

В.В. МАЛЮК¹, инженер (mvv.77@mail.ru), В.Д. МАЛЮК¹, канд. техн. наук;
С.Н. ЛЕОНОВИЧ^{2,3}, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН (sleonovich@mail.ru)

¹ Филиал «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС (690033, г. Владивосток, ул. Бородинская, 14)

² Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65)

³ Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

Анализ результатов обследования железобетонных конструкций портовых сооружений (о. Сахалин, 1927–2018 гг.)

Проведено обследование конструкций портовых сооружений, возведенных на побережье юга о. Сахалин за последние 100 лет, начиная с 20-х гг. прошлого века до 2018 г. Отличительная особенность условий эксплуатации портовых сооружений состоит в климатических условиях побережья на юге острова – западное побережье острова омывается водами Японского моря, остальное побережье – водами Охотского моря. Последнее относится к числу холодных субарктических морей и является самым холодным из дальневосточных. Одновременное влияние холодного Охотского и теплого Японского морей особенно проявляется в южной части острова. Климатическое своеобразие южной части побережья о. Сахалин отражается на условиях эксплуатации конструкций портовых сооружений: южная часть Охотского моря и северная часть Японского моря никогда не замерзают. Тяжелые гидрометеорологические условия эксплуатации портовых сооружений на южном побережье Сахалина наиболее явно проявляются в зимний период: низкая отрицательная температура зимой (до -20°C); беспокойное море – средняя повторяемость волнения равна 35–50%, высота волн достигает 4–6 м; температура воды на поверхности моря держится около -1°C ; соленость воды на поверхности составляет 31–33‰.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, портовые сооружения, обследование, влагоперенос, замораживание-оттаивание.

Для цитирования: 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: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9>

V.V. MALYUK¹, Engineer (mvv.77@mail.ru), V.D. MALYUK¹, Candidate of Sciences (Engineering),
S.N. LEONOVICH^{2,3}, Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Academician of RAACS, (sleonovich@mail.ru)

¹ Branch of “TsNIIIP of the Ministry of Construction of Russia” DALNIIS (14, Borodinskaya Street, Vladivostok, 690033, Russian Federation)

² Belarusian National Technical University (65, Prospect Nezavisimosti, Minsk, 220013, Republic of Belarus)

³ Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

Analysis of the Results of the Survey of Reinforced Concrete Structures of Port Facilities (Sakhalin Island 1927–2018)

A survey of the structures of port facilities erected on the coast of the south of Sakhalin Island over the past 100 years: from the 20s of the last century to 2018 was conducted. A distinctive feature of the operating conditions of port facilities is the climatic conditions of the coast in the south of the island – the western coast of the island is washed by the waters of the Sea of Japan, the rest of the coast is washed by the waters of the Sea of Okhotsk. The latter belongs to the number of cold subarctic seas and is the coldest of the Far Eastern. The simultaneous influence of the cold Sea of Okhotsk and the warm Sea of Japan is especially evident in the southern part of the island. Climatic peculiarity of the southern part of the coast of Sakhalin is reflected in the operating conditions of the structures of port facilities – the southern part of the Sea of Okhotsk and the northern part of the Sea of Japan never freeze. Severe hydrometeorological conditions of operation of port facilities on the southern coast of Sakhalin are most clearly manifested in winter – low negative temperature in winter (up to -20°C); choppy sea – the average frequency of excitement is 35–50%, the height of the waves reaches 4–6 m; the water temperature on the sea surface is about -1°C ; the salinity of the water on the surface is 31–33‰.

Keywords: reinforced concrete structures, port facilities, inspection, moisture transfer, freezing-thawing.

