

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАСЫЩЕНИЯ И ВЫСУШИВАНИЯ В РАСТВОРАХ СОЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА

А. А. ЧУЙКО¹, С. Н. КОВШАР²

¹магистр, инженер, «Научно-исследовательская и испытательная лаборатория бетона и строительных материалов»,

²к.т.н., доцент кафедры «Строительные материалы и технология строительства»
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье предоставлены результаты исследования влияния циклического насыщения и высушивания 5 и 10 % растворов хлористого натрия (NaCl), раствора сульфата натрия (Na_2SO_4) на прочность бетонных образцов, изготовленных из двух контрольных составов. Приведена информация о применяемых сырьевых компонентах и отражены их основные технические характеристики. Предоставлена информация о режиме циклирования. Отмечены накопительные кристаллизационные процессы в порах бетона вызванные воздействием растворов солей. Приведены таблицы и графики, отражающие динамику потери прочности и увеличения массы бетонных образцов. Отмечены перспективные направления для продолжения исследовательского процесса в области морозостойкости и солестойкости бетона. Обозначена актуальность проведенной работы с точки зрения развития испытательной методологии на территории Республики Беларусь.

Ключевые слова: бетон, прочность, морозостойкость, солестойкость, коррозионная стойкость, экспериментальные исследования, методика ускоренной оценки морозостойкости.

INFLUENCE OF CYCLIC SATURATION AND DRYING IN SOLUTIONS OF SALT ON THE STRENGTH OF CONCRETE

A. A. CHUIKO¹, S. N. KOVSHAR²

¹master, engineer, «Research and testing laboratory for concrete and building materials»,

²PhD in engineering, associate professor, Department «Building materials and construction technology»

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The article presents the results of a study of the effect of cyclic saturation and drying of 5 and 10 % solutions of sodium chloride (NaCl), sodium sulfate solution (Na_2SO_4) on the strength of concrete samples made from two control compositions. Information about the raw materials used is provided and their main technical characteristics are reflected. Information about the cycling mode is provided. Accumulative crystallization processes in concrete pores caused by exposure to salt solutions are noted. Tables and graphs reflecting the dynamics of strength loss and weight increase of concrete samples are given. Promising directions for the continuation of the research process in the field of frost resistance and salt resistance of concrete are noted. The relevance of the work carried out from the point of view of the development of testing methodology in the territory of the Republic of Belarus is indicated.

Keywords: concrete, strength, frost resistance, salt resistance, corrosion resistance, experimental studies, methods of accelerated assessment of frost resistance.

Введение.

В настоящее время мировая наука воспринимает вопрос морозостойкости бетона ограничиваясь процессами его замораживания и оттаивания. Основные методы испытаний бетона на морозостойкость так же базируются на них. При этом фактор высушивания бетона в результате морозного солевого воздействия исключен, однако в реальных условиях имеет большую актуальность в дорожном строительстве. Учитывая развитие отрасли и недостатки существую-

ших методик оценки морозостойкости бетонов (сроки испытаний, стоимость низкотемпературных климатических камер, специфическая подготовка образцов, большие энерго и трудозатраты и т. д.) встала необходимость исследований направленных на развитие испытательной методологии морозостойкости и солестойкости бетона.

Основные результаты исследований образцов бетона при циклическом насыщении и высушивании в 5 % растворе хлористого натрия.

При проведении исследований в качестве критерия, способного интегрально оценить изменение механических характеристик бетона при циклических воздействиях была принята прочность образцов на сжатие. Также дополнительно производилось взвешивание образцов после каждого цикла высушивания для наблюдения динамики кристаллизации солей в порах бетона. Прочность бетонных образцов на сжатие косвенно отражает процессы, происходящие в структуре материала при циклических воздействиях, а также является основной характеристикой, по изменению которой судят о морозостойкости или коррозионной стойкости материала.

Для проведения исследований были изготовлены две серии образцов кубов с ребром 100 мм, при этом были обеспечены их идентичные условия формования и выдерживания до испытаний. Перед испытаниями образцы выдерживались в условиях нормально-влажностного твердения в течении 28 суток.

С целью применения в перспективе экспериментальных данных текущего исследования в разработке методики ускоренной оценки морозостойкости бетона анализу подлежали 10 циклов насыщения высушивания.

