

ВОДО-, СОЛЕСТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИОННОГО БЕТОНА НА ЗАПОЛНИТЕЛЕ, ОБОГАЩЕННОМ ГРАНИТНЫМ ОТСЕВОМ

Федорович П.Л., магистр технических наук, инженер (БНТУ)

Аннотация. В статье приведены данные результатов исследований применения переработанного гранитного отсева (побочного продукта от дробления горной породы при производстве крупного заполнителя для бетона) в качестве укрупняющих фракций мелкого заполнителя с целью улучшения его гранулометрического состава и повышения эксплуатационных свойств бетона на его основе.

Введение. В процессе эксплуатации строительные конструкции нулевого цикла зданий и сооружений – элементов их фундаментов, гидротехнических сооружений – набережных, водопропусков и пр., дорожных покрытий, тротуаров, площадей и пр., выполненных из изделий и конструкций изготовленных или устроенных (возведенных) из цементного бетона, постоянно подвергаются попеременному увлажнению-высушиванию, т.е. циклическим воздействиям водной или солевой среды. Этот процесс формируется под влиянием природных условий (грунтовые воды и растворы солей) или искусственно – за счет активного использования солей – антиобледенителей. Устойчивость бетона при этом воздействии предопределяется его непроницаемостью для агрессивных реагентов, растворенных в воде [1-6]. В свою очередь, непроницаемость тяжелого бетона, связанная с объемом и строением капиллярной пористости его структуры, непосредственно зависит от рационального зернового состава заполнителей. Для бетона на гранитном щебне это в большей степени относится к зерновому составу мелкого заполнителя.

Для Республики Беларусь характерно использование природного песка, зерновой состав которого во многих регионах характеризуется модулем крупности $M_k < 1,5$ дол. ед., что приводит к перерасходу цемента и снижению качества (росту проницаемости) бетона. Выходом из положения может быть совместное использование местного (дешевого но мелкозернистого) материала и крупных ($\geq 0,5$ мм) фракций гранитного отсева РУПП «Гранит». Обогащенный ими мелкий заполнитель, приготовленный в соотношении, обеспечивающим рациональный зерновой состав, минимальную пустотность, обеспечивает существенный рост прочностных и эксплуатационных характеристик бетона при минимизации расхода цемента. Снижение при этом пористости и проницаемости бетона обеспечивает рост его устойчивости при воздействии агрессивных сред.

Методика исследований. Наиболее характерной для Беларуси агрессивной средой в процессе эксплуатации бетонных и железобетонных изделий и конструкций являются соли, содержащие ион хлора.

Преимущественно – это NaCl и KCl, используемые в качестве антиобледенителей в зимний период, присутствующие в грунтовых водах и представляющие серьезную опасность с позиций обеспечения надежности и долговечности строительных конструкций.

Водо-, солестойкость бетона исследовали по изменению прочности и массы образцов в процессе испытаний (таблицы 1, 2 и 3).

Режим одного цикла (один раз в сутки) составлял высушивание образцов при температуре в сушильном шкафу $t \sim 60^\circ\text{C}$ в течение 7-8 ч и последующее насыщение в воде при водостойкости и 5-% растворе NaCl при солестойкости при $t = (15-18)^\circ\text{C}$ (в ванне с погружением образцов не менее, чем на 50 мм под уровнем раствора) в течение 16-17 ч.

Образцы бетона (кубы с ребром 100 мм) после изготовления пропаривали по режиму: предварительная выдержка – 2 ч; подъем температуры за 3 ч до $t \sim 80^\circ\text{C}$: изотермический прогрев – 6 ч; остывание в камере 10 ч и после распалубки – 3 ч, после чего их подвергали испытаниям.

Изменения массы образцов определяли через 5 и 20 циклов, испытаний. Прочность бетона определяли в насыщенном жидкостью состоянии через 10 и 20 циклов испытаний.

С целью ускорения процесса деструкции бетона при испытаниях на солестойкость и сокращения времени проведения эксперимента образцы бетона после высушивания не охлаждали, а помещали в раствор разогретыми. В этом случае имеет место резкое охлаждение наружных слоев бетона и в них возникают значительные растягивающие усилия. Многократное повторение резкого охлаждения образцов сопровождается образованием и развитием трещин с поверхности бетона и ускорением процесса его деструкции, усиливая эффект от воздействия накапливающейся в порах бетона кристаллов соли.

Водо-, солестойкость бетона при циклических испытаниях. Данные о кинетике изменений прочности бетона в процессе испытаний приведены в таблице 1 и 3, а в таблицах 2 и 4 приведены результаты параллельного определения изменения массы образцов после насыщения (водой либо раствором соли) в процессе испытаний.

