

УДК 699.8
[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-78-87](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-78-87)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА С ЦЕЛЬЮ КОРРЕКТИРОВКИ СТАНДАРТА ГОСТ 10060-2012

STUDY OF FROST RESISTANCE OF CONCRETE IN ORDER TO ADJUST THE STANDARD GOST 10060-2012

В. Ф. СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, проф.
 Г. В. ЧЕХНИЙ, канд. техн. наук
 И. М. ПАРШИНА
 С. А. ОРЕХОВ

Опыт применения стандарта 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» показывает необходимость корректировки методов определения морозостойкости бетона. На основании выполненных в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева исследований морозостойкости бетона третьим ускоренным методом по ГОСТ 10060 получены экспериментальные данные по уточнению режима замораживания-оттаивания бетонных образцов и критерия оценки морозостойкости по скорости ультразвука.

Ключевые слова:

Бетон, замораживание-оттаивание, критерий оценки морозостойкости, морозостойкость

Experience in applying the standard 10060-2012 'Concrete. Methods for determining frost resistance' shows the need to adjust the methods for determining frost resistance of concrete. Based on the performed by NIIZHB named after A.A. Gvozdev of research on frost resistance of concrete by the third accelerated method of GOST 10060, experimental data were obtained to clarify the freeze-thaw regime of concrete samples and the criterion for evaluating frost resistance by ultrasound speed.

Keywords:

Concrete, frost resistance, the criterion of frost resistance, freezing-thawing

Исследования морозостойкости бетона наиболее активно в нашей стране выполняли в 1960-1980-е годы. В исследованиях морозостойкости бетона участвовали НИИЖБ, ЦНИИС, ВНИИГ им. Веденеева, ЛИИЖТ, НИИЖТ, СоюздорНИИ, МИСИ им. В.В. Куйбышева, НИС Гидропроекта и многие другие организации. В последнее время объем исследований

морозостойкости бетона значительно сократился. Ушли из жизни ученые, внесшие большой вклад в исследование морозостойкости и коррозионной стойкости бетона: С.Н. Алексеев, В.И. Бабушкин, В.Г. Батраков, В.С. Гладков, Г.И. Горчаков, Ф.М. Иванов, О.В. Кунцевич, В.М. Москвин, А.М. Подвальный, В.Б. Ратинов, С.В. Шестоперов и многие другие. В последние десятилетия сильно сократилось число лабораторий, занимающихся исследованиями морозостойкости бетона, практически прекратилось финансирование этого направления исследований, большинство оставшихся лабораторий не имеет современного приборного оснащения. Однако проблема морозостойкости бетона остается актуальной. Это подтверждается тем, что методы испытаний бетона на морозостойкость, отраженные в ГОСТ 10060-2012 [1], пересматриваются при каждом переиздании стандарта, а требования к морозостойкости бетона в нормативных документах на отдельные виды сооружений всё более ужесточаются.

Методы испытаний бетона на морозостойкость в большей или меньшей степени отражают реальные условия работы конструкций [2, 3].

Морозостойкость бетона согласно ГОСТ 10060 измеряется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы бетона без существенного изменения прочности. Единицей измерения морозостойкости является стандартный цикл замораживания и оттаивания. Условность такой единицы измерения несомненна, и ее применение требует проведения испытания в строго нормируемых условиях.

Опыт применения стандарта 10060 показывает, что различные подходы к методике проведения испытаний бетона на морозостойкость могут стать причиной недостоверной оценки качества бетона и, как следствие, могут привести к снижению безопасности объектов строительства.

Возникает необходимость определенной корректировки стандарта, которая должна выполняться с учетом отечественных и зарубежных исследований, нормативных технических документов, затрагивающих методологию проведения испытаний по определению морозостойкости бетона, выполнения дополнительных исследований.

Актуальность и значимость дополнительных исследований обусловлена, с одной стороны, появлением полифункциональных бетонов, а с другой стороны – расширением областей их применения. На сегодня перед исследователями стоят задачи как совершенствования существующих методов, регламентируемых ГОСТ 10060, так и разработки новых, учитывающих специфику работы бетона в конструкциях различного назначения.

