

КОНСТРУКЦИОННЫЙ БЕТОН МОРСКИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ: ДЕГРАДАЦИОННЫЙ И ВНЕЗАПНЫЙ ОТКАЗ

¹В.В. Малюк, ²С.Н. Леонович, ²Н.А. Будревич

¹ООО «Трансстрой-Тест», Южно-Сахалинск, Россия

²Белорусский национальный технический университет, Минск

email: mw.77@mail.ru, snleonovich@yandex.ru, nellibudrevich@yandex.by

Рассмотрен опыт строительства морских гидротехнических сооружений в тяжелых гидрометеорологических условиях эксплуатации. Проанализированы характерные разрушения бетона в зоне переменного уровня после первого зимнего сезона. Установлены причины разрушения бетона в виде явного внезапного отказа. Предложена схема формирования структуры бетона при морозных и солевых воздействиях в зависимости от зрелости структуры бетона. Намечены направления дальнейших исследований в области прогнозирования долговечности конструкций из бетона и железобетона для морских гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: бетон, деградация, отказ, морские гидротехнические сооружения.

CONSTRUCTION CONCRETE OF MARINE HYDROTECHNICAL STRUCTURES: DEGRADATION AND FLASHOUT

¹V. Malyuk, ²S. Leonovich, ²N. Budrevich

¹Transstroy-Test, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Belarusian National Technical University, Minsk

email: mw.77@mail.ru, snleonovich@yandex.ru, nellibudrevich@yandex.by

The experience of construction of marine hydraulic structures in heavy meteorological conditions of operation is considered. Characteristic destruction of concrete in the zone of a variable level after the first winter season has been analyzed. The reasons for the destruction of concrete in the form of a sudden sudden failure are established. A scheme is proposed for the formation of the concrete structure under frost and salt effects, depending on the maturity of the concrete structure. The directions of further research in the field of forecasting the durability of concrete and reinforced concrete structures for marine hydraulic structures are outlined.

Keywords: concrete, degradation, failure, marine hydraulic structures

Несмотря на большое число выполненных исследований по созданию стойкого бетона для морских сооружений, вопрос стойкости бетона и железобетона в тяжелых гидрометеорологических условиях эксплуатации остается актуальным и в настоящее время. Исследователи отмечают [1, 8, 9, 14, 17, 18] – сегодня нет проблем в деле изготовления долговечного бетона даже для весьма агрессивных и коррозионных сред. Проблема заключается в создании надежных и долговечных конструкций. Это означает, что явно недостаточно существующих методов расчета, конструирования и организационно-технологических мер по обеспечению стойкости бетона, поскольку практически невозможно учесть расчетным путем влияние всех факторов ее определяющих. Поэтому за последние годы появились новые исследования в области создания моделей долговечности для прогноза срока службы конструкций и сооружений [7, 11]. Важное место в решении данной проблемы отводится созданию практической модели поведения конструкции во времени на основе

проведения мониторинга в процессе эксплуатации конструкции с учетом всех её фактических характеристик. Поэтому дальнейшее накопление экспериментальных данных о поведении конструкций в агрессивных и суровых условиях, позволяющих адекватно оценивать деградацию бетона в конструкциях, является весьма актуальной задачей. Следует отметить, что на Дальнем Востоке систематические натурные и лабораторные исследования стойкости бетона морских гидротехнических сооружений проводятся с 1970 г. по настоящее время. В период с 1970 по 1990 гг. эти исследования проводились в Сахалинской научно-исследовательской лаборатории ВНИИ транспортного строительства (ЦНИИС), а затем, после реорганизации лаборатории, исследования в данном направлении ведутся в компании «Трансстрой-Тест» [12, 13]. В данной работе приведены результаты исследований стойкости бетона на основе опыта строительства морских сооружений на Дальнем Востоке за последние 15 лет, в которых принимали участия сотрудники компании «Трансстрой-Тест».

В процессе строительства морских причальных и оградительных сооружений из бетона и железобетона достаточно часто строители сталкиваются с проблемой разрушения новых конструкций в зоне переменного уровня после первого зимнего сезона, т.е. через 3...4 месяца эксплуатации. Разрушение такого вида нельзя характеризовать как деградацию [3] или деградационный отказ [4] бетона, поскольку под этим понимается постепенное понижение уровня эксплуатационных характеристик материалов. В соответствии с общетехнической терминологией [4] данный вид разрушения классифицируется как явный внезапный отказ – скачкообразный переход объекта в неработоспособное состояние, обнаруживаемое визуально при подготовке объекта к применению или в процессе его применения.

