Строительные материалы и изделия

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-11>
УДК 69.059.4

В.В. Малюк

МАЛЮК ВЛАДИСЛАВ ВИКТОРОВИЧ – старший преподаватель
Технического нефтегазового института, SPIN: 9390-0543, ORCID: 0000-0002-1520-3041,
mvv.77@mail.ru
Сахалинский государственный университет
Южно-Сахалинск, Россия

Концепция долговечности бетона для прогноза срока службы конструкций в условиях морозного воздействия

Аннотация: Проектирование конструкций и сооружений в соответствии с жизненным циклом предопределяет необходимость разработки прогнозных методов долговечности бетона применительно к различным условиям эксплуатации. Эта проблема актуальна для морских портовых сооружений при эксплуатации в северных и дальневосточных морях России. Несмотря на большой объем теоретических и экспериментальных работ, посвященных долговечности бетона при морозном воздействии, методы прогнозирования коррозии бетона в этих условиях отсутствуют. На основе комплексного анализа работ по коррозии бетона при морозном воздействии автор предлагает концепцию долговечности бетона для зоны переменного уровня портовых сооружений, основанную на двухстадийности процесса коррозии. Полагая, что непосредственно процесс разрушения бетона начинается с критической степени водонасыщения бетона, предлагается долговечность бетона оценивать по продолжительности его водонасыщения до критической степени в реальных условиях эксплуатации. Исходя из этого степень водонасыщения предлагается принять в качестве определяющего критического свойства бетона для прогнозирования долговечности бетона в зоне переменного уровня при морозном воздействии. Автор считает, что исследование процессов водонасыщения бетона и влияния степени этого насыщения на долговечность в реальных условиях эксплуатации – актуальные направления, позволяющие в дальнейшем перейти к разработке практических моделей для прогноза срока службы конструкций и количественной оценке агрессивности среды эксплуатации. Прогнозирование долговечности бетона по степени водонасыщения позволяет планировать работы по текущему ремонту в процессе эксплуатации сооружения.

Ключевые слова: водонасыщение бетона, долговечность, морозостойкость, портовые сооружения, прогнозирование срока службы

Введение

Для безопасной эксплуатации конструкций из бетона и железобетона и теории совершенствования этих материалов актуально создание систем диагностики и прогнозных методов долговечности бетона применительно к различным условиям эксплуатации [3, 7, 9]. Тем более что наметилась мировая тенденция перехода к проектированию конструкций зданий и сооружений по жизненному циклу [15].

Стратегия развития строительной отрасли Российской Федерации до 2030 года к приоритетным направлениям относит разработку системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства на основе технологий информационного моделирования для

комплексной оценки эффективности инвестиций с учетом затрат на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. Но отсутствие у проектной организации математической модели долговечности лишает ее возможности вариативного проектирования и выбора наиболее оптимального проектного решения с учетом долгосрочных прогнозируемых затрат на эксплуатацию объекта.

Около 75% строительных конструкций в мире подвержено разрушающему воздействию агрессивных сред [5]. Более чем в 60% случаев причиной разрушения железобетонных конструкций является воздействие хлоридов на стальную арматуру [3]. Поэтому в мире большое внимание уделяется исследованию химической коррозии арматуры в бетоне и в меньшей степени – долговечности при физической коррозии, которая проявляется при морозных воздействиях.

Для России обеспечение морозостойкости бетона имеет большое практическое значение, поскольку преобладающая часть территории находится в климатической зоне с большой продолжительностью зимнего периода с отрицательными температурами. Негативно влияет на исходные данные бетона действие климатических факторов, особенно циклическое замораживание и оттаивание. Вопрос стойкости бетона и железобетона в суровых природно-климатических условиях эксплуатации остается актуальным в настоящее время. Нередки случаи, когда происходит преждевременное разрушение конструкций, есть факты разрушения новых конструкций в зоне переменного уровня воды после первого зимнего сезона, т.е. через 3–4 месяца эксплуатации [13]. Это объективно свидетельствует о недостатках существующих методов расчета, конструирования и организационно-технологических мер по обеспечению стойкости бетона. Учитывая все возрастающие случаи преждевременной потери несущей способности конструкций, предлагают вводить в нормы проектирования железобетонных конструкций обязательные требования по расчету долговечности [3].