Изменение массы образцов после водонасыщения в процессе испытаний отражает кинетику изменений количества поглощаемой (высушиваемой) бетоном воды в пределах одного цикла. По существу эти данные характеризуют процесс изменений капиллярной пористости бетона в ходе испытаний под действием разрушающих структуру бетона факторов: миграции жидкости, деформаций от перепада температур при высушивании ($t_{\text{возд.}} \sim 60^\circ\text{C}$) – насыщении ($t_{\text{H}_2\text{O}} \sim (15-18)^\circ\text{C}$), усиленного тем, что образцы не охлаждали после сушки [7], а помещали в относительно холодную воду сразу, полностью погружая их (т.е. создавая объемно-напряженное состояние из-за «термического удара»).

В случае насыщения бетона в растворе соли рост массы образцов в процессе испытаний отражает кинетику накопления ее вещества в порах бетона, а «ускорение» прироста массы через некоторое количество циклов

испытаний свидетельствует об образовании дополнительных объемов капиллярных пор, как следствие развития деструктивных процессов в бетоне.

Одновременно с деструктивными «накладывается» действие благоприятного фактора: продолжение процесса гидратации цемента под совокупным действием повышенной температуры и влаги, поглощаемой порами при периодическом водонасыщении, а в случае испытаний на солестойкость еще и положительный эффект от первоначального уплотнения структуры бетона за счет заполнения его крупных пор веществом (кристаллами) соли, что способствует на начальном этапе испытаний снижению пористости и отражается в росте прочности образцов бетона.

Таблица 1 – Прочность бетона при циклическом насыщении в воде-высушивании

№ состава	Характеристики песка:			Прочность бетона, МПа, после количество циклов:				
	M _к , д.ед.	Содержание, кг		0	10	30	50	70
		песка	отсева					
1	1,0	700	-	23,5	34,2	40,6	41,5	38,9
2	2,0	492	208	26,0	38,8	44,8	47,8	49,1
3	2,5	389	311	28,5	38,6	44,5	48,5	51,0
4	3,0	288	412	27,6	39,6	44,9	49,9	52,6
5	3,5	185	515	28,1	39,7	43,4	47,6	49,5

Таблица 2 – Изменение массы образцов при насыщении в воде

№ состава	Характеристики песка:			Прирост массы образцов, г после числа циклов						
	M _к , д.ед.	Содержание, кг		0	5	10	20	30	50	70
		песка	отсева							
1	1,0	700	-	2457	2458	2459	2459	2464	2472	2495
2	2,0	492	208	2520	2521	2521	2520	2520	2526	2538
3	2,5	389	311	2561	2558	2558	2559	2553	2555	2560
4	3,0	288	412	2515	2512	2511	2505	2508	2509	2512
5	3,5	185	515	2539	2537	2537	2534	2538	2542	2548

Отмеченные тенденции изменения прочности образцов бетона корреспондируются с изменениями количества воды, «поглощаемой» ими в процессе циклического насыщения-высушивания. Как уже отмечалось, эти данные характеризуют увеличение объема открытой (сообщающейся) капиллярной пористости цементного камня и бетона в целом.

При этом на начальном этапе (до 20...30 циклов для бетона на тонком песке с M_к = 1,0 и до 50 циклов на обогащенном) прирост количества воды, поглощаемой порами, отражает углубление процесса гидратации цемента, проявляющегося в росте прочности бетона. В дальнейшем рост количества поглощаемой воды характеризует увеличение объема макрокапиллярной

пористости бетона под влиянием деструктивных факторов циклических испытаний.

Очевидна более высокая степень устойчивости бетона всех составов на обогащенном песке при циклических испытаниях. Одновременно видно, что образцы состава № 2 ($M_k = 2,0$; долевое содержание отсева – 208 кг) к 50...70 циклам «наращивают» количество поглощаемой воды, в сравнении с составами № 3 ...№ 5, содержащими большое количество отсева.

Необходимо отметить, что рост пористости бетона связан и с воздействием знакопеременных деформаций при нагреве и резком жидкостном охлаждении, особенно по поверхности (в наружных слоях) бетонных образцов. Очевидна более высокая степень устойчивости бетона всех составов на обогащенном песке при циклических испытаниях.