For citation: Malyuk V.V., Malyuk V.D., Leonovich S.N. Analysis of the results of the survey of reinforced concrete structures of port facilities (Sakhalin Island 1927–2018.). *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 1 (609), pp. 3–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-609-1-3-9>

Специфика климатических условий создает, с одной стороны, мягкие условия для судоходства – акватория портов не замерзает, с другой – создает суровые условия эксплуатации для бетона: в течение четырех зимних месяцев бетон конструкции портовых сооружений в зоне переменного уровня подвержен различным условиям замораживания. Начиная с декабря конструкции портовых сооружений подвержены воздействию

волн, которые при отрицательной температуре воздуха создают условия для обмерзания конструкций в зоне переменного уровня воды. Плавающие льды создают дополнительное механическое воздействие на бетон в зоне переменного уровня воды [1–13].

Наблюдения за состоянием портовых сооружений в зимний период позволили установить следующее. В зоне переменного уровня воды имеются три харак-

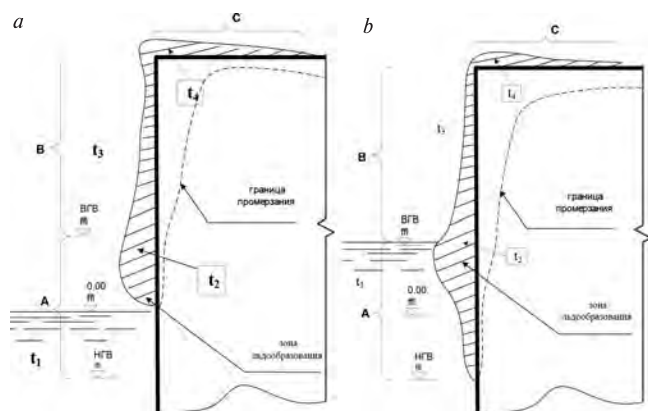


Рис. 1. Схема разделения зоны переменного уровня воды на участки с учетом водонасыщения и механизма замораживания бетона: А – участок прямого контакта с морской водой; В и С – участки насыщения бетона от всплеска волны; а – начальный и конечный зимние периоды; б – основной зимний период

Fig. 1. Scheme of dividing the zone of variable water level into sections, taking into account water saturation and the mechanism of concrete freezing: А – area of direct contact with sea water; В and С – areas of concrete saturation from a wave splash; а – initial and final winter period; б – main winter period

терных участка, которые отличаются по механизму замораживания бетона (рис. 1).

На участке действия прилива и отлива – участок А, процесс замораживания бетона происходит на воздухе в период отлива, а процесс оттаивания – в воде в период прилива. Однако циклическое замораживание и оттаивание бетона на участке А происходят только в начальный зимний период – это период до середины декабря, и в конце зимнего периода – третья декада февраля и первая декада марта, когда температура воздуха не опускается ниже минус 5–8°C, а температура воды в акватории не понижается ниже 0°C. В остальной зимний период – 60–80 сут, на участке действия отлива–прилива циклы замораживания–оттаивания отсутствуют, поскольку намерзает слой морского льда толщиной 50–100 см (рис. 1, б и 2, б).

Показатели суровости внешних воздействий

Результаты исследований показали, что суровость внешних воздействий для каждого выделенного участка можно оценить следующими показателями:



Рис. 2. Состояние бетона в конструкции в различные зимние месяцы: а – декабрь (02.12.20); б – февраль при приливе (25.02.21)

Fig. 2. The state of concrete in the structure in different winter months: а – December (02.12.20); б – February at high tide (25.02.21)

- числом циклов замораживания и оттаивания (N_{FT});
- температурой оттаивания (t_T);
- температурой замораживания (t_F);
- продолжительностью замораживания (T_F);
- продолжительностью оттаивания (T_T).

Исходя из преобладающих факторов внешних воздействий, их суровость для бетона можно оценить показателем P_F , который будет иметь следующий вид:

- $P_{F1} = f(t_F; t_T; N_{FT}, T_F, T_T)$ для участка А;
- $P_{F2} = f(t_F; T_F)$ для участков В и С.

Исходя из цели и задач, поставленных в работе, в представленной статье приведен анализ технологии изготовления конструкций. Технологические решения изготовления конструкций представляют как теоретический, так и практический интерес, поскольку за длительный срок портового строительства на Сахалине возводились сооружения из сборных, монолитных и сборно-монолитных конструкций. Длительный опыт строительства портовых сооружений на Сахалине предопределил применение различных технологий бетона – традиционной (классической) и современной, основанной на применении современных добавок различного назначения.