Планируемое строительство гидротехнических и транспортных сооружений в суровых климатических условиях для реализации комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры РФ на БАМе и Транссибе, увеличение мощностей отечественных морских портов на Дальнем Востоке, развитие Северного морского пути определяют необходимость в принятии обоснованных эффективных проектных решений на основе расчетных моделей долговечности. Отмечают, что стремление к математизации коррозионных исследований без развития экспериментальных работ приводит к искажению представлений о механизме коррозионных процессов [3]. Общеизвестно, что в основе математических построений должны лежать глубоко изученные физические и физико-химические явления коррозии бетона. Следовательно, для построения математических моделей важно установить закономерности деградации бетона в реальных условиях работы конструкций. Построение математической модели предопределяет необходимость в четком представлении факторов, влияющих на кинетику процесса деградации бетона.

Цель данной работы – обосновать концепцию прогноза долговечности бетона для разработки прогнозных методов срока службы конструкций портовых сооружений в зоне переменного уровня.

Достижение поставленной цели решалось на основе современных представлений о механизмах разрушения бетона при морозном воздействии, анализа многочисленных результатов стандартных испытаний на морозостойкость и оценки условий эксплуатации морских портовых сооружений в зимний период.

Информационная база для обоснования концепции долговечности бетона в условиях морозного воздействия

Для построения количественной модели долговечности необходимо иметь базисную концепцию, которая наиболее полно характеризует процесс внешнего воздействия и работу самого бетона в конструкции. В настоящее время для разработки количественных моделей долговечности арматуры в железобетонных конструкциях широко используется гипотеза,

основанная на двухстадийности процесса коррозии [14]. Процесс коррозии арматуры разделен на две стадии – инициирования и распространения (см. рис. 1).

Рис. 1. Модель срока службы арматуры [14].

Стадия иницирования – это период деградации бетона, в течение которого теряются его защитные свойства. Стадия распространения – период непосредственно коррозии арматуры.

Многочисленные натурные исследования [1, 5, 8] дают основания полагать, что в климатических районах северных и дальневосточных морей России основной причиной разрушения бетона в зоне переменного уровня морских портовых сооружений является замораживание конструкций в водонасыщенном состоянии, т.е. преобладает физическая коррозия. Химические процессы при замораживании в морской воде рассматриваются в качестве фактора усиления деградации бетона. В мягких климатических условиях, наоборот, ведущим фактором является химическая коррозия, а морозостойкость рассматривается в качестве усиливающего фактора [5].

Современные представления о механизмах разрушения бетона при морозном воздействии связывают в основном с процессами переноса влаги в поровой системе бетона [1, 2, 6, 10, 11]. Экспериментально установлено, что при циклическом замораживании и оттаивании бетона во время фазы оттаивания могут проходить два процесса: дополнительное водонасыщение пор и появление растягивающих напряжений из-за большего гистерезиса между образованием льда и таянием [11]. Теория микролинз и экспериментальные исследования доказывают наличие эффекта всасывания внешней воды во время одностороннего оттаивания и возможности обводнения воздушных пор в бетоне [16]. Несмотря на большой объем исследований долговечности бетона в суровых климатических условиях, до настоящего времени отсутствуют научно обоснованные методы расчета его долговечности при морозном воздействии. Поэтому расчетный срок службы конструкций при проектировании сооружений назначается без должного обоснования и отсутствует возможность оценивать остаточный ресурс эксплуатируемых сооружений.

Для перехода к разработке количественных моделей долговечности сначала необходимо иметь базисную концепцию, которая наиболее полно характеризует процесс внешнего воздействия и работу самого бетона в конструкции.

На Дальнем Востоке имеется большой опыт строительства морских сооружений из классического бездобавочного бетона и современного бетона, изготовленного с применением структурообразующих добавок [8]. В первом случае имеются сооружения, срок эксплуатации которых составляет 100 лет, во втором – приближается к 50 годам. Этот опыт изучается на протяжении 50 лет и является, как правило, основой для разработки новых технологических решений [8].

