

В.В. МАЛЮК<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, г. Владивосток, Россия<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», г. Южно-Сахалинск, Россия

## КОНЦЕПЦИЯ МОДЕЛИ МОРОЗНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕТОН МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ

**Аннотация.** Представлен концептуальный подход к прогнозированию долговечности бетона в условиях морозного воздействия и сильного насыщения на основе реальной работы бетона в конструкциях портовых сооружений на морском побережье юга о. Сахалин. Показано, что отсутствие методов прогнозирования коррозии бетона в условиях морозного воздействия, обусловлено многообразием и синергетическим эффектом факторов, определяющих долговечность. Многоциклическое воздействие знакопеременных температур, обусловленное морскими приливами, не всегда является определяющим критическим показателем суровости для зоны переменного уровня. Незамораживающая вода в акватории портов и тяжелые гидрометеорологические условия в виде сильного волнения предопределяют обледенение конструкций в течение всего зимнего периода. Этот фактор в определенных случаях может являться критическим для бетона. На основании результатов исследования состояния, свойств и температурно-влажностного режима бетона в конструкциях зоны переменного уровня воды и общепринятых теоретических положений морозного разрушения бетона предложено прогнозировать срок службы в зоне переменного уровня портовых сооружений на основе концепции двухстадийности процесса морозной коррозии. Показана возможность прогноза долговечности бетона на основе сценарного моделирования процесса развития системы структуры пор цементной матрицы в зависимости от ее параметров к началу морозного воздействия и механизма промерзания бетона в конструкциях.

**Ключевые слова:** водонасыщение бетона, долговечность, морозостойкость, морские сооружения, срок службы.

V.V. MALYUK<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Branch FGBU «TSNIIP Russian Ministry of Construction» DalNIIS, Vladivostok, Russia<sup>2</sup> Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

## CONCEPT OF THE MODEL OF FROST IMPACT ON CONCRETE OF OFFSHORE STRUCTURES

**Abstract.** A conceptual approach is presented to predicting the durability of concrete under conditions of frost exposure and strong saturation based on the actual work of concrete in the structures of port facilities on the sea coast of the south of the island. Sakhalin. It is shown that the lack of methods for predicting concrete corrosion under frost exposure, despite the large amount of theoretical and experimental work on this topic, is due to the diversity and synergistic effect of factors that determine durability. It has been established that the multicyclic effect of sign-variable temperatures due to sea tides is not always the determining critical indicator of severity for the zone of variable level. Non-freezing water in the port waters and severe hydrometeorological conditions in the form of strong waves predetermine the icing of structures throughout the winter period. This factor in certain cases can be critical for concrete. Based on the results of the study of the state, properties and temperature-humidity regime of concrete in the structures of the zone of variable water level and the generally accepted theoretical principles of frost destruction of concrete, it is proposed to predict its service life in the zone of variable level of port facilities based on the concept of a two-stage process of frost corrosion. The possibility of predicting the durability of concrete based on scenario modeling of the process of development of the system of pore structure of the cement matrix, depending on its parameters by the beginning of frost exposure and the mechanism of freezing of concrete in structures, is shown.

**Keywords:** concrete water saturation, durability, frost resistance, offshore structures, service life prediction.

## **Введение**

Недостаточная долговечность бетона в конструкциях создает огромную нагрузку как на экономику, так и экологию. Возрастающие случаи преждевременной потери несущей способности конструкций в период эксплуатации ставят вопрос о необходимости вводить в нормы проектирования железобетонных конструкций обязательные требования по расчету долговечности [1, 2, 3].

Основной причиной преждевременного износа железобетонных конструкций является коррозия арматуры, связанная с карбонизацией и прониканием хлоридов. Это относится к химической коррозии, которая по современной классификации агрессивных сред особенно проявляется в агрессивных средах класса ХС, ХВ, ХS. Показателями суровости этих сред является степень насыщения и концентрация растворов и аэрозолей в условиях положительной температуры. Для России актуальным вопросом остается разработка мер защиты бетона в агрессивной среде класса XF4, которая характеризуется попеременным замораживанием бетона при сильном насыщении его пресной или минерализованной водой, поскольку преобладающая часть территории находится в климатической зоне с большой продолжительностью зимнего периода с отрицательными температурами. Несмотря на большой объем исследований, посвященных морозной коррозии бетона, до сих пор отсутствуют общепринятые методы как расчета бетона по морозостойкости, так и прогноза долговечности по фактическим показателям свойств бетона в конструкциях при эксплуатации в условиях морозного воздействия. В значительной степени это обусловлено сложным механизмом разрушения бетона при морозном воздействии.