Сооружения, построенные на острове за анализируемый период, отличаются как типом, так и технологией бетонных работ изготовления конструкций. Поэтому есть возможность оценить долговечность с учетом технологических особенностей производства бетонных работ при строительстве сооружений. Анализ, построенных за период с 1920 по 2018 г. на о. Сахалин портовых сооружений позволил выявить три характерных периода строительства, которые имеют отличительные особенности в технологии бетонных работ.

Характерные периоды строительства портовых железобетонных конструкций

Первый период (1925–1945 гг.) характеризуется интенсивным строительством причальных сооружений из бетона на юге о. Сахалин в период японской оккупации острова. Причальные сооружения выполнены из сборно-монолитных конструкций. Подводная часть сооружения возведена из сборных конструкций – массивов-гигантов, которые изготавливались с применением местных материалов и традиционных технологических приемов, характерных для первой половины

прошлого столетия, т. е. из обычного (классического) бетона.

Второй период (1970–1990 гг.) характеризуется началом применения в технологии бетона добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) для повышения качественных показателей бетона. В этот период для портовых сооружений применяли специальные бетоны, которые классифицировались как гидротехнические.

Третий период (2003–2018 гг., рис. 3, 4) характерен тем, что в середине 90-х гг. прошлого века после ликвидации строительных министерств как организационных структур портовые и транспортные сооружения стали возводить строительные организации, в структуре которых отсутствовали подразделения лабораторного и строительного контроля. За этот период построены портовые сооружения из сборных, монолитных и сборно-монолитных конструкций.

В соответствии с программой выполнено обследование бетона в зоне переменного уровня десяти портовых сооружений (табл. 1). Деление зоны переменного уровня на участки по условиям внешних воздействий и классификация разрушений по видам позволили определить участки конструкций с преобладающими видами разрушений (табл. 2). В трех сооружениях проводилось детальное обследование бетона для определения основных качественных показателей бетона на различных участках зоны переменного уровня.



Рис. 3. Берегоукрепление корневой части пирса фасонными массивами (гексабитами) (объект К3-1, табл. 1)

Fig. 3. Shore protection of the root part of the pier with shaped arrays (hexabits), object K3-1, Table 1



Рис. 4. Волноотбойная стенка из сборных железобетонных блоков массой 40 т (объект К3-2, табл. 1)

Fig. 4. Wave wall made of prefabricated reinforced concrete blocks weighing 40 tons (object K3-2, Table 1)

Характерные виды разрушения бетона

В результате обследований сооружений устанавливали характерные виды разрушений бетона

Таблица 1
Table 1

Морские гидротехнические сооружения, построенные на о. Сахалин за период 1925–2018 гг.
Marine hydraulic structures built on Sakhalin Island in the period 1925–2018

Шифр объекта	Тип сооружения и конструктивное решение	Год и район строительства
K1	Причалные сооружения (пирсы) из массивов-гигантов	1927–1940, г. Корсаков
X2-1	Берегоукрепительные сооружения морской железнодорожной переправы Ванино–Холмск из тетраподов массой 5 т	1970–1973, г. Холмск
X2-2	Причалные сооружения базы флота «Сахалинрыбпрома» из монолитного бетона, сооружение возводилось «насухо»	1971–1973, г. Холмск
K2	Берегоукрепительные сооружения территории нефтебазы	1993–1995, г. Корсаков
K3-1	Берегоукрепительные сооружения вспомогательного пирса завода СПГ из гексабитов массой 5 т	2002–2004, п. Пригородное, Корсаковский район
K3-2	Волноотбойная стенка из сборных железобетонных блоков массой 40 т	2004–2006, п. Пригородное, Корсаковский район
У3	Причалные сооружения (реконструкция), верхнее строение из монолитного бетона	2008–2009, г. Углегорск
Н3	Набережная, верхнее строение из монолитного бетона	2007–2008, г. Невельск
K3-3	Причалные и оградительные сооружения, верхнее строение из монолитного бетона	2016–2018, г. Корсаков
X3-3	Оградительное сооружение из тетраподов массой 20 т	2016–2017, г. Холмск

