

Лебедева Рамуне, докторант, Вильнюсский государственный технический университет им. Гедиминаса,
г. Вильнюс (Литва)

Скрипкюнас Гинтаутас, д-р техн. наук, профессор,
Вильнюсский государственный технический университет
им. Гедиминаса, г. Вильнюс (Литва)

ТРЕБОВАНИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО СТАНДАРТА К ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМУ БЕТОНУ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОМУ В МОРСКОЙ СРЕДЕ

REQUIREMENTS OF EUROPEAN STANDART TO HYDROTECHNICAL CONCRETE USED IN THE COAST OF THE SEA

Аннотация

Требования к прочности и ограничения по условиям эксплуатации гидротехнических бетонов оценены в европейском стандарте EN 206-1. Стандарт не предусматривает воздействия всех факторов окружающей среды на бетон одновременно. В данной статье рассматривается воздействие воды Балтийского моря на гидротехнический бетон. В статье представлен анализ окружающей среды, а также оценка каждого из отдельных факторов при эксплуатации бетонных конструкций на побережье Балтийского моря. Проводились испытания на устойчивость гидротехнического бетона к воздействию морской воды и мороза.

Annotation

Hydrotechnical concrete durability requirements and limitations according to exploitation conditions are rated at the European standard EN 206-1. The standard does not provide a solution for all effects on concrete simultaneously. The article deals with the effect of the water of Baltic Sea on hydrotechnical concrete. The paper presents the environmental impact analysis, and evaluation of each of the environmental effects of the action on concrete structures in the coast of Baltic sea. Tests were performed on the hydrotechnical concrete resistance to the sea water and resistance to frost action.

ВВЕДЕНИЕ

Гидротехнические сооружения, в том числе и на побережье моря, возводятся из гидротехнического бетона, который должен быть стойким к механическим, физическим и химическим воздействиям, которые определяются установленными классами окружающей среды. Гидротехнические бетоны, эксплуатируемые в регионе Балтийского моря, должны соответствовать требованиям нескольких классов окружающей среды по Европейскому стандарту EN 206-1. Гидротехнические сооружения из гидротехнических бетонов эксплуатируются в условиях, относящихся к следующим классам окружающей среды: XC (класс воздействия на бетон, когда возникает коррозионное воздействие карбонизации бетона), XS (класс воздействия на бетон, когда возникает коррозия, вызванная хлоридами морской воды), XF (класс воздействия на бетон, когда возникают эффекты замораживания-оттаивания), XA (класс воздействия на бетон, когда возникает химическое воздействие). К гидротехническому бетону могут быть предъявлены и другие требования воздействия окружающей среды: механические повреждения, которые вызваны ударными воздействиями, абразивное воздействие, а также щелочная коррозия заполнителей. В литовском стандарте LST 1974:2012 определен эффект истираемости и щелочной коррозии бетонов. При подборе состава гидротехнических бетонов необходимо соблюдать основные требования к составу бетона, предъявленные в ранее указанных стандартах, такие как класс бетона по прочности, максимальное водоцементное отношение, минимальное количество цемента, минимальное количество воздуха, выбор заполнителя, устойчивость к щелочной коррозии и другие. Необходимо всесторонне оценить влияние всех воздействий на гидротехнический бетон и разработать их комплексную оценку.

ТРЕБОВАНИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО СТАНДАРТА

Бетоны для гидротехнических сооружений производятся по Европейскому стандарту EN 206-1. Один из основных факторов долговечности бетона – это воздействие на него окружающей среды. При оценке воздействия на бетон окружающей среды используются классы окружающей среды, которые определяют потенциальные воздействия на бетон при эксплуатации. Для каждого класса окружающей среды Европейский стандарт предусматривает требования, такие как наименьшее количество цемента, наименьший класс по прочности на сжатие, наибольшее водоцементное соотношение, наименьшее количество воздуха и т. д.

Гидротехнический бетон одновременно может относиться к нескольким классам воздействия окружающей среды. Одно из важнейших воздействий окружающей среды на гидротехнический бетон – это циклическое воздействие замораживания и оттаивания в увлажненном состоянии водой или раствором соли. Это воздействие обычно испытывается методом объемного замораживания и оттаивания бетона по национальному стандарту. По морозостойкости бетон разделяется на марки: F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000.

