

Строительные материалы и изделия

Научная статья

УДК 69.059.4

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/121-130>

В.В. Малюк

МАЛЮК ВЛАДИСЛАВ ВИКТОРОВИЧ – младший научный сотрудник,
старший преподаватель, mvv.77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1520-3041>
Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» ДальНИИС

Владивосток, Россия

Технический нефтегазовый институт

Сахалинский государственный университет

Южно-Сахалинск, Россия

Технология бетона для конструкций морских сооружений в условиях морозного воздействия

Аннотация. Приведен анализ современной концепции проектирования технологии долговечного бетона для морских сооружений и рассмотрены проблемы, возникающие при реализации проектных решений на этапе строительства. Показано, что срок службы бетона в зоне переменного уровня воды 100 лет в условиях морского побережья дальневосточных морей можно обеспечить классическими технологическими решениями, основанными на общепринятых положениях структурной теории цементных бетонов. Отсутствие оперативных методов контроля показателей качества на этапах приготовления бетонной смеси и бетона на этапе приемки конструкций в эксплуатацию снижают надежность прогнозных сроков службы бетона, установленных на стадии проектирования. Определяющим критическим показателем для долговечности бетона в зоне переменного уровня при морозном воздействии является вид системы капиллярных пор к началу морозного воздействия. Предложено оценивать готовность бетона к морозному воздействию показателем структурной зрелости. Реализация нормируемых показателей на этапе строительства возможна при условии обеспечения критической зрелости структуры бетона к началу морозного воздействия. Приведена методологическая основа определения критической зрелости структуры бетона.

Ключевые слова: бетон, морские сооружения, морозостойкость, долговечность, агрессивная среда

Для цитирования: Малюк В.В. Технология бетона для конструкций морских сооружений в условиях морозного воздействия // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 3(56). С. 121–130.

Состояние проблемы

Среда эксплуатации конструкций морских портовых сооружений в условиях морозного воздействия относится к агрессивным. Поэтому для обеспечения нормируемого срока службы конструкций на этапе проектирования сооружений должны предусматриваться мероприятия по защите бетона от морозной коррозии. В настоящее время для обеспечения долговечности конструкций проводят нормирование качественных показателей бетона. Определяющим показателем качества бетона в этом случае является морозостойкость.

Технология морозостойких бетонов разрабатывается с конца XIX в. Многообразие параметров, определяющих морозостойкость бетона, не позволяет сформулировать единую теоретическую концепцию механизма разрушения бетона при морозном воздействии. Поэтому вопросы обеспечения стойкости бетона в условиях морозного воздействия и сильного насыщения минерализованной водой остаются в поле зрения строительного материаловедения [1, 3–5, 12–14, 18]. Методологические подходы на основе морозной коррозии бетона в системе

«среда–материал» не позволяют принимать оптимальные решения по защите конструкций от коррозии. Обеспечение нормируемых свойств бетона по долговечности в конструкции, как показывает практика, не всегда является показателем долговечности конструкций [6, 8, 17]. В связи с этим актуальны исследования долговечности конструкций в системе «состав–технология–материал–конструкция–среда» с учетом важнейшего этапа жизненного цикла конструкции – технологического [13, 18]. Такой подход к исследованию долговечности почти не применяется, поэтому отсутствуют данные об эффективности современной технологии морозостойких бетонов, основанной на применении воздухововлекающих добавок.

Целью работы являются оценка эффективности технологических решений для получения долговечных конструкций в зоне переменного уровня воды и предложения по совершенствованию технологии бетона для конструкций гидротехнических сооружений на побережье дальневосточных морей.

Современный подход к реализации проектных решений по долговечности бетона в условиях морозного воздействия

Среда эксплуатации, в которой коррозия бетона происходит от воздействия попеременных замораживания и оттаивания при сильном насыщении минерализованной водой, относится к агрессивной и классифицируется по степени суровости как класс XF4. Методологической основой для проектирования долговечности бетона для этого класса являются представления, что преобладающей морозной нагрузкой на бетон является многоциклическое воздействие знакопеременных температур при сильном водонасыщении. Поэтому определяющим показателем долговечности конструкций для зоны переменного уровня воды является морозостойкость бетона [1]. Фактически это единственный показатель, который нормируется, а следовательно, должен контролироваться на всех технологических переделах.

