

УДК: 69.059.4  
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.8  
EDN: IUWITN



## Долговечность морских железобетонных конструкций

Л. В. Ким<sup>1</sup>, С. Н. Леонович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет,  
г. Владивосток, Российская Федерация

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** *Постановка задачи.* Опыт эксплуатации нефтегазопромысловых платформ в северных морях показал, что бетон предпочтительнее металла по критерию долговечности. По сравнению с наземными сооружениями деградация от механических воздействий выше, чем от химической и физической коррозии. Однако исследований по комбинированной коррозии железобетона в морской среде пока недостаточно.

*Цель работы* заключается в выполнении системного анализа долговечности морских железобетонных конструкций на основе мультифизического мультимасштабного подхода. *Задачами исследований являются:* оценить современное состояние механики долговечности железобетонных конструкций в морской среде; провести системный анализ на основе мультифизического мультимасштабного подхода; разработать общий алгоритм оценки комбинированной коррозии.

*Результаты.* В статье дан краткий обзор работ за последнее десятилетие по долговечности морского бетона. Системный анализ долговечности железобетонных конструкций выполнен с применением информационных триад, как концептуальной основе баз данных и интеллектуальных систем диагностирования и прогнозирования комбинированной коррозии. Последняя включает физическую, химическую и механическую коррозии, анализ которой предложен на основе мультифизического мультимасштабного подхода. Разработан общий алгоритм оценки комбинированной деградации, что позволит определить срок службы и остаточный ресурс в различные периоды жизненного цикла конструкций. Для деградационных процессов разной природы введены потенциалы. Это позволяет определить эффект комбинированной деградации путем суперпозиции линейных потенциалов. Управляющим процессом служит влагообмен, остальные процессы – подчиненные. Влага является носителем агрессивных агентов, поэтому по полю влажности можно оценить степень коррозионных повреждений.

*Выводы.* Значимость работы состоит в том, что результаты исследований позволяют создать методологическую основу для увеличения срока службы морских железобетонных конструкций путем компьютерного моделирования деградации бетона и реализации регулирующих мероприятий.

**Ключевые слова:** железобетон, море, долговечность, коррозия, системный анализ, ресурс

**Для цитирования:** Ким Л.В., Леонович С.Н. Долговечность морских железобетонных конструкций // Известия КГАСУ, 2025, № 1(71), с. 92-101, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.8, EDN: IUWITN

# Durability of marine reinforced concrete structures

L. V. Kim<sup>1</sup>, S. N. Leonovich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

<sup>2</sup>Belorussian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** *Problem statement.* The experience of operating oil and gas drilling platforms in the Northern seas has shown that concrete is preferable to metal in terms of durability. Compared to surface structures, degradation from mechanical loadings is higher than from chemical and physical corrosion. However, research on combined corrosion of reinforced concrete in the marine environment is still insufficient.

*The purpose of the work* is to perform a systematic analysis of the durability of marine reinforced concrete structures based on a multiphysical multiscale approach.

*The objectives of the research* are: to assess the current state of the mechanics of reinforced concrete structures durability in the marine environment; to conduct a systematic analysis based on a multiphysical multiscale approach; to develop a general algorithm for assessing combined corrosion.

*Results.* The article provides a brief overview of the works over the past decade on the durability of marine concrete. The system analysis of the durability of reinforced concrete structures is performed using information triads, as a conceptual basis for databases and intelligent systems for diagnosing and predicting combined corrosion. The latter includes physical, chemical and mechanical corrosion, the analysis of which is proposed on the basis of a multiphysical multiscale approach. A general algorithm for assessing combined degradation has been developed, which will allow determining the service life and remaining resource in different periods of the life cycle of structures. Potentials have been introduced for degradation processes of different nature. This makes it possible to determine the effect of combined degradation by superposition of linear potentials. Moisture exchange is the controlling process, while the other processes are subordinate. Moisture is a carrier of aggressive agents, therefore, the degree of corrosion damage can be assessed by the humidity field.

