

Academia. Архитектура и строительство, № 1, стр. 89–100.
Academia. Architecture and Construction, no. 1, pp. 89–100.

Исследования и теория
Научная статья
УДК 69.07:69.001.5
doi: 10.22337/2077-9038-2023-1-89-100

*Светлой памяти академика РААСН,
доктора технических наук, профессора
Евгения Михайловича Чернышова
(17.07.1936 – 03.10.2021)*

Развитие методов прогнозирования долговечности строительных конструкций на основе разработки теории и моделей коррозии бетонов с учетом явлений тепломассопереноса и формирования градиентных состояний

Чернышов Евгений Михайлович (Воронеж). Академик РААСН, доктор технических наук, профессор. Академический центр «Архстройнаука» Воронежского государственного технического университета (Россия, Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84. ВГТУ).

Федосов Сергей Викторович (Иваново). Академик РААСН, доктор технических наук, профессор. Кафедра технологий и организации строительного производства Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. НИУ МГСУ); Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (Россия, 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21. НИИСФ РААСН). Эл.почта: fedosov-academic53@mail.ru.

Румянцева Варвара Евгеньевна (Иваново). Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор. Институт информационных технологий, естественных и гуманитарных наук Ивановского государственного политехнического университета (Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, д. 21. ИвГПУ); Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РОССИИ (Россия, 153040, Иваново, просп. Строителей, 33. ИПСА ГПСМЧС России). Эл.почта: varrym@gmail.com.

Аннотация: В статье представлены результаты научных исследований и инженерных разработок, связанных с теоретическими и экспериментальными исследованиями процессов массопереноса при коррозии бетона и железобетона в жидких агрессивных средах. Исследуются проблемы долговечности и надёжности строительных конструкций, разрабатываются научные, методологические основы и средства решения таких проблем. Изучается кинетика и динамика развития процессов коррозии бетона и железобетона, которая позволяет определять условия возникновения деструктивных процессов, причины их ускорения или ослабления, разрабатывать математический аппарат для описания и прогнозирования развития коррозионных процессов, что в совокупности даёт возможность управления процессами коррозионной деструкции строительных материалов и конструкций. Разработаны математические модели, описывающие процессы коррозии железобетона в жидких средах различной степени агрессивности. Предложена новая теория прогнозирования процессов коррозии железобетона на основе феноменологических уравнений массопереноса и теории управления потенциалом коррозионной стойкости конструкции. Устанавливаются сроки накопления в бетоне достаточного для развития коррозии арматуры количества агрессивных веществ при различных условиях воздействия.

Ключевые слова: коррозия бетона, коррозионный массоперенос, математическое моделирование, долговечность железобетона, скорость коррозии, прогнозирование долговечности, коррозионная стойкость

Development of Methods for Predicting the Durability of Building Structures Based on the Development of the Theory and Models of Concrete Corrosion Taking into Account the Phenomena of Heat and Mass Transfer and the Formation of Gradient States

Chernyshov Evgenii M. (Voronezh). Academician of RAACS, Doctor of Sciences in Technology, Professor. Academic Center "Archstroynauka" Voronezh State Technical University (84, 20letiya Oktyabrya st., Voronezh, 394006, Russia. VSTU)

Fedosov Sergei V. (Ivanovo). Academician of RAACS, Doctor of Sciences in Technology, Professor. Department of Construction Technologies and Construction Process Management National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU); The Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (21, Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russia. NIISF RAASN).

Rumyantseva Varvara E. (Ivanovo). Corresponding Member of RAACS, Doctor of Sciences in Technology, Professor. Institute of Information Technology, Natural Sciences and Humanities of the Ivanovo State Polytechnic University (21 Sheremetevsky Ave, Ivanovo, 153000. Russia. IvSPU); Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia (33 Stroiteley Ave, Ivanovo, 153040, Russia. IPSA GPS EMERCOM of Russia). E-mail: varrym@gmail.com.

Abstract. The article presents the results of scientific research and engineering developments related to theoretical and experimental studies of mass transfer processes during corrosion of concrete and reinforced concrete in liquid aggressive media. The problems of durability and reliability of building structures are investigated, scientific, methodological foundations and means of solving such problems are developed. The kinetics and dynamics of the development of corrosion processes of concrete and reinforced concrete are studied, which allows: to determine the conditions for the occurrence of destructive processes, the causes of their acceleration or weakening, to develop a mathematical apparatus for describing and predicting the development of corrosion processes, which together makes it possible to control the processes of corrosion destruction of building materials and structures. Mathematical models describing the processes of corrosion of reinforced concrete in liquid media of varying degrees of aggressiveness have been developed. A new theory of forecasting the corrosion processes of reinforced concrete is proposed based on the phenomenological equations of mass transfer and the theory of controlling the corrosion resistance potential of the structure. The timelimits are set for the achievement of a sufficient amount of aggressive substances in concrete for the development of reinforcement corrosion under various exposure conditions.

Keywords: concrete corrosion, corrosion mass transfer, mathematical modeling, durability of reinforced concrete, corrosion rate, durability prediction, corrosion resistance

Введение. Долговечность железобетонных конструкций – системная научно-инженерная проблема строительства

Целеполагание в строительстве связано с проблемой безопасности человека в его жизнедеятельности. Обеспечение безопасности раскрывается через понятия надёжность, длительная работоспособность, долговременность сохранения функций или, коротко, долговечность, предопределяемая стойкостью конструкций и материалов, подвергаемых во времени воздействиям среды.

Категория «долговечность» оказывается центральным и определяющим понятием, которое в современных трактовках, концепциях и методологиях по своей сути соотносится с системой «конструкция – материал – среда», а с учётом производства железобетонных изделий – с системой «технология – материал – конструкция – эксплуатационная среда». В этой системе, которая реализуется во времени как динамическая, есть кинетика явлений и процессов изменения состояния – деструкция и деградация материала, расходование ресурса

конструкций, исчерпание работоспособности сооружений и зданий, а соответственно, изменения уровня их безопасности для жизнедеятельности человека [1–8].

Относительно всей представленной системы, с кинетической точки зрения, следует говорить о явлениях и процессах, формализуемых в виде моделей потоков вещества, потоков энергии, потоков информации, в итоге – в виде функциональных моделей состояния материала и конструкций по критериям их долговечности, а обобщённо, по критериям надёжности и обеспечения безопасности.

Научное, назовём его базовым, знание в области концепций и основ долговечности бетонных и железобетонных конструкций имеет предысторию и современный этап развития и формирования. Это базовое знание обширно, оно создано трудами выдающихся учёных и получает пополнение в виде результатов новых исследований крупнейших специалистов, и в первую очередь, входящих в состав Российской академии архитектуры и строительных наук. Из основателей базового теоретического и инженерного знания назовём имя Н.С.