Большим достижением в области исследования стойкости водонасыщенного бетона при многократном замораживании и оттаивании явилось принятие в 1884 году для оценки морозостойкости единой методики испытаний, предложенной профессором Н.А. Белелюбским [4]. Основным положением данной методики является то, что в ней заложено имитационное моделирование внешних воздействий от многократного замораживания и оттаивания, которое происходит из-за цикличности приливов и отливов. Под термином морозостойкость стали понимать способность водонасыщенного бетона сохранять прочность при многократном замораживании и оттаивании. Принципиальная основа этого положения сохранилась до настоящего времени в стандартных методах испытаний бетона на морозостойкость. Единая методика испытания бетона на морозостойкость, несмотря на ее условность, позволила установить ряд важных зависимостей морозостойкости от состава бетона; качества и расхода цемента; качества заполнителей; водоцементного отношения; степени гидратации цемента; пористости цементного камня; условий замораживания [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17].

В последнее время при эксплуатации конструкций в агрессивных условиях класса XF4 увеличивается число случаев преждевременного разрушения конструкций после первого зимнего сезона, т.е. через 3...4 месяца эксплуатации. Наблюдаемые случаи скоротечного процесса разрушения бетона нельзя отнести к понятию деградации, поскольку кинетика развития деструкции бетона в этом случае не связана с длительным периодом накопления повреждений от циклов замораживания-оттаивания [18, 19]. Фактически происходит внезапный отказ. Выводы о причинах такого вида разрушения делаются без глубокого анализа факторов, обуславливающих процесс разрушения. В связи с этим отсутствует возможность в систематизации и раскрытии причин деструкции.

Отсутствие объективной информации о причинах повреждения сдерживает дальнейшее развитие теории и методов проектирования долговечности. Необходимость в изучении реальной работы бетона в сооружениях обусловлена не только проблемами, изложенными выше, но и мировой тенденцией перехода к проектированию конструкций, зданий и сооружений по жизненному циклу.

В данной работе изложена концептуальная модель морозного воздействия на конструкционный бетон при сильном насыщении морской водой на основе исследования реального поведения бетона в конструкциях морских гидротехнических сооружений, которая в дальнейшем может использоваться как для совершенствования технологии бетона, так и для разработки модели прогнозирования долговечности.

### Методы исследования

Традиционно принято считать, что суровость внешних воздействий для бетона морских сооружений определяют количество циклов замораживания-оттаивания в зоне прилива и температура воздуха в районе сооружения. Это является методологической основой для разработки современной технологии бетонов высокой морозостойкости [4-13]. В этом случае исследуется система *материал-среда*, которая имитирует один из возможных механизмов замораживания бетона. В научной литературе отсутствуют экспериментальные исследования температурного режима бетона в зимний период в зоне переменного уровня воды. Утверждение о высокой суровости условий эксплуатации бетона в зоне прилива не имеет доказательной базы и основано на умозрительных представлениях, что морские приливы в акватории портов создают определяющую по суровости и значимости нагрузку на бетон в виде циклов замораживания-оттаивания. Процесс экспериментальных исследований реальной работы бетона в зоне переменного уровня является технически сложным по ряду причин. Одной из них является отсутствие до последнего времени средств измерения для выполнения такого вида экспериментальных работ в тяжелых гидрометеорологических условиях, которые характерны для морского побережья арктических и дальневосточных морей.

В настоящее время разработаны электронные контрольно-измерительные приборы и программное обеспечение для мониторинга температур, что позволяет проводить исследования в тяжелых гидрометеорологических и агрессивных условиях. Это позволило перейти от традиционного изучения работы бетона в системе *материал – среда* к изучению работы бетона в системе *материал – конструкция – среда*.

Методология оценки объектов исследований построена на изучение реальной работы бетона в конструкциях при морозном воздействии и опыта строительства и эксплуатации портовых сооружений на о. Сахалин за последние сто лет (1920–2020 гг.) [19]. Методология предусматривала исследовать:

- условия эксплуатации бетона в зоне переменного уровня;
- состояния бетона в зоне переменного уровня по внешним признакам;
- качественные показатели бетона в конструкциях;
- температурный режим бетона в поверхностном слое бетона.

