

Исследование эксплуатационных свойств бетона на портландцементе с миндобавкой

Канапацкий Д.В., Ясюк А.А.

Научный руководители – Смоляков А.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Общая методика исследований. В процессе исследований выявили влияние количественного содержания минеральной добавки – продукта помола гранитного отсева в цементе, на водостойкость и прочность, водопоглощение и морозостойкость, а также на коррозионную стойкость бетона в солевой среде (раствор NaCl, как наиболее характерная для Беларуси агрессивная среда). Кроме того оценено экспериментально влияние миндобавки на коррозионное состояние стальной арматуры в бетоне и на защитную способность бетона с миндобавкой по отношению к стальной арматуре при внешней агрессии солей-хлоридов (раствор NaCl).

Характеристики материалов для бетона. В исследованиях использовали материалы для бетона, характеризующимися следующими данными:

-вяжущее – портландцемент марки М500 Д0, и полученный совместным помолом клинкера, гипса и гранитного отсева ПРУП "Кричевцементошифер;

-мелкий заполнитель – песок природный Крапужинского месторождения с модулем крупности $M_k=2,2$;

-крупный заполнитель – щебень гранитный (Микашевичский);

-добавка суперпластификатора (СП) – Стахемент-Ф Ж 35;

Твердение в воде

Твердение в воде заключалось в экспериментах по выявлению влияния минеральной добавки в цементе на стойкость бетона в неагрессивной водной среде (эксплуатации) с использованием образцов-кубов с размером грани 100 мм, данные которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Прочность бетона при твердении в воде

№ п/п	Характеристики бетона:			Добавка СП, % от СВ	Прочность бетона, МПа, в возрасте, сут.:				
	Цемент:				3	7	14	28	60
	Расход, кг	Мин-добавка							
		кг	%						
1	350	-	-	-	16,5	23	29,5	33	36
2	315	35	10	-	14	21,6	26,9	30,5	35
3	280	70	20	-	12,5	20,5	25,8	28,5	32
7	245	105	30	-	8,0	13,9	18,2	22,6	25
5	280	70	20	1,0	14,2	23,5	27,2	32	35
3*	280	70	20	-	15,8	23,4	29,5	32,6	34,8

* на свежемолотом цементе

Анализ данных табл.1 показывает следующее: более интенсивную прочность образцы набирают в первые 3-7 сут. твердения и последующее замедление темпов роста; введение миндобавки в цемент, хранившийся 60 сут. взамен 10, 20 и 30 % клинкера снижает ее к проектному возрасту (28 сут.) на, примерно, 7,5 %; 13,6 % и 34,5 % соответственно; для возраста 3 сут снижение составляет: 9 %; 24 % и 50 %, соответственно.

Циклическое насыщение-высушивание

Образцы бетона (кубы с ребром 100 мм) после изготовления пропаривали по режиму: предварительная выдержка – 2 ч; подъем температуры за 3 ч до $t \sim 70^{\circ}\text{C}$: изотермический прогрев – 6 ч; остывание в камере 10 ч и после распалубки – 3 ч, после чего их подвергали испытаниям.

Прочность бетона определяли в водонасыщенном состоянии через каждые 5 циклов испытаний.

Данные о кинетике изменений прочности бетона в процессе испытаний приведены в табл. 2.

Исходя из табл. 2 видно, что данные, относящиеся к составу № 5 (бетон приготовлен с пластифицирующей добавкой при снижении расхода воды на 12-15 % относительно состава № 3), в котором равное с составом № 3 содержание клинкерной части в цементе (280 кг) и миндобавки в нем (70 кг) подтверждают эффективность использования пластификатора в бетоне со значительным количеством (~20 % по массе) миндобавки в виде молотого гранитного отсева.

Водопоглощение бетона

Водопоглощение бетона определили по стандартной методике ГОСТ 12730.3-84 с начальным насыщением образцов до постоянной массы и последующим высушиванием до постоянной массы.

Результаты испытаний, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о следующем. С увеличением дозировки миндобавки в цементе до 20 % от массы вяжущего водопоглощение бетона возросло не более, чем на 5 %. Повышение дозировки миндобавки до 30 % от массы цемента сопровождается резким ростом водопоглощения бетона (более 12%).