*Conclusions.* The significance of the work lies in the fact that the research results make it possible to create a methodological basis for increasing the service life of marine reinforced concrete structures through computer modeling of concrete degradation and the implementation of regulatory measures.

**Keywords:** reinforced concrete, sea, durability, corrosion, systematic analysis, resource

**For citation:** Kim L.V., Leonovich S.N. Durability of marine reinforced concrete structures // News of KSUAE, 2025, № 1(71), p. 92-101, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/71.8, EDN: IUWITN

## 1. Введение

Строительство железобетонных конструкций во все более суровых, тропических и северных условиях делают актуальной задачу оценки и повышения их долговечности с учетом действия набора агрессивных агентов в жидкой, газовой и твердофазной средах, вызывающих физическую и химическую коррозию, механическую деградацию. Сложность вносит синергический эффект от различных механизмов деградации железобетона, являющихся определенным набором деградационных процессов разной природы.

Жизненный цикл железобетонных конструкций характеризуется пространственно-временными изменениями механизмов деградации бетона и арматуры, т.е. имеется локализации участков деградации в зависимости от микроклимата, конструктивного оформления и множества прочих параметров и переменных потоков агрессивных агентов. Дополнительным осложняющим фактором является инкубационный скрытый период инициации большинства коррозионно-активных процессов, что требует трудоемких испытаний. Традиционный ограниченный по объему технический контроль позволяет

фиксировать только результат деградации (один раз в 5 лет).

В статье [1] выполнен обзор механизма коррозии арматуры, ее инициирования, прогресс и факторы, ускоряющие процесс коррозии арматуры. Предложено учитывать следующие виды коррозии: физическая коррозия, химическая коррозия, коррозия выщелачивания, магниальная коррозия, углекислотная коррозия, сульфатная коррозия, сероводородная коррозия, биологическая коррозия, электрохимическая и электроосмотическая коррозия, разрушение цементного камня. Прогнозирование остаточного ресурса предлагается выполнять с помощью различных моделей прогнозирования на основе экспериментальных методов. Модели должны охватывать наиболее важные аспекты, от термохимического взаимодействия на микромасштабе до поромеханического взаимодействия на мезомасштабе, и разрушение бетона в макромасштабе.

В [2] предложена математическая модель деградационного процесса бетона в солевом растворе, позволяющая оценивать несущую способность во времени, а по ней - долговечность конструкции. Зависимость прочности бетона от концентрации солей аппроксимируется специальной функцией. В [3] выполнен обзор методов расчета долговечности железобетонных конструкций с учетом современного уровня бетоноведения. Анализ исследований по обзорным статьям [4-6] свидетельствует о том, что задача учета комбинированного действия силовых нагрузжений и агрессивных агентов в воздушной, водной и грунтовой средах на морское сооружение далека от решения вследствие большого числа нелинейных факторов и разнообразия внешних условий. Наиболее значительные результаты получены в ряде долгосрочных научных проектах. Некоторые из них кратко описаны ниже.

В рамках проекта ЕС «DURACON» «Влияние окружающей среды на долговечность арматуры» исследовалось влияние городских и морских метеопараметров на эксплуатационные характеристики железобетонных конструкций на 21 морском полигоне в 11 латиноамериканских странах [7]. Измерялись прочность на сжатие, модуль упругости, общая и эффективная пористость, проницаемость для переноса хлорид-ионов, эффективная пористость и стойкость к водопоглощению. Было найдено, что микроклимат значительно влияет на эффективность различных видов бетонов. Сделан вывод о том, хлоридный порог больше всего зависит от прочности бетона, температуры воздуха и физических свойств бетона.

Количественное определение параметров долговечности морских сооружений, разработка моделей деградации и определение вероятностей разрушения было выполнено при реализации нидерландской программы DuMaCon «Долговечность морских бетонных конструкций» в 2000 г.

В 90-х годах Норвежское управление автомобильных дорог общего пользования создало несколько полевых станций вдоль норвежского побережья с целью разработки состава хлоридоустойчивого бетона и формирования базы данных. Измерения в 2021-2024 гг. позволили выявить значимые параметры, влияющие на долговечность конструкций в морской среде.