Гидротехническая конструкция должна быть спроектирована с учетом факторов воздействия окружающей среды на бетон. На рис. 1 изображены возможные воздействия окружающей среды на гидротехническое сооружение в разных местах при его эксплуатации. Так, можно определить три разные зоны воздействия окружающей среды: первая – где возможна карбонизация бетона (классы воздействия окружающей среды XC2, XF2, XS1); вторая – где бетон должен быть устойчив к замораживанию и оттаиванию (классы воздействия окружающей среды XS3, XF4, XC4, XA2); третья – это зона гидротехнического сооружения, где бетон должен быть устойчивым к сульфатной коррозии (классы воздействия окружающей среды XS2, XA2).

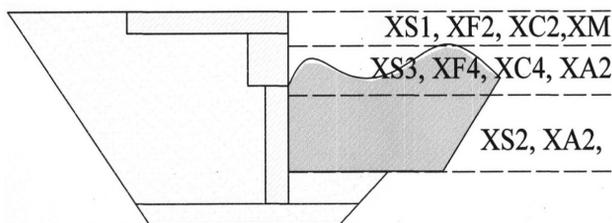


Рисунок 1. Схема классов воздействия окружающей среды на бетон в гидротехнических конструкциях

Как видно из рис. 1, бетон разных зон гидротехнических конструкций должен соответствовать требованиям классов окружающей среды XS, XF, XC, XA и XM. По классам окружающей среды XS и XF бетон подвергается воздействию морской воды с хлоридами и другими солями и циклического замораживания и оттаивания. Требования для состава бетона, эксплуатируемого в таких условиях, предполагают колебание наибольшего водоцементного

отношения в пределах от 0,45 до 0,50, минимальное содержание цемента – 300 кг, наименьший класс прочности бетона – С30/37, минимальное количество воздуха – 4 %. Класс окружающей среды ХС включает в себя воздействие на гидротехнический бетон воздуха и влаги, что вызывает процесс карбонизации поверхности бетона. Для состава такого бетона предъявляются требования по: наибольшему водоцементному отношению в пределах от 0,60 до 0,75; минимальному содержанию цемента – 240 кг; наименьшему классу прочности бетона – С16/20. Класс окружающей среды ХА включает в себя химическое воздействие на бетон. Требования для состава такого бетона: наибольшее водоцементное отношение колеблется от 0,45 до 0,55; минимальное содержание цемента – 270 кг; наименьший класс прочности бетона – С30/37.

МАТЕРИАЛЫ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Для исследований использованы цементы СЕМ I 42,5 N, СЕМ II / AS 42,5 N, СЕМ III 32,5 N; песок фракции 0/4 в соответствии с EN 12620; гранитный щебень фракции 2/8 и 11/16 в соответствии с EN 12620. Гранулометрический состав гранитного щебня представлен в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав гранитного щебня фракций 2/8 и 11/16

Сита, мм	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5
Просев через сито, % (фрак- ция, 2/8)	0,7	0	0	0	4	34,1	56,7	97,9	100	100
Просев через сито, % (фрак- ция, 11/16)	1,8	0	0	0	0	0	7	86,1	89,9	100

Суперпластификатор FLUXER GT3 – добавка на базе поликарбоксилатов, рекомендуемая для использования в товарном бетоне. Дозировка – от 0,4 до 1,8 кг на 100 кг цемента. Вода поставляется из системы водоснабжения и удовлетворяет требованиям EN 1008. С учетом требований стандартов подобран состав гидротехнического бетона. Проектный класс бетона по консистенции – S3 (EN 206-1; S3 – осадка конуса от 100 до 150 мм). Класс бетона по прочности – C35/45, проектная прочность бетона – 50 МПа.

В табл. 2 представлены составы бетонных смесей.

Таблица 2

Составы бетонных смесей гидротехнического бетона

Тип цемента	CEM I 42,5 N(MA)	CEM II A/S 42,5N	CEM III/B 32,5 N-H(SR)
Количество цемента, кг	433	433	515
Количество щебня фр.2/8, кг	411	411	411
Количество щебня фр. 11/16, кг	615	615	533
Количество песка, кг	754	754	754
Количество воды, кг	120	130	147
Количество пластификатора, кг	3,5	3,5	3,5
Количество воздуховлекающей добавки, кг	0,09	0,13	0,13
В/Ц	0,28	0,30	0,29

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

После испытания подвижности из бетонной смеси при помощи вибрации формовали образцы – кубы 100 × 100 × 100 мм. Образцы выдерживали в течение одного дня при нормальных условиях в металлических формах, 27 суток – в воде при температуре 20 °С. Подвижность бетонной смеси определили в соответствии с EN 12350-2, плотность – в соответствии с EN 12350-6, содержание воздуха

в смеси – в соответствии с EN 12350-7. Прочность образцов бетона на сжатие определяли в соответствии с EN 12390-3, а плотность – в соответствии с EN 12390-7.