Стрелецкого, предложившего и реализовавшего идею расчёта строительных конструкций на основе вероятностно-статистического подхода [9; 10]. В этой идее изначально заложены принципы надёжности, составной частью которой является категория «долговечность». Другое выдающееся имя принадлежит академику РАН и РААСН В.В. Болотину – учёному мирового масштаба, оставившему наследие по теории надёжности систем, являющееся классическим, то есть наследием «навсегда» [11; 12]. «Пробитое» этими учёными, как сегодня говорят, «окно возможностей», значительно расширено их последователями, работающими в области проблем механики деформируемого твёрдого тела, строительной механики, теории расчёта строительных конструкций, механики свойств бетонов и их материаловедения [13–31]. В этой связи обосновано называть имена академиков В.М. Бондаренко, В.И. Травуша, В.А. Ильичёва, Н.И. Карпенко, Л.С. Ляховича, В.И. Андреева, В.В. Петрова, В.П. Селяева, Е.М. Чернышова, В.Т. Ерофеева, П.А. Акимова, Ю.А. Соколовой, В.И. Колчунова, В.С. Фёдорова, С.В. Федосова, А.Т. Беккера, А.М. Белостоцкого, С.С. Каприелова, Л.Р. Маиляна; членов-корреспондентов В.Н. Сидорова, С.И. Меркулова, В.И. Римшина, В.И. Морозова, Ю.В. Пухаренко, В.С. Лесовика, А.М. Болдырева, В.Л. Модруса, и других.

К этому ряду, по их весомому вкладу, относятся имена представителей отраслевой науки – В.М. Москвина, С.Н. Алексеева, Ф.М. Иванова, Е.А. Гузеева, В.Ф. Степановой, Н.К. Розенталя [32–42].

Действительно, в трудах этих крупнейших учёных, представляющих Российскую академию архитектуры и строительных наук, отраслевые НИИ и вузы инженерно-строительного профиля, раскрыты и раскрываются многие проблемные направления теории и практики обеспечения долговечности строительных конструкций и материалов. Это – и общесистемные, общезначимые вопросы теории, специальные вопросы, связанные с конструктивными схемами зданий и сооружений, особенностями напряжённо-деформированного состояния конструкций в них, видами эксплуатационных сред и их воздействий, аварийными и катастрофическими ситуациями, номенклатурой традиционных и новых высокотехнологичных бетонов, системно-структурным их материаловедением по критериям механики свойств, наконец, по градиентным состояниям конструкций с позиций развития в них тепломассообменных процессов с химическими и иными коррозионными явлениями и др. Массив знаний огромен, база данных неисчерпаема, и в этих условиях возникает актуальная задача осмысления и обобщения всего в рамках современной прорывной научно-инженерной проблемы перехода от накопленного знания к процедурам его применения для управления и оптимизации долговечности железобетонных конструкций и бетонов. Представляется, что возможность такого «перехода» связана с формированием комплексной информационной модели, в которой на основе интеграции знаний профильных специалистов могли бы быть учтены закономерные причинно-следственные отношения критериев долговечности с «факторами конструкций, с факторами материала, с факторами

среды, с факторами технологии» (по выражению и систематике академика РААСН Е.М. Чернышова) [43–46].

Это обозначенное интегрирующее направление должно определить основу для создания научного консорциума из нескольких ведущих школ, например, школ академиков РААСН В.И. Травуша, Е.М. Чернышова, В.П. Селяева, С.В. Федосова. Сущностное содержание исследований указанных и других школ должно быть посвящено как раз разработке интегрированной информационной модели, в которой новое и специальное место нами отводится направлению «Развитие методов прогнозирования долговечности строительных конструкций на основе разработки теории и моделей коррозии бетонов с учётом явлений тепломассопереноса и формирования градиентных состояний».

В наших многолетних исследованиях создан научный задел, касающийся центрального вопроса долговечности железобетонных конструкций, – коррозионного повреждения в них структуры бетонов и деструктивной эволюции функциональных свойств. Такой задел обобщён, в частности, в монографии С.В. Федосова, В.Е. Румянцевой, И.В. Красильникова «Методы теории математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких агрессивных средах» [47].

Интегрированная информационная модель в проблеме основ управления и оптимизации долговечности железобетонных конструкций и бетонов

В данной постановке обозначим основные постулаты к формализации и моделированию:

- модель формируется в системе «технологическая среда – материал – конструкция – эксплуатационная среда»;
- модель трактуется как пространственно-геометрическая, а также физическая, механическая, химическая система (в последнем случае в рамках концепции физико-химической механики);
- модель создаётся посредством формализации потоков вещества, потоков энергии, потоков информации;
- модель в этих смыслах понимается как динамическая, то есть представляемая функциями по аргументу времени, и рассматривается в кинетической постановке;
- модель предполагает описание временных функций напряжённо-деформированного, температурного, влажностного состояния, функций мер химических превращений, метаморфизма, деструкции, деградации, градиентности и т.п. математических описаний;
- модель рассматривается в отношении бетона и конструкции как диссипативных систем с явлениями в них аккумуляции (накопления), диссипации (рассеяния), локализации (размещения), концентрации (сосредоточения) энергии воздействий среды в объёме тела строительной конструкции.

Ограничимся указанием на эти постулаты, хотя, в принципе, есть возможность расширить их (постулатов) совокупность при формализации и моделировании. И это придётся осуществлять в планируемых исследованиях.

Опираясь на вышеизложенное, остановимся на актуальности предлагаемых нами разработок. И в этом смысле, во-первых, рассмотрим, авторскую сущностную трактовку интегральной информационной модели (первый блок наших исследований), а во-вторых, обозначим место и значение системного учёта закономерностей тепломассообменных процессов в геометрии и субстанции твёрдого тела эксплуатируемых железобетонных конструкций (второй блок наших исследований).

Для первого блока исследований формализуем в самом общем виде интегральную информационную модель (рис. 1).

К интегральной информационной системе надо добавить ещё проблему идентификации целостного факторного пространства при формализации и моделировании. Для этого обратимся к разработкам школы академика Е.М. Чернышова [43–46]. В перманентной задаче материаловедения и технологии строительных конструкций, которой является создание теории конструирования и синтеза структур композитов (бетонов) на основе количественного описания процессов и явлений получения структур, раскрытия причинно-следственных отношений свойств со структурой, указывается следующее:

- число факторов влияния «технологии» бетонов (рецептурно-технологических факторов РТФ) достигает 45...50;
- число факторов влияния «материала» как структурированной системы, работающей в строительной конструкции, превышает 50;
- число факторов влияния «конструкции» как структурированного геометрического тела превышает 20...25;
- число факторов влияния «среды» эксплуатации конструкции и материала в ней достигает (для возможных вариантов рассмотрения напряжённо-деформированного состояния строительной конструкции в среде) нескольких десятков.

Общее число факторов влияния, требующих учёта в постановке и решении оптимизационных задач конструирования и синтеза долговечных структур бетонов как минимум превышает 150.

Дополнительно отметим, что учёт «факторов влияния», связанных с явлениями тепломассопереноса, градиентности

состояния строительной конструкции, может касаться (по систематике школы академика С.В. Федосова) ещё как минимум 40...50 показателей и характеристик [48].

В результате при формализации и моделировании речь может идти практически об учёте 200 аргументов в функциях, отражаемых в интегральной информационной модели, которую предстоит и необходимо разработать.

Факторная идентификация твёрдого тела (строительной конструкции, материала) как диссипативная система, претерпевающая разрушения и проявляющая потенциал сопротивления разрушению, требует по данным школы академика В.П. Селяева до 50 критериальных показателей [49].