В действующем ГОСТ 10060 режим замораживания-оттаивания по третьему методу включает в себя время понижения температуры в камере до минус 50 °С, выдержку образцов при этой температуре в камере в течение не менее 2,5 ч и затем время оттаивания, в течение которого температуру в камере повышают до минус 10 °С в течение (1,5+0,5) ч, после чего образцы размерами 100×100×100 мм оттаивают в растворе хлорида натрия с температурой (20+2) °С в течение не менее 2,5 ч, образцы размерами 150×150×150 мм – в течение не менее 3,5 ч.

Степень повреждения бетона при замораживании зависит от степени его водонасыщения. Эта зависимость определяется не только общим объемом пор, насыщаемых водой, но и их размером, формой, проницаемостью поровой структуры для воды и воздуха. От того, какой была степень водонасыщения бетона в период первого замораживания и с какой скоростью она увеличивается при повторных циклах замораживания и оттаивания, зависит бо́льшая или меньшая морозостойкость бетона [4, 5].

В исследованиях по морозостойкости [6], когда лишь приступали к нормированию проницаемости и морозостойкости бетона, отмечалось, что насыщение бетона водой происходит после нескольких суток. Согласно ГОСТ 10060 насыщать бетонные образцы перед замораживанием следует в течение 4 суток. В настоящее время, когда активно применяются эффективные водоредуцирующие добавки, изготавливаются бетоны высоких марок по водонепроницаемости – W10 и более. Насыщение таких бетонов водой происходит весьма медленно, центральная часть образцов может оставаться неводонасыщенной даже к концу испытаний бетона на морозостойкость, что приводит к завышенным показателям морозостойкости бетона.

Согласно ГОСТ 10060 базовыми и ускоренными методами морозостойкость бетона определяется на изготовленных бетонных образцах размерами $100 \times 100 \times 100$ мм и $150 \times 150 \times 150$ мм и рекомендуемыми методами по Приложению А – на изготовленных, а также выбуренных из конструкций бетонных образцах размерами $100 \times 100 \times 300$ (400) мм или на кернах диаметром от 60 до 150 мм и высотой 1-4 диаметра керна.

Термометрическими исследованиями 2018 г. [7] установлено, что при испытании образцов различного вида и размера согласно требованиям базовых и рекомендуемых методов ГОСТ 10060 нарушается стандартный режим замораживания и промерзания бетона, что в ряде случаев приводит к получению завышенных характеристик морозостойкости. Так, время промерзания бетона в образцах размерами $100 \times 100 \times 100$ мм до температуры минус 50°C примерно на 2 ч больше, а в образцах размерами $100 \times 100 \times 300$ мм – на 4 ч больше, чем показания температуры минус 50°C в климатической камере.

Известно, что от скорости замораживания бетона зависит степень морозного повреждения бетона [8, 9]. При быстром замораживании затруднен отток воды через капилляры из зоны замерзания, что повышает гидравлическое давление и ускоряет разрушение бетона. Однако в действующем ГОСТ 10060 не указана продолжительность замораживания бетонных образцов при испытании на морозостойкость третьим методом.

В НИИЖБ выполнена работа с целью уточнения режима понижения температуры до минус 50°C при испытании по ускоренному третьему методу.

Для контроля изменения прочности и массы бетона в процессе испытания на морозостойкость изготовлены образцы-кубы размерами $100 \times 100 \times 100$ мм, для контроля скорости ультразвука и массы изготовлены образцы-призмы размерами $100 \times 100 \times 300$ мм и образцы-цилиндры диаметром 100 мм и высотой 300 мм. Образцы-цилиндры выбуривали из предварительно изготовленных бетонных блоков. Класс бетона по прочности на сжатие B35. Ориентировочная марка бетона по морозостойкости F₁₄₀₀.

Температуру контролировали с помощью прибора «Термоизмеритель ТМ-12.2», предназначенного для измерения температуры контактным способом с помощью термометров сопротивления (ТС), которые были установлены в бетонные образцы, в емкости для замораживания с 5%-ным раствором хлорида натрия (вблизи образцов), в центре климатической камеры.

С учетом ранее выполненных работ и ограничением продолжительности цикла замораживания-оттаивания рабочим временем выбраны периоды замораживания бетонных образцов от температуры 20°C до температуры минус 50°C , равными 3 и 1,5 ч.