Таблица 2

Table 2

Виды разрушений бетона в зоне переменного уровня портовых сооружений и возможные причины их возникновения
Types of concrete destruction in the zone of variable level of port facilities and possible causes of their occurrence

Вид разрушения	Характер разрушения бетона	Возможные причины разрушения, связанные с технологией бетона
P_{Π}	Поверхностное разрушение до обнажения крупного заполнителя	Применение загрязненного щебня или щебня, имеющего высокое водопоглощение, механическое воздействие волн и льда. Водонасыщение поверхностного слоя бетона до критической степени в процессе эксплуатации, дополненное механическим воздействием волн и льда
P_B	Объемное прогрессирующее разрушение	Структурная неоднородность бетона из-за нестабильности технологических режимов: нарушения режимов уплотнения, применение бетонных смесей, способных к расслоению при уплотнении
P_{C1}	Отслоение поверхностного слоя из-за разрушения внутреннего подстилающего слоя бетона на участках обледенения (постепенный отказ)	Неоднородность бетона в конструкциях из-за расслоения бетонной смеси при использовании высокоподвижных смесей. Водонасыщение внутренних слоев бетона до критической степени в процессе эксплуатации при высоких качественных показателях бетона в поверхностном слое
P_{C2}	Глобальное или локальное поверхностное разрушение бетона на участках обледенения конструкций с отслоением поверхностного слоя из-за разрушения внутреннего слоя (внезапный отказ)	Недостаточное время для вызревания структуры бетона до первого длительного замораживания. При первом замораживании бетона на границе замерзания происходит насыщение пор до критической степени за счет миграции влаги из внутренних слоев бетона
P_T	Растрескивание бетона с последующим разрушением на куски	Нарушение режима твердения бетона

(табл. 2) и устойчивости их проявления в сооружении, т. е. локальное или глобальное разрушение. Отмечено, что разрушение бетона вида P_{C2} после первого зимнего сезона может носить и локальный, и глобальный характер. Как правило, этот вид разрушений не привлекает к себе внимания, поскольку его трудно связать с циклами ПЗО, так как разрушение происходит после первого зимнего сезона, когда бетон подвергается лишь одному циклу замораживания, но длительному. Разрушения происходят в первый год эксплуатации, т. е. в гарантийный срок, поэтому повреждения исправляет подрядчик в соответствии с



Рис. 5. Глобальное разрушение бетона в монолитной надстройке верхнего строения после первого зимнего сезона вида P_{C2} — отслоение поверхностной части бетона с последующим объемным разрушением внутренних слоев (объект КЗ-3, табл. 1)

Fig. 5. Global destruction of concrete in a monolithic superstructure of the upper structure after the first winter season of the P_{C2} type — delamination of the surface part of the concrete with subsequent volumetric destruction of the inner layers (object KZ-3, Table 1)

гарантийными обязательствами. При обследовании таких сооружений в заключении о причине разрушения, как правило, отмечают применение некачественного цемента и заполнителей и практически не анализируют реальные условия эксплуатации конструкции и технологию бетонных работ, принятую в процессе строительства.

При этом бетон находится на участках зоны переменного уровня, которые расположены выше зоны действия отлива и прилива, т. е. когда бетон не имеет прямого контакта с водой. Анализ возможных причин показывает, что данный вид разрушения обусловлен многими факторами. Глобальный характер разрушений бетона вида P_{C2} и большие материальные затраты на ликвидацию повреждений для приведения сооружения в рабочее состояние определяют необходимость в глубоком изучении этого вида разрушений. Аналогичный вид разрушений отмечен и на тетраподах в сооружениях ранней постройки. Рассмотрены возможные механизмы разрушения вида P_{C2} .