Анализ условий эксплуатации бетона портовых сооружений показывает, что для зоны переменного уровня имеются характерные участки, в которых могут быть различные механизмы разрушающего процесса.

На рис. 2 представлены характерные условия эксплуатации бетона в зоне переменного уровня портовых сооружений на южном побережье Сахалина.

**Рис. 2. Условия эксплуатации конструкций в зимний период в различных портовых сооружениях: причал (а), набережная (б), оградительное сооружение (в).
 (Здесь и далее иллюстрации автора).**

В зоне переменного уровня воды имеются два характерных участка: участок действия прилива и отлива и участок всплеска волны. В массивных конструкциях на участке действия прилива и отлива происходит медленное одностороннее замораживание бетона при отливе с постепенным продвижением фронта вглубь бетона, а в период прилива происходит оттаивание бетона. На этом участке зоны переменного уровня слой льда не образуется (рис. 1, б, в).

Надводный участок от всплеска волны покрывается слоем льда, который сохраняется в течение трех наиболее холодных зимних месяцев – декабрь, январь, февраль. Различия в условиях замораживания проявляются в том, что в первом случае время замораживания бетона определяется типом прилива и оно значительно меньше, чем для участка, где происходит обледенение конструкции.

В связи с этим процессы разрушения бетона будут, очевидно, зависеть от условий замораживания, поскольку они влияют на процесс переноса влаги в поровой системе бетона и на такой показатель, как степень водонасыщения бетона при циклическом замораживании и оттаивании [11].

Выделяют четыре основных вида замораживания и оттаивания бетона [1]:

- быстрое замораживание и оттаивание на воздухе с разрушением бетона вследствие различий в коэффициентах температурного расширения материалов бетона;
- медленное одностороннее замораживание бетона массивных сооружений с постепенным продвижением фронта вглубь бетона;
- быстрое всестороннее замораживание бетона тонкостенных конструкций с образованием льда в поверхностных слоях и закупорки воды внутри конструкции;
- одностороннее замораживание пористого материала, в котором возможна миграция воды в парообразном состоянии к холодной поверхности и образование линз льда по аналогии пучения грунтов.

Бетон зоны переменного уровня портовых сооружений подвержен трем из четырех основных видов замораживания. Из перечисленных видов первый не является характерным для бетона портовых сооружений. Поэтому для разработки количественных моделей долговечности в первую очередь необходимо знать механизм водонасыщения бетона для каждого вида его замораживания и оттаивания и доминирующие факторы, влияющие на этот процесс.

До настоящего времени долговечность бетона в конструкциях при морозном воздействии, как правило, связывают с количеством циклов замораживания–оттаивания, их суровостью относительно стандартного цикла [1].

При стандартных испытаниях на морозостойкость прочность бетона изменяется по двум характерным сценариям (рис. 3).

Рис. 3. Схема временных элементов стойкости бетона при испытании на морозостойкость:
1 – исходный уровень показателя морозостойкости;
2 – нормативный уровень снижения показателя.

В первом случае (кривая 1) происходит снижение прочности с первых циклов замораживания. Во втором (кривая 2) – бетон имеет определенный период со стабильной прочностью или с растущей прочностью. Это дает основание полагать, что различие в кинетике процесса является принципиальным для бетонов. Исходя из этого целесообразно рассматривать две

расчетные схемы для математического моделирования долговечности бетона при морозном воздействии. Под долговечностью материала или конструкции, как правило, понимается свойство или способность сопротивляться сложному воздействию внешних и внутренних факторов [1]. Количественно это оценивается продолжительностью эффективного сопротивления ключевых (нормативных) показателей до критического уровня. В качестве нормативных показателей для бетона принимается главным образом прочность, однако допускаются и другие показатели.