В [8] впервые термин «механика долговечности» бетонных конструкций. Как дано в [9], она объединяет три дисциплины: 1) кинетика деградации, 2) химиомеханические связи на уровне материалов; 3) профилактика, диагностика и прогноз на уровне конструкции. Долговечность бетонных конструкций рассматривается с помощью микро-макроскопических химиофизических моделей с учетом сложных связей материалов и конструкций в пространственно-временном континууме. Прогнозные модели можно разделить на эмпирические, детерминистические, вероятностно-статистические, компьютерные и модели искусственного интеллекта.

Недостаток эмпирических моделей известен – они пригодны для применения, если близки эксплуатационные условия. Даже рассматривая микроклимат одного железобетонного сооружения мы встречаем различные локализованные зоны с различным набором переменных внешней среды. Например, большое влияние на интенсивность деградации оказывает солнечная инсоляция. Для морских сооружений

деградация наиболее интенсивна в зоне переменного уровня воды.

Вероятностно-статистические модели дают наилучшие результаты, но для расчетов требуется знание распределений переменных, которых должны быть получены при проведении инженерных изысканий. Однако это не отражено в нормах.

Первые модели комбинированной деградации учитывали взаимодействие механизмов деградации на основе анализа физических механизмов, суперпозиции степени деградации с коэффициентами взаимодействия и связанными уравнениями степени деградации. Данный подход основан на сопоставлении отдельных уравнений срока службы с использованием феноменологических коэффициентов связи на основе данных о компонентах бетона и контроле скорости деградации различных видов в полевых условиях и/или в ускоренных лабораторных испытаниях [10].

Поскольку механизмы деградации обычно основаны на известных физических или химических процессах, таких как конвекция, диффузия, химические реакции, истирание, фазовые переходы и т.д., то простые деградационные модели могут быть получены путем теоретических рассуждений с использованием экспериментальных данных.

Среди компьютерных моделей наиболее известны DuraCrete (ЕС), LIFE-365 (США), ClinConc (Скандинавия), DuraCon (Латинская Америка) [7] и др. Например, компьютерная программа STADIUM моделирует массоперенос ионов с учетом влажности и температуры. Химический модуль моделирует химические реакции между частицами в поровом растворе и цементной пасте. К недостаткам модели относится неопределенность методов определения характеристик бетона в полевых условиях (например, пористости, коэффициента диффузии, проницаемости). Однако, данная программа очень сложна в применении. Эмпирические и компьютерные требуют знания большого числа переменных.

Метод машинного обучения позволяет выявить комбинированный деградационный процесс. Однако он требует больших массивов информации о деградации конструкций. Этому способствует развитие интеллектуальных систем мониторинга на основе беспроводных датчиков. Это способствовало появлению двух эффектов: 1) ускоренный рост количества и размеров баз данных испытаний и мониторинга; 2) возможность изучения большего числа физических процессов деградации на разных масштабных уровнях.

В последние десятилетия резко возрос интерес к обеспечению эксплуатационного срока службы железобетонных конструкций в морской среде в северных условиях до 40-100 и более лет. Объект исследований: морские железобетонные конструкции в морской среде.

Цель работы заключается в выполнении системного анализа долговечности морских железобетонных конструкций на основе мультифизического мультимасштабного подхода.

Задачи исследования:

- оценить современное состояние механики коррозии железобетонных конструкций в агрессивных средах;
- использовать мультифизический мультимасштабный подход для анализа комбинированной коррозии железобетона;
- разработать общий алгоритм оценки комбинированной коррозии на основе моделей массообмена влаги и порового раствора и газов в капиллярно-пористых и трещиноватых бетонах.

## 2. Материалы и методы

Долговечность является комплексным свойством, являющимся одним из элементов надежности, которая в свою очередь является элементом комплексного свойства качества строительного объекта или его компонент. Качество строительных объектов используется для универсального измерения достижения целевых показателей объектов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации жизненного цикла (рис. 1).