Результаты натурных обследований бетона в портовых сооружениях

Результаты натурных обследований бетона в сооружениях и экспериментальных лабораторных исследований показали, что морозостойкость бетона, оцениваемая стандартными циклами ПЗО, не всегда является определяющим критическим показателем

для бетона зоны переменного уровня воды. Это подтверждают результаты определения фактических свойств бетона в конструкциях зоны переменного уровня причального сооружения Корсаковского морского порта (о. Сахалин), построенного в 20-х гг. прошлого века. Установлено, что при невысоких качественных показателях обычного (бездобавочного) бетона по морозостойкости и водонепроницаемости обеспечена высокая долговечность бетона. При сроке эксплуатации конструкций в зоне переменного уровня около 100 лет бетон имеет следующие фактические качественные показатели: морозостойкость не более марки F₂₅₀, водонепроницаемость не более марки W2. Однако фактическая прочность бетона составляет 50–60 МПа, т. е. имеется определенное несоответствие между механическими и физическими показателями, которые в данных условиях внешних воздействий должны обеспечивать механическую прочность.

Если исходить из технологического уровня бетонных работ в начале прошлого века, то в условиях нормального твердения после 28 сут прочность бетона в конструкциях должна быть в пределах 15–20 МПа, т. е. за 100 лет прочность увеличилась в три раза. Прогнозный расчет прочности бетона показал полную сходимость при использовании формулы:

$$R_N = R_{28} \frac{\lg N}{\lg 28} = 15 (20) \frac{4,32}{1,45} = 45 (60) \text{ МПа,}$$

где R_N , R_{28} – прочность бетона при сжатии в возрасте N и 28 сут; $\lg N$, $\lg 28$ – десятичные логарифмы возраста бетона.

Возраст N определен как период твердения при положительной температуре воздуха, который для района эксплуатации – г. Корсаков, Сахалин – составил 21 тыс. дней.

Следовательно, есть все основания полагать, что в течение этого периода деградационные процессы в бетоне не происходили. Кажущееся несоответствие можно объяснить, используя основные теоретические положения о механизмах морозного разрушения бетона. Во-первых, многократное циклическое замораживание и оттаивание происходит только на участке А (рис. 2) при действии прилива–отлива в начале и в конце зимы, когда температура воздуха не опускается ниже -8°C, а морская вода в акватории порта плюсовая. Во-вторых, в основной зимний период (60–70 сут), когда температура воздуха опускается ниже -10°C, конструкции покрываются слоем льда и бетон не подвергается циклам ПЗО. Различные механизмы замораживания бетона на характерных участках зоны переменного уровня предопределяют различные механизмы разрушения бетона. Поэтому технологические решения по организации бетонных

работ целесообразно принимать с учетом реальной работы бетона в сооружении. На этой основе, очевидно, следует строить программу совершенствования технологии бетона и прогнозирования долговечности.

Полученные результаты свидетельствуют, что определяющая роль в процессах разрушения отводится механизму замораживания бетона. Следовательно, в условиях южного побережья не всегда циклы ПЗО являются определяющим критическим показателем внешних воздействий для бетона в зоне переменного уровня воды портовых сооружений.

Результаты исследования подтверждают известный факт, что для обеспечения долговечности бетона в конструкциях портовых сооружений при морозных воздействиях важно обеспечить долговечность в первый зимний сезон. На практике часто наблюдается именно это разрушение. При этом оно может носить глобальный характер. Однако этому виду разрушения не уделяют должного внимания, поскольку это не связано с многократными циклами ПЗО.

Следует отметить, что этот вид разрушения происходит в зоне всплеска волн (рис. 2, участок В и С), где происходит обледенение и преобладающим видом морозного воздействия являются температура замораживания (t_F) и продолжительность замораживания (T_F). В зоне действия отлива–прилива (участок А) такие разрушения не наблюдаются. Анализ экспериментальных данных показывает, что циклы ПЗО являются определяющим критическим показателем суровости внешних воздействий в зоне переменного уровня воды при температуре замораживания ниже -10–15°C. При температуре замораживания бетона до -8°C на участке действия прилива и отлива морской воды, очевидно, создаются условия для дальнейшего формирования морозостойкой структуры бетона и нагрузки от внешних воздействий не являются предельными.