В данной статье приводится анализ характерных случаев разрушения бетона при строительстве морских гидротехнических сооружений на Дальнем Востоке за период с 2003 по 2010 гг. Например, при строительстве берегозащитного участка корневой части причала МОФ на заводе сжиженного природного газа (СПГ) в п. Пригородное (о. Сахалин) из фасонных блоков- гексабитов (далее- блоков), наблюдали разрушение бетона в отдельных блоках, расположенных в зоне переменного уровня, после первого зимнего сезона. (рисунок 1).

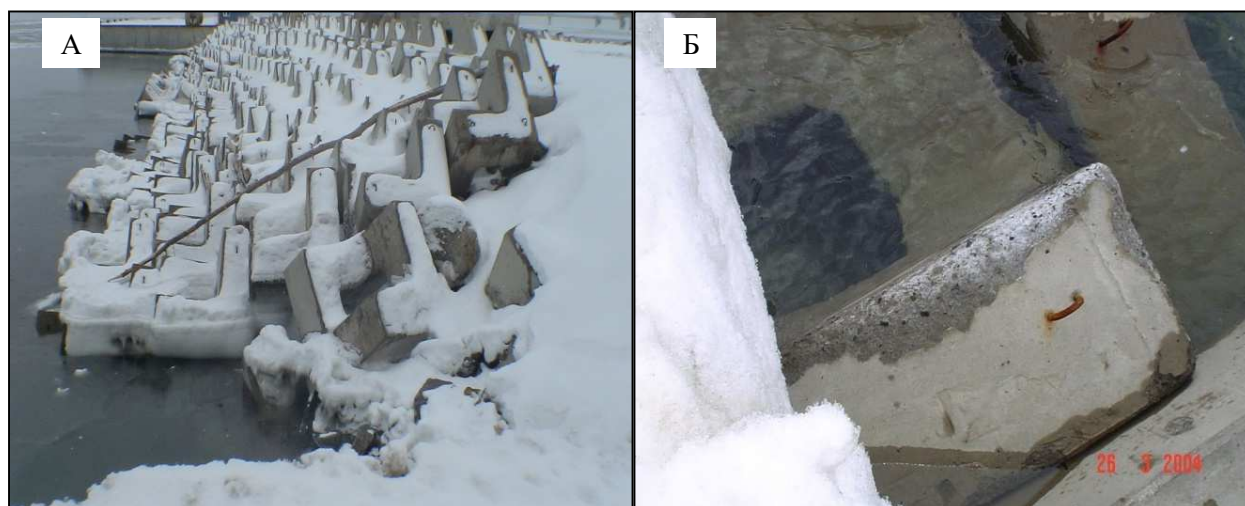


Рисунок 1. – А – общий вид берегозащитного сооружения корневой части причала МОФ (п. Пригородное, завод СПГ, о. Сахалин) в зимний период; Б – характер разрушения бетонных блоков (гексабитов) после первого зимнего сезона

Отличительной особенностью морских берегозащитных сооружений, эксплуатируемых на о. Сахалин, является то, что при установлении отрицательных температур воздуха