Термометрическими определениями установлено следующее. В опыте № 1 с образцами размерами $100 \times 100 \times 100$ мм достижение температуры воздуха минус 50°C в климатической

камере отмечено через 3 ч, а в бетонном образце и растворе – через 6,0 ч. В опыте № 2 температура воздуха в камере понизилась до минус 50°C через 1,5 ч, в бетонном образце и растворе температура минус 50°C зафиксирована через 4 ч. Таким образом, промерзание бетона до заданной температуры достигается на 2,5–3,0 ч позднее, чем выход камеры на рабочий режим – температуру воздуха минус 50°C . В опытах №3 и №4 при замораживании образцов-призм размерами $100 \times 100 \times 300$ мм и образцов-цилиндров диаметром 100 мм, высотой 300 мм в течение 1,5 ч по показаниям климатической камеры получено, что промерзание бетона в указанных образцах до заданной температуры достигается на 4,5–5,0 ч позднее, чем выход климатической камеры на рабочий режим – температуру минус 50°C (рис.1).

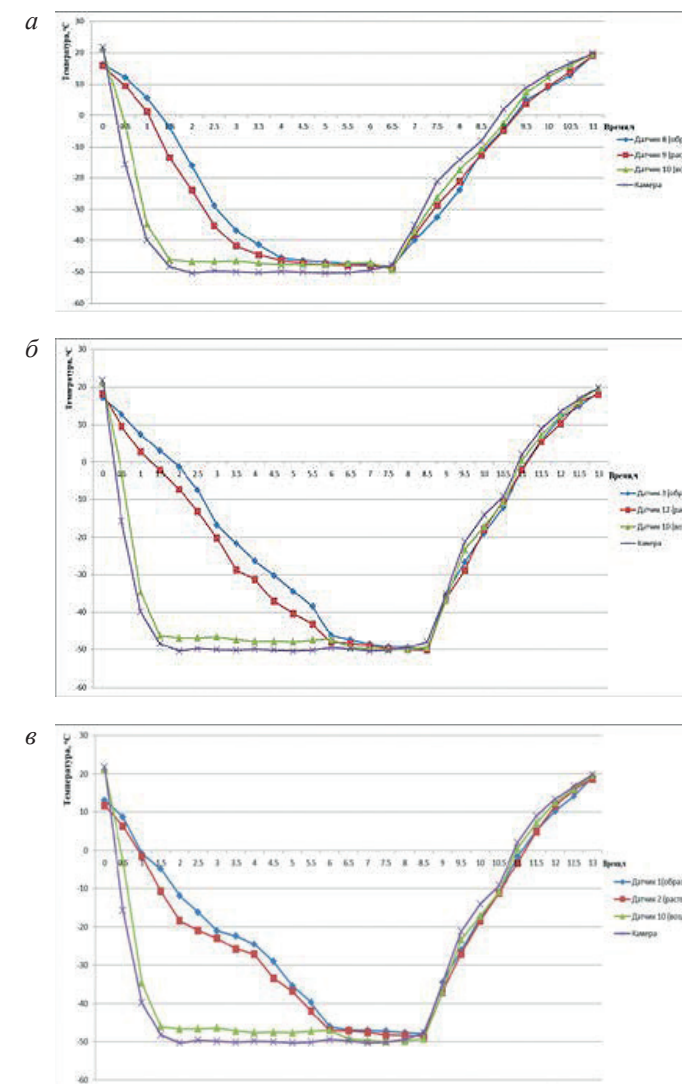


Рис. 1. Графики замораживания-оттаивания образцов различного вида и размера: а – образцы размерами $100 \times 100 \times 100$ мм; б – образцы размерами $100 \times 100 \times 300$ мм; в – образцы диаметром 100 мм и высотой 300 мм

Анализ полученных результатов показал, что время замораживания испытуемых образцов зависит от их вида и размера, а также от степени загрузки и характеристик климатической камеры. В наших испытаниях с образцами размерами 100×100×100 мм время понижения температуры от 20 до минус 50 °С по датчикам, установленным в бетоне/растворе, составило 4 ч. Время замораживания образцов размерами, превышающими размеры куба 100×100×100 мм, следует увеличивать до времени установления температуры минус 50 °С в емкости с раствором 5%-ного хлорида натрия вблизи образца. Показания термометров сопротивления в растворе (вблизи образца) и в бетоне примерно одинаковы и, учитывая простоту замера температуры в растворе, в дальнейшем можно ориентироваться на замеры температуры в 5%-ном растворе хлорида натрия вблизи образца в кассете, расположенной в центре климатической камеры.