Таким образом, идентификация, формализация, моделирование, оптимизация решений в технологии строительных конструкций и современном бетоне оказывается системно-сложной цифровой процедурой. Очевидна масштабность, сложность, и, можно сказать, громоздкость задачи обоснования интегральной информационной модели. Так же очевидна необходимость выработки соответствующей методологии подходов к стратегии и тактике системной «инвентаризации», системного формирования базы знаний и базы данных, на которые потребуется опираться в постановке и решении задач управления долговечностью строительных конструкций.

Теперь обратимся к обсуждению второго блока исследований. Укажем, что этот второй блок исследований формируется в рамках концептуально-методологических постановок школы академика С.В. Федосова, который в своих работах с участием учеников-последователей обращает внимание на необходимость расширения теоретических и инженерных приложений «науки о процессах» к явлениям технологии производства и технологии применения железобетонных конструкций [50–55]. Эти постановки имеют уже предысторию, представленную в его совместных с сотрудниками публикациях и монографиях. Место ивановской научной школы можно отнести к проблемам развития методов прогнозирования долговечности строительных конструкций на основе разработки теории и моделей коррозии бетонов с учётом явлений тепломассопереноса, формирования градиентных состояний. В последние десять лет удалось получить новое научное знание, которое займёт, как мы полагаем, необходимое место в интегральной информационной модели.

Суть этого нового научного знания состоит в следующем: для объектов исследования, которыми являются железобетонные конструкции, подверженные коррозии в различных, в том числе в жидких средах, разработаны и разрабатываются математические модели, опирающиеся на принятые постулаты и учитывающие многофакторность и системность решаемых задач. Необходимо отметить, что в классических работах В.М. Москвина, С.Н. Алексеева, Ф.М. Иванова, Е.А. Гузеева, А.Ф. Полака, В.Ф. Степановой, Б.В. Гусева [6–8; 32–41; 56; 57], являющихся фундаментальными по сути, тем не менее не уда-

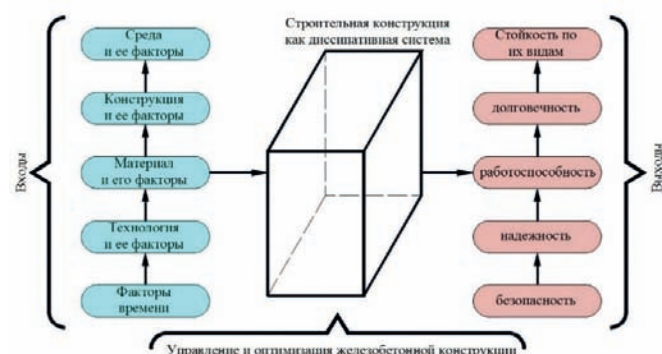


Рис. 1. Общий вид интегральной информационной модели. Схема авторов статьи

лось обеспечить в описаниях необходимый математический уровень. Это не позволяло перейти от часто эмпирических, и нередко – приближенных выводов, к современным цифровым алгоритмам строгого прогнозирования поведения конструкций и материалов в коррозионных средах.

Нами изучаются кинетика и динамика процессов коррозии железобетона, металлов и бетона, и определяются параметры, которые позволяют определять условия возникновения деструктивных процессов, причины их ускорения или ослабления, предлагать и разрабатывать математический аппарат для описания и прогнозирования развития коррозионных процессов, что в совокупности даёт научную платформу для управления процессами коррозионной деструкции строительных конструкций.

В наших выполненных и выполняющихся работах удалось осуществить математическое моделирование и провести экспериментальные исследования тепломассопереноса в процессах жидкостной, а также микробиологической коррозии железобетона и строительных конструкций [30; 47; 52–54].

Таким образом, мы исследовали проблемы долговечности и надёжности строительных конструкций, разработали научные и методологические основы и средства решения таких проблем с учётом цифровизации полученных данных.

В расчётах процессов массопереноса применены уравнения массопередачи и массоотдачи. В рамках этого рассмотрена проблема коррозии бетона первого вида в условиях учитываемого объема жидкой среды (рис. 2).

Показано, что отличительной чертой такого процесса может являться переход переносимого компонента «свободного гидроксида кальция» (по терминологии академика С.В. Федосова) из твёрдой фазы в жидкую, который происходит при так называемых условиях ограниченного объёма жидкой фазы, а концентрация вещества в последней меняется во вре-

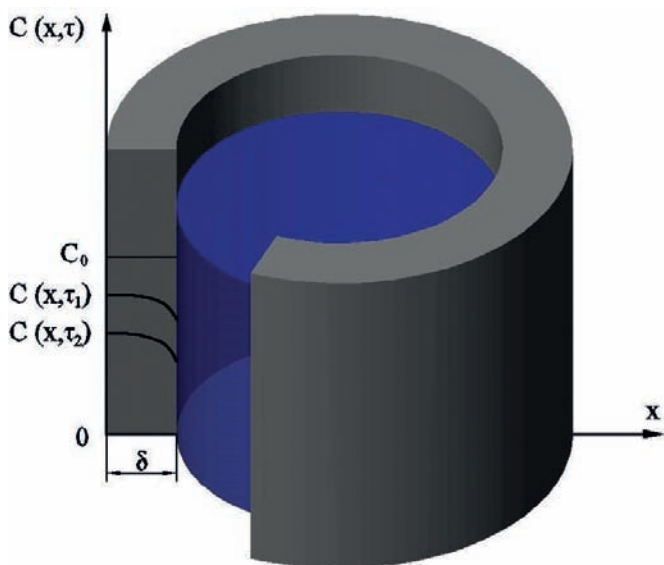


Рис. 2. Схема резервуара для хранения жидкости. Рисунок авторов статьи

мени. Математически эта задача в безразмерных координатах может быть представлена следующим образом:

$$\frac{\partial Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial Fo_m} = \frac{\partial^2 Z(\bar{x}, Fo_m)}{\partial \bar{x}^2}; Fo_m > 0; 0 \leq \bar{x} \leq 1. \quad (1)$$

Начальное условие:

$$Z(\bar{x}, 0) = 0. \quad (2)$$

Граничные условия:

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

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

Окончательное решение краевой задачи для области больших значений Фурье имеет вид:

$$Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{Z_{ж}(0)}{1 + K_m} - 2Bi_m Z_{ж}(0) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n \bar{x})}{\psi'(\mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo_m). \quad (5)$$

Значение концентрации переносимого компонента среднее по толщине конструкции в момент времени τ определяется интегрированием:

$$Z_{cp}(Fo_m) = \frac{Z_{ж}(0)}{1 + K_m} - 2Bi_m Z_{ж}(0) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\mu_n \psi'(\mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo_m), \quad (6)$$

как и выражение для расчёта кинетики изменения концентрации переносимого компонента в объёме жидкости:

$$Z_{ж}(Fo_m) = Z_{ж}(0) \left\{ 1 + 2Bi_m K_m \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \mu_n}{\mu_n \psi'(\mu_n)} [\exp(-\mu_n^2 Fo_m) - 1] \right\}. \quad (7)$$

Здесь: $Z(\bar{x}, Fo_m) = \frac{c_0 - C(x, \tau)}{C_0}$ – безразмерная концентрация переносимого компонента по толщине бетона в произвольный момент времени; $Fo_m = \frac{k\tau}{\delta^2}$ – массообменный критерий Фурье; $\bar{x} = \frac{x}{\delta}$ – относительная координата; $Z_{ж}(Fo_m) = \frac{c_0 - mC_{ж}(\tau)}{C_0}$ – безразмерная концентрация переносимого компонента в жидкости; $K_m = m \frac{G_B}{G_{ж}}$ – коэффициент, показывающий соотношение массы конструкции резервуара к массе воды в нём; $G_B, G_{ж}$ – массы бетонного резервуара и жидкости в резервуаре соответственно, кг; $Bi_m = \frac{\beta \delta}{k}$ – массообменный критерий Био; μ_n – корни характеристического уравнения $t g \mu_n = \frac{\mu_n Bi_m}{\mu_n^2 - Bi_m K_m}$.