Один цикл насыщения высушивания включал:

- насыщение образцов в солевом растворе с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ – 16 часов;
- сушка образцов при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ – 7 часов;
- часовая выдержка на воздухе при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

После выдержки образцы взвешивались и подвергались испытанию на сжатие по [1]

В качестве солевых растворов для исследования были приняты 5 и 10 % растворы хлористого натрия (NaCl), раствор сульфата натрия (Na_2SO_4)

В табл. 1 и 2 приведена информация о применяемых в рамках исследования вяжущих материалах.

Таблица 1 – Вид вяжущих, завод-поставщик

Маркировка	Завод изготовитель, вид и марка вяжущего	Минералогический состав, % по массе			
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Ц-1	ОАО «Красносельскстрой-материалы» ПЦ-500-Д0-Н ГОСТ 10178-85	56,2	20,5	6,4	14,5
Ц-2	ОАО «Белорусский цементный завод», ПЦ ЦЕМ I 42,5Н ДП ГОСТ 33174-2014	63,8	14,4	5,7	13,8

Таблица 2 – Характеристики применяемых вяжущих

Маркировка	Истинная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Нормальная густота, %	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$	Предел прочности, МПа	
				на изгиб	на сжатие
Ц-1	3180	28,5	318,0	6,14	54,7
Ц-2	3120	27,0	332,0	8,1	50,8

В качестве мелкого заполнителя был принят песок II класса для строительных работ по [2]. Паспортные характеристики применяемых типов мелких заполнителей приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Характеристики применяемого мелкого заполнителя

Маркировка	Место нахождения карьера	Модуль крупности, Мк	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	Насыпная плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Содержание глины в комках, % г	Полный остаток на сите 0,63, %
П-1 «Пасека1»	г. Любань	2,6	3	1500	0,5	45,3
П-2 «Понизовское»	г. Логойск	2,78	1,2	1600	0,1	58,2

Крупный заполнитель – щебень из плотных горных пород для строительных работ производства РУП «Гранит» по [3]. Паспортные характеристики заполнителя приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Характеристики применяемого крупного заполнителя

Маркировка	Зерновой состав, полные остатки на ситах, % по массе				Насыпная плотность, кг/м ³	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы, %	Содержание зерен слабых пород, %	Содержание глины в комках, % Г	Марка по морозостойкости
	1.25D	D	0,5(d + D)	d					
Щ-1	0	3,14	54,57	97,56	1400	22,5	1,6	0	F300
Щ-2	0	5,13	49,48	97,04	1410	20,2	1,5	0	F300

Образцы изготавливали из смеси компонентов с водоцементными отношениями 0,49; и 0,65. Бетонную смесь в формах уплотняли на лабораторной виброплощадке. Составы и характеристики применяемых бетонных смесей приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5 – Составы применяемых бетонных смесей

Маркировка	Расход составляющих на 1 м ³ бетонной смеси, кг			
	цемент	песок	щебень	вода
1	350	710	1100	170
2	260	850	1160	170

Таблица 6 – Характеристики применяемых бетонных смесей

Маркировка	Маркировка вяжущего (табл. 1)	Маркировка мелкого заполнителя (табл. 3)	Маркировка крупного заполнителя (табл. 4)	Марка по подвижност и	Плотность бетонной смеси, кг/м ³
1	Щ-1	П-1	Щ-1	П1	2330
2	Щ-2	П-2	Щ-2	П1	2440

Результаты испытаний образцов состава № 1 в 5 % растворе хлористого натрия приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Результаты испытаний образцов состава № 1 в 5 % растворе хлористого натрия

	Плотность контрольных образцов, кг/м ³	Предел прочности при сжатии R, МПа через					
		Контр.	2 цикла	4 цикла	6 циклов	8 циклов	10 циклов
Образец 1	2479	41,5	40,3	41,3	39,0	40,2	38,7
Образец 2	2451	39,0	39,1	39,0	40,1	40,2	39,3
Образец 3	2462	38,2	38,8	38,4	38,2	38,9	39,6
Образец 4	2460	39,8	38,7	39,2	38,1	39,3	38,1
Образец 5	2474	37,8	38,1	37,7	38,0	37,7	37,2
Образец 6	2477	37,7	37,6	35,7	37,3	38,2	34,0
Среднее *	2467	39,3	39,2	39,5	38,9	39,7	38,9
Потеря прочности, %	–	–	0,25	–	1,02	–	1,02

Динамика потери прочности отражена на рис. 1.