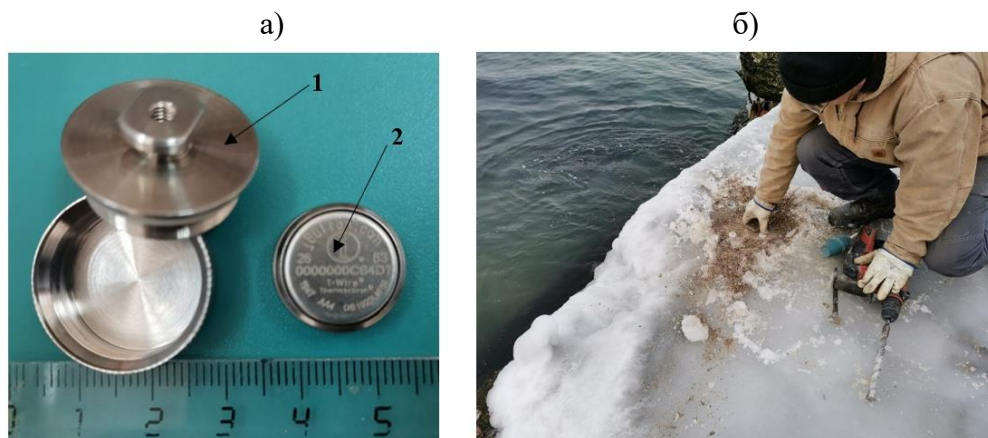
Отличительная особенность климатических условий побережья о. Сахалин заключается в разнообразии и своеобразии. Южная часть западного побережья острова омывается водами Японского моря, остальное побережье – водами Охотского моря. Последнее относится к числу холодных субарктических морей и является самым холодным из дальневосточных морей. Одновременное влияние холодного Охотского и теплого Японского морей особенно проявляется в южной части острова. Крайняя южная часть моря никогда не замерзает, поэтому интенсивное строительство портовых сооружений ведется на юге Сахалина.



Фото 1 – Общий вид причального сооружения в зимний период (декабрь) в период отлива (фото автора)

Отсутствие в зимний период ледяного покрова в акватории портов, повторяемость волнения до 35 - 50 % с высотой волн до 4-6 метров и низкие отрицательные температуры зимой (до минус 20 °С), является причиной образования наледи на конструкциях портовых сооружений (причальных и оградительных) в зоне всплеска волны, которая сохраняется в течение всего зимнего периода, т.е. до 90 суток (фото 1).

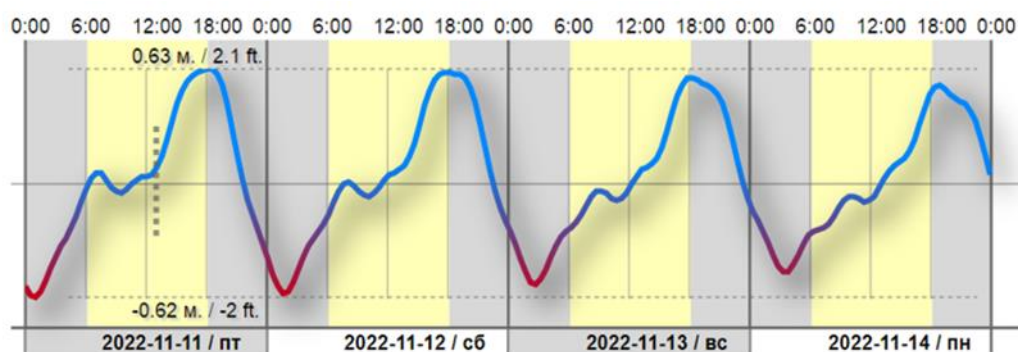
Исследование температурного режима бетона в конструкциях выполнены на основе применения специальных температурных датчиков, установленных на глубину 50 мм в поверхностном слое бетона на различных участках зоны переменного уровня воды (фото 2). Датчики фиксировали информацию о температуре в течение зимнего периода. После зимнего сезона они извлекались из конструкции для последующей обработки полученной информации на компьютере.



**Фото 2– Вид датчика для замера температуры бетона в зоне переменного уровня воды:**  
1- контейнер; 2- датчик (а), процесс установки датчика температуры в конструкцию (б)