Исходя из общепринятых теоретических положений о морозном разрушении, на участках В и С (рис. 2) при длительном обледенении бетона создаются условия для влагопереноса в порах к границе промерзания. За счет этого в порах бетона может происходить водонасыщение до критической степени. В результате на границе промерзания создаются условия для разрушения бетона вида P_{C2} .

Этот вид разрушения можно наблюдать на бортовых камнях при эксплуатации дорог с использованием антиобледенителей. Исходя из того, что наиболее агрессивными считают растворы с содержанием солей 2–3% и учитывая, что соленость морской воды дальневосточных морей составляет 31–33‰, т. е. 3–3,3%, бетон портовых сооружений подвержен воздействию раствора высокой агрессивности. Поэтому

результаты исследования долговечности бетона морских портовых сооружений на о. Сахалине, очевидно, в определенных случаях можно учитывать при изучении долговечности бетона конструкций автодорог в условиях воздействия антиобледенителей.

Выводы

Результаты исследований показывают, что решение проблемы долговечности портовых сооружений на основе повышения морозостойкости не всегда является обоснованным.

В зоне переменного уровня воды бетон подвержен воздействию двух механизмов замораживания: на участке действия отлива–прилива уровень нагрузки от внешних воздействий определяется суровостью многократных циклов ПЗО, на участке действия всплеска волны нагрузка определяется температурой и длительностью периода обледе-

нения. Исходя из этого в первом случае, очевидно, преобладает механизм гидравлического давления воды, во втором – механизм кристаллизационного давления льда.

Установлено, что определяющим критическим параметром внешних воздействий в условиях, когда преобладают циклы ПЗО, является температура замораживания бетона; при температуре замораживания ниже -15°C долговечность можно прогнозировать стандартными марками морозостойкости. В условиях длительного обледенения определяющим параметром долговечности бетона является наличие свободной воды, способной к влагопереносу в порах к границе промерзания и льдообразованию.

Информация, полученная на основе изучения реальной работы бетона в сооружении, позволила сформулировать концепцию для разработки модели прогноза долговечности бетона.

Список литературы

1. Malyuk V., Prognostication of concrete constructions durability based on experience in building and exploitation of maritime coast-protecting structures on Sakhalin Island (on the issue of determining the estimated lifetime of maritime structures). *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. 02014. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926502014>
2. 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*. 2018. Vol. 463. 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
3. Малюк В.В. Прогнозирование долговечности конструкций морских гидротехнических сооружений из бетона по опыту строительства и эксплуатации в суровых климатических условиях. *Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием*. Саратов: Наука, 2018. С. 223–231.
4. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Прогноз долговечности морских берегозащитных сооружений // *Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров. Сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара*. Брест. 25–26 октября 2018 г.
5. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Конструкционный бетон морских гидротехнических сооружений: деградационный и внезапный отказ.

References

1. Malyuk V., Prognostication of concrete constructions durability based on experience in building and exploitation of maritime coast-protecting structures on Sakhalin Island (on the issue of determining the estimated lifetime of maritime structures). *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 265. 02014. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926502014>
2. 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*. 2018. Vol. 463. 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
3. Malyuk V.V., Prediction of the durability of structures of marine hydraulic structures made of concrete based on the experience of construction and operation in harsh climatic conditions. *Problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply: Proceedings of the VIII National Conference with international participation*. Saratov: «Science». 2018, pp. 223–231. (In Russian).
4. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Forecast of the durability of marine coastal protection structures. *Perspective directions of innovative development of construction and training of engineering personnel. Collection of scientific articles of the XXI International Scientific and Methodological Seminar*. Brest. October 25–26, 2018. (In Russian).
5. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Structural concrete of marine hydraulic structures:

