханием геля, аналогично процессу при кристаллизации этtringита [8].

Выводы

1. Совершенствование математических моделей процессов коррозии бетона связано:

- с уточнением механизма процессов коррозии, в котором определяющая роль принадлежит уравнениям физико-химических превращений физической химии, с учетом структуры порового пространства;
- с учетом наличия подвижных границ и соответственно решениями задач Стефана;
- с выбором эффективной системы подготовки исходных данных для прогнозирования деградации конструкций в агрессивных средах.

2. Разработка общих положений принципов построения математических моделей, методов прогнозирования процессов деградации конструкций позволяет объединить исследования в этой области и представить их в качестве математической теории процессов коррозии бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Математическая модель процесса атмосферной коррозии с учетом фазовых переходов // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31(50). Ч. 2. Строительные науки. С. 308–325.
2. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Построение инженерной методики прогнозирования деградации железобетонных конструкций в условиях атмосферной коррозии // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 10. С. 28–38.
3. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Математическая модель процесса сульфатной коррозии бетона с учетом физико-химических превращений // Инновации и инвестиции. 2018. № 11. С. 240–255.
4. Гусев Б. В., Файвусович А. С., Левадная С. И. Закономерности процессов выщелачивания бетона при фильтрации // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 12. С. 31–36.
5. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Математическая теория коррозии бетона и железобетона // Технология бетонов. 2014. № 10. С. 35–39.
6. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Прогнозирование долговечности бетона при выщелачивании. М.: Научный мир, 2014. 112 с.
7. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Построение математической теории процессов коррозии бетона // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 38–41.
8. Гусев Б. В., Файвусович А. С. Физико-математическая модель кинетики щелочекремнеземистой реакции в бетоне // Инновации и инвестиции. 2017. № 8. С. 141–149.

REFERENCES

1. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. Mathematical model of atmospheric corrosion taking into account phase transitions. *Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2013, vol. 31(50), part. 2. Stroitel'nye nauki, pp. 308–325. (In Russian).
2. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. Engineering technique to forecast degradation of reinforced concrete structures under conditions of atmospheric corrosion. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2017, no. 10, pp. 28–38. (In Russian).
3. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. Mathematical model of the process of sulfate corrosion of concrete taking into account physical-chemical transformations. *Innovacii i investicii. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2018, no. 11, pp. 240–255. (In Russian).
4. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. Levadnaya S. I. Regularities of processes of concrete leaching in the course of filtration. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 12, pp. 31–36. (In Russian).
5. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. Mathematical theory of corrosion of concrete and reinforced concrete. *Tekhnologiya betonov*, 2014, no. 10, pp. 35–39. (In Russian).
6. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. *Prognozirovaniye dolgovechnosti betona pri vishchelachivanii* [Prediction of concrete durability during leaching]. Moscow, Nauchnyj mir Publ., 2014. 112 p. (In Russian).
7. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. The construction of a mathematical theory of processes of corrosion of concrete. *Stroitel'nye materialy*, 2008, no. 3, pp. 38–41. (In Russian).
8. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. Physico-mathematical model for kinetics of alkali-silica reaction in concrete. *Innovacii i investicii. Stroitel'stvo i investicii*, 2017, no. 8, pp. 141–149. (In Russian).

Для цитирования: Гусев Б. В., Файвусович А. С. Математическая теория процессов коррозии бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 58–63.
DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.58-63.

For citation: Gusev B. V., Fayvusovich A. S. Mathematical Theory of Processes of Concrete Corrosion. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 7, pp. 58–63. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2019.07.58-63.

XIII Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (РНКСС)

Конференция проходила в Санкт-Петербурге, параллельно с XVI Международной конференцией по сейсмоизоляции, рассеиванию энергии и регулированию динамических характеристик сооружений, проводимой Международной Ассоциацией по сейсмоизоляции (Anti-Seismic Systems International Society, ASSISi) совместно с Российской ассоциацией по сейсмостойкому строительству и защите от природных и техногенных воздействий (РАСС) при поддержке Европейской Ассоциации по сейсмостойкому строительству (European Association of Earthquake Engineering, EAEE). Выбор России как места проведения конференции является признанием международным сообществом значительной роли российской науки, а также практических приложений в области сейсмоизоляции и других методов регулирования сейсмической реакции сооружений.

С приветственными словами к участникам конференций обратились: президент ASSISi Дж. Бенцони (США); президент РАСС, директор ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» И. И. Ведяков и президент МИА и РИА Б. В. Гусев. В конференции приняло участие около 250 человек — представителей более чем 30 стран мира. Наиболее многочисленные делегации прибыли из Японии, Китая, Италии, Индии, Тайваня и Турции. Инженеры-строители, геологи и сейсмологи, геотехники, молодые ученые и опытные исследователи представили научному сообществу и обсудили более

200 научных работ, отражающих прогресс, достигнутый за последние несколько лет в области сейсмостойкого строительства и одного из его наиболее перспективно развивающихся направлений — сейсмоизоляции.

Участникам представилась уникальная возможность прослушать следующие лекции:

- проф. Дж. Бенцони (США) «Развитие сейсмоизоляции и систем рассеяния энергии»;
- проф. Р. Лагос (Чили) «Сейсмостойкость при проектировании высотных зданий из железобетона: чилийская перспектива»;
- проф. А. Вада (Япония) «Недавние землетрясения и новые концепции сейсмостойкого строительства»;
- проф. А. Каппос (Великобритания) «Особенности проектирования сейсмоизолированных мостов».

Кроме того, был проведен целый ряд совещаний и дискуссий «за круглым столом», в ходе которых были внесены предложения о перспективах развития сейсмостойкого строительства в РФ, по пересмотру нормативных документов, проблемам, существующим в регионах и затрагивающим не только вопросы сейсмостойкого строительства, но и градостроительной деятельности, низкий уровень подготовки специалистов и др.

Более подробно с программой конференции можно ознакомиться по ссылке <http://www.16wcsi.org/?q=node/1>.

Л. Н. СМЕРНОВА, канд. техн. наук,
ученый секретарь АО «НИЦ «Строительство»