

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/55SAVN120.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Щербань Е.М., Стельмах С.А., Павлов А.Е., Гереханов Х.В., Делов И.А., Яновская А.В. Некоторые аспекты выбора методики испытаний при определении морозостойкости центрифугированных бетонов // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/55SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Shcherban' E.M., Stel'makh S.A., Pavlov A.E., Gerehanov Kh.V., Delov I.A., Yanovskaya A.V. (2020). Some aspects of the choice of test methods for determining the frost resistance of centrifuged concretes. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/55SAVN120.pdf> (in Russian)

УДК 691

ГРНТИ 67.09.33

Щербань Евгений Михайлович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»
Кандидат технических наук
E-mail: au-geen@mail.ru

Стельмах Сергей Анатольевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Павлов Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: alex-pavlov22@mail.ru

Гереханов Харун Вахрсолтанович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: hv_gerehanov@yandex.ru

Делов Игорь Алиевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: i.delov@mail.ru

Яновская Алина Вадимовна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Магистрант
E-mail: kgweny@gmail.com

**Некоторые аспекты выбора методики
испытаний при определении морозостойкости
центрифугированных бетонов**

Аннотация. При выборе методики испытаний центрифугированных образцов на морозостойкость исходили из двух основных предпосылок. Во-первых, необходимо было смоделировать преобладающий фактор разрушения, действующий на конструкцию, применительно к реальным условиям ее эксплуатации в природных условиях. Во-вторых, испытания, учитывающие все существенные факторы работы конструкции в суровых климатических условиях, должны быть ускоренными для получения результатов в кратчайшие сроки и выработки на их основе рекомендаций, пригодных для практического использования. Испытания на циклическое замораживание и оттаивание производились в климатической камере СМ-60/75-250 ТХ. Центрифугированные образцы перед низкотемпературными испытаниями в течение 96 ч насыщались 5 % раствором хлористого натрия. Замораживание производилось в течение не менее 4 часов до достижения в середине стенки образца температуры -50°C , после чего образцы выдерживали в камере при отрицательной температуре в течение не менее 6 часов. Оттаивание образцов происходило в течение не менее 3,5 часов в 5 % растворе NaCl до температуры $+20^{\circ}\text{C}$. Для определения степени ускорения испытаний и влияния масштабного фактора проводились испытания на морозостойкость вибрированных кубов $100\times 100\times 100$ мм по первому методу ГОСТ 10060-2012, и вибрированных кубов размером $100\times 100\times 100$ мм по ускоренной методике. Для оценки деструкции центрифугированного бетона в ходе циклов замораживания и оттаивания применялся неразрушающий ультразвуковой импульсный метод. Испытания производились ультразвуковым прибором «Пульсар 2.2» методом сквозного прозвучивания центрифугированных образцов после их оттаивания. Уменьшение скорости ультразвука указывает на разрушение первоначальной структуры бетона, происходящее в результате возникновения и развития микротрещин под влиянием циклического замораживания и оттаивания.

Вклад авторов.

Щербань Евгений Михайлович – автор одобрил окончательную версию статьи перед ее подачей на публикацию.

Стельмах Сергей Анатольевич – автор осуществил написание статьи.

Павлов Александр Евгеньевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Гереханов Харун Вахрсолтанович – автор собрал, проанализировал и интерпретировал материал для статьи.

Делов Игорь Алиевич – автор оказывал участие при оформлении статьи.

Яновская Алина Вадимовна – автор осуществил написание статьи.

Ключевые слова: методика испытаний; центрифугированный бетон; долговечность; цикл замораживания и оттаивания; морозостойкость; ультразвуковой импульсный метод

Влияние низких температур на водонасыщенный железобетон довольно сложно и неоднозначно, о чем и говорит ряд работ с экспериментально-теоретическими исследованиями. Из-за физической неоднородности бетона, а также бетона и стали возникает температурно-напряженное состояние, ускоряющее снижение сопротивляемости материалов силовым воздействиям при определенных условиях [1; 2].

Методологический подход к изучению и повышению морозостойкости железобетонных конструкций, разработанный Ф.М. Ивановым [3; 4], заключается в рассмотрении процессов, происходящих в железобетонной конструкции при замораживании и оттаивании, с учетом различий в процессах и действующих факторах на разных уровнях сложности структуры материала. Известно, что цементный камень – основной структурный элемент бетона –

является капиллярно-пористым материалом с химически активной поверхностью, поэтому можно отметить несколько уровней сложности структуры железобетона: атомно-молекулярный, первичные кристалло-аморфные частицы, бетон, железобетонные конструкции.