происходит постепенное нарастание слоя морского льда на поверхности бетона (рис. 1-А). Изделия вмерзает в морской лед в зоне переменного уровня и в таком состоянии находятся в течение 3...4 месяцев. Данные условия эксплуатации, безусловно, отличаются от обычных приливно-отливных воздействий на бетон вертикальных причальных стенок в зоне переменного уровня. Эта особенность условий эксплуатации блоков, вмерзших в морской лед, проявилась в марте 2004 года после таяния льда. На отдельных блоках наблюдали разрушение поверхностного слоя бетона на глубину до 4 см (рис. 1-Б). Блоки изготавливали в заводских условиях с применением пропаривания по мягкому режиму. Специалисты компании «Трансстрой-Тест» на основании анализа всех технологических переделов изготовления изделий установили следующее. На заводе осуществляли контроль качества на всех технологических переделах, поэтому исключалась вероятность выпуска бетонной смеси с показателями качества, не соответствующими проектным требованиям - В22,5, F₂₃₀₀, W₆. Для изготовления бетонной смеси применяли комплексную добавку СНВ+СЗ, что позволяло обеспечить содержание воздуха в смеси в пределах 4...6 % и морозостойкость бетона не ниже марки F₂₃₀₀. Следовательно, на стадии приготовления бетонной смеси обеспечивались все установленные требования. Анализ процесса изготовления блоков показал следующее. В возрасте 3...4 суток после набора бетоном прочности 70 % от проектной прочности В22,5 блоки отгружали на объект. В соответствии с техническими требованиями к продукции заводского изготовления этой прочности достаточно для отгрузки потребителю [5]. В силу организационных причин складирования блоки, изготовленные в ноябре-декабре 2003 г, сразу укладывали в зону переменного уровня, что было установлено по маркировки на блоках. Однако в соответствии с требованиями [15], пропаренные блоки допускается укладывать в зону переменного уровня после выдерживания не менее 15 суток при положительных температурах. На основании этого было сделано заключение, что несоблюдение сроков выдерживания бетона стало основной причиной разрушения поверхностного слоя после первого зимнего сезона. Специалистами компании «Трансстрой-Тест» было рекомендовано строителям переместить блоки с поверхностными разрушениями в подводную зону. Это решение было принято на основании того, что, с одной стороны, конструктивная особенность берегозащитного сооружения из фасонных блоков позволяла перемещать отдельные блоки из зоны переменного уровня в подводную зону без существенных затрат, с другой – лабораторные и экспериментальные натурные исследования, которые ранее проводились в лаборатории «Трансстрой-Тест», показали, что в подводной зоне дальнейшая деградация материала не происходит, поскольку отсутствуют основные разрушающие факторы – циклы замораживания и оттаивания и обмерзание льдом. Последующие обследования сооружения показали, что в подводной зоне процессы деградации бетона в поврежденных блоках прекратились, они сохраняют свои эксплуатационные показатели в течение 15 лет. Блоки, которые устанавливались в зону переменного уровня с предварительной выдержкой, сохраняют первоначальный внешний вид в течение всего периода эксплуатации – 15 лет.

Аналогичные случаи разрушения бетона из-за недостаточного срока выдержки бетона наблюдали при устройстве берегозащитного сооружения в порту Козьмино (Приморский край, г. Находка) в 2008 году (рисунок 2-А) и при реконструкции причальной стенки в порту Углегорск (о. Сахалин) в 2010 году (рисунок 2-Б). Данные примеры свидетельствуют о том, что несоблюдение одного из требований к технологии - срока выдерживания, приводит к серьезным последствиям. В силу конструктивной особенности морских берегозащитных сооружений из фасонных блоков типа тетраподов или гексабитов, эти последствия можно исправить без существенных затрат, как это было сделано на заводе СПГ или в порту Козьмино. Однако восстановление причальной стенки в порту Углегорск до работоспособного состояния потребовало значительных затрат. В зависимости от уровня потери экс-

платационных свойств отказ можно классифицировать как по критичности, так и по причинам его возникновения. В рассмотренных случаях отказ относится производственному отказу, поскольку произошел вследствие производственных недоработок. Явный внезапный отказ обусловлен, с одной стороны, характером внешних воздействий- обмерзанием конструкций морским льдом, с другой- не обеспечены условия выдерживания бетона при положительных температурах после пропаривания. Есть все основания считать, что процесс накопления структурных дефектов в бетоне при обмерзании морским льдом происходит более интенсивно, чем при воздействии циклов замораживания и оттаивания от обычных отливно-приливных явлений в зоне переменного уровня вертикальных стенок морских причальных сооружений.



Рисунок 2. – Характерный вид разрушения бетона в зоне переменного уровня после первого зимнего сезона: А – берегоукрепление из гексабитов в порту Козьмино (г. Находка, Приморский край, 2008); Б – причальная стенка в порту Углегорск (о. Сахалин, 2010).

Следовательно, суровость реальных условий службы морских сооружений может отличаться от нормативной суровости, которая классифицируется по расчетной зимней температурой наружного воздуха [16]. Приведенные примеры служат доказательством того, что суровость условий является одним из параметров, который определяет скорость разрушения бетона. При оценке реальной суровости внешних воздействий следует учитывать такие параметры процесса обмерзания, как продолжительность и температуру. Опыт эксплуатации морских сооружений на побережье о. Сахалин дает основание полагать, что в зоне переменного уровня в зимний период при воздействии только отливно-приливных явлений без обмерзания конструкции льдом скорость накопления повреждений в структуре бетона происходит значительно медленнее и не приводит к внезапному разрушению бетона. Процесс обмерзания не моделируется при стандартных испытаниях на морозостойкость, поэтому при исследованиях [2] не выявлено влияние на пропаренные морозостойкие бетоны последующего выдерживания. Приведенные примеры показывают, что скорость разрушения пропаренного бетона зависит от продолжительности твердения при положительных температурах. Исходя из того, что продолжительность и температура в период ухода влияет на скорость гидратации и соответственно влияет на развитие прочности бетона. А.М. Невилль [10] предложил период выдерживания оценивать показателем «зрелости» бетона, который следует измерять в градусо-часах или в градусо-сутках. Установлено [18], что морозостойкость имеет более устойчивую связь с параметрами структуры бетона, чем с прочностью бетона. В соответствии с общими представлениями о цементных бетонах [1, 17, 18], в его структуре происходят деструктивные процессы и процессы упрочнения, которые можно назвать конструктивными. Исходя из полученных результатов, есть