Таблица 3 - Прочность бетона при циклическом насыщении-высушивании (5%-ный раствор NaCl)

№ состава	Характеристики песка:			Прочность бетона, МПа, после количество циклов:				
	M_k , д.ед.	Содержание, кг		0	10	30	50	70
		песка	отсева					
1	1,0	700	-	24,4	33,3	39,5	29,6*	-
2	2,0	492	208	27,5	37,5	44,4	42,0	36,1*
3	2,5	389	311	26,5	38,5	43,3	44,8	43,9
4	3,0	288	412	26,3	37,1	45,7	46,6	45,4
5	3,5	185	515	27,5	39,5	45,4	45,9	44,7

*Эксперимент завершен

Таблица 4 - Изменение массы образцов при насыщении в растворе соли

№ состава	Характеристики песка:			Прирост массы образцов, г после числа циклов								
	M_k , д.е	Содержание, кг		0	5	10	15	20	25	30	50	70
		песка	отсева									
1	1,0	700	-	2442	2442	2443	2445	2447	2450	2456	2490	-
2	2,0	492	208	2477	2478	2479	2480	2484	2484	2486	2498	2530
3	2,5	389	311	2480	2482	2486	2486	2486	2490	2492	2497	2510
4	3,0	288	412	2485	2486	2488	2490	2492	2496	2499	2506	2512
5	3,5	185	515	2528	2529	2531	2532	2538	2540	2542	2547	2553

Отмеченные тенденции изменения прочности бетона на песке разной крупности фиксируются с изменениями прироста массы образцов. К моменту образования массовых дефектов структуры в образцах бетона состава № 1 после 30 циклов испытаний количество «поглощаемой» ими соли резко возрастает и к 50 циклам прочность закономерно снижается.

Образцы состава № 2 на обогащенном до $M_k = 2,0$ песке, содержащие значительную долю природного тонкого песка, показали более высокую устойчивость в сравнении с составом № 1, но также после 50 циклов начался процесс снижения прочности, прогрессирующий к 70 циклам.

Снижение доли природного тонкого песка в составах бетона № 3, № 4 и № 5 в обогащенном до $M_k = 2,5, 3,0$ и $3,5$ материале способствовало росту устойчивости бетона и его прочности вплоть до 70 циклов испытаний.

Основу отмеченных явлений составляет повышение плотности и непроницаемости бетона с увеличением доли крупных фракций гранитного отсева в обогащаемом песке. Эти данные однозначно согласуются с экспериментальными значениями величин водопоглощения бетонов составов № 1 - № 5 [8]. Снижение $W_m (W_0)$ (т.е. объема капиллярных открытых, сообщающихся пор) обеспечивает рост коррозионной устойчивости бетона.

Выводы. 1. На основе полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы о влиянии приема обогащения мелкозернистого природного песка крупными фракциями гранитного отсева на эксплуатационные свойства бетона. 2. Закономерно подтверждается взаимосвязь структурной плотности и непроницаемости бетона (увеличивающейся с улучшением гранулометрии обогащаемого песка) со способностью выдерживать циклические воздействия, в частности – переменное увлажнение-высушивание. Такое воздействие характерно для эксплуатации разнообразных гидротехнических сооружений, фундаментов зданий и сооружений, опор ЛЭП и др. строительных конструкций. И в этой связи результаты экспериментов имеют прикладное значение. 3. Коррозионная стойкость в среде солей-хлоридов возрастает в закономерной связи со снижением водопоглощения и проницаемости бетона на обогащенном крупными фракциями отсева песке. Данный вид коррозионного воздействия способен вызвать деструкцию бетона, что проявилось в образцах на тонком природном песке с $M_k = 1,0$ и не оказало влияния на образцы с обогащенным заполнителем. 4. В целом, обогащение исходного природного мелкого песка крупными фракциями гранитного отсева позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики, надежность и долговечность конструкционного тяжелого бетона.

Литература. 1. Иванов Ф.М. Коррозионные процессы и стойкость бетона в агрессивных средах. -Автореф. дис. на соиск. ученой степени доктора технич. наук, 1969. 2. Мощанский Н.А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред. – М.: Госстандарт, 1962. – 235 с. 3. Ахвердов И.Н., Станишевская И.В. Механизм разрушения пористых материалов при насыщении их солями / ДАН БССР. – Минск, 1967. – Т. 11, № 4. – С. 320-323. 4. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с. 5. Иванов Ф.М. Защита железобетонных транспортных сооружений от коррозии. – М.: Транспорт, 1968. – 175 с. 6. Шалимо М.А. Защита бетонных

и железобетонных конструкций от коррозии. – Мн.: Выш. Шк., 1986 г. – 200 с. 7. Лещинский М.Ю. Испытание бетона: Справ. Пособие. – М.: Стройиздат, 1980. – с.286-289. 8. Федорович П.Л. Физико-технические свойства конструкционного бетона во взаимосвязи с гранулометрией мелкого заполнителя/ П.Л. Федорович, Э.И. Батяновский // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства. Международный научно-методический семинар — Минск, 2014.