На атомно-молекулярном уровне преобладают и исследуются соответствующими методами химические свойства материала. На следующем уровне преобладают свойства, зависящие от характеристик поверхности твердой фазы, на третьем уровне основные свойствами являются характеристики поровой структуры и зависящие от нее параметры (например, проницаемость бетона). На последнем уровне преобладают новые влияющие характеристики – форма конструкции, масса и армирование, которые в том числе влияют и на ее морозостойкость. Определяя свойства железобетонных конструкций, необходимо учитывать напряженные состояния бетона и арматуры, а также их совместную работу.

При замораживании бетона в насыщенном водой состоянии разрушающая сила определяется структурой и объемом пор в материале (уровень сложности – бетон), а сопротивление материала нагрузкам зависит от его деформативности и прочности (уровни сложности – первичные кристалло-аморфные частицы и бетон). Сравнивая эти характеристики, можно оценить морозостойкость бетона в целом [3; 4].

Исследования морозостойкости железобетонных конструкций (последний уровень сложности) показали, что на данном уровне сопротивление действию циклов замораживания и оттаивания зависит от анизотропности бетона, различий в характеристиках стали и бетона, распределения температурных полей и напряжений в бетоне конструкции, однородности бетона, то есть специфичных для последнего уровня сложности факторов [3; 4].

Требуемую морозостойкость при сохранении высокой прочности железобетонных конструкций можно достичь при помощи технологических приемов, таких как состав бетона, режим формования, химические добавки, формирующих пористость бетона, а также используя приемы конструктивного характера (армирование, геометрия сечения и так далее). На практике необходимо добиваться перераспределения усилий между арматурой и бетоном, способствующего сохранению несущей способности конструкции во время проектного срока службы в условиях одновременного воздействия эксплуатационных нагрузок, циклов попеременного замораживания и оттаивания, а также периодического увлажнения и высушивания [3; 4].

Наличие в структуре бетона определенного объема пор, не заполненных водой, способствует сопротивляемости материала разрушению при многократном замораживании и оттаивании в насыщенном водой состоянии. Эти поры способствуют резкому уменьшению давления на стенки пор и капилляров, наполняясь водой при замораживании под действием увеличивающихся кристаллов льда.

Некоторую роль в изменениях в структуре бетона при многократном попеременном замораживании и оттаивании играют и температурные деформации таких составляющих как заполнитель и цементный камень, вызывая таким образом появление напряжений в материале. Как показали исследования Н.А. Попова [5] эта роль проявляется при скачках температуры от положительных значений до отрицательных, что может привести к резкому ускорению процесса разрушения бетона.

Давление, возникающее в порах материала вследствие увеличения объема замерзшей воды, способствует возникновению деформаций бетона в целом. При достижении определенных напряжений структура может разорваться в отдельных наиболее нагруженных микрообъемах. В этом случае возникающая деформация может служить внешним признаком разрушающего эффекта.

Приведенные сведения о причинах возникновения дефектов в структуре бетона при многократном попеременном замораживании и оттаивании не противоречат известным представлениям о причинных и феноменологических аспектах (по А.М. Подвальному) механизма разрушения бетона. Вместе с тем оценивать разрушающий эффект попеременного замораживания и оттаивания в производственных условиях можно и по внешнему фактору накопления необратимых деформаций, что в свою очередь отражает степень повреждения структуры бетона или других пористых материалов. В связи с этим изучению свойств бетона при попеременном замораживании и оттаивании всегда отводилась большая роль [6].

Морозостойкость центрифугированных конструкций также зависит от особенностей их формирования. Для того, чтобы анализировать возможные процессы, зарождающиеся при взаимодействии окружающей среды и материала конструкций, необходимо знать параметры этой среды, агрессивные по отношению к железобетону, а также характеристики бетонов и арматуры различных видов и составов, их поведение при различных окружающих условиях [7].

В развитии методов повышения долговечности железобетонных конструкций в агрессивных внешних условиях на первый план выходит повышение стойкости бетона и его защитных свойств по отношению к арматуре (так называемые методы первичной защиты). Для железобетона же, эксплуатируемого в сильноагрессивных средах, используются методы вторичной защиты, то есть защита поверхностей пленочными покрытиями для изоляции конструкций от внешней среды.

Выбор методики испытаний на морозостойкость центрифугированных образцов основывался на двух аспектах.

Во-первых, необходимо было воспроизвести преобладающий фактор разрушения, действующий на железобетонную конструкцию, в приближении к реальным условиям ее эксплуатации.

Во-вторых, испытания образцов центрифугированного бетона, воспроизводящие все весомые факторы работы конструкции в реальных климатических условиях, должны быть ускоренными для получения результатов в кратчайшие сроки и составления на их основе рекомендаций, актуальных для практического использования.