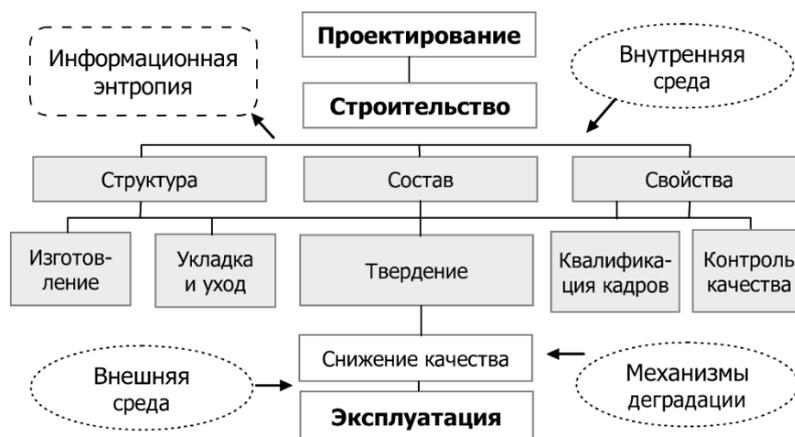


Рис. 1. Факторы долговечности в течение жизненного цикла сооружения  
(иллюстрация авторов)

Fig. 1. Durability factors during life cycle of the structure (illustration by the authors)

В нормативных документах (ГОСТ 277751 и др.) приводятся определения долговечности и срока службы. Общим для определений является то, что срок службы считается периодом времени, причем он может быть техническим, функциональным и экономическим. Такое деление совпадает с классификацией износов и состояний строительных объектов.

Поэтому долговечность объектов/элементов/материалов определяется в российских и зарубежных нормах по трем группам критериев: 1) техническим (физическим); 2) функциональным (нормативным); 3) экономическим [11-13]. Первый задается в нормах и/или в задании на проектирование. Технический и экономический соответственно определяются по достижению объектом физического или морального износа, заданного в нормах.

Решение задачи обеспечения долговечности МГТС должно осуществляться на основе системного подхода с учетом максимально возможного числа значимых воздействующих факторов. Должны быть учтены деградационные факторы, факторы напряженно-деформированного состояния и пр.

Рис. 2 показывает системную триаду долговечности.



Рис. 2. Триада долговечности и индексы влияния системных факторов на деградацию и долговечность железобетона (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Durability triad and indices of systematic factor influence on reinforced concrete degradation and durability (illustration by the authors)

Долговечность бетонов различных видов исследовалась с точки зрения внешних нагрузок и воздействий, внутренних коррозионных процессов и химических реакций, технологий изготовления и ухода за ним. Все больше исследований ведутся при комбинированной коррозии, в различных внешних условиях, например при низких или высоких температурах и т.д.

Требования повышения эксплуатационной надежности конструкций могут быть реализованы с новой парадигмой прогнозирования ресурса на основе мультимасштабного и мультифизического моделирования [14, 15]. Данный подход

позволит точнее планировать ремонтные мероприятия, снизить затраты на техническое обслуживание и стоимость жизненного цикла сооружений. Мультимасштабный подход позволяет объединить кинетику деградации в микромасштабе, химиомеханические связи в мезомасштабе и диагностику и прогнозику долговечности в макромасштабе.

В строительной стадии соблюдение качества работ гарантирует правильную реализацию проектных решений. В эксплуатационной стадии выполнение правил эксплуатации, технический контроль и мониторинг, своевременные ремонтные работы и сервисное обслуживание гарантирует работоспособное состояние конструкций. Очевидно, что на проектной стадии проще предусмотреть максимально учет всех неблагоприятных факторов путем построения деградационных моделей и моделей долговечности.