Основные результаты расчётов по выражениям (6), (7) представлены на рисунке 3. Приведённые выражения позволяют определять значение концентраций переносимого компонента («свободного гидроксида кальция») по толщине конструкции в любой момент времени и, кроме того, дают возможность расчёта содержания этого вещества в жидкой фазе и среднее по толщине и объёму конструкции,

то есть расчёта кинетики процесса по твёрдой и жидкой фазам.

Из рассмотренного примера видно, что в итоге наших исследований предложены общезначимые математические модели, позволяющие описывать процессы коррозии железобетона в конструкциях, эксплуатируемых в разных средах. Можно считать, что созданы предпосылки новой теории прогнозирования процессов коррозии железобетона на основе уравнений тепломассопереноса и теории управления потенциалом коррозионной стойкости строительных конструкций.

Проводимые исследования направлены на развитие теории прогнозирования процессов коррозии и расчётных методов оценки потенциала коррозионной стойкости строительных конструкций при создании новых инновационных композитных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками.

Результатом всего указанного является совокупность нового научного знания в форме обобщающих математических и физико-химических моделей, сущностно отражающих явления и кинетику процессов, химическую, физическую и механическую стойкость, морозо-, пожаро- и тому подобные виды стойкости железобетонных строительных конструкций в зданиях и сооружениях.

Практические результаты научных разработок востребованы и нашли применение при подготовке рекомендаций по повышению долговечности и надёжности и конструкций и обеспечении необходимого уровня безопасности жизнедеятельности. Инженерная реализация результатов научных исследований и предложенных мероприятий проходила на 11-ти промышленных предприятиях и объектах строительного комплекса Ивановского и других регионов России, в целом, с суммарным экономическим эффектом более 15 млн рублей за период с 2017 по 2021 год.

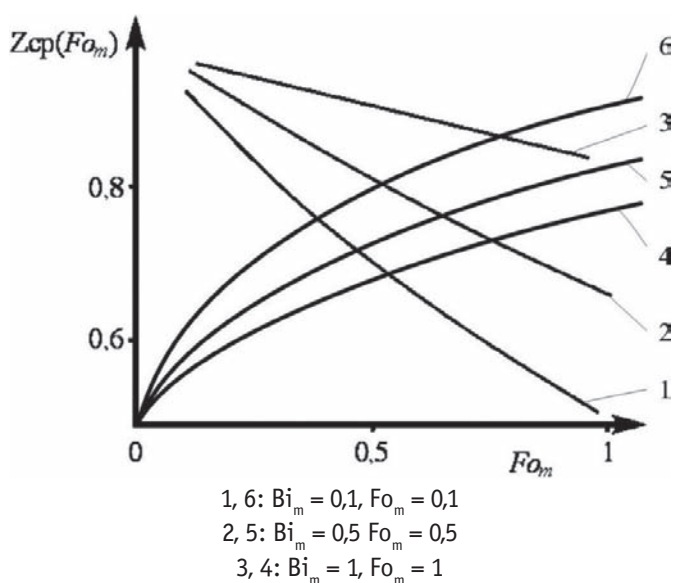


Рис. 3. Кинетика изменения средней безразмерной концентрации; 1, 2, 3 – в бетоне; 4, 5, 6 – в жидкости. Графики авторов статьи

Список источников

1. Шухов, В.Г. Избранные труды: строительная механика / В.Г. Шухов; под ред. акад. А.Ю. Ишлинского. – Москва : Наука, 1977. – 192 с. – Текст : непосредственный.
2. Столяров, Я.В. Введение в теорию железобетона / Я.В. Столяров. – Москва, Ленинград : Гос. изд. строит. лит., 1941. – 447 с. – Текст : непосредственный.
3. Ржаницын, А.Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность / А.Р. Ржаницын. – Москва : Стройиздат, 1978. – 239 с. – Текст : непосредственный.
4. Шестопёров, С.В. Долговечность бетона / С.В. Шестопёров. – Москва : Автотрансиздат, 1955. – 480 с. – Текст : непосредственный.
5. Мощанский, Н.А. Плотность и стойкость бетонов / Н.А. Мощанский. – Москва : Госстройиздат, 1951. – 175 с. – Текст : непосредственный.
6. Полак, А.Ф. Расчёт долговечности железобетонных конструкций / А.Ф. Полак. – Уфа : Изд-во Уфимского нефтяного института, 1983. – 116 с. – Текст : непосредственный.
7. Полак, А.Ф. Основы моделирования коррозии железобетона / А.Ф. Полак. – Уфа : Изд. Уфимск.нефт. ин-та, 1986. – 69 с. – Текст : непосредственный.
8. Полак, А.Ф. Физико-химические основы коррозии железобетона / А.Ф. Полак. – Уфа : Издание УНИ, 1982. – 76 с. – Текст : непосредственный.
9. Металлические конструкции / Н.С. Стрелецкий, А.Н. Гениев, Е.И. Беленя [и др.]. – Москва : Стройиздат, 1961. – 776 с. – Текст : непосредственный.
10. Стрелецкий, Н.С. Основы статистического учёта коэффициента запаса прочности сооружений / Н.С. Стрелецкий. – Москва : Стройиздат, 1947. – 92 с. – Текст : непосредственный.
11. Болотин, В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений / В.В. Болотин. – Москва : Стройиздат, 1971. – 254 с. – Текст : непосредственный.
12. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений / В.В. Болотин. – Москва : Стройиздат, 1982. – 352 с. – Текст : непосредственный.
13. Каприелов, С.С. Свойства высокопрочного бетона при циклическом воздействии отрицательных температур / С.С. Каприелов, А.Л. Гольденберг, А.Г. Тамразян. – Текст : непосредственный // Дороги и мосты. – 2018. – № 2 (40). – С. 265–275
14. Опыт производства и контроля качества высокопрочных бетонов на строительстве высотного комплекса «Око» в ММДЦ «Москва-сити» / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Д. Аль-Омаис, А.С. Зайцев. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 1. – С. 18–24.
15. Каприелов, С.С. О самозалечивании высокопрочного бетона, подвергнутого деструкции при циклическом замораживании / С.С. Каприелов, А.Л. Гольденберг, А.Г. Тамразян.

– Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 5 (371). – С. 56–61.

16. *Kolchunov, V.I.* Survivability Criteria for Reinforced Concrete Frame at Loss of Stability / V.I. Kolchunov, S.Yu. Savin. – Текст : непосредственный // Magazine of Civil Engineering. – 2018. – № 80 (4). – P. 73–80.