Концепция прогноза долговечности бетона на основе двухстадийного процесса коррозии при морозном воздействии

Стандартные испытания на морозостойкость не позволяют объективно прогнозировать стойкость бетона в реальных условиях эксплуатации. Однако характер разрушения бетона эксплуатируемых портовых сооружений [4] дает основание полагать, что процесс разрушения бетона в зоне переменного уровня воды развивается по аналогии с процессами стандартных испытаний на морозостойкость.

Принимая во внимание современные представления о механизме разрушения бетона при морозном воздействии, процесс его коррозии при морозном воздействии необходимо связывать не только с количеством циклов замораживания–оттаивания, но и с процессами водонасыщения бетона в реальных условиях эксплуатации. В этом случае целесообразно процесс коррозии разделить на стадию инициирования и деградации. Стадия инициирования характеризует период водонасыщения пор до критической степени, при достижении которой начинается процесс деградации. Только при критической степени водонасыщения при замораживании в структуре бетона могут возникать растягивающие напряжения, инициирующие появления микро- и макротрещин [16]. Наличие критической степени насыщения бетона следует считать определяющим признаком периода деградации. В этот период может происходить не только деградация – постепенное снижение прочности, но и лавинообразное разрушение структуры бетона. Это является причиной внезапных отказов бетона в реальных конструкциях [12].

Исходя из представлений, изложенных выше, и результатов стандартных испытаний на морозостойкость, приведенных на рис. 3, для каждого из двух случаев рассмотрим процесс коррозии бетона при морозном воздействии, в соответствии с которым можно разрабатывать модель долговечности для прогнозирования срока службы конструкций.

Закономерность снижения показателя морозостойкости (см. рис. 3), соответствующая функции $f(t)_1$, характеризует бетон, в котором период инициирования отсутствует: деградация бетона наступает после первого цикла. Данный сценарий относится к бетону, поры которого перед воздействием первого цикла замораживания имеют критическую степень водонасыщения. Стойкость такого бетона определяется периодом деградации до предельного нормируемого уровня $0-T_1$. При критической степени водонасыщения процесс разрушения структуры бетона начинается в период первого замораживания, затем прогрессирует при последующих циклах замораживания и оттаивания.

Другой сценарий характеризует бетон, который имеет период инициирования $0-T_2$ и деструкции T_2-T_3 . Изменение показателя морозостойкости бетона в этом случае соответствует функции $f(t)_2$, что характерно для бетонов с высокой морозостойкостью, в которых используются воздухововлекающие добавки. Марка по морозостойкости таких бетонов, как правило, превышает F_{2300} . В этом случае на момент воздействия отрицательных температур критическое водонасыщение не достигнуто, но при дальнейшем воздействии циклов замораживания–оттаивания возможно насыщение до критического уровня. Возможность этого процесса подтверждена экспериментально [11].

Модели морозостойкости бетона, приведенные на рис. 3, основаны на закономерности процесса водонасыщения пор бетона и деградации бетона после водонасыщения пор до критической степени. Используя терминологию международного стандарта ISO 15686-2:2012,

в нашем случае степень водонасыщения пор можно принять в качестве определяющего критического свойства. Схема двухстадийного процесса коррозии бетона в зоне переменного уровня показана на рис. 4.

Рис. 4. Модель долговечности бетона при двухстадийном процессе коррозии.

Можно полагать, что долговечность бетона в условиях, когда доминирующим фактором является циклическое замораживание и оттаивание, определяется продолжительностью насыщения капиллярных пор до критической степени. Период иницирования в этом случае является характеристикой долговечности бетона. Отсутствие периода иницирования свидетельствует о неспособности бетона сопротивляться внешним воздействиям. Поэтому такой бетон можно классифицировать как недолговечный. В соответствии с ГОСТ 25192-2012 по морозостойкости бетоны подразделяются на бетоны низкой (марки F50 и менее), средней (марки более F50 до F300) и высокой (марка более F300) морозостойкости. Принимая за основу рассуждения, приведенные выше, для оценки эксплуатационных показателей в условиях, когда имеется контакт с водой и доминирующим фактором внешнего воздействия является замораживание, бетоны целесообразно разделять на долговечные и недолговечные.