основания предполагать, что при равной степени агрессивности внешних природно-климатических воздействий, характер развития этих процессов в бетоне зависит от уровня «зрелости» структуры к моменту начала эксплуатации. Состояние структуры бетона во времени будет определяться соотношением указанных процессов. Схематически развитие процессов формирования структуры бетона на стадии эксплуатации в зависимости от начального уровня зрелости структуры бетона показано на рисунке 3.

$$\Delta s = \Delta_k > \Delta_d \text{ или } \Delta s = \Delta_k < \Delta_d, \quad (1)$$

где Δs – показатель состояния структурной прочности бетона;
 Δ_k – мера, характеризующая конструктивные процессы;
 Δ_d – мера, характеризующая деструктивные процессы.

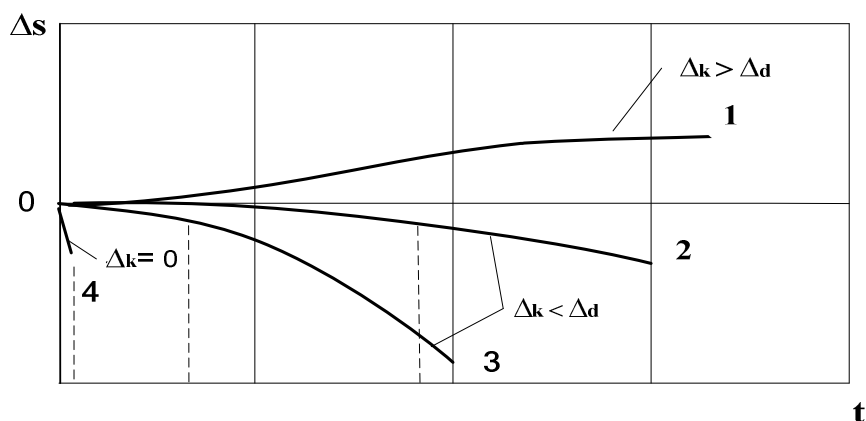


Рисунок 3. – Схематическое представление процесса формирования структуры бетона при морозных и солевых воздействиях для бетонов с различным уровнем зрелости структуры

Многочисленные исследования морозостойкости бетона и опыт эксплуатации, приведенный в данной статье, дает основание предполагать, что существует нормативный уровень зрелости структуры бетона, который позволяет обеспечить долговечность конструкции в конкретных условиях эксплуатации.

$$K_p^f \geq K_H^f, \quad (2)$$

где K_H^f – нормативном уровне зрелости структуры бетона;
 K_p^f – фактический уровень зрелости структуры бетона.

Условно можно принять, что в начальный период конструктивные и деструктивные процессы находятся в равновесии независимо от уровня зрелости бетона:

$$\Delta_k = \Delta_d, \text{ т.е. } \Delta s = 0.$$

При нормативном уровне зрелости структуры бетона: $K_p^f = K_H^f$ перед началом эксплуатации структура должна формироваться с преобладанием конструктивных процессов, т.е. $\Delta_k > \Delta_d$. Схематически это представлено в виде кривой 1 на рисунке 3. Формирование структуры бетона при $K_p^f < K_H^f$ происходит с преобладанием деструктивных процессов ($\Delta_k < \Delta_d$) – кривые 2 и 3 на рисунке 3. При этом скорость деструктивных процессов будет

определяться величиной K_p^f к началу эксплуатационных воздействий. Рассмотренные в статье примеры разрушения бетона в сооружениях соответствует случаю, когда значение K_p^f имеет такое низкое значение, при котором наблюдается не деградационный, а внезапный отказ ($\Delta_k = 0$) – кривая 4 на рисунке 3.

Опыт строительства морских гидротехнических сооружений на Дальнем Востоке свидетельствует о том, что от уровня зрелости структуры бетона к началу эксплуатации, который формируется в стадии изготовления конструкций и выдерживания бетона, зависит долговечность или расчетный срок службы сооружения. Следует отметить, что для железобетонных конструкций должны устанавливаться более высокие требования к обеспечению уровня зрелости структуры бетона, чем к бетонным конструкциям, поскольку в процессе эксплуатации железобетонных конструкций в расчетный срок службы не допускается снижение или потеря защитных функций бетона по отношению к арматуре. Исходя из приведенных примеров, для прогноза сроков службы строительных объектов целесообразно разрабатывать модели долговечности бетона с учетом показателя уровня «зрелости» структуры бетона перед началом эксплуатации.