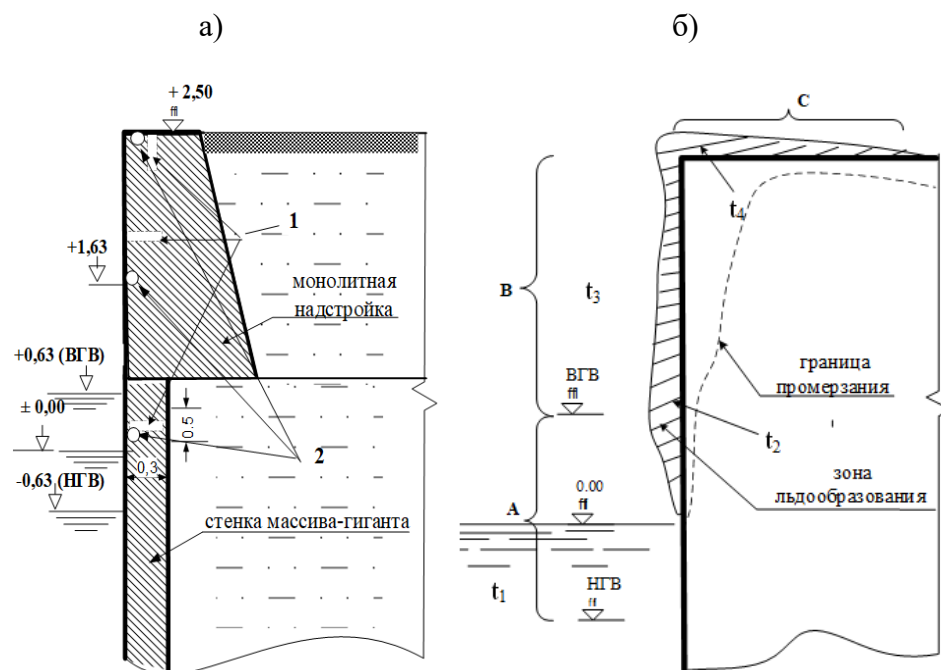
Мониторинг состояния конструкций и температурного режима воздуха и бетона в зимний период позволили установить реальный механизм замораживания бетона на различных участках конструкций зоны переменного уровня.

### Результаты и обсуждения



**Рисунок 1 – График хода прилива и отлива: о. Сахалин, залив Анива**  
([https://nashaplaneta.net/prilivy/prilivy-otlivy-ru\\_yujno\\_sahalinsk](https://nashaplaneta.net/prilivy/prilivy-otlivy-ru_yujno_sahalinsk))

Рассматривая условия эксплуатации и температурный режим бетона в зоне переменного уровня можно отметить, что в системе «материал – конструкция – среда» морозное воздействие на участках действия прилива и всплеска волны существенно различается по степени насыщения морской водой и по температурным параметрам. Продолжительность контакта бетона с водой зависит от уровня расположения его в конструкции и режима приливной волны (рисунок 1).

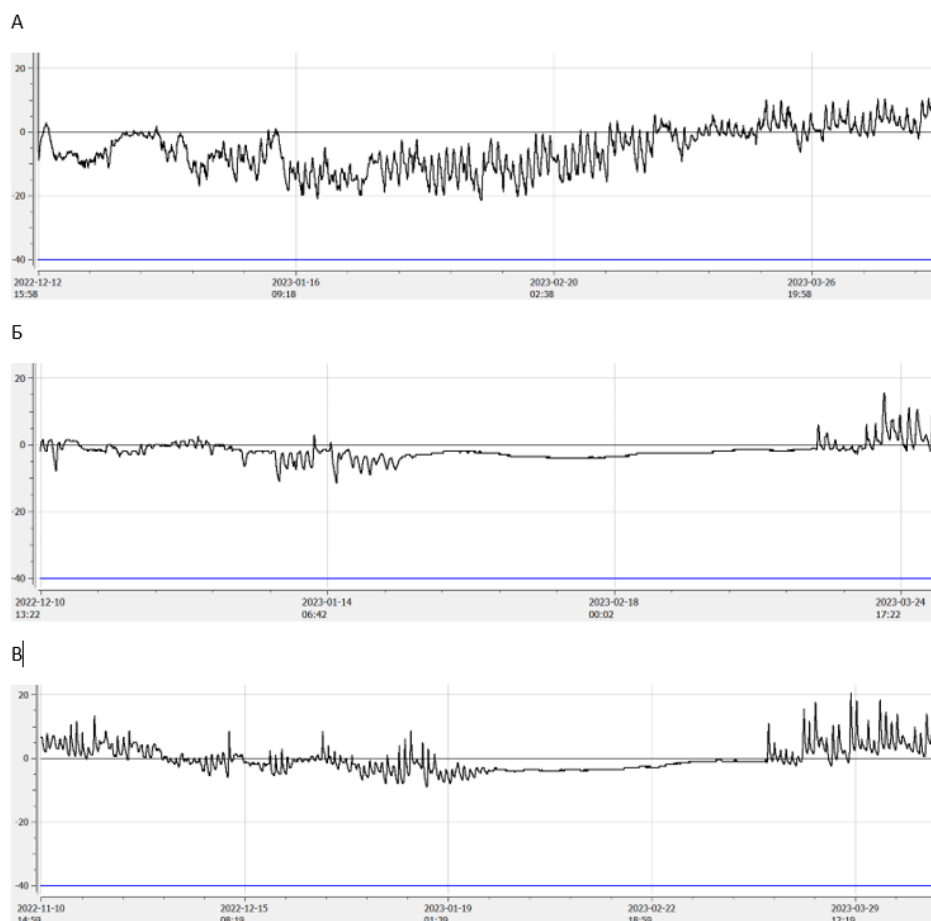


**Рисунок 2 – Схемы: а) конструкция причала с местами отбора проб бетона (1) и установки датчиков температуры (2); б) схема морозного воздействия на бетон в зоне переменного уровня воды**