Допускаемая скорость понижения температуры в 5%-ном растворе хлорида натрия должна быть не более 15–17 °С/ч. Загрузка камеры не должна превышать 50% ее полезного объема. При реализации цикла замораживания и оттаивания в процессе определения морозостойкости бетона по ГОСТ 10060 необходимо в испытании гарантировать, что действительная температура в образцах будет соответствовать заданной стандартом.

Опыт применения стандарта ГОСТ 10060 показал, что в некоторых случаях значения морозостойкости, найденные различными методами, не совпадают. Исследовательские работы, выполненные в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, выявили ряд причин этого несоответствия. Например, при испытаниях на морозостойкость ультразвуковым методом разрушенная под воздействием циклов замораживания-оттаивания поверхность бетонных образцов затрудняет качественный контакт ультразвуковых датчиков с бетоном [10].

Выполнены определения морозостойкости ускоренным третьим методом по изменению прочностных свойств и параллельно ультразвуковым методом согласно приложению А ГОСТ 10060. Образцы размерами 100×100×100 мм испытаны по режиму третьего метода 4 ч + 2,5 ч + 2,0 ч + 2,5 ч (замораживание+ выдержка+ повышение температуры+ оттаивание) с контролем температуры по датчикам в 5%-ном растворе хлорида натрия. Образцы размерами 100×100×300 мм и диаметром 100 мм, высотой 300 мм испытаны на морозостойкость по режиму 6 ч + 2,5 ч + 2,0 ч + 2,5 ч (замораживание+ выдержка+ повышение температуры+ оттаивание).

Определение скорости ультразвука выполнено с помощью ультразвукового прибора Pundit Lab. Предыдущие исследования по определению скорости прохождения ультразвука выполнены с помощью стандартных преобразователей 54 кГц и специальной смазки, рекомендуемой разработчиком прибора (рис. 2).



Рис. 2. Стандартные преобразователи 54 кГц, рекомендуемые разработчиком прибора для определения скорости прохождения ультразвука

В описываемом исследовании использованы экспоненциальные преобразователи 54 кГц, предназначенные для работы на грубых поверхностях, без применения контактной жидкости (рис. 3). Скорость ультразвука в серии из 6 образцов определена как среднее арифметическое по четырем наибольшим значениям.



Рис. 3. Выполнение определений скорости прохождения ультразвука с помощью экспоненциальных преобразователей 54 кГц, предназначенных для работы на грубых поверхностях и без применения контактной жидкости

Марка бетона по морозостойкости при испытании бетонных образцов размерами 100×100×100 мм с контролем прочности на сжатие составила F₄₀₀ по расчету ГОСТ 10060 (табл. 1). На бетонных образцах после 12 циклов замораживания-оттаивания отмечено шелушение бетона, при этом масса образцов уменьшилась на 0,43% от исходной величины. После 15 циклов замораживания-оттаивания прочность бетона упала ниже допустимого значения, соотношение $X_{min}^{II} \geq 0,9X_{min}^I$ не сохраняется, потеря массы составляет 0,95%.

Таблица 1

Результаты испытания образцов на прочность при сжатии в процессе определения морозостойкости бетона по режиму испытания (4 ч + 2,5 ч + 2,0 ч + 2,5 ч)

№№ образцов	Прочность контрольных образцов, МПа	Прочность основных образцов, МПа, после замораживания-оттаивания, циклы				
		3	5	8	12	15
1	53,9	49,4	50,9	49,1	53,1	
2	54,1	52,3	51,2	54,7	47,2	
3	56,0	54,0	48,9	47,4	50,6	
4	49,5	50,8	49,7	49,9	46,8	
5	52,6	49,6	54,0	50,6	49,4	
6	55,0	53,1	52,4	46,5	48,7	
Результаты расчета марки бетона по морозостойкости по ГОСТ 10060–2012						