Заключение. Опыт строительства морских причальных и берегозащитных гидротехнических сооружений в районах с тяжелыми гидрометеорологическими условиями показывает, что в зоне переменного уровня при обмерзании конструкций морским льдом разрушение бетона может происходить за первый зимний сезон. Фактически происходит не деградационный, а внезапный отказ. Это свидетельствует о том, что при обмерзании бетона степень суровости воздействия на структуру бетона более высокая, чем воздействие циклов замораживания и оттаивания от обычных приливно-отливных явлений в зоне переменного уровня вертикальных стенок морских причальных сооружений. Объективная оценка причин разрушения бетона в сооружениях, изготовленного по конкретной технологии, позволяет определить наиболее вероятные причины деградации и высокой скорости ее развития. Установлено, что одним из факторов, вызывающий внезапный отказ бетона, является недостаточность периода выдерживания (вызревания) после изготовления конструкций. Предлагается временной период выдерживания оценивать критерием «зрелости» структуры бетона (K^f). Внезапный отказ бетона следует рассматривать, как один из частных случаев несоответствия, при котором $K_p^f < K_H^f$. Дальнейшие исследования в направлении определения параметров бетона, по которым можно рассчитывать критерий зрелости структуры, позволит осуществлять прогноза долговечности конструкций, изготовленных по конкретной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С.Н. Алексеев [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.
2. Гладков, В.С. Рост прочности морозостойких бетонов после пропаривания / В.С. Гладков, Б.И. Поляков, Т.К. Егорычева / Вопросы долговечности бетона транспортных сооружений : сб. науч. тр. ЦНИИСа. – М., 1979. – с. 41–48.
3. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения : ГОСТ 27751-2014. – Введен с 01.07.2015.
4. Надежность в технике. Термины и определения : ГОСТ 27.002-2015. – Введен с 01.03.2017.
5. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения : ГОСТ 13015—2012. – Введен с 01.01.2014.

6. Иванов, Ф.М. Исследование морозостойкости бетона / Ф.М. Иванов // Защита от коррозии строительных конструкций и повышение долговечности. – М., 1969.
7. Леонович, С.Н. Прочность конструкционных бетонов при циклическом замораживании-оттаивании с позиции механики разрушения / С.Н. Леонович. – Брест : БрГТУ, 2006. – 380 с.
8. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях : моногр. : в 2 ч. / С.Н. Леонович [и др.]. – Минск : БНТУ, 2016. – Ч. 2. – 393 с.
9. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – М. : Стройиздат, 1980.
10. Невиль, А.М. Свойства бетона / А.М. Невиль ; пер. с англ. под ред. Ф.М. Иванова. – М. : Стройиздат, 1972. – 344 с.
11. Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений / Л.М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.
12. Свиридов, В.Н. Оценка долговечности бетона в конструкциях морских сооружений по опыту строительства на Дальнем Востоке / В.Н. Свиридов, В.Д. Малюк // Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону «Бетон и железобетон – взгляд в будущее», Москва, 12-16 мая 2014 г. : в 7 т. / МИСИ-МГСУ. – М., 2014. – Т. 3. – С. 388–398.
13. Свиридов, В.Н. Применение технологии высокоморозостойких бетонов в практике морского гидротехнического строительства на Дальнем Востоке / В.Н. Свиридов, В.Д. Малюк // Стихия. Строительство. Безопасность : сб. тр. – Владивосток, 2008.
14. Степанова, В.Ф. Современные проблемы обеспечения долговечности железобетонных конструкций / В.Ф. Степанова, В.Р. Фаликман // Бетон и железобетон – взгляд в будущее : науч. тр. III Всерос. (II Междунар.) конф. по бетону и железобетону, М., 12-16 мая 2014 г. : в 7 т. / МИСИ-МГСУ. – М., 2014. – Т. 3 : Арматура и система армирования. Фибробетоны и армоцементы. Проблемы долговечности. – С. 430–444.
15. Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения : СНиП 3.07.02-87. – Введен с 01.07.1987.
16. Защита строительных конструкций от коррозии : СП 28.13330.2012. – Введен с 08.05.2017.
17. Шейкин, А.Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости / А.Е. Шейкин, Л.М. Добшиц. – Л., 1989.
18. Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений / С.В. Шестоперов. – М. : Транспорт, 1976.