Исходя из современных теоретических положений цементных бетонов долговечность при морозном воздействии D_{BT} и морозостойкость F классического бетона зависят от водоцементного отношения B/C , содержания цемента C и степени гидратации цемента a :

$$D_{BT} = F = f(B/C, C, a). \quad (1)$$

Теоретические положения и результаты исследований показывают, что эффективность показателей долговечности B/C и C в бетоне зависит в основном от режима твердения бетона, то есть от степени гидратации цемента (a).

В традиционной (обычной) технологии бетона есть значительные резервы, что подтверждают результаты испытаний бетона из сооружений, срок службы которых 100 лет [6]. Современные принципы проектирования морозостойких бетонов основаны на применении добавок ПАВ. За счет искусственного воздухововлечения ($V_{В.В}$) значительно повышают морозостойкость бетона [1, 7]. Для современной технологии бетона этот параметр является важным показателем долговечности (D_{BT}) и морозостойкости (F) бетона:

$$D_{BT} = F = f(B/C, C, a, V_{В.В}). \quad (2)$$

Принято считать [1], что принципиально проблема получения долговечности бетона для морских сооружений решена. Однако случаи деградации бетона в ранние сроки эксплуатации свидетельствуют о недостатках в системе «проектирование–строительство» [2, 6, 8, 9]. Возникает вопрос о слабом звене в этой системе.

Обоснование показателей долговечности бетона на этапе проектирования и методов их контроля в технологическом процессе на этапе строительства является основной задачей. Качество технологии изготовления конструкций определяется управляемостью процесса, то есть возможностью определения и оценки соответствия всех показателей, установленных на этапе проектирования. Поэтому важно не только назначить требования к показателям долговечности, но и установить методы определения этих показателей для оценки качества и соответствия конструкций проектным требованиям. Цель контроля соответствия заключается в понимании того, что долговечность будет обеспечена только тогда, когда можно измерить и регулировать

свойства бетона, определяющие долговечность конструкции, на всех технологических переделах.

Схема системы «проектирование–строительство» отражает формирование показателей качества бетона, которые определяют долговечность конструкций на этапе эксплуатации (рис. 1).