Для недолговечных бетонов количественная модель для прогнозирования срока службы конструкций должна разрабатываться в соответствии с закономерностью деградации $f(t)_1$, поскольку период иницирования отсутствует. Анализ литературных данных показывает, что в основном исследованы модели долговечности для закономерности $f(t)_1$, т.е. для недолговечного бетона. Например, феноменологическая модель [10] и структурная теория морозостойкости [2] рассматривают период деградации обычных бетонов, у которых период иницирования отсутствует или очень мал. Несмотря на то что стандартные испытания на морозостойкость лишь в определенной степени имитируют воздействие природных циклов замораживания и оттаивания, они позволяют за счет более жестких температурных воздействий и условий насыщения образцов оценивать сравнительную стойкость бетона. Все разрушающие (стандартные) и неразрушающие методы характеризуют период деградации, но не позволяют оценивать кинетику насыщения пор бетона в процессе испытания, т.е. оценивать у бетона период иницирования. Поэтому наиболее изученными являются недолговечные бетоны, которые характеризуются только периодом деградации. Морозостойкость таких бетонов, как правило, не превышает марки F₁₃₀₀, для которых собственные деформации являются характерным признаком [10]. Практика показывает, что такие бетоны могут обеспечивать эксплуатационную надежность только массивным сооружениям. Однако для железобетонных конструкций причальных сооружений эти бетоны не приемлемы, поскольку возникает необходимость в

регулярных ремонтных работах в зоне переменного уровня. С точки зрения практической целесообразности проектирование бетона и назначение технологических режимов для изготовления бетонных конструкций для портовых сооружений должны строиться на основе зависимости $f(t)_2$. Для эксплуатанта важно знать, когда и как необходимо проводить техническое обслуживание, чтобы состояние конструкции не снижалось ниже нормативного уровня. Достижение критической степени водонасыщения в данном случае является объективной информацией для планирования работ по защите поверхностного слоя конструкции, например путем специальной пропитки или торкретирования.

При условии, что зависимость $f(t)_2$ характеризует процесс водонасыщения бетона в реальных условиях эксплуатации конструкций, необходимо установить значимость внешних воздействующих факторов и качественных показателей бетона на процессы водонасыщения в реальных конструкциях. Исходя из того, что зависимость $f(t)_2$ многофакторная, на первом этапе исследований необходимо определить доминирующие факторы в процессе насыщения бетона, на основе которых возможно построение математической модели для практического применения. Обзор литературных данных показывает, что в этом направлении проводятся исследования за рубежом [11]. В России такие исследования не проводятся, но их необходимость отмечается [7].

Представленная концепция долговечности бетона при морозном воздействии позволяет планировать натурные исследования для получения данных, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве входных данных для зависимости $f(t)_2$, т.е. для моделирования срока службы бетонных конструкций при морозном воздействии. Поэтому при натурных исследованиях важно получить следующую информацию:

- срок эксплуатации конструкций;
- конструктивные характеристики сооружения;
- состояние и характер разрушения бетона на различных участках зоны переменного уровня;
- стандартные качественные показатели бетона и фактическую степень его насыщения в конструкциях;
- технологические режимы бетонных работ, применяемые при изготовлении конструкций;
- основные факторы воздействия на бетон в сооружении: температуру воздуха и воды, продолжительность цикла замораживания, количество циклов замораживания и оттаивания, скорость ветра, интенсивность солнечной радиации.

Результаты исследований в данном направлении позволят, с одной стороны, расширить теоретические представления о роли водонасыщения бетона в процессах разрушения бетона в конструкциях при морозном воздействии, с другой – разработать требования к технологии изготовления бетонных конструкций с учетом срока службы.

Следует отметить, что в соответствии с СП 28.13330.2017 класс агрессивности среды при воздействии мороза на водонасыщенный бетон назначается по степени насыщения, но этот показатель оценивается лишь качественно. Поэтому исследования стойкости бетона в реальных условиях эксплуатации на основе предлагаемой концепции долговечности позволят получить входные данные для перехода от качественной оценки агрессивности среды к количественной, получить объективную информацию о состоянии бетона в конструкциях для планирования технического обслуживания конструкций зоны переменного уровня в процессе эксплуатации.