Для решения первой задачи воспроизводились условия эксплуатации надземной части центрифугированных стоек линий электропередачи, технологических эстакад, свай-оболочек в зоне контакта данных конструкций с грунтом верхнего слоя в условиях вечной мерзлоты, для которых характерны суровые климатические и специфические грунтово-геологические условия.

По данным О.И. Матвеевой [8] при данных условиях количество переходов температуры воздуха и поверхности грунта через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет соответственно 56,7 и 81 переходов в год, а через $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 3,8 и 11,8 переходов. В перерасчете по методике И.З. Актуганова [9] это соответствует 107 циклам по стандартной методике испытаний по ГОСТ 10060-2012. Помимо суточных колебаний температуры воздуха, происходящих в грунте на глубине 40–60 см, в этом поверхностном слое наблюдается также существенная миграция солей в грунтах и грунтовых водах и основным видом засоленности является хлоридно-сульфатно-натриевый.

Испытания на циклическое замораживание и оттаивание производились в климатической камере СМ-60/75-250 ТХ, позволяющей поддерживать температуру от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Центрифугированные образцы перед низкотемпературными испытаниями в течение 96 ч насыщались 5 % раствором хлористого натрия (образцы погружали в раствор хлорида натрия на 1/3 их высоты на 24 часа, затем уровень раствора повышали до 2/3 высоты образцов и выдерживали в таком состоянии еще 24 часа, после чего образцы полностью погружали в раствор на 48 часов так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее

чем на 20 мм). Замораживание производилось в течение не менее 4 часов до достижения в середине стенки образца температуры -50°C , после чего образцы выдерживали в камере при отрицательной температуре в течение не менее 6 часов. Оттаивание образцов происходило в течение не менее 3,5 часов в 5 % растворе NaCl до температуры $+20^{\circ}\text{C}$. Определение температуры в бетоне во время испытания осуществлялось при помощи 6 хромель-копелевых термопар, установленных по толщине стенки. Запись показаний производилась автоматическим потенциометром.

Ускоренное разрушение бетона под действием отрицательных температур и раствора хлористого натрия концентрации 5 % достигалось за счет усиления действия хлористого натрия на цементный камень и микрокапилляры структуры, и в итоге физических явлений, возникавших при оттаивании солевого раствора, учитывая, что морозостойкость проверялась при замораживании образцов до -50°C [3; 8]. Чтобы не допустить самозалечивания центрифугированного бетона при долгом оттаивании на воздухе или в растворе хлористого натрия, была предусмотрено достаточно длительное выдерживание образцов при отрицательной температуре в климатической камере, что ускорило испытания [10].

При данном режиме в течение суток осуществлялся один цикл испытаний.

Для определения влияния масштабного фактора и степени ускорения испытаний проводилось исследование морозостойкости вибрированных кубов $100\times 100\times 100$ мм по первому методу и вибрированных кубов размером $100\times 100\times 100$ мм по ускоренному третьему методу по ГОСТ 10060-2012.

Для оценки деструктивных процессов в центрифугированном бетоне в ходе испытаний на морозостойкость применялся ультразвуковой импульсный метод неразрушающего контроля. Испытания проводились при помощи ультразвукового прибора «Пульсар 2.2» методом сквозного прозвучивания центрифугированных образцов после их оттаивания и достижения ими постоянной температуры $+15^{\circ}\text{C}$. Для получения достоверных результатов испытания производились в 9–12 точках [11; 12].

Уменьшение скорости ультразвука свидетельствует о разрушении первоначальной структуры бетона, происходящем вследствие развития микротрещин в результате попеременного замораживания и оттаивания.

Морозостойкость по сумме остаточных деформаций фиксировалась за счет замоноличенных в стенку элементов реперов. После каждого цикла показания регистрировались мобильной мессурой с базой 300 мм и ценой деления 0,01 мм.

Через каждые пять циклов образцы каждой серии подвергались испытаниям на осевое сжатие до разрушения по методикам ГОСТ 10180-2012 и ГОСТ 28570-2019 [13–15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гузеев Е.А., Пинус Б.И. Оценка надежности железобетонных конструкций при низких температурах // Бетон и железобетон, 1984, № 10. С. 9–10.
2. Пинус Б.И. Обеспечение долговечности железобетонных конструкций при низкотемпературных воздействиях: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М., 1987. 44 с.
3. Иванов Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии. М.: Транспорт, 1969. 135 с.