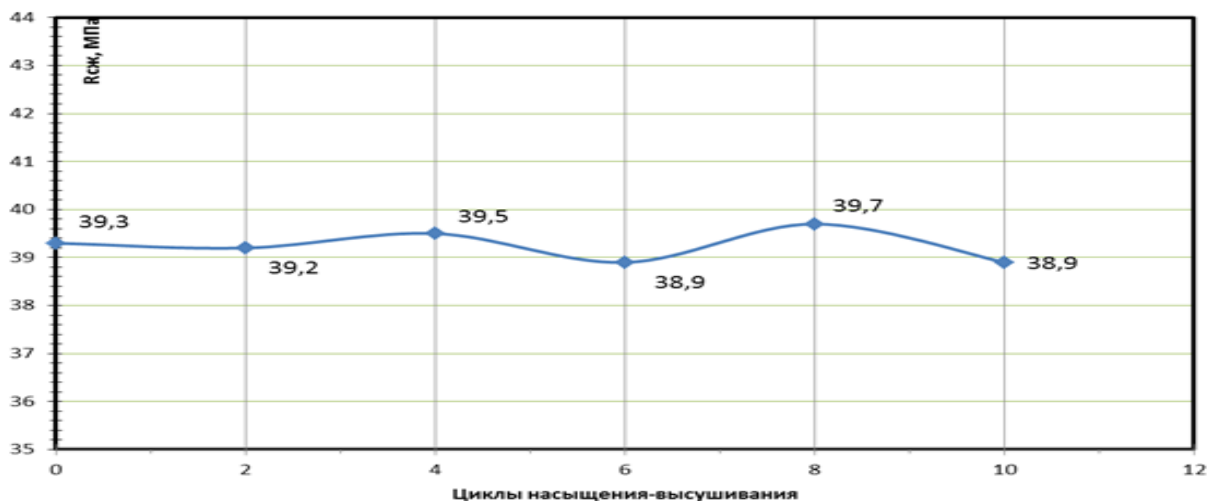


Рисунок 1 – Динамика потери прочности образцов бетона состава № 1 в 5 % растворе хлористого натрия

Основные результаты исследований образцов бетона при циклическом насыщении и высушивании в 10 % растворе хлористого натрия.

Результаты испытаний образцов состава № 1 в 10 % растворе хлористого натрия приведены в табл. 8.

Таблица 8 – Результаты испытаний образцов состава № 1 в 10 % растворе хлористого натрия

	Плотность контрольных образцов , кг/м ³	Предел прочности при сжатии R, МПа через					
		Контр.	2 цикла	4 цикла	6 циклов	8 Циклов	10 циклов
Образец 1	2473	40,8	41,1	40,8	38,9	40,0	40,2
Образец 2	2457	39,7	40,2	40,1	39,7	39,4	38,5
Образец 3	2441	38,7	39,5	39,1	39,8	37,8	39,0
Образец 4	2482	39,4	38,8	39,1	39,1	38,4	38,4
Образец 5	2469	38,9	38,6	38,7	37,4	37,6	36,7
Образец 6	2471	39,1	38,7	38,2	37,6	37,3	37,5
Среднее *	2466	39,7	39,9	39,8	39,4	38,9	39,0
Потеря прочности, %	–	–	–	–	0,76	2,02	1,76

Динамика потери прочности отражена на рис. 2.