Мультифизический мультимасштабный подход является наиболее перспективным для анализа разнородной информации и синтеза знаний о структуре и составе ЖБК, протекающих процессах внутри и снаружи ЖБК, а также проведения моделирования с целью оценки долговечности [14, 15]. Мультимасштабные методы основываются на применении расчетных сеток различного масштаба, т.е. разных уровней детализации. Для макромоделей используются дискретные элементы (МКЭ и др.), расчетные сетки для мезомоделей получают для решения уравнений для полей конвективно-диффузионных скоростей на детальных субсетках для поиска решений массообмена влаги и агрессивных агентов. Наиболее часто для таких задач используют методы вычислительной гидродинамики (метод конечных объемов и др.).

Инструментом реализации мультимасштабного подхода являются пакеты конечных элементов типа COMSOL Multiphysics и аналогичные. Для расчета состояния системы при реализации 7-10 значимых деградационных механизмов химической, физической и механической природы предлагается упрощенный расчет, при котором степень детализации (влияния) упомянутых механизмов примерно одинакова. Таким методом является метод функций источников, позволяющий использовать метод линейной суперпозиции для комбинированного расчета коррозии различной физической природы.

### 3. Результаты и обсуждение

В иерархических методах различные шкалы связаны на основе гомогенизации или идентификации параметров. Несвязанные иерархические методы позволяют передавать информацию от микро- и мезомодели к макромоделю (рис. 3). Объект в мультимасштабной системе рассматривается последовательно как триада «структура-свойства».

В связанных иерархических методах информация между шкалами передается в обоих направлениях. Каждый масштаб влияет на общее поведение и характеристики материала (рис. 4).

Недостатком всех применяемых аналитических и численных подходов является то, что учитывается максимум 3-5 физических деградационных механизмов [4-9, 11-13]. Это связано с усложнением системы определяющих уравнений и необходимостью учета взаимовлияния деградационных процессов, факторов внешней и внутренней среды. В [10] сделана попытка составить матрицу коэффициентов влияния для различных деградационных механизмов, определяемых экспериментальным способом. Известные методы расчета комбинированной деградации используют сокращенные уравнения диффузии, теплопроводности и т.д., либо решаются полные системы уравнений, например, Нерста-Планка-Дарси-Пуассона и аналогичные.



Рис. 3. Мультимасштабные модели (иллюстрация авторов)  
 Fig. 3. Multiscale models (illustration by the authors)

Принятый нами влагообмен как управляющий процесс и применение принципа линейной суперпозиции источников и полей скоростей влаги позволяет учесть разумное число деградационных факторов, выбранное на основе принципа Парето.

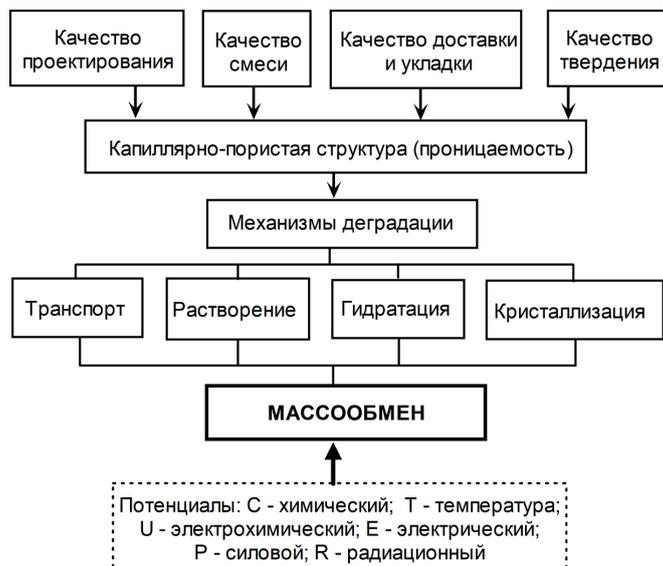


Рис. 4. Общий алгоритм оценки комбинированной деградации железобетонной конструкции в мезомасштабе (иллюстрация авторов)  
 Fig. 4. General flow-chart of assessment of combined degradation of a reinforced concrete structure in mesoscale (illustration by the authors)

Это значительно упрощает применение мультифизических компьютерных пакетов для решения задачи, так и применение более простых методов, в частности, полуаналитических. Через каналы (капиллярные поры, капилляры, трещины,

контактные слои и пустоты) происходит перенос влаги как управляющего процесса над подчиненными  $W$ ,  $P$ ,  $C$ ,  $T$ ,  $U$ ,  $E$ ,  $R$ ,  $V$  (потенциал влажности, давления, концентрации, температуры, электрохимический, электрический, радиационный и биопотенциал).