17. Failure Simulation of a RC Multistorey Building Frame with Prestressed Girders / V.I. Kolchunov, N.V. Fedorova, S.Yu. Savin, V.V. [et al.]. – Текст : непосредственный // Magazine of Civil Engineering. – 2019. – № 92 (8). – P. 155–162.

18. *Fyodorov, V.S.* Computer Simulation of Composite Beams Dynamic Behavior / V.S. Fyodorov, V.N. Sidorov, E.S. Shepitko. – Текст : непосредственный // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 974. – P. 687–692.

19. *Фёдоров, В.С.* Нелинейное деформирование бетона в условиях режимного нагружения при кратковременном нестационарном нагреве / В.С. Фёдоров, В.Е. Левитский. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. – № 4 (30). – С. 89–93.

20. *Петров, В.В.* Монолитные железобетонные перекрытия с повышенной несущей способностью / В.В. Петров, В.Г. Мурашкин. – Текст : непосредственный // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 1 (10). – С. 38–45.

21. *Петров, В.В.* Математическое моделирование долговечности тонкостенных пространственных конструкций в агрессивной среде / В.В. Петров. – Текст : непосредственный // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2016. – Vol. 12, № 3. – P. 114–128.

22. Моделирование работы железобетонных конструкций с учётом совместного действия механических нагрузок и агрессивных сред / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.Л. Кечуткина [и др.]. – Текст : непосредственный // Эксперт: теория и практика. – 2021. – № 1 (10). – С. 19–24.

23. Оценка ресурса железобетонного изгибаемого элемента, подверженного действию хлоридной коррозии, по прочности наклонного сечения / В.П. Селяев, П.В. Селяев, М.Ф. Алимов [и др.]. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 3 (36). – С. 104–115.

24. *Ерофеев, В.Т.* Экономические потери от биоповреждений и технико-экономическая эффективность повышения биостойкости материалов и конструкций зданий и сооружений предприятий текстильной промышленности / В.Т. Ерофеев, А.В. Дергунова, А.Д. Богатов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2020. – № 5 (389). – С. 97–102.

25. Development and Research of Methods to Improve the Biostability of Building Materials / V. Erofeev, A. Dergunova, A. Bogatov [et al.]. – Текст : непосредственный // Materials Science Forum. – 2020. – Vol. 974. – P. 305–311.

26. Mathematical Model of a Beam Partially Supported on Elastic Foundation / V.I. Travush, V.A. Gordom, V.I. Kolchunov

et al.]. – Текст : непосредственный // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2019. – Vol. 15. – № 2. – С. 144–158.

27. *Мурашкин, В.Г.* Расчёт несущей способности конструкций зданий текстильной промышленности / В.Г. Мурашкин, Г.В. Мурашкин, В.И. Травуш. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 5 (383). – С. 222–228.

28. *Чернышов, Е.М.* О проблеме управления рецептурно-технологическими факторами получения бетонов в задачах конструирования и синтеза оптимальных их структур / Е.М. Чернышов, А.И. Макеев. – Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. – 2018. – № 3. – С. 135–143.

29. *Чернышов, Е.М.* Прикладные нанотехнологические задачи повышения эффективности процессов твердения цементных бетонов / Е.М. Чернышов, О.В. Артамонова, Г.С. Славчева. – Текст : электронный // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 25–41. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28822593> (дата обращения 6.02.2023).

30. Моделирование динамики массопереноса в процессах жидкостной коррозии цементных бетонов с учётом явления кольматации / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2020. – № 6. – С. 27–32.

31. Исследование диффузионных процессов массопереноса при жидкостной коррозии первого вида цементных бетонов / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58. – № 1. – С. 99–104.

32. *Москвин, В.М.* Коррозия бетона / В.М. Москвин. – Москва : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1952. – 344 с. – Текст : непосредственный

33. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с.

34. *Иванов, Ф.М.* Коррозия в промышленном строительстве и защита от неё / Ф.М. Иванов. – Москва : Знание, 1977. – 64 с. – Текст : непосредственный

35. *Алексеев, С.Н.* Коррозия и защита арматуры в бетоне / С.Н. Алексеев ; 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1968. – 231 с. – Текст : непосредственный

36. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях / С.Н. Алексеев, В.Б. Ратинов, Н.К. Розенталь, Н.М. Кашурников. – Москва : Стройиздат, 1985. – 272 с. – Текст : непосредственный

37. Исследование морозостойкости бетона с целью уточнения методов определения его морозостойкости/морозосолейстойкости / В.Ф. Степанова, Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник НИЦ «Строительство». – 2020. – № 1 (24). – С. 108–117.

38. Сафаров, К.Б. Обеспечение долговечности гидротехнических бетонов в агрессивных условиях эксплуатации / К.Б. Сафаров, В.Ф. Степанова. – Текст : непосредственный // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2019. – № 1. – С. 22–34.
39. Фаликман, В.Р. Нормативные сроки службы бетонных и железобетонных конструкций и принципы их проектирования по параметрам долговечности / В.Р. Фаликман, В.Ф. Степанова. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 6. – С. 13–22.
40. Определение коррозионной стойкости торкрет-бетона как защитного покрытия бетонных и железобетонных конструкций / В.Ф. Степанова, Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний, С.М. Баев. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2018. – № 8. – С. 69–73.
41. Розенталь, Н.К. Хлориды в бетоне и их влияние на развитие коррозии стальной арматуры / Н.К. Розенталь, В.Ф. Степанова, Г.В. Чехний. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 1. – С. 92–96.
42. Коррозия бетонных и железобетонных конструкций в пресных и морских водах / Н.К. Розенталь, Г.В. Чехний, И.М. Паршина, С.А. Орехов. – Текст : непосредственный // Вестник НИЦ «Строительство». – 2017. – № 1 (12). – С. 43–53.
43. Чернышов, Е.М. Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований. Часть 1. Постановка проблемы и ее существо. – Текст : непосредственный / Е.М. Чернышов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 12 (720). – С. 41–51.
44. Чернышов, Е.М. Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований. Часть 2. Развитие и эволюция научного знания о конгломератных строительных композитах как структурированных системах / Е.М. Чернышов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 1 (733). – С. 57–77.
45. Чернышов, Е.М. Базовые положения механики проявления конструкционных свойств конгломератных строительных композитов. Часть 1. Обзор результатов теоретических исследований проблемы конструирования и синтеза современных высокотехнологичных бетонов / Е.М. Чернышов, А.И. Макеев, Д.Н. Коротких. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 8 (740). – С. 43–61.
46. Чернышов, Е.М. Базовые положения механики проявления конструкционных свойств конгломератных строительных композитов. Часть 2. Обзор результатов прикладных исследований по проблеме конструирования и синтеза современных высокотехнологичных бетонов / Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких, А.И. Макеев. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 9 (741). – С. 48–57.
47. Федосов, С.В. Методы теории математической физики в приложениях к проблемам коррозии бетона в жидких агрессивных средах / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников. – Москва : АСВ, 2021. – 244 с. – Текст : непосредственный
48. Федосов, С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии / С.В. Федосов. – Иваново : ПресСто, 2010. – 363 с. – Текст : непосредственный
49. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина. – Саранск : Изд-во Мордовского ун-та, 2001. – 152 с.
50. Исследование влияния процессов массопереноса на надёжность и долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в жидких агрессивных средах / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников, С.А. Логинова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2017. – № 12. – С. 52 – 57.
51. Управление процессами коррозионной деструкции строительных материалов на основе законов массопереноса / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 3 (74). – С. 106–111.
52. Особенности математического моделирования массопереноса при коррозии бетона второго вида. Решение для малых чисел Фурье / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2012. – № 3. – С. 11–13.
53. Mathematical Model of Mass Transfer Processes in Biological Corrosion of Cement Concretes / S. Fedosov, V. Rumyantseva, V. Konovalova, S. Loginova. – DOI: 10.1088/1757-899X/869/5/052059. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 869. – P. 052059. – URL: https://www.researchgate.net/publication/342849393_Mathematical_Model_of_Mass_Transfer_Processes_in_Biological_Corrosion_of_Cement_Concretes (дата обращения 06.02.2023)
54. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 6 (372). – С. 268–276.
55. Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, И.В. Караваев. – Текст : непосредственный // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2018. – № 4 (56). – С. 93–99.
56. Математическая модель процессов коррозии бетонов в жидких средах / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович, В.Ф. Степанова, В.К. Розенталь. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство. – 1998. – № 4-5. – С. 56–60.
57. Гусев, Б.В. Математическая теория процессов коррозии бетона / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович. – Текст : непосред-

ственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2019. – № 7. – С. 58–63.

References

1. Shuhov V.G. Izbrannye trudy: stroitel'naya mekhanika [Selected Works: Construction Mechanics]. Moscow, Nauka, 1977, 192 p. (In Russ.)
2. Stolyarov Ya.V. Vvedenie v teoriyu zhelezobetona [Introduction to the Theory of Reinforced Concrete]. Moscow; Leningrad, State publishing house for construction literature, 1941, 447 p. (In Russ.)
3. Rzhaničyn A.R. Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktssii na nadezhnost' [Theory of Calculation of Building Structures for Reliability]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1978, 239 p. (In Russ.)
4. Shestoporov S.V. Dolgovechnost' betona [Durability of concrete]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1955, 480 p. (In Russ.)
5. Moshchanskii N.A. Plotnost' i stojkost' betonov [Density and Durability of Concrete]. Moscow, Gosstroizdat Publ., 1951, 175 p. (In Russ.)
6. Polak A.F. Raschet dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktssii [Calculation of Durability of Reinforced Concrete Structures]. Ufa, Publishing house of the Ufa Oil Institute, 1983, 116 p. (In Russ.)
7. Polak A.F. Osnovy modelirovaniya korrozii zhelezobetona [Fundamentals of Modeling of Reinforced Concrete Corrosion]. Ufa, Publishing house of the Ufa Oil Institute, 1986, 69 p. (In Russ.)
8. Polak A.F. Fiziko-khimicheskie osnovy korrozii zhelezobetona [Physico-Chemical Bases of Corrosion of Reinforced Concrete]. Ufa, Publishing house of the Ufa Oil Institute, 1982, 76 p. (In Russ.)
9. Streletskii N.S., Geniev A.N., Belenya E.I., Baldin V.A., Lessig E.N. Metallicheskie konstruktssii [Metal Structures]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1961, 776 p. (In Russ.)
10. Streletskii N.S. Osnovy statisticheskogo ucheta koeffitsienta zapasa prochnosti sooruzhenii [Fundamentals of Statistical Accounting of the Coefficient of Safety Margin of Structures]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1947, 92 p. (In Russ.)
11. Bolotin V.V. Primenenie metodov teorii veroyatnostei i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzhenii [Application of Methods of Probability Theory and Reliability Theory in Calculations of Structures]. Moscow, Stroiizdat Publ., 1971, 254 p. (In Russ.)
12. Bolotin V.V. Metody teorii veroyatnostei i teorii nadezhnosti v raschetakh sooruzhenii [Methods of Probability Theory and Reliability Theory in Calculations of Structures]. Moscow, Strojizdat, 1982, 352 p. (In Russ.)
13. Kaprielov S.S., Gol'denberg A.L., Tamrazyan A.G. Svoystva vysokoprochnogo betona pri tsiklicheskom vozdeistvii otricatel'nykh temperatur [Properties of High Strength Concrete When Negative Temperatures Cycling]. In: *Dorogi i mosty* [Roads and bridges], 2018, no. 2 (40), pp. 265–275. (In Russ., abstr. in Engl.)
14. Kaprielov S.S., Shejfel'd A.V., Al'-Omais D., Zaitsev A.S. Opyt proizvodstva i kontrolya kachestva vysokoprochnykh betonov na stroitel'stve vysotnogo kompleksa «Oko» v MMDC «Moskva-siti» [Experience in Production and Quality Control of High-Strength Concrete Used in Construction of High-Rise Complex «OKO» in MIBC «Moscow-City»]. In: *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2018, no. 1, pp. 18–24. (In Russ., abstr. in Engl.)
15. Kaprielov S.S., Gol'denberg A.L., Tamrazyan A.G. O samozalechivanii vysokoprochnogo betona, podvergnutogo destruktssii pri tsiklicheskom zamorazhivanii [About Self-Healing High-Strength Concrete, Underloaded Destruction in Cyclic Freezing]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti* [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology], 2017, no. 5 (371), pp. 56–61. (In Russ., abstr. in Engl.)
16. Kolchunov V.I., Savin S.Yu. Survivability Criteria for Reinforced Concrete Frame at Loss of Stability. In: *Magazine of Civil Engineering*, 2018, no. 80 (4), pp. 73–80. (In Engl.)
17. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.Yu., Kovalev V.V., Iliushchenko T.A. Failure Simulation of a RC Multistorey Building Frame with Prestressed Girders. In: *Magazine of Civil Engineering*, 2019, no. 92 (8), pp. 155–162. (In Engl.)
18. Fedorov V.S., Sidorov V.N., Shepitko E.S. Computer Simulation of Composite Beams Dynamic Behavior. In: *Materials Science Forum*, 2020, vol. 974, pp. 687–692. (In Engl.)
19. Fedorov V.S., Levitskii V.E. Nelineinoe deformirovanie betona v usloviyakh rezhimnogo nagruzheniya pri kratkovremennom nestacionarnom nagreve [Nonlinear Concrete Deformation Under Conditions of Mode Loading at Short-Time Unsteady Heating]. In: *Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region], 2019, no. 4 (30), pp. 89–93. (In Russ., abstr. in Engl.)
20. Petrov V.V., Murashkin V.G. Monolitnye zhelezobetonnye perekrytiya s povyshennoi nesushchei sposobnost'yu [Monolithic reinforced concrete floor with high-load capacity]. *Ekspert: teoriya i praktika* [Expert: Theory and Practice], 2021, no. 1 (10), pp. 38–45. (In Russ., abstr. in Engl.)
21. Petrov V.V. Matematicheskoe modelirovanie dolgovechnosti tonkostennykh prostranstvennykh konstruktsii v agressivnoi srede [Mathematical Modelling of Lifetime of Thin-Walled Spatial Structures in Aggressive Environment]. In: *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2016, Vol. 12, no. 3, pp. 114–128. (In Engl.)
22. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Kechutkina E.L., Babushkina D.R., Gryaznov S.Yu. Modelirovanie raboty zhelezobetonnykh konstruktssii s uchetom sovmestnogo deistviya mekhanicheskikh nagruzok i agressivnykh sred [Modeling the Operation of Reinforced Concrete Structures Taking into Account the Combined Action of Mechanical Loads and Aggressive Media]. In: *Ekspert: teoriya i praktika* [Expert: Theory and Practice], 2021, no. 1 (10), pp. 19–24. (In Russ., abstr. in Engl.)

23. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Alimov M.F., Sorokin E.V., Garynkina E.N. Otsenka resursa zhelezobetonno go izgibaemogo elementa, podverzhennogo deistviyu hloridnoi korrozii, po prochnosti naklonnogo secheniya [Estimation of the Resource of the Reinforced Concrete Element Subjected to the Action of Chloride Corrosion by the Strength of the Inclined Section]. In: *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Engineering], 2018, no. 3 (36), pp. 104–115. (In Russ.)
24. Erofeev V.T., Dergunova A.V., Bogatov A.D. Ekonomicheskie poteri ot biopovrezhdenii i tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' povysheniya biostojkosti materialov i konstruksii zdaniy i sooruzhenii predpriyatii tekstil'noi promyshlennosti [Economic Damage from Biological Damage and Technical and Economic Efficiency of Increasing the Biostability of Materials and Structures of Buildings and Structures of the Textile Industry]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology], 2020, no. 5 (389), pp. 97–102. (In Russ., abstr. in Engl.)
25. Erofeev V., Dergunova A., Bogatov A., Letkina N., Smirnov V. Development and Research of Methods to Improve the Biostability of Building Materials. In: *Materials Science Forum*, 2020, Vol. 974, pp. 305–311. (In Engl.)
26. Travush V.I., Gordom V.A., Kolchunov V.I., Leontiev Ye.V. Mathematical Model of a Beam Partially Supported on Elastic Foundation. In: *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2019, vol. 15, no. 2, pp. 144–158.
27. Murashkin V.G., Murashkin G.V., Travush V.I. Raschet nesushchei sposobnosti konstruksii zdaniy tekstil'noi promyshlennosti [Calculation of Structural Load Capacity of Textile Industry Buildings]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology], 2019, no. 5 (383), pp. 222–228. (In Russ., abstr. in Engl.)
28. Chernyshov E.M., Makeev A.I. O probleme upravleniya recepturno-tekhnologicheskimi faktorami polucheniya betonov v zadachakh konstruirovaniya i sinteza optimal'nykh ikh struktur [On the Problem of Control of Prescription-Technological Factors of Concrete Production in the Course of Design and Synthesis of its Optimal Structure]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [Academia. Architecture and Construction], 2018, no. 3, pp. 135–143. (In Russ., abstr. in Engl.)
29. Chernyshov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Prikladnye nanotekhnologicheskie zadachi povysheniya effektivnosti processov tverdeniya cementnykh betonov [Nanotechnological Applied Tasks of the Increase in the Efficiency of the Hardening Processes of Cement Concrete]. In: *Nanotekhnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal* [Nanotechnologies in Construction], 2017, Vol. 9, no. 1, pp. 25–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28822593> (Accessed 02/06/2023). (In Russ., abstr. in Engl.)
30. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Konovalova V.S., Evsyakov A.S., Kas'yanenko N.S. Modelirovanie dinamiki massoperenosa v processakh zhidkostnoi korrozii cementnykh betonov s uchetom yavleniya kol'matatsii [Modeling of Mass Transfer Dynamics in the Processes of Liquid Corrosion of Cement Concretes with due Regard for the Phenomenon of Colmatation]. In: *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2020, no. 6, pp. 27–32. (In Russ., abstr. in Engl.)
31. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasil'nikov I.V., Fedosova N.L. Issledovanie diffuzionnykh processov massoperenosa pri zhidkostnoi korrozii pervogo vida cementnykh betonov [Investigation of Diffusion Processes of Mass Transfer in Liquid Corrosion of the First Type of Cement Concretes]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Seriya: khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Russian Journal of Chemistry and Chemical Technology], 2015, vol. 58, no. 1, pp. 99–104. (In Russ.)
32. Moskvina V.M. Korroziya betona [Concrete Corrosion]. Moscow, State publishing house of literature on construction and architecture, 1952, 344 p. (In Russ.)
33. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Korroziya betona i zhelezobetona. Metody ikh zashchity [Corrosion of Concrete and Reinforced Concrete. Methods of Their Protection]. Moscow, Strojizdat Publ., 1980, 536 p. (In Russ.)
34. Ivanov F.M. Korroziya v promyshlennom stroitel'stve i zashchita ot nee [Corrosion in Industrial Construction and Protection Against it]. Moscow, Znanie Publ., 1977, 64 p. (In Russ.)
35. Alekseev S.N. Korroziya i zashchita armatury v betone [Corrosion and Reinforcement Protection in Concrete]. Moscow, Strojizdat Publ., 1968, 231 p. (In Russ.)
36. Alekseev S.N., Ratnikov V.B., Rozental' N.K., Kashurnikov N.M. Ingibitor korrozii stali v zhelezobetonnykh konstruksiyakh [Corrosion Inhibitors of Steel in Reinforced Concrete Structures]. Moscow, Strojizdat Publ., 1985, 272 p. (In Russ.)
37. Stepanova V.F., Rozental' N.K., Chekhniy G.V., Parshina I.M., Orekhov S.A., Dzhejranov S.E. Issledovanie morozostoikosti betona s cel'yu utocneniya metodov opredeleniya ego morozostoikosti/morozosolestoikosti [Study of Frost Resistance of Concrete in order to Clarify the Methods for Determining Its Frost/Frost Resistance]. In: *Vestnik NITS "Stroitel'stvo"* [Bulletin of Science and Research Center of Construction], 2020, no. 1 (24), pp. 108–117. (In Russ., abstr. in Engl.)
38. Safarov K.B., Stepanova V.F. Obespechenie dolgovechnosti gidrotekhnicheskikh betonov v agressivnykh usloviyakh ekspluatatsii [Durability of Hydraulic Concrete in Aggressive Operating Environment]. In: *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruksii. Tekhnologii* [Vestnik of Volga State

University of Technology. Series: Materials. Constructions. Technologies], 2019, no. 1, pp. 22–34. (In Russ., abstr. in Engl.)

39. Falikman V.R., Stepanova V.F. Normativnye sroki sluzhby betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii i printsipy ikh proektirovaniya po parametram dolgovechnosti [Normative Service Life of Concrete and Reinforced Concrete Structures and Principles of Their Design Based on Durability Parameters]. In: *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2019, no. 6, pp. 13–22. (In Russ., abstr. in Engl.)

40. Stepanova V.F., Rozental' N.K., Chekhni G.V., Baev S.M. Opredelenie korrozionnoi stoikosti torkret-betona kak zashchitnogo pokrytiya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii [Determination of Corrosion Resistance of Shotcrete as a Protective Coating of Concrete and Reinforced Concrete Structures]. In: *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2018, no. 8, pp. 69–73. (In Russ., abstr. in Engl.)