Бетон на участке прилива, т.е. между нижним уровнем воды (НГВ) и верхним уровнем воды (ВГВ), находится непосредственно в контакте с морской водой (рисунок 2). С увеличением время насыщения бетона уменьшается продолжительность замораживания бетона. Например, на отметке ВГВ продолжительность насыщения бетона составляет 1-2 часа, а продолжительность замораживания 22-23 часа. На отметке НГВ наоборот – продолжительность насыщения бетона 22-23 часа, а продолжительность замораживания 1-2 часа. Следовательно, наиболее низкая температура замораживания бетона соответствует наименее насыщенному бетону. Поэтому реально в зоне прилива, которая считается наиболее нагруженной от внешних воздействий, создается микроклимат с параметрами, существенно отличными от режима стандартных испытаний на морозостойкость. Это является объяснением установленного факта высокой долговечности бетона – около 100 лет, при стандартной морозостойкости бетона F<sub>250</sub> [19].

На участке действия прилива, исходя из общепринятых представлений, замораживание бетона должно проходить на воздухе в период отлива, а оттаивание в воде в период прилива. Однако исследования показали, что в зимний период при температуре воздуха ниже минус 10 °С цикличное замораживание и оттаивание бетона происходит на отметках ниже нулевого уровня. Бетон конструкции выше нулевого уровня не подвержен циклам замораживания-оттаивания, поскольку этот участок конструкции покрывается льдом в течение 60 – 90 дней (фото 1; рисунок 2 б). На участке ниже нулевого уровня при самых неблагоприятных условиях замораживание бетона происходит при температуре замораживания выше минус 10 °С (рисунок 3).





**Рисунок 3 – График хода температуры в зимний период:**  
*А- воздуха; Б- бетона на отметке 0.0; В- бетона на отметки + 1,5 (данные автора)*

Цикличное замораживание и оттаивание бетона на участке прилива происходит в начальный зимний период до середины декабря, когда вода в акватории не опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$  и в конце зимнего периода: это третья декада февраля и первая декада марта, когда повышается температура воздуха и воды в акватории.

Исследования показали, что традиционные технологии бетона позволяют обеспечить в зоне переменного уровня морских портовых сооружений срок службы конструкциям из бетона марки по морозостойкости  $F_{250}$  не менее 100 лет. Фактически бетон, изготовленный по современным требованиям, имеет морозостойкость минимум на порядок выше, чем это требуется для обеспечения срока службы 100 лет.

Анализ причин разрушения бетона в конструкциях морских сооружений позволил установить, что в зоне переменного уровня воды многоцикличное замораживание-оттаивание не всегда является определяющим фактором внешних воздействий в зоне переменного уровня воды. Результаты натурных исследований морских сооружений на побережье дальневосточных морей свидетельствуют, что в реальных условиях в зоне переменного уровня имеются два участка, которые отличаются по степени насыщения бетона и характеру воздействия отрицательной температуры: а) участок действия прилива; б) участок всплеска волны. Определяющими факторами внешних воздействий на участке прилива являются температура замораживания бетона ( $t_F$ ) и количество циклов замораживания-оттаивания ( $N_{FT}$ ), а на участке всплеска волны - температура замораживания бетона ( $t_F$ ) и продолжительность замораживания ( $T_F$ ) [20]. Исходя из преобладающих факторов внешних воздействий, выделено два вида механизма замораживания бетона по

преобладающим показателям воздействия (рисунок 2 б): А - участок действия прилива:  $P_{F1} = f(t_F; N_{FT})$ ; В - участок всплеска волны:  $P_{F2} = f(t_F; T_F)$ . На участке всплеска волны происходит обледенение конструкций и бетон подвержен в течение 60-90 суток длительному замораживанию. Это характерно для портовых сооружений арктических и дальневосточных морей.

На участках длительного обледенения наблюдается лавинообразное разрушение бетона после первого года эксплуатации, по кинетике процесса его можно отнести к внезапному отказу [18]. В зоне прилива наблюдается деградиционный характер разрушения бетона, т.е. процесс разрушения развивается в течение нескольких десятков лет.