Коррозионные процессы в бетоне зависят от массообмена поровой раствора как носителя агрессивных агентов (веществ-примесей, газов и жидкостей). Процесс массопереноса влаги объединяет различные масштабы, от макроскопического уровня конструкций до микроскопического уровня компонентов бетона и их взаимодействий. Процесс массопереноса является управляющим, т.е. все прочие деградационные процессы в теле конструкции являются подчиненными и зависящими от управляющего процесса.

Общий алгоритм мультимасштабного мультифизического расчета долговечности имеет следующий вид:

1. Оценка качества окружающей среды (климатические глобальная, макро- и микромоделли).
2. Оценка качества изготовления железобетона.
3. Мезомодели влагообмена и массообмена порового раствора в капиллярно-пористом, пористо-трещиноватом и трещиноватом бетонах.
4. Моделирование внешних нагрузок в виде неоднородных динамических полей концентраций агрессивных агентов, температур, электрополей и давлений;
5. Идентификация деградационных моделей различных деградационных механизмов (транспортного, растворения, гидратации, кристаллизации и т.д.).
6. Кинематический расчет полей скоростей от внешних нагрузок и их изменение во времени в зонах конвекции, диффузии и конвективной диффузии;
7. Суперпозиция функций источников для всех деградационных механизмов и суперпозиция полей скоростей влагопереноса;
8. Определение модулей упругости/деформации для кусочно-разбитых областей по сечению железобетонной конструкции, используя аналитические или эмпирические модели.
9. Компьютерный анализ макромоделли (например, модели конечных элементов) железобетонной конструкции при различных сочетаниях нагружений.

#### 4. Заключение

Данная статья является вводной частью исследований комбинированной коррозии и эрозии железобетона гидротехнических сооружений при действии химической коррозии, физических полей и механических нагрузок и воздействий. Разработанный общий алгоритм решения вышеупомянутой задачи планируется реализовать в компьютерной программе и верифицировать, используя результаты обследований и мониторинга портовых сооружений.

1. Морские железобетонные конструкции характеризуются наибольшей интенсивностью деградации в пространственно-временном континууме по сравнению с другими типами сооружений. В связи с переходом на проектирование по жизненному циклу необходимо накопление и систематизация информации о деградации и долговечности морских сооружений с реализацией долгосрочных научных программ, расширения сети коррозионных станций и т.д.

2. В статье изложена оценка современного состояния механики долговечности железобетонных конструкций в морской среде. Основные направления развития механики долговечности базируются на мультимасштабном мультифизическом моделировании, методах компьютерного материаловедения и искусственного интеллекта.

3. В работе проведен системный анализ на основе мультифизического мультимасштабного подхода.

4. Разработан общий алгоритм оценки комбинированной коррозии.

5. Дальнейшие исследования должны быть направлены на:

– изучение химической кинетики и химического сопротивления бетона на различных масштабах;

– развитие вероятностных и компьютерных моделей и моделей искусственного интеллекта.