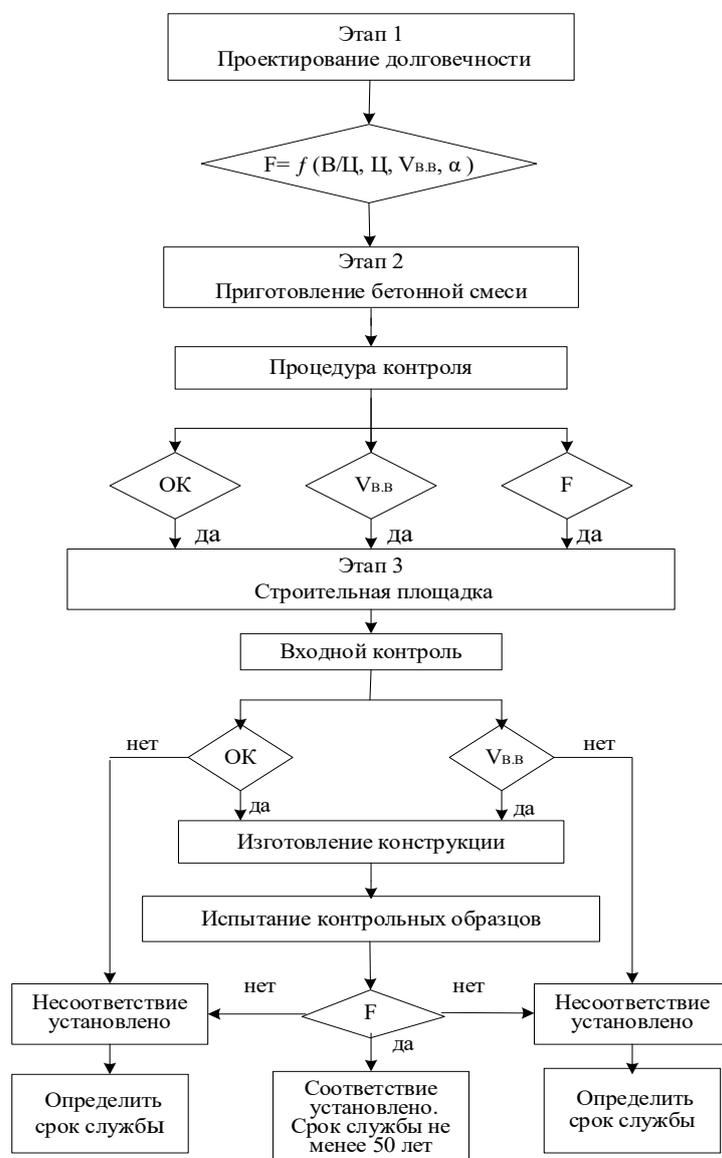


Рис. 1. Алгоритм определения показателей долговечности и оценки соответствия бетона для агрессивных условий класса XF4

Основным предписывающим документом для защиты строительных конструкций от коррозии является СП 28.1330.2017. Исходя из природно-климатических условий района строительства и класса агрессивности среды на этапе 1 (см. рис. 1) определяют нормы требований к морозостойкости бетона (F_2). Это является основой для лабораторных испытаний, в результате которых устанавливают показатели, определяющие морозостойкость бетона – W/C , C , $V_{v.v}$.

Следует отметить, что ГОСТ 31384 дополнительно рекомендует для бетона минимальные требования к W/C -отношению, расходу цемента, воздухововлечению, которые необходимо учитывать при проектировании долговечности для обеспечения срока службы в агрессивных средах класса XF4 не менее 50 лет. В последней редакции СП 28.1330.2017 эти требования исключены, то есть предписано проектировать долговечность только по нормируемой морозостойкости бетона. Очевидно, это связано с тем, что стандартную морозостойкость бетона

определяют значения параметров V/C , C и $V_{вв}$. Поэтому на этапе строительства необходимо оценивать или морозостойкость бетона, или показатели, ее определяющие.

Для этапа 2 (см. рис. 1) характерно то, что приготовление бетонной смеси осуществляется фактически в заводских условиях. Это позволяет за счет качества дозирования и процедур контроля надежно обеспечить показатели, предъявляемые к бетонной смеси. Основными нормируемыми показателями качества бетонной смеси являются удобоукладываемость (ОК) и воздухоудержание ($V_{вв}$). Процедуры тестирования этих показателей надежны и широко применяются с небольшими изменениями в разных странах. Существенно то, что эти показатели имеют количественное определение.

Результаты исследований показывают [10], что и в заводских условиях достаточно трудно надежно обеспечить установленные требования по удобоукладываемости и воздухоудержанию бетонной смеси. Это обусловлено следующими причинами:

- несвоевременно корректируется содержание воды в бетонной смеси с учетом реальной влажности заполнителей на складе хранения (особенно песка);
- допускается наличие остаточной воды в барабане автобетоносмесителя после его промывки;
- допускается несанкционированное добавление воды при транспортировании бетонной смеси на большие расстояния.

Это определяет необходимость постоянно контролировать показатели качества бетонной смеси на этапах изготовления и приемки ее на строительной площадке.

В условиях строительной площадки из трех показателей, определяющих морозостойкость бетона: V/C , C и $V_{вв}$, можно оценить только воздухоудержание ($V_{вв}$) на этапе приемки бетонной смеси перед укладкой ее в конструкцию. Однако подвижность бетонной смеси может косвенно характеризовать качество бетонной смеси по содержанию воды. Превышение подвижности относительно нормируемой величины свидетельствует о повышенном содержании воды в смеси, что позволяет прогнозировать снижение морозостойкости.

Данные изменчивости подвижности и воздухоудержания в условиях строительной площадки показали [10], что обеспечить установленные допуски для этих показателей по ГОСТ 7473-2010 технически сложно и можно только при высокой организации технологии и процедур контроля. Опыт строительства показывает, что нормируемые показатели бетонной смеси реально можно обеспечивать в условиях строительной площадки. В основном это зависит от требований заказчика.