Показатель	Значение показателей	
	контрольных образцов	основных образцов
12ЦЗО		
X_{cp}^I , МПа	53,5	-
σ_n^I , МПа	2,27	-
X_{cp}^{II} , МПа	-	49,3
σ_n^{II} , МПа	-	2,33
V, %	4,2	4,7
X_{min}^I , МПа*	47,7	-
$0,9X_{min}^I$, МПа	42,9	-
X_{min}^{II} , МПа**	-	43,3
$X_{min}^{II} \geq 0,9X_{min}^I$	43,3 ≥ 42,9	
Δm, %	-0,43	
15ЦЗО		
X_{cp}^I , МПа	53,5	-
σ_n^I , МПа	2,27	-
X_{cp}^{II} , МПа	-	48,2
σ_n^{II} , МПа	-	2,6
V, %	4,2	5,4
X_{min}^I , МПа*	47,7	-
$0,9X_{min}^I$, МПа	42,9	-
X_{min}^{II} , МПа**	-	41,5
$X_{min}^{II} \geq 0,9X_{min}^I$	41,5 < 42,9	
Δm, %	-0,95	

*Значение нижней границы доверительного интервала для контрольных образцов.

**Значение нижней границы доверительного интервала для основных образцов.

Марка бетона по морозостойкости при испытании бетонных образцов размерами 100×100×300 мм и цилиндров с диаметром 100 мм, высотой 300 мм с контролем скорости ультразвука составила более F1400 (рис. 4). После 15 циклов замораживания-оттаивания снижение скорости ультразвука составило 4,7...5,1% при критическом нормируемом значении 15%.

Таким образом, исследования морозостойкости по режиму ускоренного третьего метода в 5%-ном растворе хлорида натрия показали отсутствие корреляции при испытании бетонных образцов на морозостойкость с контролем прочности и параллельно – ультразвуковым методом с контролем скорости ультразвука при сквозном продольном прозвучивании. Ультразвуковой метод завышает морозостойкость бетона.

Выполненные исследования показали необходимость корректировки критерия по оценке скорости ультразвука при определении морозостойкости бетона, например, понизив нормативное значение данного показателя с 15 до 5%.

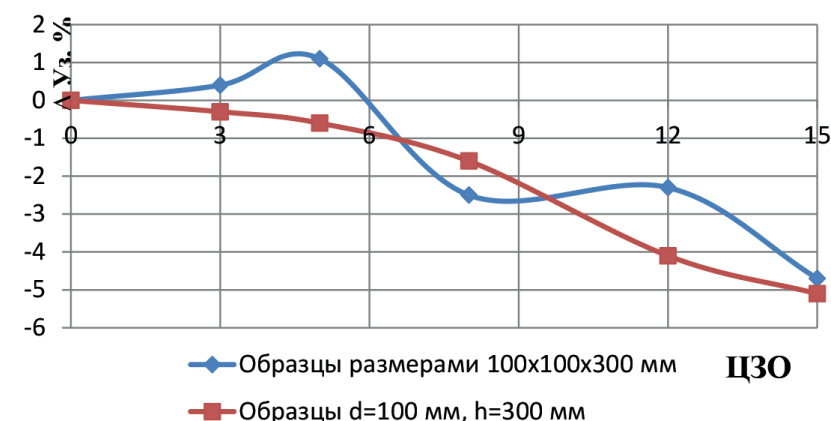


Рис. 4. Изменение скорости ультразвука при испытании на морозостойкость по третьему ускоренному методу

Режим оттаивания (время выдерживания образцов в ванне для оттаивания и температура раствора), приведенный в действующем ГОСТ 10060, обеспечивает оттаивание образцов различного вида и размеров. В проведенных опытах после оттаивания в течение 2,5 ч температура бетона в образцах-кубах размерами 100×100×100 мм, призмах размерами 100×100×300 мм, а также цилиндрах диаметром 100 мм, высотой 300 мм соответствовала 20 °С.