### Список литературы/References

1. Mirsayapov I. T., Yakupov S. N., Majd H. About concrete and reinforced concrete corrosion. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. P. 012061. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012061.
2. Каюмов Р. А., Кашафдинова А. Ф. Методика описания процесса деградации бетонных конструкций под влиянием солевой коррозии // Известия КГАСУ. 2018. № 2 (44). С. 288-295.  
Kayumov R. A., Kashafdinova A. F. Method of description of degradation process of concrete structures under the influence of salt corrosion // News KSUAE. 2018. Iss. 2 (44). P. 288-295.
3. Степанова В. Ф., Фаликман В. Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Бюллетень строительной техники. 2015. № 2. С. 55-61.  
Stepanova V. F., Falikman V. R. Current problems of durability provision of reinforced concrete structures // Bulletin of building technique. 2015. Iss. 2. P. 55-61.
4. Alexander M. Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures – review and critique // Cement and Concrete Researches. 2019. 122. P. 17–29. DOI: 10.1016/j.cemconres.2019.04.018.
5. Saha D. Reinforcement corrosion in coastal and marine concrete: A review // Challenge Journal of Concrete Research Letters. 2018. 9(2). P. 62–70.
6. Yi Y. et al. A review on the deterioration and approaches to enhance the durability of concrete in the marine environment // Cem. Concr. Comp. 2020. Vol. 113. P. 103695. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103695.
7. Rincon O., Sánchez V., Millano V. Effect of the marine environment on reinforced concrete durability in Iberoamerican countries : DURACON project // Corrosion Science. 2017. Vol. 49. P. 2832–2843. DOI: 10.1016/j.corsci.2007.02.009.
8. Ulm F. J., Bazant Z. P., Wittmann F. H. Creep, shrinkage and durability mechanics of concrete and other quasi-brittle materials // proceedings of the 6th Int. conference CONCREEP-6@MIT. 20–22 August 2001, Cambridge, USA. 809 p.
9. Леонович С. Н. Механика долговечности конструкционного бетона : новый подход к явлению деградации. Ч. 1 // Строительные материалы. 2024. № 1–2. С. 74–78.  
Leonovich S. N. Mechanics of durability of structural concrete : new approach to degradation phenomena. Part 1 // Building materials. 2024. Iss. 1-2. P. 74-78.
10. Sistonen E., Vesikari E. Effect of Interacted Deterioration Parameters on Service Life of Concrete Structures in Cold Environments - State of the Art. Project DuraInt, report VTT-R- 09217-08. Espoo, Finland, 2006. 47 p.
11. Basheer L. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties // Construction and Building Materials. 2001. No. 15. P. 93–103. DOI: 10.1016/S0950-0618(00)00058-1.
12. Maekawa K., Ishida T. Service-life evaluation of reinforced concrete under coupled forces and environmental actions // Conference: Ion and Mass Transport. 2000. 12 p. DOI: 10.26599/JIC.2023.9180003.
13. Melchers R. E. Long-Term Durability of Marine Reinforced Concrete Structures // Journal Marine Science and Engineering. 2020. № 8. Iss. 290. P. 1–8. DOI: 10.3390/jmse8040290.
14. Pal B. Multiphysics-based approach to predict mechanical behavior of concrete element in a multiscale framework / B. Pal, A. Ramaswamy // Mechanics of Materials. 2023. Vol. 176. P. 4-31. DOI: 10.1016/j.mechmat.2022.104509.
15. Wang Z., Gong F., Maekawa K. Multi-scale and multi-chemo-physics lifecycle evaluation of structural concrete under environmental and mechanical impacts // Journal Intelligent Construction. 2023. Vol. 1. P. 9180003.

**Информация об авторах**

**Ким Лев Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, советник РААСН, профессор Департамента морских арктических технологий Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Российская Федерация.

E-mail: kimlv2@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3551-164X

**Леонович Сергей Николаевич**, доктор технических наук, профессор, иностранный академик РААСН, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь.

E-mail: sleonovichsn@mail.ru, ORCID 0000-0002-4026-820X

**Information about the authors**

**Lev V. Kim**, Candidate of Technical Sciences, associated professor, advisor of RAACS, professor of Department of Marine Arctic Technologies of Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation.

E-mail: kimlv2@yandex.ru, ORCID 0000-0002-3551-164X

**Sergei N. Leonovich**, Doctor of Technical Sciences, professor, foreign academician of RAACS, head of Building Materials and Technology of Construction Department, Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

E-mail: sleonovichsn@mail.ru, ORCID 0000-0002-4026-820X