Показатели морозостойкости V/C и C , которые характеризуют качество системы капиллярных пор с точки зрения морозостойкости, на всех технологических этапах не контролируются из-за отсутствия прямых методов испытаний. В результате после этапа проектирования состава бетона на этапе строительства отсутствует возможность объективно оценить соответствие показателей долговечности. Потребитель бетонной смеси оценивает ее соответствие только на основании сопроводительного документа – технического паспорта на бетонную смесь.

Действующие процедуры тестирования и оценки морозостойкости надежны, однако эффективность их для оперативного контроля очень низка из-за продолжительности испытаний: результаты можно получить через 2–3 месяца после изготовления конструкции, то есть на этапе эксплуатации сооружения. Поэтому нельзя на этапе приемки конструкции в эксплуатацию прогнозировать ее долговечность, а значит нельзя планировать эксплуатационные расходы на содержание сооружения.

Пути улучшения технологии бетонов

Согласно структурной теории цементных бетонов эффективность работы в бетоне показателей долговечности V/C , C и $V_{вв}$ определяется качеством условий твердения бетона, то есть степенью гидратации цемента (α). На этапе проектирования составов бетона по долговечности для единообразия оценки свойств принимаются стандартные (нормальные) условия твердения бетона в конструкциях к началу морозного воздействия. Поэтому на этапе подбора

состава бетона показатели долговечности V/C , C , $V_{вв}$ назначаются при стандартных условиях твердения бетона без учета реальных условий работы бетона в конструкциях.

В настоящее время отсутствуют обязательные требования к условиям твердения бетона в конструкциях до момента воздействия отрицательных температур, поэтому в условиях строительной площадки этот процесс практически остается без контроля. В связи с этим отсутствует доказательная база, что бетон в конструкции имеет прогнозируемую, то есть проектную, структуру капиллярных пор.

Анализ предписывающих требований к условиям твердения бетона показывает, что они в основном направлены на обеспечение прочностных показателей бетона, которые должны повышаться при твердении бетона. Поэтому СП 435.1325800.2018 рекомендует в начальный период его твердения поддерживать температурно-влажностный режим, обеспечивающий нарастание прочности. Это требование имеет логическое обоснование – при строительстве главное обеспечить механическую безопасность конструкции.

Широкому кругу инженеров это понятно, поэтому к оценке прочности бетона подходят ответственно, и, как правило, этот вопрос не является сложным для строителей, поскольку процедуры контроля прочности бетона имеют глубокую теоретическую проработку и применимы для практики.

Несмотря на то, что основы правил контроля прочности разработаны в начале 70-х годов прошлого века, они совершенствуются до сих пор. В соответствии с ГОСТ Р 57359-2016 рекомендовано требования к уходу назначать в зависимости от прочности бетона в конструкции и класса набора прочности бетона. В соответствии с СП 435.1325800.2018 открытые поверхности бетона необходимо защищать до приобретения прочности не менее 70% проектного уровня с последующим поддержанием температурно-влажностного режима, обеспечивающего нарастание прочности. Однако требование – последующий уход должен обеспечить благоприятные температурно-влажностные условия для формирования структуры и свойств твердеющего бетона – является абстрактным и трудно реализуемым на практике, поскольку отсутствуют как показатели, так и методы оценки этого требования. Поэтому разработчик проекта производства работ (ППР), на которого возлагают эту обязанность, также абстрактно в виде общих фраз прописывает эти требования для подрядчика и заказчика.

Сроки выдерживания конструкций для зоны переменного уровня при положительных температурах до замораживания рекомендовано назначать с учетом технологии бетона, гидрометеорологических условий эксплуатации сооружения и вида конструкций. Например, для конструкций из обычного бетона СНиП 3.07.02-87 устанавливает срок выдерживания при положительной температуре в пределах 45–60 сут. Результаты исследований показывают, что для конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах класса XF4, технология бетонных работ должна строиться не на основе долговечности через прочность, а на основе прочности через долговечность, поскольку при обеспечении долговечности реализуется основная природа цементного камня – постоянный рост прочности за счет процесса гидратации. Безусловно, это относится к бетону на обычном портландцементе.