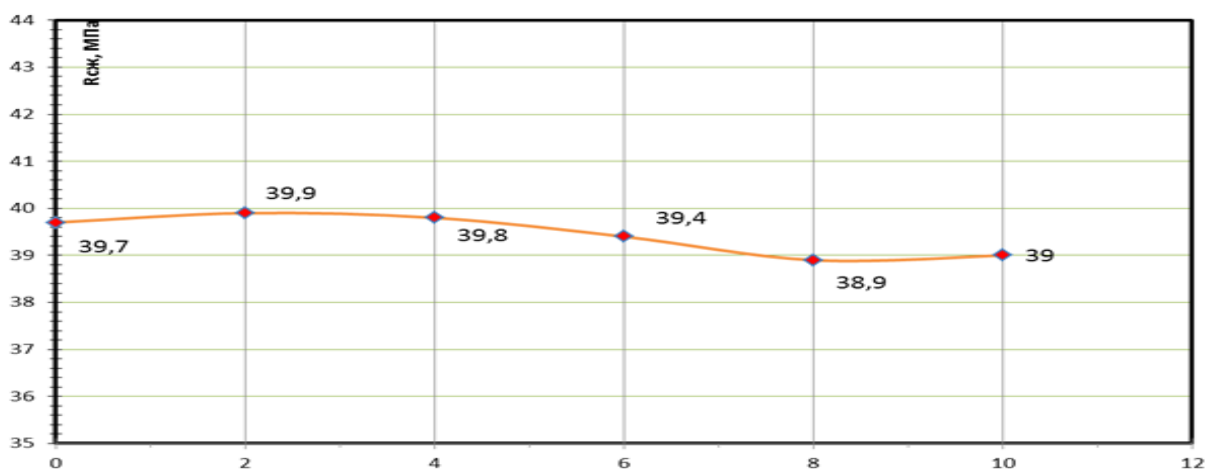


Рисунок 2 – Динамика потери прочности образцов бетона состава № 1 в 10 % растворе хлористого натрия

Ввиду отсутствия видимых закономерностей изменения прочности и как следствие – бесперспективности исследования для разработки новой методики ускоренной оценки морозостойкости бетона, исследования в 5 % и 10 % растворах хлористого натрия были прекращены.

Основные результаты исследований образцов бетона при циклическом насыщении и высушивании в насыщенном растворе сульфата натрия.

Результаты испытаний образцов состава № 1 в насыщенном растворе сульфата натрия приведены в табл. 9.

Таблица 9 – Результаты испытаний образцов состава № 1 в растворе сульфата натрия

	Плотность контрольных образцов, кг/м ³	Предел прочности при сжатии R, Мпа через					
		Контр.	2 цикла	4 цикла	6 циклов	8 циклов	10 циклов
Образец 1	2461	41,2	38,8	38,2	32,2	29,4	29,4
Образец 2	2474	39,2	39,5	38,8	32,2	30,1	29,6
Образец 3	2444	38,9	38,6	39,1	31,5	30,5	28,8
Образец 4	2482	38,5	39,5	37,4	31,8	29,2	30,0
Образец 5	2463	37,8	38,4	37,2	30,4	27,6	25,3
Образец 6	2468	38,3	37,9	37,1	30,8	28,8	28,2
Среднее*	2465	39,5	39,1	38,4	31,9	29,8	29,5
Потеря прочности, %	–	–	1,01	2,78	19,24	24,56	25,32

Динамика потери прочности отражена на рис. 3.

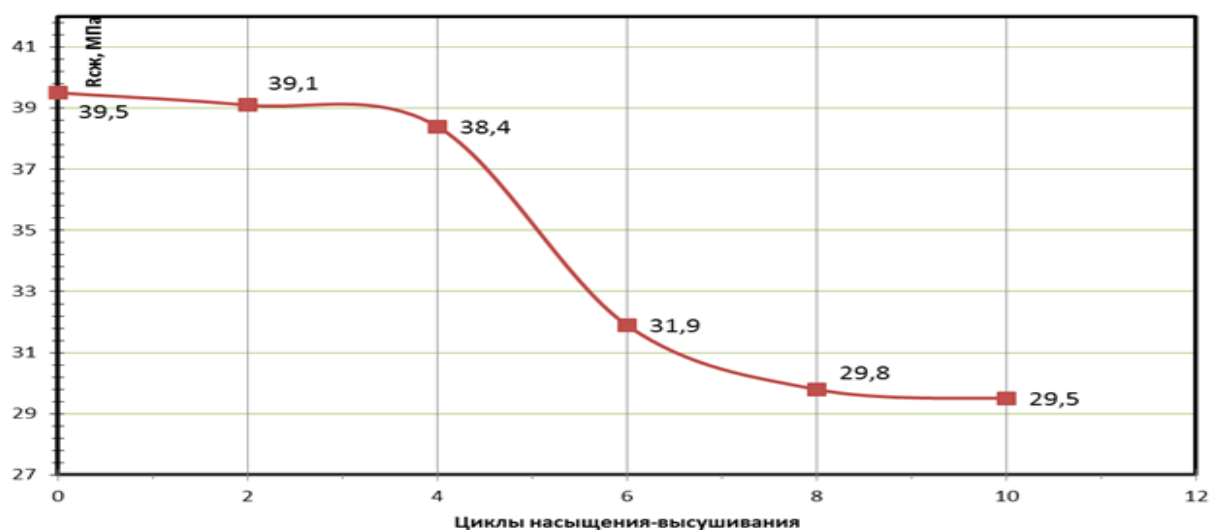


Рисунок 3 – Динамика потери прочности образцов бетона состава № 1 в насыщенном растворе сульфата натрия

С целью отслеживания эффекта кристаллизации солей в порах бетона образцы взвешивались после каждого высушивания. Усредненные результаты изменения массы приведены в табл. 10.