Выводы

Всесторонний анализ данных о разрушении бетона при морозном воздействии показал, что процесс коррозии бетона целесообразно рассматривать как двухстадийный процесс с характерными периодами: инициирование и деградация, полагая, что период инициирования характеризует процесс водонасыщения бетона до критической степени. По продолжительности

этого периода можно судить о долговечности бетона. В период деградации идет накопления микроразрушений, из-за чего происходит снижение основных механических и физических свойств бетона: прочности, морозостойкости, проницаемости. Наступление периода иницирования может свидетельствовать о неспособности бетона сопротивляться морозному воздействию и быть основанием проведения профилактических работ для снижения водонасыщения бетона в поверхностном слое конструкций. Исходя из этого степень водонасыщения может быть принята в качестве определяющего критического свойства бетона для прогнозирования его долговечности в зоне переменного уровня портовых сооружений при морозном воздействии. Предлагаемая концепция долговечности бетона в условиях морозного воздействия может быть принята в качестве базиса для разработки прогнозных методов долговечности бетонных конструкций и количественной оценки агрессивности среды эксплуатации.

На современном этапе изучения долговечности бетона в условиях морозного воздействия из-за ограниченных данных о влиянии степени водонасыщения бетона на долговечность конструкций в реальных условиях эксплуатации нельзя перейти к разработке количественной модели долговечности на основе предлагаемой концепции. Это дает основание считать, что исследование процессов водонасыщения бетона и влияния степени его водонасыщения на долговечность в реальных условиях эксплуатации позволят в дальнейшем перейти к разработке количественных моделей для прогноза срока службы конструкций.

Прогнозирование долговечности бетона по степени водонасыщения позволит планировать работы по текущему ремонту в процессе эксплуатации сооружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П.М. Стойкость бетона в суровых климатических условиях. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
2. Горчаков Г.И., Орендлихер В.И., Савин В.И. и др. Структурные характеристики и морозостойкость тяжелого бетона: монография. М.: Стройиздат, 1976. 145 с.
3. 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.
4. 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 8 конф. Саратов: Изд. центр «Наука», 2018. С. 223–231.
5. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты: монография. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
6. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: монография / С.Н. Леонович, Д.А. Литвиновский, О.Ю. Чернякевич, А.В. Степанова; под ред. С.Н. Леоновича: в 2 ч. Ч. 2. Минск: Изд-во БНТУ, 2016. 393 с.
7. Розенталь Н.К. Проблемы коррозионного повреждения бетона // Бетон и железобетон. 2007. № 6. С. 29–30.
8. Свиридов В.Н., Малюк В.Д. Оценка долговечности бетона в конструкциях морских сооружений по опыту строительства на Дальнем Востоке // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: тр. конф.: в 7 т. Т. 3. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2014. С. 388–398.
9. Степанова В.Ф. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Бетон и железобетон – взгляд в будущее: в 7 т. Т. 3. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2014. С. 430–444.
10. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
11. Fagerlund Göran. Frost Destruction of Concrete –A Study of the Validity of Different Mechanisms. Nordic Concrete Research. Publ. No. NCR 58. 2018(1):35–54. <https://doi.org/10.2478/ncr-2018-0003>
12. Malyuk V. Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. Far East Con-2018. International Multi-Conf. on Industrial

- Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series, Materials Science and Engineering. 2018, 463, 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
13. 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/mateconf/201926502014>
 14. Nilsson L.-O, Kamali-Bernard S, Santhanam M. Durability of Reinforced Concrete. Structures and Penetrability, 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.
 15. Powers T.C. A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete. PCA-Bulletin 1945(5).
 16. Setzer M.J. Micro-ice-lens formation in porous solid: Colloid and Interface Science. 2001(243):193–201.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2020. N 4/45

Building Materials and Products

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2020-4-11>

Malyuk V.