При правильном проектном составе бетона даже при статистической неоднородности критических показателей долговечности (V/C , C , $V_{вв}$), которая наблюдается в условиях строительной площадки, определяющим показателем долговечности является степень гидратации цементного камня (a). Это обусловлено тем, что вид системы капиллярных пор к началу морозного воздействия и объем воды, способной к миграции и льдообразованию при замерзании бетона, определяют степень гидратации цемента (a).

Все основные факторы долговечности (V/C , C , $V_{вв}$) реализуются только при определенных показателях степени гидратации цементного камня. Реальная технология бетона на строительной площадке не всегда способна обеспечить установленные требования по долговечности. Результаты исследований показывают, что наблюдаемые случаи преждевременного разрушения бетона в основном связаны с нарушением условий твердения бетона в ранний период [6, 15]. В результате формируется структура пор бетона с дефектами, которые не позволяют обеспечивать стойкость бетона к морозным нагрузкам.

Положения структурной теории цементных бетонов, результаты лабораторных и натуральных исследований дают основания считать, что существует **уровень критической зрелости структуры бетона**, который позволяет обеспечить сохранность параметров поровой структуры бетона в первый зимний период. Исходя из этого предложено качество бетона к началу морозного воздействия оценивать показателями критической (S_{α}) и фактической (S_f) зрелости структуры [8]. Критическая зрелость структуры бетона (S_{α}) характеризует условия для формирования дискретной системы капиллярных пор. Зрелость структуры бетона (S_f) будет зависеть от фактических значений условий твердения бетона:

$$S_f = f(T_f; t_f; P_f), \quad (3)$$

где T_f – период твердения бетона до морозного воздействия, сут.;
 t_f – среднее значение температуры твердения за период T_f , °C;
 P_f – фактическая влажность среды при твердении бетона.

Исходя из этого показатель S_f можно определить по формуле

$$S_f = (T_f * t_f) n_p, \quad (4)$$

где n_p – коэффициент, характеризующий значимость влажности для формирования структуры пор.

Фактически показатель S_f является интегральной характеристикой условий твердения бетона. В качестве критической зрелости структуры (S_{α}) предложено рассматривать период формирования дискретной системы капиллярной пористости при нормальных условиях твердения, поскольку накоплен большой опыт оценки морозостойкости по стандартной методике. В таблице представлены параметры для формирования критической зрелости бетона S_{α} при твердении в нормальных условиях: температура среды +18 °C (t_{18}), влажность среды не менее 95% (P_{95}). Для этих условий твердения значение показателя критической зрелости S_{α} определяется из выражения

$$S_{\alpha} = (T_{CR} * t_{15}) n_p, \quad (5)$$

где T_{CR} – время твердения для формирования дискретной системы капиллярных пор, сут.; t_{15} – температура твердения при нормальных условиях (принимается равной 18 °C); n_p при $P_f \geq 95\%$ принимается равным 1. Исходя из этого структуру пор к началу морозного воздействия на бетон в реальных условиях можно оценивать коэффициентом зрелости структуры (N_F):

$$N_F = S_f / S_{\alpha}. \quad (6)$$

Параметры критической зрелости структуры бетона S_{α} по данным [11] и коэффициент зрелости структуры бетона в 28 сут. в нормальных условиях твердения N_{28}

В/Ц	Время твердения T_{CR} для формирования дискретной системы пор, сут. [11]	Критическая зрелость структуры S_{α} , °C × сут.	Коэффициент зрелости структуры бетона, $N_{28} = S_{28} / S_{\alpha}$
0,40	3	54	9,3
0,45	7	126	4,0
0,50	14	252	2,0
0,60	180	3240	0,2
0,70	360	6480	0,08

Примечание: S_{28} – зрелость структуры бетона в 28 суток в нормальных условиях твердения: $(18 \times 28) = 504$ °C × сут.

Коэффициент зрелости структуры бетона N_F позволяет характеризовать вид системы капиллярных пор по зрелости относительно нормальных условий твердения для оценки соответствия (рис. 2).

Критическая зрелость бетона – это одно из необходимых условий для формирования долговечности конструкций в эксплуатационный период, поэтому уровень фактической зре-

лости S_f к началу морозного воздействия должен быть не меньше критической зрелости структуры S_α . Параметр критической зрелости структуры позволяет определить требования к «критическому возрасту» при условиях твердения, отличных от нормальных.