4. Иванов Ф.М. Исследование морозостойкости бетона. Защита от коррозии строительных конструкций и повышение их долговечности. М.: НИИЖБ, 1969. С. 109–115.
5. Попов Н.А., Горчаков Г.И., Лифанов И.И. Температурные деформации цементно-песчаного раствора при замерзании и оттаивании // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. Новосибирск, 1962. № 1.
6. Невский В.А. Усталость и деформативность бетона: Монография. М.: Вузовская книга, 2012. 264 с.
7. Иванов Ф.М. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
8. Матвеева О.И. Бетоны, стойкие в агрессивных мерзлотных условиях (на примере Центральной Якутии): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Якутск, 1987. 25 с.
9. Актуганов И.З. Исследование климатических воздействий на конструкции фундаментов зданий и сооружений, возведенных и эксплуатируемых в Якутской АССР: Отчет о НИР (заключит.) Новосибирск: НИИЖТ, 1985. 56 с.
10. Иванов Ф.М., Поляков Б.И. Самозалечивание и стойкость гидротехнического бетона // Гидротехническое строительство. 1974. № 9. С. 32–35.
11. Леонович С.Н., Зикеев Л.Н. Долговечность центрифугированных железобетонных стоек. Обзорная информация. М.: Информэнерго, 1991. 64 с.
12. Леонович С.Н. Прочность, деформативность и трещиностойкость центрифугированных железобетонных элементов кольцевого сечения при циклическом замораживании и оттаивании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1989. 24 с.
13. Щуцкий В.Л., Стельмах С.А., Насевич А.С., Щербань Е.М., Эдигер В.В., Игнатьева И.Ю. Исследование зависимости некоторых физико-механических характеристик и показателей долговечности тяжелых бетонов от вида технологии их получения // Вестник Евразийской науки, 2019, № 3 URL: esj.today/PDF/31SAVN319.pdf.
14. Чернильник А.А., Доценко Н.А., Щербань Е.М., Стельмах С.А., Онищук М.И., Шелковский П.Е. Анализ эксплуатационных факторов, влияющих на долговечность центрифугированных железобетонных изделий и конструкций // Вестник Евразийской науки, 2019, № 3 URL: esj.today/PDF/54SAVN319.pdf.
15. Чернильник А.А., Шакая Д.Р., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Доценко Н.А., Максименко Н.А. Актуальность применения полых железобетонных свай и исследование способов повышения их эксплуатационных характеристик // Вестник Евразийской науки, 2019 № 2, <https://esj.today/PDF/28SAVN219.pdf>.

Shcherban' Evgenii Mikhailovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: au-geen@mail.ru

Stel'makh Sergei Anatol'evich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: sergej.stelmax@mail.ru

Pavlov Aleksandr Evgen'evich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: alex-pavlov22@mail.ru

Gerehanov Kharun Vakhsoltanovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: hv_gerehanov@yandex.ru

Delov Igor' Alievich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: i.delov@mail.ru

Yanovskaya Alina Vadimovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: kgweny@gmail.com

Some aspects of the choice of test methods for determining the frost resistance of centrifuged concretes

Abstract. When choosing a method for testing centrifuged samples for frost resistance, two main assumptions were used. First, it was necessary to simulate the prevailing factor of destruction acting on the structure, in relation to the actual conditions of its operation in natural conditions. Secondly, tests that take into account all the essential factors of the structure's operation in harsh climatic conditions should be accelerated in order to obtain results as soon as possible and develop recommendations based on them that are suitable for practical use. Tests for cyclic freezing and thawing were performed in the climate chamber SM-60/75-250 TX. The centrifuged samples were saturated with 5 % sodium chloride solution for 96 hours before low-temperature tests. Freezing was performed for at least 4 hours until a temperature of $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ was reached in the middle of the sample wall, after which the samples were kept in the chamber at a negative temperature for at least 6 hours. The samples were thawed for at least 3.5 hours in a 5 % NaCl solution to a temperature of $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. To determine the degree of the acceleration test and the scale effects were tested for frost resistance vibrated cubes $100\times 100\times 100\text{ mm}$ by the first method GOST 10060-2012 and vibrated cubes of size $100\times 100\times 100\text{ mm}$ under the accelerated method. A non-destructive ultrasonic pulse method was used to evaluate the destruction of centrifuged concrete during freezing and thawing cycles. The tests were performed using the pulsar 2.2 ultrasonic device using the method of end-to-end sounding of the centrifuged samples after they were thawed. Reducing the speed of ultrasound indicates the destruction of the original structure of concrete, which occurs as a result of the occurrence and development of microcracks under the influence of cyclic freezing and thawing.

Keywords: test method; centrifuged concrete; durability; freezing and thawing cycle; frost resistance; ultrasonic pulse method