Для испытания долговечности бетона в морской среде использовали специальную методику, основанную на способе исследования морозостойкости бетона в соответствии с CEN/TS 12390-9:2006. Образец бетона разрезали на две части и подвергали замораживанию и оттаиванию в солевом растворе, соответствующем химическому составу морской воды. Испытания проводили в соответствии со схемой и температурным режимом, приведенным на рис. 2.

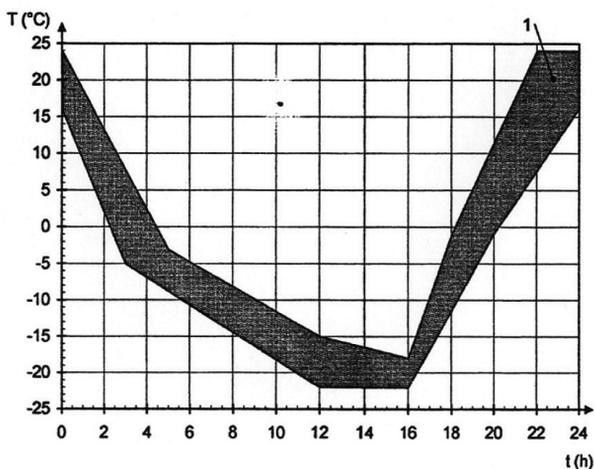
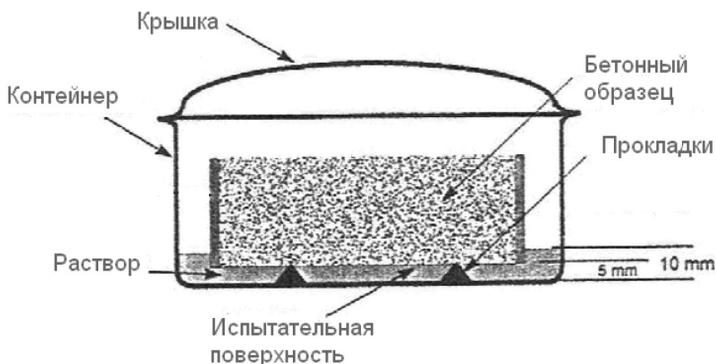


Рисунок 2. Схема метода замораживания и оттаивания и температурный режим

Исследование долговечности бетона в морской среде проводили в специальном контейнере с крышкой из коррозионно-стойкого к растворам солей материала. Подготовленные образцы были погружены в контейнер в раствор соли на 5 мм с расстоянием 5 мм от дна контейнера. Состав раствора соответствует химическому составу воды Балтийского моря: NaCl – 15,5 г; K₂SO₄ – 0,07 г; MgSO₄ · 7H₂O – 2,0 г на 1000 г раствора. Далее образцы подвергались циклическому замораживанию и оттаиванию по специальному режиму (один цикл в сутки). Каждые семь циклов проводились измерения потери массы каждого образца. Образцы рассматривались, фотографировалась их испытываемая поверхность.

Стойкость бетона к воздействию морской среды оценивали по потерям массы от испытываемой поверхности образца после применения циклов замораживания и оттаивания.

Другую половину образцов бетона наполовину погружали в раствор, повторяющий химический состав воды Балтийского моря, и испытывали капиллярное поглощение водяного раствора бетоном.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Свойства бетонных смесей с различными типами цементов представлены на рис. 3.

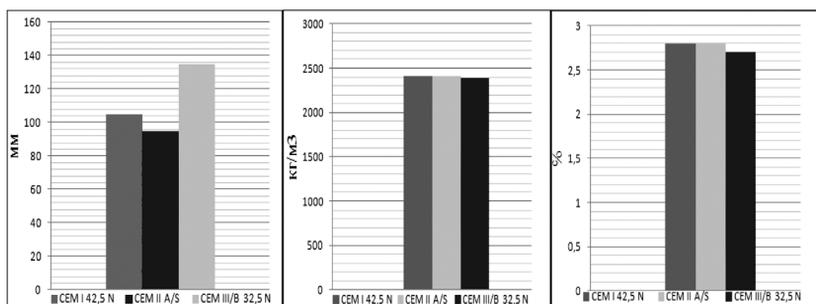


Рисунок 3. Подвижность, плотность и количество воздуха в бетонных смесях

Из графических данных (рис. 3) видно, что все бетонные смеси имели одинаковые технологические свойства. Подвижность смесей, содержащих в своем составе различные цементы, изменялась в диапазоне от 95 до 135 мм. Плотность бетонных смесей

изменялась в диапазоне от 2386 до 2416 кг/м³, содержание воздуха в бетонных смесях, содержащих в своем составе различные цементы, варьировалось от 2,7 до 2,8 %.