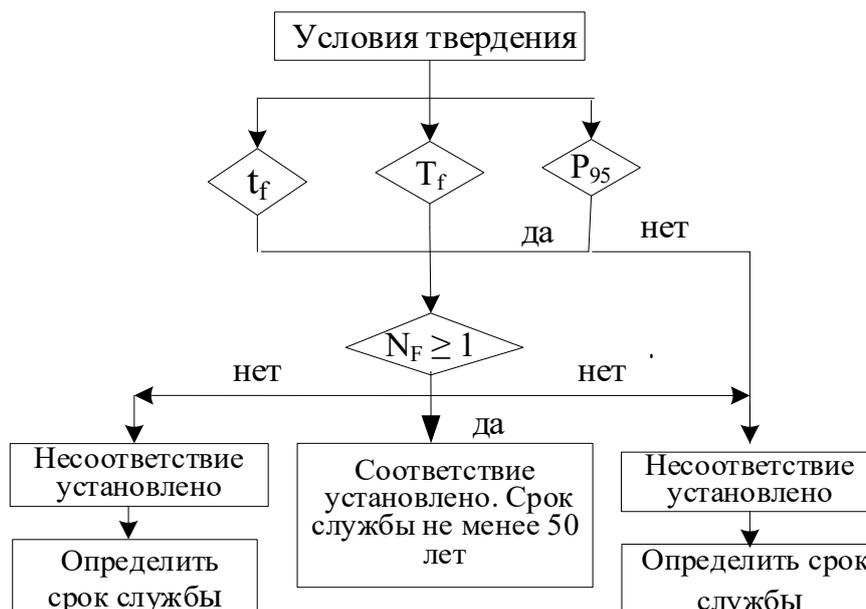


Рис. 2. Алгоритм оценки соответствия условий твердения бетона коэффициентом зрелости структуры бетона N_F

Реальная технология бетона на строительной площадке не всегда способна обеспечить нормативные параметры режима твердения, и любой из трех выделенных параметров стандартного режима твердения (T_{28} , t_{18} и P_{95}) может иметь определенное несоответствие. В связи с этим важно знать, как это несоответствие отразится на параметрах структуры капиллярных пор бетона, которые в основном определяют его долговечность в условиях морозного воздействия.

Применить на практике предложенную концепцию прогноза долговечности бетона по зрелости структуры, то есть с оценкой по коэффициенту зрелости N_F , можно при условии строгого выполнения влажностного ухода в течение периода T_{TR} , который необходим для достижения критической зрелости структуры S_α . В формуле (4) коэффициент n можно принять равным 1. Зная требуемый критический уровень зрелости для принятого состава бетона S_α , можно определить требуемый срок влажностного твердения T_{TR} бетона:

$$T_{TR} = S_\alpha / t_f, \quad (7)$$

где S_α – значение критической зрелости структуры бетона (см. таблицу); t_f – среднесуточная температура твердения бетона.

Исследованиями установлено, что бетоны с В/Ц отношением порядка 0,5 могут обеспечить «вечный» срок службы конструкциям морских сооружений [6]. Поэтому исходя из данных таблицы критическая зрелость структуры бетона $S_\alpha=252$ град.-сут. при нормальных условиях твердения будет обеспечена в течение 14 сут.

Результаты натуральных и экспериментальных исследований показывают, что концепция о критической зрелости структуры бетона в наибольшей степени применима для технологии получения долговечного бетона при морозной нагрузке, в которой преобладающим фактором являются циклы попеременного замораживания и оттаивания при сильном насыщении минерализованной водой, то есть в зоне переменного уровня [16, 17]. Это позволяет обоснованно устанавливать режимы твердения бетона в условиях строительной площадки и проводить оценку соответствия качества бетона на этапе приемки по зрелости структуры бетона к морозному воздействию.

Выводы

Опыт эксплуатации бетонных сооружений на побережье дальневосточных морей позволил улучшить технологию бетонных работ и в научном плане проверить гипотезы о механизмах разрушения бетона в агрессивных средах класса XF4.