- Архитектурно–строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электрон. сборник статей междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоц. гос. ун-та. Новополоцк. 5–6 апреля 2018. С. 70.
6. Малюк В.В., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Расчетный срок службы морских берегозащитных сооружений. *Архитектурно–строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: электрон. сборник статей междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоц. гос. ун-та.* Новополоцк, 5–6 апреля 2018 г. С. 77.
7. Малюк, В.В. Морозостойкость бетона при различных методах испытаний. *Проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции.* Минск. 28 мая 2019 г. С. 246–256.
8. Леонович С.Н., Малюк В.В. Расчет-прогноз срока службы конструкционного бетона: циклическое замораживание-оттаивание в зоне переменного уровня моря. *Проблемы современного строительства: материалы Международной научно-технической конференции.* Минск. 30 мая 2018 г. С. 375–381.
9. Malyuk V.V. Longevity of concrete maritime structures in harsh service environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* Vol. 1079. Chapter 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/2/022017>
10. Малюк В.В., Митина В.И. Стабильность технологических показателей бетонной смеси с воздухововлекающими добавками при длительной транспортировке. *Сборник трудов V Международной научно–практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ».* Омск, 2020.
11. Малюк В.В. Концепция долговечности бетона для прогноза срока службы конструкций в условиях морозного воздействия // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета.* 2020. № 4 (45). С. 105–115.
12. Малюк В.В., Малюк В.Д. Механизмы замораживания бетона в зоне переменного уровня воды портовых сооружений. *Сборник конференции Far East Con–2021.*
13. Малюк В.В., Малюк В.Д., Лободюк А.В. Условия эксплуатации и повреждения бетона портовых сооружений на южном побережье Сахалина. *Сборник конференции Far East Con–2021.*
14. Малюк В.В., Малюк В.Д. Долговечность бетона в зоне переменного уровня портовых сооружений, эксплуатируемых на побережье о. Сахалин. *Все-российская научно-практическая конференция «Безопасность инженерных сооружений в регионах со сложными природными условиями».* Владивосток, 2021.
- degradation and sudden failure. *Architectural and building complex: problems, prospects, innovations: electron. collection of articles int. scientific conf., dedicated 50th anniversary of Polots. state university Novopolotsk.* April 5–6, 2018, p. 70. (In Russian).
6. Malyuk V.V., Leonovich S.N., Budrevich N.A. Estimated service life of offshore coastal protection structures. *Architectural and building complex: problems, prospects, innovations: electron. collection of articles int. scientific conf., dedicated 50th anniversary of Polots. state university Novopolotsk.* April 5–6, 2018, p. 77.
7. Malyuk V.V. Frost resistance of concrete under various test methods. *Problems of Modern Construction: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference.* Minsk. May 28, 2019, pp. 246–256. (In Russian).
8. Leonovich S.N., Malyuk V.V. Calculation-forecast of the service life of structural concrete: cyclic freezing-thawing in the zone of variable sea level. *Problems of Modern Construction: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference.* Minsk. May 30, 2018, pp. 375–381. (In Russian).
9. Malyuk V.V. Longevity of concrete maritime structures in harsh service environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* Vol. 1079. Chapter 1. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/2/022017>
10. Malyuk V.V., Mitina V.I. Stability of technological parameters of concrete mixture with air-entraining additives during long-term transportation. *Proceedings of the V International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of FGBOU VO «SibADI».* Omsk. 2020.
11. Malyuk V.V. The concept of durability of concrete for predicting the service life of structures under frost exposure. *Vestnik of the Engineering School of the Far Eastern Federal University.* 2020. No. 4 (45). pp. 105–115.
12. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Mechanisms of concrete freezing in the zone of variable water level of port facilities. *Collection of the conference Far East Con–2021.*
13. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Lobodyuk A.V., Operating conditions and damage to concrete of port facilities on the southern coast of Sakhalin. *Collection of the conference Far East Con–2021.*
14. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Durability of concrete in the zone of variable level of port facilities operated on the coast of the island. Sakhalin. *All–Russian Scientific and Practical Conference «Safety of Engineering Structures in Regions with Difficult Natural Conditions».* Vladivostok. 2021.