Выводы

Опыт применения стандарта ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» указывает на необходимость его корректировки. Стандарт актуализирован на основе ГОСТ 10060-95, который разрабатывался с учетом результатов исследований 80-х и 90-х годов. Наименьшая проницаемость бетона обеспечивалась маркой по водонепроницаемости W8 как для бетонов особо низкой проницаемости. В настоящее время, когда стало технологически возможным получать бетоны марками по водонепроницаемости W10-W20, методы определения морозостойкости бетона должны быть уточнены и скорректированы на основе дополнительных исследований морозостойкости высокопрочных, полифункциональных бетонов повышенной морозостойкости.

Целью выполняемых НИИЖБ им. А.А. Гвоздева исследовательских работ по морозостойкости бетона является подготовка к пересмотру стандарта ГОСТ 10060 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». Полученные результаты по уточнению режима замораживания-оттаивания по третьему ускоренному методу стандарта и критерия оценки морозостойкости по скорости ультразвука при сквозном продольном прозвучивании могут быть положены в основу предполагаемых уточнений и изменений стандарта. Исследования морозостойкости бетона следует продолжить с целью установления надежной корреляции между снижением прочности и скоростью прохождения ультразвука и уточнения критерия на большой выборке составов бетонов с использованием экспоненциальных преобразователей. Решение о включении испытания по снижению скорости ультразвука в базовые методы может быть принято по мере накопления экспериментальных данных и уточнения данных по замораживанию образцов различных размеров.

Список литературы

1. ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости.
2. Чернышов Е.М. Морозная деструкция бетонов. Часть 1. Механизм, критериальные условия управления // Строительные материалы. 2017, Сентябрь.- С. 40-46.
3. Леонович С.Н., Зайцев Ю.В., Доркин В.В. [и др.]. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и влажностных воздействиях. – М.: Инфра-М, 2019. – 258 с.
4. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры С., Шисль П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М. Стройиздат. 1990. – 316 с.
5. Иванов Ф.М. Исследование морозостойкости бетона // Защита коррозии строительных конструкций и повышение долговечности. – М.: НИИЖБ, 1969. – С. 109-115.
6. Москвин В.М., Капкин М.М., Мазур Б.М., Подвальный А.М. Стойкость бетона и железобетона при отрицательной температуре. – М.: Стройиздат, 1967. – 132 с.
7. Степанова В.Ф., Розенталь Н.К., Чехний Г.В. [и др.]. Исследование морозостойкости бетона с целью уточнения методов определения его морозостойкости/морозосолеустойкости // Вестник НИЦ «Строительство». 2020. №1. С. 108-117.
8. Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов. – М.: Госстройиздат, 1951.– 175 с.
9. Субботкин М.И., Ливчак Т.Н. Морозостойкость естественных каменных материалов / Сб.: Каменные конструкции. – М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1955. – 240 с.
10. Отчет по теме «Исследование морозостойкости/морозосолеустойкости бетона с целью уточнения методов определения морозостойкости и параметров бетонов повышенной морозостойкости и подготовка предложения для пересмотра ГОСТ 10060-2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости». № госрегистрации АААА-А18-118070590111-2.- НИИЖБ, М., 2018 г.

Информация об авторах/Information about authors

Валентина Федоровна СТЕПАНОВА, д-р техн. наук, проф., заведующий лабораторией коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Valentina STEPANOVA, D. Sci (Engineering), Full Prof., Head of Laboratory for corrosion and durability of structural concrete, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow.

e-mail: vfstepanova@mail.ru

Галина Васильевна ЧЕХНИЙ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва.

Galina CHEHNIY, Ph.D. (Engineering), Leading researcher of Laboratory of corrosion and durability of structural concrete, NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow.

e-mail: chehniy@mail.ru

Ирина Михайловна ПАРШИНА, научный сотрудник, инженер лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Irina PARSHINA, researcher, engineer of the Laboratory for corrosion and durability of concrete and reinforced concrete structures of NIIZHB named after A.A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow.

e-mail: parchina.i@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-76-97

Сергей Александрович ОРЕХОВ, научный сотрудник, инженер лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва.

Sergey OREHOV, researcher, engineer of the Laboratory for corrosion and durability of concrete and reinforced concrete structures of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: sirius_m16@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-76-97