Для зоны переменного уровня с наибольшим числом циклов замораживания-оттаивания определяющим фактором долговечности является морозостойкость бетона. Но этот показатель на стадии изготовления невозможно определить. Предлагается нормировать степень гидратации цемента на этапе проектирования долговечности и прогнозировать ее на этапе изготовления конструкций.

Долговечные бетоны в условиях морозного воздействия можно получать при обеспечении критической зрелости структуры бетона к началу морозного воздействия. Предлагаемая методология оценки критической зрелости структуры бетона позволяет определять контролируемый период твердения в условиях строительной площадки и оценивать соответствие нормируемых показателей долговечности на этапе приемки в эксплуатацию.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Стойкость бетона в суровых климатических условиях // Долговечность железобетона в агрессивных средах: монография. Москва: Стройиздат, 1990. 320 с.
2. Вавренюк С.В., Ефименко Ю.В., Вавренюк В.Г., Фарафонов А.Э. Результаты исследования причин разрушения бетонного покрытия морского пирса на побережье Японского моря // Строительные материалы. 2019. № 11. С. 37–40.
3. Гусев Б.В., Фаликман В.Р. Бетон и железобетон в эпоху устойчивого развития // Евразийский союз ученых. Технические науки. 2015. № 2(11). С. 15–18.
4. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–102.
5. Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Чернякев О.Ю., Степанова А.В. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: монография. Ч. 2. Минск: Изд-во БНТУ, 2016. 393 с.
6. 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. 3–7.
7. Малюк В.В. Морозостойкость бетона при различных методах испытаний // Проблемы современного строительства: материалы международной научно-технической конференции. Минск: БНТУ, 2019. С. 246–256.
8. 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.
9. Малюк В.В., Малюк В.Д., Леонович С.Н. Характерные причины разрушения бетона в зоне переменного уровня воды // Проблемы современного строительства: материалы междунар. научно-практ. конф. Минск: БНТУ, 2022. С. 306–319.
10. Малюк В.В., Митина В.И. Стабильность технологических показателей бетонной смеси с воздухововлекающими добавками при длительной транспортировке // V международная научно-практическая конференция: сборник материалов. Омск, 2021.
11. Невилль А.М. Свойства бетона / Под ред. Ф.М. Иванова. Москва: Стройиздат, 1972. 344 с.
12. Розенталь Н.К. Проблемы коррозионного повреждения бетона // Бетон и железобетон. 2007. № 6. С. 29–30.
13. Степанова В.Ф., Фаликман В.Р. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: в 7 т. Т. 3. Москва: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2014. С. 430–444.
14. Чернышов Е.М. Морозная деструкция бетонов. Ч. 1. Механизм, критериальные условия управления // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 40–46.

15. Malyuk V. Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. *Far East Con: International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018;463(2): 02271.
 16. Malyuk V.V. Longevity of Concrete Maritime Structures in Harsh Service Environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1079(1): 022017.
 17. Malyuk V.V., Malyuk V.D. Freezing mechanisms of the concrete in an area of variable water level of port facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Ch. 4. 2022.
- Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability: State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC, Springer, 2016. 391 p..

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2023. N 3/56

Building Materials and Products

www.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

DOI: <http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-3/121-130>

Maliuk V.

VLADISLAV V. MALYUK, Junior Research Fellow, mvv.77@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1520-3041>

Branch FGBU "TSNIIP Russian Ministry of Construction" DalNIIS

Vladivostok, Russia

Technical Oil and Gas Institute

Sakhalin State University

Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Concrete technology for structures of offshore structures under conditions of frost exposure

Abstract. The analysis of the modern concept of designing the technology of durable concrete for offshore structures is given and the problems arising in the implementation of design solutions at the construction stage are considered. It is shown that the service life of concrete in the zone of variable water level of 100 years in the conditions of the sea coast of the Far Eastern seas can be provided with classical technological solutions based on the generally accepted provisions of the structural theory of cement concrete. The lack of operational methods for monitoring quality indicators at the stages of preparation of the concrete mixture and concrete at the stage of acceptance of structures into operation reduces the reliability of the predicted service life of concrete established at the design stage. The determining critical indicator for the durability of concrete in the variable level zone under frost exposure is the type of capillary pore system at the beginning of frost exposure. It is proposed to assess the readiness of concrete to frost as an indicator of structural maturity. The implementation of standardized indicators at the construction stage is possible provided that the critical maturity of the concrete structure is ensured by the beginning of frost exposure. The methodological basis for determining the critical maturity of the concrete structure is given.