В системе «материал – конструкция – среда» целесообразно исследовать причины разрушения бетона на основе сценарного моделирования морозного воздействия на конструкционный бетон, поскольку кинетику процесса деградации бетона определяют разные механизмы замораживания бетона. Для этих моделей применима общая причина разрушения бетона при морозном воздействии – деструкция бетона начинается при достижении критической степени водонасыщения [5, 14, 15].

Кинетика водонасыщения пор в период эксплуатации является производной как от состава и системы структуры пор бетона к началу морозного воздействия, так и от механизма замораживания бетона. Возможность изменения влажностного состояния бетона в конструкции при длительном обледенении в силу термоградиентного массопереноса воды является принципиальным отличием от процесса насыщения бетона, который происходит на участке прилива. Это отличие оказывает влияние на выбор технологии бетонных работ и состав бетона для обеспечения требуемой долговечности конструкций в зоне переменного уровня воды [21].

Сам процесс морозной коррозии целесообразно рассматривать как двухэтапный, в котором присутствует этап инициации  $T_{ин}$  и деградации  $T_{дг}$  (рисунок 4). Этап инициации определяет период водонасыщения бетона до критической степени, а этап деградации соответствует периоду развития микротрещин после критического водонасыщения до предельного уровня снижения прочности. Выделены три сценария развития структуры бетона при сильном водонасыщении в условиях морозного воздействия (рисунок 4).

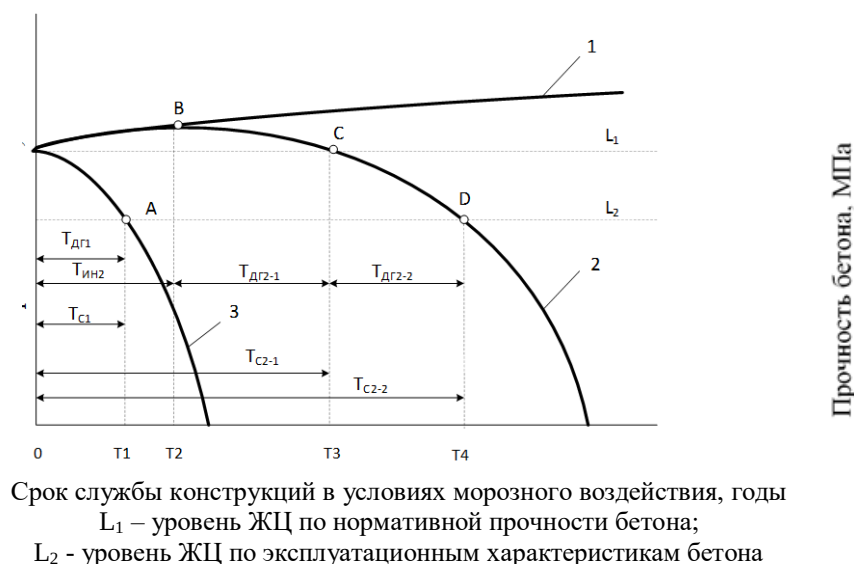


Рисунок 4 – Сценарии жизненного цикла бетона: 1- наличие только периода инициации ( $T_{ин}$ ); 2 - наличие периода инициации ( $T_{ин}$ ) и деградации ( $T_{дг}$ ); 3 - наличие только периода деградации ( $T_{дг}$ )

Реальные срок службы бетона в конструкциях портовых сооружений в условиях морского побережья дальневосточных морей свидетельствуют, что жизненный цикл бетона в конструкциях развивается по трем, рассмотренным выше сценариям. Реальный факт срока службы бетона в конструкциях зоны переменного уровня в течение 100 лет раскрывает потенциальные возможности бетона. Однако увеличение случаев разрушения бетона после первого зимнего сезона в агрессивных средах класса XF4 свидетельствует о необходимости актуализации методов первичной защиты бетона с учетом механизма замораживания бетона в конструкции.

Сценарный подход к разработке прогнозных моделей долговечности бетона, визуализация которых представлена на рисунке 4, целесообразно рассматривать в качестве концептуальной основы для разработки модели прогноза сроков службы бетона по эксплуатационным характеристикам (performance-based design). Это необходимо также для совершенствования методов проектирования и технологии бетонных работ при эксплуатации конструкций в агрессивных средах класса XF4 [21].

### **Выводы**

Результаты комплексного исследования бетона в конструкциях морских портовых сооружений: состояния, свойств и температурно-влажностного режима, показали, что факторы, принятые для оценки агрессивности среды класса XF4, не в полной мере характеризуют реальную нагрузку от внешних воздействий на бетон зоны переменного уровня морских портовых сооружений.

На участках, подверженных воздействию волн, которые тоже относятся к зоне переменного уровня, фактором агрессивности является длительное замораживание в условиях обледенения.