Таблица 2 – Прочность бетона при циклическом насыщении-высушивании

№ п/п	Характеристики бетона:			Прочность бетона, МПа, после количества циклов:							
	Цемент:		Добавка СП, % от СВ	0	5	10	15	20	25	30	
	Расход, кг	Мин- добавка									
		кг									%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	350	-	-	-	24,7	26	28	28	26	24	22
2	315	35	10	-	22,8	23,0	26,4	25	23	23	20
3	280	70	20	-	22	22,8	22,5	22	21	21	17
5	280	70	20	1,0	25,5	25	25,0	25	24	24	23
7	245	105	30	-	18,0	19,9	22,0	22	21	19	15
3*	280	70	20	-	24,5	24,8	27	27	25	24	21

* на свежемолотом цементе

Таблица 3 – Водопоглощение бетона по массе (W_m , %)

№ п/п	Характеристики бетона			Добавка СП, %	W_m , %	Изменение W_m , % от W_m , бетона без миндобавки (состав № 1)
	Цемент:					
	Расход, кг	Миндобавка:				
		кг	%			
1	350	-	-	-	4,1	-
2	315	35	10	-	4,2	+2,4
3	280	70	20	-	4,3	+4,9
4	245	105	30	-	4,6	+12,2
5	280	70	20	1,0	4,0	-2,4

Таким образом сочетание качественной добавки пластификатора и миндобавки из гранитного отсева позволяет получать бетон, состояние структуры которого по объему и размерам (сечению) капилляров открытой пористости соответствует бетону, приготовленному на бездобавочном портландцементе.

Морозостойкость бетона

В процессе исследований контролировали изменение прочности бетона при введении минеральной добавки.

В табл. 4 приведены данные об изменениях прочности бетона в процессе испытаний на морозостойкость, из которых следует, что бетон составов № 1 и 5 (цемент без миндобавки и с 20 % миндобавки и 1% пластификатора) выдержал 12 циклов ускоренных испытаний или до 300-400 циклов испытаний по базовому методу для бетона общестроительного назначения.

Бетон на портландцементе с минеральной добавкой в 10 % от массы выдержал до 300 циклов, с 20 % - до 250-300 циклов и при 30 % - до 150 циклов.

Коррозионная стойкость бетона в хлоридной среде

Солейстойкость бетона на портландцементе с минеральной добавкой исследовали по изменению прочности бетона в процессе испытаний. Образцы бетона после изготовления пропаривали (по ранее изложенной методике) после чего их подвергали испытаниям. Прочность бетона определяли в насыщенном жидкостью состоянии через каждые 5 циклов испытаний.

С целью ускорения процесса деструкции бетона при испытаниях на солейстойкость и сокращения времени проведения эксперимента образцы бетона после высушивания не охлаждали, а помещали в раствор разогретыми. В этом случае имеет место резкое (жидкостное) охлаждение наружных слоев бетона и в них возникают значительные растягивающие усилия.

Данные о кинетике изменений прочности бетона в процессе испытаний приведены в табл. 5.

Таблица 4 – Прочность бетона в процессе испытаний

№ п/п	Характеристики бетона:			Прочность бетона, МПа, через количество циклов:							
	Цемент:			Добавка СП, % от СВ	0	2 (75)	3 (100)	4 (150)	5 (200)	8 (300)	12 (400)
	Расход, кг	Миндобавка									
		кг	%								
1	350	-	-	-	25	27	28	29,5	30,5	26	23
2	315	35	10	-	23	25,5	27,5	28,5	26,5	23	21
3	280	70	20	-	22	24,8	27	27	25	21	18
9	245	105	30	-	18	21	22	20	16	-	-
5	280	70	20	1,0	25	28	29	30	30,5	28,5	22

Таблица 5 – Прочность бетона при циклическом насыщении – высушивании

№ п/п	Характеристики бетона:				Прочность бетона, МПа, после количества циклов:						
	Цемент:			До- бавка СП, % от СВ	0	5	10	15	20	25	30
	Рас- ход, кг	Миндобавка									
		кг	%								
а) насыщение в воде											
1	350	-	-	-	24,7	26	28	28	26	24	22
2	315	35	10	-	22,8	23	26,4	25	23	23	20
3	280	70	20	-	22	22,8	22,5	22	21	21	17
6	280	70	20	1,0	25,5	25	25,0	25	24	24	23
б) насыщение в растворе NaCl											
1	350	-	-	-	25	27	28,5	30	30	29	26
2	315	35	10	-	22,8	24	26,5	27	27	26	24
3	280	70	20	-	22	23	25	27	27	26	22
6	280	70	20	1,0	25,5	28	29	30,5	31	31	30