Keywords: concrete, marine structures, frost resistance, durability, aggressive environment

For citation: Maliuk V. Concrete technology for structures of offshore structures under conditions of frost exposure. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(3):121–130. (In Russ.).

The author declares no conflict of interests.

REFERENCES

1. Alekseyev S.N., Ivanov F.M., Modry S, Schiessl P. Durability of Reinforced Concrete in Aggressive Environments, Moscow, Stroyizdat, 1990. 320 p. (In Russ.).
2. Vavrenyuk S.V., Efimenko Yu.V., Vavrenyuk V.G., Farafonov A.E. Results of the study of the causes of destruction of the concrete pavement of the sea pier on the coast of the Sea of Japan. *Building materials*. 2019;(11):37–40. (In Russ.).

3. Gusev B.V., Falikman V.R. Concrete and reinforced concrete in the era of sustainable development. *Eurasian Union of Scientists. Technical sciences*. 2015;(11):15–18. (In Russ.).
4. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N., Yerofeyev V.T. On Modern Methods of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures. *Academia. Architecture and Construction, RAACS*. 2015;(1):93–102. (In Russ.).
5. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A., Chernyakevich O.Yu., Stepanova A.V. Strength, Crack Resistance and Durability of Structural Concrete at Temperature and Corrosion Effects: monograph: in 2 parts, Part 2. Minsk, BNTU Publishing House, 2016. 393 p. (In Russ.).
6. Malyuk V.V., Maliuk V.D., Leonovich S.N. Analysis of the results of the survey of reinforced concrete structures of port facilities (Sakhalin Island, 1927–2018). *Concrete and reinforced concrete*. 2022;(1): 3–7. (In Russ.).
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, 2019, pp. 246–256. (In Russ.).
8. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Leonovich S.N. Improvement of design methods and technology of concrete works (on the example of Sakhalin Island). *Concrete and reinforced concrete*. 2022;(2):30–34. (In Russ.).
9. Malyuk V.V., Malyuk V.D., Leonovich S.N. Characteristic causes of destruction of concrete in the zone of variable water level. *Problems of modern construction: materials of the international. scientific and practical. Conference*. Minsk, BNTU, 2022, pp. 306–319. (In Russ.).
10. Malyuk V.V., Mitina V.I. Stability of technological parameters of concrete mixture with air-entraining additives during long-term transportation. *Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations. Collection of materials of the V International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of FGBOU VO “SibADI”*. Omsk, December 3–4, 2020. (In Russ.).
11. Neville A.M. Properties of concrete. Ed. F.M. Ivanov. Moscow, Stroyizdat, 1972. 344 p. (In Russ.).
12. Rosental N.K. Concrete Corrosion Damage Problems. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2007;(6):29–30. (In Russ.).
13. Stepanova V.F., Falikman V.R. Modern Problems of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures. Concrete and Reinforced Concrete – Look into the future. In 7 vol: Scientific Works of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete, Moscow, May 12–16, 2014. Vol.3: Reinforcement and Reinforcement System. Fibrous Concrete and Armored Cement. Problems of Durability. Ed. B.N. Guzeev. Moscow, MISI-MGSU, 2014, pp. 430–444. (In Russ.).
14. Chernyshov E.M. Frost destruction of concrete. Part 1. Mechanism, criterion conditions of control. *Building materials*. 2017;(9):40–46. (In Russ.).
15. Malyuk V. Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. *Far East Con: International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2018;463(2): 02271.
16. Malyuk V.V. Longevity of Concrete Maritime Structures in Harsh Service Environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1079(1): 022017.
16. Malyuk V.V., Malyuk V.D. Freezing mechanisms of the concrete in an area of variable water level of port facilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Ch. 4. 2022.
17. Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability: State-of-the-Art Report RILEM TC 230-PSC, Springer, 2016. 391 p.