Мониторинг разрушений бетона после первого зимнего сезона в конструкциях морских и транспортных сооружениях, на примере о. Сахалин, дает основания считать, что длительность замораживания в условиях обледенения необходимо учитывать при проектировании мер первичной защиты бетона.

Целесообразно нормы по защите бетона в агрессивной среде класса XF4 актуализировать с учетом реальных условий эксплуатации сооружений и рассматривать длительность морозного воздействия как фактор агрессивности.

На этапе проектирования методов первичной защиты от морозной коррозии целесообразно устанавливать требования к технологии бетона в зависимости от условий строительной площадки и механизма замораживания бетона в конструкциях.

Сценарный подход к прогнозированию долговечности бетона позволяет актуализировать срок службы бетона в агрессивных средах класса XF4 на стадии приемки конструкций по фактическим показателям качества бетона, характеризующих стойкость в конкретных условиях эксплуатации.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability: State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC (RILEM State-of-the-Art Reports (18), Springer; 1st ed. 2016, (October 3, 2015), 391 p.
2. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–02.
3. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Пленарные доклады II Международной конференции «Бетон и железобетон – взгляд в будущее». М., 2014. С. 275–289.
4. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат. Ленинградское отделение, 1983. 132 с.
5. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Москва: Стройиздат, 1990. 320 с.
6. Горчаков Г. И., Капкин М. М., Скрамтаев Б. Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. Москва: Стройиздат, 1965. 195 с.



7. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М. Стройиздат, 1980. 536 с.
8. Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. Москва: Стройиздат, 1983. 212 с.
9. Шейкин А.Е., Добшиц Л.М. Цементные бетоны высокой морозостойкости. Л., 1989. 128 с.
10. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Чернякевич О.Ю., Степанова А.В. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях. Минск: в 2 ч. Ч. 2., изд-во БНТУ, 2016. 393 с.
11. Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. М., изд-во Транспорт, 1966. 501 с.
12. Москвин В. М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 344 с.
13. Стольников В. В. Исследование по гидротехническому бетону. М. – Л.: Госэнегиздат, 1962. 330 с.
14. Fagerlund, G., “Moisture design with regard to durability – With special reference to frost destruction”, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, TVBM-3130, Lund 2006, 128 pp.
15. Fagerlund, G. Frost Destruction of Concrete –A Study of the Validity of Different Mechanisms. Nordic Concrete Research. Publ. No. NCR 58. 2018(1):35–54. //doi.org/10.2478/ncr-2018–0003
16. Neville, A. M. Brooks J.J. Concrete Technology, 2nd Edition. 2010. ISBN-3: 9780273732198.
17. Славчева Г.С., Чернышов Е.М. Влияние структуры высокопрочных модифицированных бетонов на дилатометрические эффекты при их замораживании // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2015. № 1 (22). С. 55-62
18. Malyuk V., Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 022071. URL: //doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071
19. Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин, 1927–2018 гг.) // Бетон и железобетон. 2022. № 1 (609). С. 3–9. doi: //doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9
20. Malyuk V.V., V.D. Malyuk. Freezing Mechanisms of the Concrete in an Area of Variable Water Level of Port Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 988 (2022), doi:10.1088/1755-1315/988/5/052020
21. Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Совершенствование методов проектирования и технологии бетонных работ (на примере о. Сахалин) // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 30–34. doi: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-30-34>.