Результаты испытания бетона на капиллярное поглощение (высыхание) воды представлены на рис. 4, а потери массы от испытываемой поверхности при циклическом замораживании и оттаивании – на рис. 5. Результаты показывают, что бетоны с разными цементными имеют разные свойства капиллярного поглощения (высыхания) воды Балтийского моря. Капиллярное поглощение бетона с цементом СЕМ I 42,5 N на 85 % больше капиллярного поглощения воды цементными с добавкой доменного шлака СЕМ II А / S 42,5 и СЕМ III 32,5 N. Капиллярное поглощение бетона с цементом СЕМ I 42,5 N происходит в течение 14 суток, а высыхание с цементными с добавкой доменного шлака СЕМ II А / S 42,5 и СЕМ III 32,5 N – в течение 7 суток. Меньшее капиллярное поглощение бетона с цементными с добавкой доменного шлака объясняется уменьшением капиллярной пористости за счет пуццолановой реакции шлака в бетоне.

Из данных рис. 5 видно, что потеря массы от поверхности после 56 циклов замораживания и оттаивания в воде Балтийско-

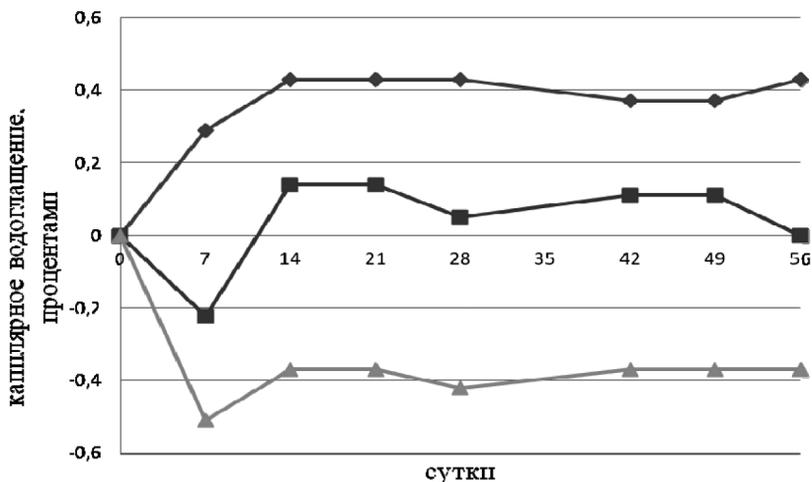


Рисунок 4. Капиллярное поглощение (высыхание) воды бетонов с разными цементными

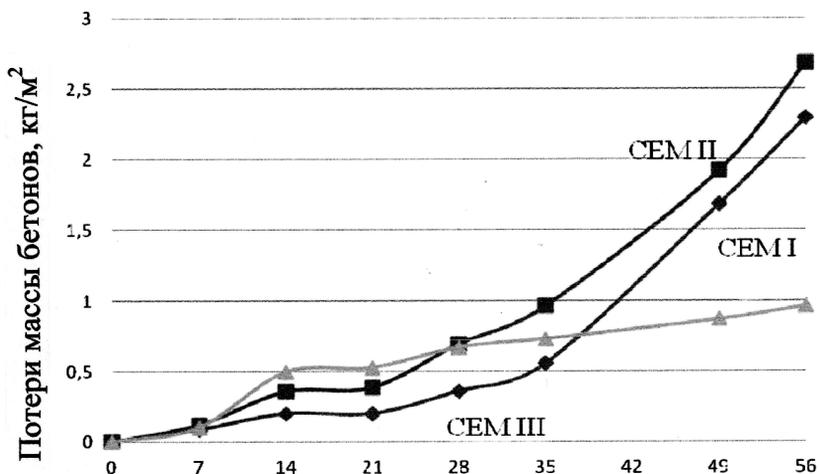


Рисунок 5. Потери массы бетонов с разными цементами после замораживания и оттаивания в воде Балтийского моря

го моря для бетона со шлаковым цементом (содержание шлака в цементе составляет более 65 %) в два с половиной раза меньше, чем для бетона, содержащего цемент без добавок (CEM I) и бетона, содержащего цемент с добавкой шлака до 20 % (CEM II). Фотографии испытываемой поверхности образцов после 56 циклов замораживания и оттаивания представлены на рис. 6–8.