Таблица 10 – Усредненные значения изменения масс образцов при испытании состава № 1

	Масса высушенного образца, г через										
	К.	1 ц	2 ц	3 ц	4 ц	5 ц	6 ц	7 ц	8 ц	9 ц	10 ц
Изм. массы, %*	0	1,59	1,84	2,09	2,21	2,34	2,49	2,83	2,47	2,38	2,26

Результаты испытаний образцов состава № 2 в насыщенном растворе сульфата натрия приведены в табл. 11.

Таблица 11 – Результаты испытаний образцов состава № 2 растворе сульфата натрия

	Плотность контрольных образцов, кг/м ³	Предел прочности при сжатии R, Мпа через					
		Контр.	2 цикла	4 Цикла	6 циклов	8 циклов	10 циклов
Образец 1	2452	24,4	23,2	22,4	16,9	8,5	7,7
Образец 2	2451	24,5	22,5	21,2	16,2	9,6	8,5
Образец 3	2439	23,5	23,1	22,0	17,1	9,1	8,1
Образец 4	2452	23,2	22,4	22,1	16,3	9,5	7,6
Образец 5	2423	20,7	21,0	19,7	14,2	6,9	6,9
Образец 6	2471	23,0	20,8	18,2	15,0	7,2	6,6
Среднее*	2448	23,9	22,8	21,9	16,6	9,2	8,0
Потеря прочности, %	–	–	4,6	8,4	30,5	61,5	66,5

Динамика потери прочности отражена на рис. 4.

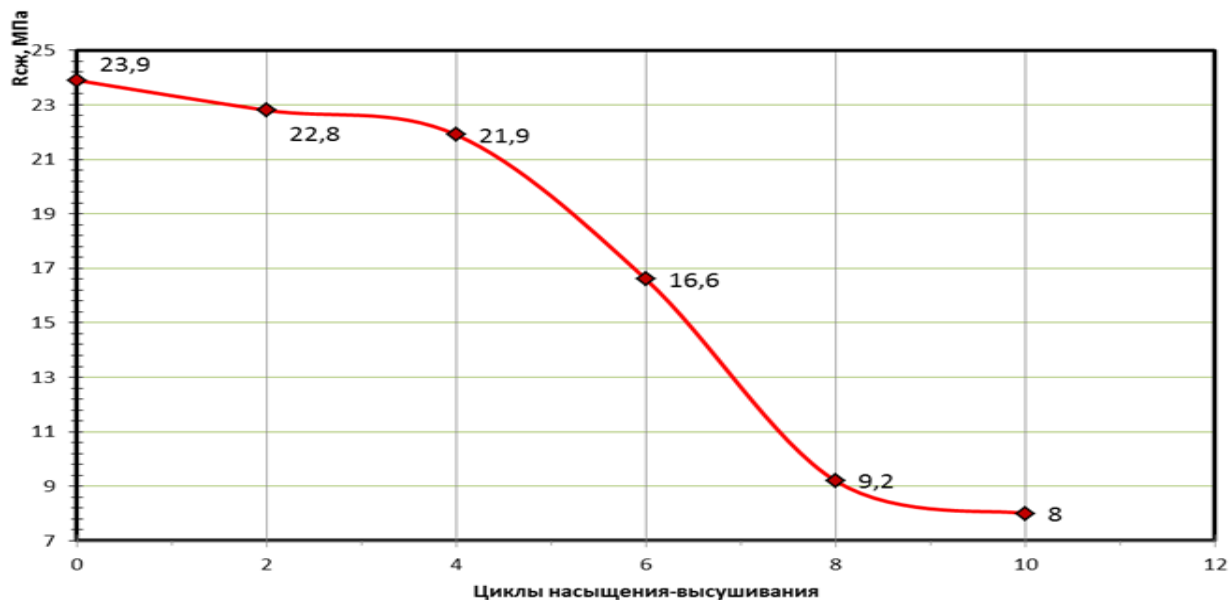


Рисунок 4 – Динамика потери прочности образцов бетона состава № 2 в насыщенном растворе сульфата натрия

Усредненные результаты изменения массы приведены в табл. 12.