VLADISLAV MALYUK, Senior lecturer, Technical Oil and Gas Institute,
ORCID: 0000-0002-1520-3041, mvv.77@mail.ru
Sakhalin State University
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Concrete durability concept for predicting the service life of structures under frost conditions influences

Abstract: The design of structures in accordance with the life cycle determines the need to develop the predictive methods of concrete durability in relation to various operating conditions. This problem is relevant for seaport structures during operation in the northern and Far Eastern seas of Russia. Despite a large amount of theoretical and experimental works on the problem of concrete durability under frost influence, there are no methods for predicting concrete corrosion in these conditions. Based on a comprehensive analysis of the works devoted to the study of concrete corrosion under frost influence, the author proposes the concept of concrete durability for the variable level zone of port structures, based on the two-stage corrosion process. Believing that the process of concrete destruction itself begins with a critical degree of concrete saturation, the author proposes to evaluate the durability of concrete in real operating conditions by the duration of saturation to a critical degree. Based on this, the degree of water saturation is proposed to be taken as the determining critical property of concrete to predict the durability of concrete in the zone of variable level during frost influence. The author believes that the study of concrete water saturation processes and effect of concrete saturation on durability in real operating conditions are of current interest, which allow to develop the practical models in future and quantifying the aggressiveness of the operation environment. The prediction of durability of concrete with the degree of water saturation allows to plan the maintenance repair during the operation of the structure.

Keywords: water saturation of concrete, durability, frost resistance, port structure, life time prediction

Article: received: 14.09.2020; reviewed: 21.09.2020; accepted: 12.10.2020; financing: Sakhalin State University.

REFERENCES

1. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry S., Shissle P. Durability of Reinforced Concrete in Corrosive Environments. M., Stroyizdat, 1990, 320 p.
2. Gorchakov G.I., Orentlikher V.I., Savin V.I., Voronin V.V., Alimov L.A., Novikov I.P. Composition, structure and properties of cement concrete, monograph. M., Stroyizdat, 1976, 145 p.

3. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. About modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures. *Academia. Architecture and Construction, RAASN*. 2015(1):93–102.
4. Malyuk V.V. Forecasting the durability of structures of offshore 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, 223–231.
5. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A. Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection. M., Stroyizdat, 1980, 536 p.
6. Strength, Crack-Resistance and Durability of Structural Concrete at Temperature and Corrosion Impacts, monograph, in 2 parts. Leonovich S.N., Litvinovsky D.A., Chernyakevich O.Yu., Stepanova A.V. Part 2. Minsk, Publishing House BNTU, 2016, 393 p.
7. Rosenthal N.K. Concrete corrosion damage problems. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2007(6):29–30.
8. Sviridov V.N., Malyuk V.D. Assessment of the durability of concrete in the structures of offshore structures based on the experience of construction in the Far East. *Concrete and reinforced concrete – a look into the future*, in 7 vols. Vol. 3. M., Publishing house MISI-MGSU, 2014, 388–398 p.
9. Stepanova V.F. Modern Problems of Ensuring the Durability of Reinforced Concrete Structures. *Concrete and reinforced concrete – a look into the future: in 7 vols., vol. 3*. M., Publishing house MISI-MGSU, 2014, 430–444 p.
10. Sheikin A.E., Chekhovskiy Yu.V., Brusser M.I. Structure and properties of cement concrete. M., Stroyizdat, 1979, 344 p.
11. Fagerlund Göran. Frost Destruction of Concrete –A Study of the Validity of Different Mechanisms. *Nordic Concrete Research*. Publ. No. NCR 58. 2018(1):35–54. <https://doi.org/10.2478/ncr-2018-0003>
12. Malyuk V. Degradation and sudden failure of concrete structures of marine hydraulic structures in severe hydrometeorological conditions. *Far East Con-2018. International Multi-Conf. on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series, Materials Science and Engineering*. 2018, 463, 022071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/2/022071>
13. 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/mateconf/201926502014>
14. Nilsson L.-O., Kamali-Bernard S., Santhanam M. Durability of Reinforced Concrete. Structures and Penetrability, 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.
15. Powers T.C. A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete. *PCA-Bulletin* 1945(5).
16. Setzer M.J. Micro-ice-lens formation in porous solid: *Colloid and Interface Science*. 2001(243):193–201.