Рисунок 6. Образцы с CEM I 42,5 N после 56 циклов замораживания и оттаивания в воде Балтийского моря



Рисунок 7. Образцы с СЕМ II A / S 42,5 N после 56 циклов замораживания и оттаивания в воде Балтийского моря



Рисунок 8. Образцы с СЕМ III / В 32,5 N после 56 циклов замораживания и оттаивания в воде Балтийского моря

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Бетоны, эксплуатируемые в морской среде, подвергаются комплексному воздействию окружающей среды, заключающемуся в карбонизации поверхности бетона, замораживании и оттаивании во влажном состоянии, воздействии хлоридов морской воды на коррозию арматуры, химическом воздействии солей в составе морской воды на бетон и абразивном воздействии морской воды на поверхность бетона.

2. Потребность в воде бетонных смесей, включающих цемент типа СЕМ II, примерно на 8,5% выше, включающих цемент типа СЕМ I, а с цементом типа СЕМ III – примерно на 22,5 % выше, чем с цементом типа СЕМ I. При использовании шлакового портландцемента (типа СЕМ II) и шлакового цемента (типа СЕМ III) необходимо увеличить содержание воды в вышеуказанных

значениях, что также увеличивает количество используемого цемента и стоимость бетона.

3. Подвижность бетонной смеси, плотность смеси и количество воздуха в бетонной смеси остается неизменным с изменением типа цемента (СЕМ I, СЕМ II или СЕМ III). При одинаковом водоцементном соотношении плотность и прочность на сжатие затвердевшего бетона с применением разных типов цемента остаются одинаковыми.

4. Бетоны, содержащие цементы с добавкой шлака, обладают меньшим капиллярным поглощением морской воды, чем бетоны с содержанием цемента без добавок (тип СЕМ I).

5. Долговечность бетона, эксплуатируемого в морской среде, можно оценивать по потерям массы бетонной поверхности, погруженной в раствор, повторяющий химический состав морской воды, с последующим воздействием циклического замораживания и оттаивания.

6. Потеря массы от поверхности бетона при циклическом замораживании и оттаивании зависит от типа используемого цемента. Самые большие потери массы происходят при использовании цемента типа СЕМ II А/С и цемента типа СЕМ I, меньшие потери массы наблюдаются при использовании цемента типа СЕМ III. Для изготовления высокоустойчивых к морской среде бетонов следует применять шлаковые цементы (тип СЕМ III).

Список использованных источников

1. Skripkiūnas G. Statybinių konglomeratų struktūra ir savybės. – KTU, 2007. – 329 c.
2. LST EN 206-1. Betonas. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis 2002. – 68 c.
3. Lebedeva R., Skripkiūnas G. Jūros vandens poveikis Klaipėdos uosto hidrotechninių statinių (betono) ilgaamžiškumui. Statybinės konstrukcijos ir technologijos. – VGTU, 2012. – 84 c.
4. Lebedeva R. Jūrinėje aplinkoje eksploatuoto hidrotechninio betono savybių analizė. Mokslas – Lietuvos ateitis. – VGTU, 2013. – 38 c.
5. P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro. Concrete, Microstructure, Properties, and Materials. 2008. – 644 c.
6. Vektaris B., Vilkas V. Betono tvarumas. Monografija. KTU. 2006. – 156 c.
7. Москвин, В. М., Иванов, Ф.М., Алексеев, С. Н., Гусев, Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы и защиты. – Москва. Стройиздат, 1980. – 536 с.

8. Jūrinių tyrimų centro ataskaitos. 1999–2011. – 642 c.
9. LST ISO 9297. Vandens kokybė. Chloridų kiekio nustatymas. – 2008. – 10 c.
10. Titravimas sidabro nitratu, vartojant chromato indikatorių (Moro metodas) (tapatus ISO 9297:1989). – 1989. – 11 c.
11. LST EN ISO 14911. Vandens kokybė. Ištirpusių Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} ir Ba^{2+} nustatymas jonų mainų chromatografija. Vandens ir nuotėkų tyrimo metodas (ISO 14911:1998). – 1998. – 8 c.
12. LST 1974. LST EN 206-1 taikymo taisyklės ir papildomieji nacionaliniai reikalavimai. – 2012. – 43 c.

Статья поступила в редколлегию 29.11.2013