Таблица 12 – Усредненные значения изменения масс образцов при испытании состава № 2

	Масса высушенного образца, г, через										
	К.	1 ц	2 ц	3 ц	4 ц	5 ц	6 ц	7 ц	8 ц	9 ц	10 ц
Изм. массы, %*	0	0,86	1,41	1,22	0,55	-0,47	-2,63	-6,50	-7,60	-6,27	-8,13

Динамика потери прочности образцов бетона при испытании насыщением высушиваем в растворе сульфата натрия отображена на рис. 5.

Выводы.

1. Насыщение и высушивание образцов бетона в 5 % и 10 % растворах хлористого натрия (NaCl) не показало закономерной динамики потери прочности образцов. Разумеется, нельзя

отрицать возможность более выраженного разрушающего воздействия при продолжительном циклировании. Однако перспективность данного исследования заключается в разработке ускоренной методики морозостойкости и солестойкости бетона, поэтому исследованию подлежали 10 циклов.

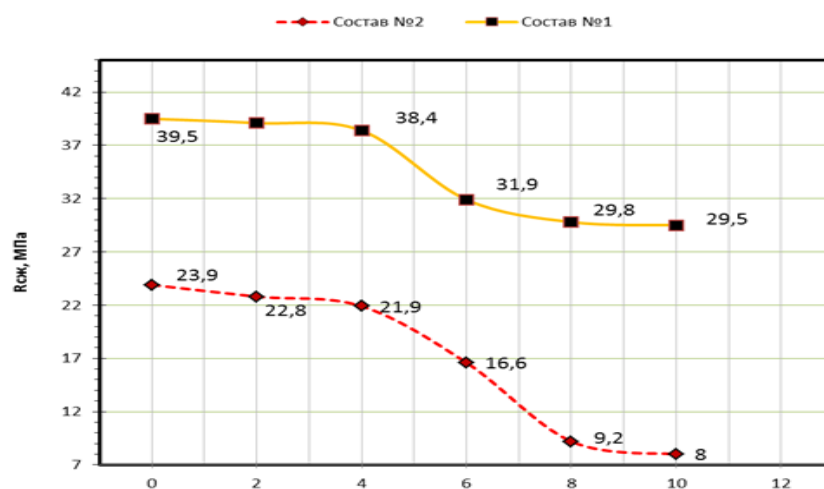


Рисунок 5 – Динамика потери прочности при насыщении высушивании составов № 1 и № 2 в растворе сульфата натрия

2. Насыщение и высушивание образцов в растворе сульфата натрия (Na_2SO_4) привело к процессам разрушения в структуре бетона и как следствие – потере прочности в двух исследуемых составах № 1 и № 2. Испытания в данной среде методом насыщения и высушивания могут быть применимы для разработки новой методики ускоренной оценки морозостойкости бетона.

3. Потеря прочности образцов в модельной среде Na_2SO_4 объяснима коррозионными процессами, возникающими в структуре бетона в результате агрессивного воздействия соли. При этом лимитирующей является коррозия третьего вида, связанная с образованием новообразований в порах бетона: кристаллов соли, которые по мере накопления способствуют созданию дополнительных внутренних напряжений, приводящих к появлению трещин и разрушению бетона.

В настоящий момент авторами проводятся дополнительные исследования по разработке новой методики ускоренной оценки морозостойкости бетона, используя экспериментальные данные результатов исследования насыщения и высушивания образцов бетона в растворе сульфата натрия.

Литература:

1. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Введ 01.02.2016. – Минск: Госстандарт, 2015. – 29 с.
2. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736-2014. – Введ 01.04.2017. – Минск: Госстандарт, 2017. – 8 с.
3. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний : ГОСТ 8269.0-97. – Введ 01.01.1999. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 1999. – 60 с.

References:

1. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrolnym obrazcam: GOST 10180-2012. – Vved 01.02.2016. – Minsk: Gosstandart, 2015. – 29 p. (rus)
2. Pesok dlya stroitelnyh работ. Tekhnicheskie usloviya: GOST 8736-2014. – Vved 01.04.2017. – Minsk: Gosstandart, 2017. – 8p. (rus)
3. Shcheben i gravij iz plotnyh gornyh porod i othodov promyshlennogo proizvodstva dlya stroitelnyh работ. Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy : GOST 8269.0-97. – Vved 01.01.1999. – Minsk: Minstrojarkhitektury RB, 1999. – 60 p. (rus)