Из табл.5 следует, что результаты, относящиеся к составу № 6 в котором равно с составом № 3 содержание клинкерной части цемента (280 кг) и миндобавки (70 кг) подтверждают эффективность использования пластификатора в бетоне на портландцементе с миндобавкой.

Оценка влияния миндобавки на коррозию арматуры, при одноциклических испытаниях

В соответствии с положениями стандарта (СТБ 1168-99) при испытаниях образцы партии насыщали питьевой водой до постоянной массы (прирост массы за сутки не более 0,1 %), а затем образец помещали в сосуд испытательной установки, заполненный водой. Далее обрабатывали полученные данные, строили анодные поляризационные графики, анализировали полученные результаты испытаний. Результаты анализа поляризационных кривых одноциклических электрохимических испытаний, выполненных по СТБ 1168-99, приведены в табл. 6.

На их основании можно сделать однозначный вывод о том, что минеральная добавка в цемент в виде порошкообразного (молотого) гранитного отсева не оказывает активирующего воздействия на стальную арматуру в бетоне и не вызывает изменений ее коррозионного состояния в сравнении с бетоном на чистоклинкерном цементе.

Таблица 6 – Результаты одноциклических испытаний (водная среда)

№ п/п	Характеристики бетона						Состояние арматуры
	Ц	Щ	П	Миндобавка		Добавка СП, % от СВ	
				кг	%		
1	350	1150	700	-	-	-	Устойчивое пассивное состояние стали
2	315	1150	700	35	10	-	Устойчивое пассивное состояние стали
3	280	1150	700	70	20	-	Устойчивое пассивное состояние стали
4*	280	1150	700	70	20	-	Устойчивое пассивное состояние стали
5**	280	1150	700	70	20	-	Устойчивое пассивное состояние стали
6	280	1150	700	70	20	1% (3,5кг)	Устойчивое пассивное состояние стали

* состав на цементе после 60 сут. хранения;

** состав на цементе после 90 сут. хранения.

Заключение

В условиях эксплуатации в воде или грунтах приготовление бетона на портландцементе с миндобавкой из молотого гранитного отсева в количестве до 20% от массы вяжущего допустимо, т.к. при этом обеспечивается стабильный рост прочности бетона.

В случае попеременного увлажнения-высушивания введение минеральной добавки в цемент и, особенно, в количестве 20% и более от массы приводит к снижению прочности бетона. Этот отрицательный эффект может быть исключен за счет повышения плотности бетона при снижении водосодержания путем введения пластифицирующих добавок (состав № 5, табл. 8). Без них портландцемент с миндобавкой до 20% от массы не может быть рекомендован к применению в изделиях (конструкциях), работающих в зоне переменного увлажнения-высушивания (причалы, откосы мелиарационных систем и подобное).

Испытания на морозостойкость бетона показали, что в целом бетон на портландцементе с минеральной добавкой из молотого гранитного отсева характеризуется достаточной для изделий (конструкций) общестроительного назначения морозостойкостью, соответствующей в дозировке 20% маркам F200 - F300.

В результате экспериментальных исследований выявлено влияние минеральной добавки в портландцемент в виде молотого гранитного отсева ПРУП «Гранит» на солестойкость бетона в среде хлоридов. Установлено, что бетон на портландцементе с минеральной добавкой в количестве до 20 % от массы вяжущего характеризуется достаточно высокой солестойкостью и не отличается в общих тенденциях от бетона, приготовленного на чистоклинкерном цементе (М500 Д0). Установлено, что введение в портландцемент миндобавки до 20% от МЦ не вызывает изменений в коррозионном состоянии стальной арматуры в бетоне, т.е. сталь находится в пассивном (защищенном) состоянии, а молотый гранитный отсев можно применять в железобетонных изделиях и конструкциях без ограничений, включая преднапряженные и армированные арматурой на основе проволоки.