## REFERENCES

1. Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability: State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC (RILEM State-of-the-Art Reports (18), Springer; 1st ed. 2016, (October 3, 2015), 391 p.
2. V.T. Karpenko N.I., IArmakovskii V.N., Erofeev V.T. O sovremennykh metodakh obespecheniia dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrukttsii [On Modern Methods of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures (in Russian)]. Academia. Architecture and Construction. 2015. No.1. Pp. 93-102. (rus)
3. Stepanova V.F., Falikman V.R. Sovremennye problemy obespecheniia dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrukttsii [Modern Problems of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures] Concrete and Reinforced Concrete – Look into the Future: in 7 volumes. Volume 3. M. MISI-MGSU Publishing House, 2014. Pp.430-444. (rus)
4. Kuntsevich O.V. Betony vysokoï morozostoïkosti dlia sooruzhenii Kraïnego Severa [High Frost Resistance Concretes for Facilities of the Far North]. Leningrad: Stroyizdat, 1983.132 p. (rus)
5. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry S., Shissl P. Dolgovechnost' zhelezobetona v agressivnykh sredakh [Durability of Reinforced Concrete in Aggressive Environments]. Moskva: Strojizdat, 1990. 320 p. ISBN 5-274-00923-9. (rus)
6. Gorchakov G.I., Kapkin M.M., Skramtaev B.G. Povyshenie morozostoïkosti betona v konstrukttsiakh promyshlennykh i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii [Increasing the frost resistance of concrete in the structures of industrial and hydraulic structures]. Moscow: Stroyizdat, 1965. 195 p. (rus).
7. Moskvin V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Korroziia betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity [Corrosion of Concrete and Reinforced Concrete, Methods of Their Protection] М., Strojizdat, 1980. 536 p. (rus)
8. Dobroliubov G., Ratinov V.B., Rozenberg T.I. Prognozirovaniye dolgovechnosti betona s dobavkami. [Prediction of durability of concrete with additives: monograph] Moscow: Stroyizdat, 1983. 212 p. (rus)
9. SHeikin A.E., Dobshiĭ L.M. TSementnye betony vysokoï morozostoïkosti [Cement concretes of high frost resistance]. Leningrad, 1989. 128 p. (rus)
10. Leonovich S.N., Litvinovskii D.A., CHerniakevich O.IU., Stepanova A.V. Prochnost', treshchinostoïkost' i dolgovechnost' konstrukttsionnogo betona pri temperaturnykh i korroziionnykh vozdēistviiah [Strength, Crack

Resistance and Durability of Structural Concrete at Temperature and Corrosion Effects]: v 2 ch. Ch. 2.- Minsk: izd-vo BNTU, 2016. 393 p. (rus)

11. Shestoperov S.V. Dolgovechnost' betona transportnykh sooruzhenii [Concrete Durability of Transport Structures] M., Transport Publishing House, 1966. 501 p. (rus)

12. Moskvina V. M. Korroziya betona [Corrosion of concrete]. M.: Gosstroyizdat, 1952. 344 p. (rus)

13. Stol'nikov V. V. Issledovanie po gidrotekhnicheskomu betonu [Research on hydraulic concrete]. M. L., Gosstroiizdat, 1962. 330 p. (rus)

14. Fagerlund, G., "Moisture design with regard to durability – With special reference to frost destruction", Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, TVBM-3130, Lund 2006, 128 pp.

15. Fagerlund, G. Frost Destruction of Concrete – A Study of the Validity of Different Mechanisms. Nordic Concrete Research. Publ. No. NCR 58. 2018(1) Pp. 35–54. //doi.org/10.2478/ncr-2018-0003/

16. Neville, A. M. Brooks J.J. Concrete Technology, 2nd Edition. 2010. ISBN-3: 9780273732198.

17. Slavcheva G.S., Chernyshov E.M. Vliianie struktury vysokoprochnykh modifitsirovannykh betonov na dilatometricheskie éffekty pri ikh zamorazhivani [Influence of the structure of high-strength modified concretes on dilatometric effects during their freezing] Bulletin of the FEFU Engineering School. 2015. No. 1 (22). Pp. 55-62. (rus)

18. Malyuk V., Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. Far East Con-2018. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 022071. URL://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071

19. Maliuk V.V., Maliuk V.D., Leonovich S.N. Analiz rezul'tatov obsledovaniia zhelezobetonnykh konstrukttsii portovykh sooruzhenii (o. Sakhalin, 1927–2018 gg.) [Analysis of the results of the survey of reinforced concrete structures of port facilities (Sakhalin Island, 1927–2018)] Concrete and reinforced concrete. 2022. No. 1 (609). Pp. 3–9. //doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9. (rus)

20. Malyuk V.V., V.D. Malyuk. Freezing Mechanisms of the Concrete in an Area of Variable Water Level of Port Facilities. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 988, Issue 5, id.052020, 7 p.

21. Maliuk V.V., Maliuk V.D., Leonovich S.N. Sovershenstvovanie metodov proektirovaniia i tekhnologii betonnykh rabot (na primere o. Sakhalin) [of design methods and technology of concrete works (on the example of Sakhalin Island)] Concrete and reinforced concrete. 2022. No 2 (610). Pp. 30–34. doi:https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-30-34 (rus)

#### Информация об авторе:

##### **Малюк Владислав Викторович**

Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС, г. Владивосток, Россия,

младший научный сотрудник.

ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет», г. Южно-Сахалинск, Россия,

старший преподаватель.

E-mail: [mal46yuk@gmail.com](mailto:mal46yuk@gmail.com)

#### Information about author:

##### **Malyuk Vladislav V.**

Branch FGBU «TSNIIP Russian Ministry of Construction» DalNIIS, Vladivostok, Russia,

junior researcher.

Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia,

senior lecturer.

E-mail: [mal46yuk@gmail.com](mailto:mal46yuk@gmail.com)