41. Rozental' N.K., Stepanova V.F., Chekhni G.V. Khloridy v betone i ikh vliyanie na razvitie korrozii stal'noi armatury [Chlorides in Concrete and Their Impact on Development of Corrosion of Steel Reinforcement]. In: *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2017, no. 1, pp. 92–96. (In Russ., abstr. in Engl.)

42. Rozental' N.K., Chekhni G.V., Parshina I.M., Orekhov S.A. Korroziya betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsii v presnykh i morskikh vodakh [Corrosion of Concrete and Reinforced Concrete in Fresh and Marine Waters]. In: *Vestnik NITS "Stroitel'stvo"* [Bulletin of Science and Research Center of Construction], 2017, no. 1 (12), pp. 43–53. (In Russ., abstr. in Engl.)

43. Chernyshov E.M. Materialovedenie i tekhnologiya stroitel'nykh kompozitov kak sistema nauchnogo znaniya i predmet razvitiya issledovaniy. Chast' 1. Postanovka problemy i ee sushchestvo [Material Science and Technology of Construction Composites as of System Scientific Knowledge and a Subject of Development of Researches: Author's Exploitation (Part 1)]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2018, no. 12 (720), pp. 41–51. (In Russ., abstr. in Engl.)

44. Chernyshov E.M. Materialovedenie i tekhnologiya stroitel'nykh kompozitov kak sistema nauchnogo znaniya i predmet razvitiya issledovaniy. Chast' 2. Razvitie i evolyutsiya nauchnogo znaniya o konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitakh kak strukturirovannykh sistemakh [Materials and Technology of Construction Composites as of System Scientific Knowledge and a Subject of Development of Researches. Part 2. Development and Evolution of Scientific Knowledge on Conglomerate Building Composites as Structured Systems]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2020, no. 1 (733), pp. 57–77. (In Russ., abstr. in Engl.)

45. Chernyshov E.M., Makeev A.I., Korotkikh D.N. Bazovye polozheniya mekhaniki proyavlenie konstruksionnykh svoystv konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov. Chast' 1. Obzor rezul'tatov teoreticheskikh issledovaniy problemy konstruirovaniya i sinteza sovremennykh vysokotekhnologichnykh betonov [Basic Provisions of the Mechanics of the Constructional Properties of Conglomerate Building Composites. Part 1. Review to the Results of Theoretical Studies of the Problem of Design and synthesis of the structures of modern High-Tech Concrete]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2020, no. 8 (740), pp. 43–61. (In Russ., abstr. in Engl.)

46. Chernyshov E.M., Korotkikh D.N., Makeev A.I. Bazovye polozheniya mekhaniki proyavlenie konstruksionnykh svoystv konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov. Chast' 2. Obzor rezul'tatov prikladnykh issledovaniy po probleme konstruirovaniya i sinteza sovremennykh vysokotekhnologichnykh betonov [Basic Provisions of the Mechanics of the Constructional Properties of Conglomerate Building Composites. Part 2. Review to the Results of Applied Research on the Problem of Design and Synthesis of the Structures of Modern High-Tech Concrete]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2020, no. 9 (741), pp. 48–57. (In Russ., abstr. in Engl.)

47. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasil'nikov I.V. Metody teorii matematicheskoi fiziki v prilozheniyakh k problemam korrozii betona v zhidkikh agressivnykh sredakh [Methods of the Theory of Mathematical Physics in Applications to the Problems of Concrete Corrosion in Liquid Aggressive Media]. Moscow, ASV Publ., 2021, 244 p. (In Russ.)

48. Fedosov S.V. Teplomassoperenos v tekhnologicheskikh protsessakh stroitel'noi industrii [Heat and Mass Transfer in Technological Processes of the Construction Industry]. Ivanovo, PresSto Publ., 2010, 363 p. (In Russ.)

49. Selyaev V.P., Solomatin V.I., Oshkina L.M. Khimicheskoe soprotivlenie napolnennykh tsementnykh kompozitov [Chemical Resistance of filled Cement Composites]. Saransk, Publishing House of Mordovian University, 2001, 152 p. (In Russ.)

50. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasil'nikov I.V., Loginova S.A. Issledovanie vliyaniya protsessov massoperenosa na nadezhnost' i dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruktsii, ekspluatiruemykh v zhidkikh agressivnykh sredakh [Study of Effect of Mass Transfer Processes on Reliability and Durability of Reinforced Concrete Structures Operating in Liquid Aggressive Media]. In: *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2017, no. 12, pp. 52–57. (In Russ., abstr. in Engl.)

51. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N., Narmaniya B.E. Upravlenie protsessami korrozionnoi destrukttsii stroitel'nykh materialov na osnove zakonov massoperenosa [Control of corrosion Destruction Processes

of Building Materials on the Basis of Mass Transfer Laws]. In: *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]*, 2019, no. 3 (74), pp. 106–111. (In Russ., abstr. in Engl.)

52. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Kas'yanenko N.S., Manohina Yu.V., Shesterkin M.E. Osobennosti matematicheskogo modelirovaniya massoperenosa pri korrozii betona vtorogo vida. Reshenie dlya malykh chisel Fur'e [Features of Mathematical Modeling of Mass Transfer during Corrosion of Concrete of the Second Type. Solution for Small Fourier Numbers]. In: *Stroitel'nye materialy [Construction Materials]*, 2012, no. 3, pp. 11–13. (In Russ., abstr. in Engl.)

53. Fedosov S., Rumyantseva V., Konovalova V., Loginova S. Mathematical Model of Mass Transfer Processes in Biological Corrosion of Cement Concretes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 869, pp. 052059. URL: https://www.researchgate.net/publication/342849393_Mathematical_Model_of_Mass_Transfer_Processes_in_Biological_Corrosion_of_Cement_Concretes (Accessed 02/06/2023). DOI:10.1088/1757-899X/869/5/052059. (In Engl.)

54. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasil'nikov I.V., Konovalova V.S., Karavaev I.V. Opredelenie resursa bezopasnoi ekspluatatsii konstruksii iz betona, sodержashchego gidrofobiziruyushchie dobavki [Determination of Safe Service Life of Structures Made of Concrete Containing Hydrophobic

Additives]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology]*, 2017, no. 6 (372), pp. 268–276. (In Russ., abstr. in Engl.)

55. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Karavaev I.V. Skorost' proniknoveniya khlorid-ionov k poverkhnosti stal'noi armatury v gidrofobizirovannykh betonakh [Rate of Penetration of Chloride Ions to the Surface of Steel Reinforcement in Hydrophobized Concretes]. In: *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie [Modern High Technologies. Regional Application]*, 2018, no. 4 (56), pp. 93–99. (In Russ., abstr. in Engl.)

56. Gusev B.V., Faivusovich A.S., Stepanova V.F., Rozental' V.K. Matematicheskaya model' protsessov korrozii betonov v zhidkikh sredakh [Mathematical Model of Concrete Corrosion Processes in Liquid Media]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 1998, no. 4-5, pp. 56–60. (In Russ., abstr. in Engl.)

57. Gusev B.V., Faivusovich A.S. Matematicheskaya teoriya protsessov korrozii betona [Mathematical Theory of Processes of Concrete Corrosion]. In: *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]*, 2019, no. 7, pp. 58–63. (In Russ., abstr. in Engl.)