

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА СУХОГО ФОРМОВАНИЯ

Э.И.Батяновский

Факультет дорожного строительства, БГПА

Минск, Беларусь

Изложены результаты исследований эксплуатационных свойств цементного бетона сухого формования, показана связь долговечности с плотностью структуры материала, обоснована возможность обеспечения морозостойкости бетона на уровне "F1000".

Ключевые слова: Сухая бетонная смесь, бетон сухого формования, плотность, непроницаемость, долговечность.

Долговечность строительных изделий и конструкций из тяжелого цементного бетона обусловлена плотностью структуры цементного камня, ее непроницаемостью, которая зависит от размеров пор, их вида и количества (объема). Целенаправленное формирование структуры цементного камня, способной обеспечить повышенные эксплуатационные характеристики бетона, может быть реализовано при формировании вибрированием с пригрузом сухой бетонной смеси, ее влагонасыщении водой под давлением с повторным виброуплотнением после увлажнения [1].

В экспериментах, результаты которых представлены в таблицах 1,2 и 3, сравнивали два варианта формования образцов бетона, отличавшихся наличием или отсутствием повторного вибровоздействия в течение 60с на бетон после водонасыщения сухой смеси под давлением в 0,3 МПа. Бетон характеризовался составом: цемент ~ 360 кг (ПЦ М400-Д15; $R_{ц} \sim 36-38$ МПа; $K_{ц} = 0,27$; $\rho_{ц} \sim 3100$ кг/м³), щебень гранитный ~ 1250 кг (крупность 5-20мм; прочность по дробимости 80 МПа); песок природный крупнозернистый ~ 810 кг. Во всех случаях образцы бетона изготавливали при вибрировании со стандартными параметрами ($A \sim 0,5$ мм; $f \sim 50$ Гц) под пригрузом 0,025 МПа ; условия твердения до начала испытаний - нормально-влажностные.

Методики экспериментов по определению стандартизированных характеристик бетона приняты в соответствии с действующими ГОСТ. Защитная способность бетона по отношению к стальной арматуре и коэффициент диффузии хлорид-иона определены по методикам, на базе источника [2], а водо- и коррозионная стойкость в сульфатной среде по данным [3]. Отличие в последнем случае состояло в ужесточении условий эксперимента: температура сушки образцов бетона равнялась 80-85°C и их без охлаждения помещали в жидкость для насыщения ($t \sim 15-20^\circ\text{C}$), подвергая дополнительному деструктивному воздействию градиента температуры.

Таблица 1

Сравнительные характеристики

N п/п	Характеристики бетона	Размер- ность	Способ уплотнения	
			разовое	повторное
1.	Водопоглощение по массе:			
	- ГОСТ	%	2,6	1,4
	- вакуум	%	3,8	1,8
2.	Водопоглощение по объе- му			
	-ГОСТ	%	6,4	3,5
	- вакуум	%	9,8	4,4
3.	Водонепроницаемость	МПа	0,4	2,0*
4.	Коэффициент диффузии хлорид-иона	см ² /с	2×10^{-8}	$1,1 \times 10^{-10}$
5.	Плотность тока (i) при $\varphi=300\text{мВ}$:			
	- при разовом насыщении "KCL"	мкА/см ²	4,5	2,5
	- после 20 циклов "KCL"	мкА/см ²	коррозия арматуры	7,5
6.	Скорость ультразвука	км/с	4,6	5,0÷5,15
7.	Морозостойкость(1-ый ме- тод)	цикл	400	1000

* Образцы пропитались на 30-35 мм.

Анализ результатов экспериментов однозначно свидетельствует о глубоких изменениях в структуре цементного камня повторно вибрированного бетона. Детализируя означенный эффект следует отметить, что внешние проявления его незначительны. Так, уменьшение объема бетона не превышает 1% и сопровождается отжатием (при температуре бетона ниже 25°C) 2-4% воды, что спо-

сопутствует изменению (В/Ц) на $0,01 \div 0,02$. Вместе с тем, повторное вибровоздействие, обеспечивая ликвидацию направленной пористости (как результата фильтрации жидкости под давлением), одновременно интенсифицирует формирование коагуляционной структуры в системе "цемент-вода", способствуя упорядочению и увеличению числа и энергии связи между сольватированными зёрнами (флокулами) вяжущего. Отражением этого процесса является рост прочности свежесформованного бетона с $0,4-0,6$ МПа до $1,5-2,0$ МПа после повторного виброуплотнения. При этом эффективность воздействия возрастает с увеличением продолжительности вибрирования (в эксперименте от 0 до 8 мин), обеспечивая рост прочности бетона через 24ч до 80-85%, а к 28 сут - на 25-55% и сохраняется во времени (в экспериментах не менее 3 лет). Последнее является следствием процесса активизации вяжущих свойств цемента на основе его дефлокуляции, что подтверждает контракция объема системы "цемент-вода", составляющая по расчету 4-6% в результате повторного вибровоздействия.

Таблица 2

Исследования морозостойкости

Количество циклов замор. (-18°C) оттаив (вода)	Прочность бетона при сжатии, МПа:				Изменение R_c , %, относительно:			
	основные образцы		нормально-влажн. тверд.		"R ₂₈ "		эквивалентного возраста	
	разовое	повторное	разовое	повторное	разовое	повторное	разовое	повторное
0	60,0	75,0	60,0	75,0	-	-	-	-
200	61,5	-	64,0	-	+2,5	-	-5,7	-
300	60,0	84,5	66,0	80,0	0	+12,7	-9,1	+5,3
400	57,5	85,7	68,0	82,0	-4,2	+14,3	-16,9	+4,4
500	-	82,5	-	83,5	-	+10,0	-	-1,2
600	-	82,5	-	84,5	-	+10,0	-	-2,4
750	-	82,0	-	85,5	-	+9,3	-	-4,1
1000	-	79,5	-	87,0	-	+6,4	-	-8,6

Оценка количественных характеристик порового пространства цементного камня повторно вибрированного бетона позволяет сделать вывод, что объем его капиллярных пор к 28 сут твердения соответствует ~15-19%. Их точная качественная характеристика (диапазон условного радиуса сечения) является предме

Исследования коррозионной стойкости

Испытательная среда	Количество циклов увлажнения-высушив.	Прочность бетона при сжатии, МПа, (скорость ультразвука, км/с)			
		разовое вибрирование	повторное вибрирование	повторное и 1% CaCl ₂	повторное и 1% Na ₂ SO ₄
Вода	0	61,5(4,5)	73,6(4,9)	77,8(4,99)	75,4(4,94)
то же	30	60,8	72,5	77,0	74,8
"-	50	57,6	72,0	75,7	73,6
"-	70	55,8	70,0	73,8	71,8
"-	90	50,0	66,3	70,2	67,0
Раствор Na ₂ SO ₄	30	51,7(4,45)	69,8(4,89)	75,0(4,99)	72,6(4,93)
(C _p ≤ 15%)	50	40,0(4,35)	62,5(4,8)	67,1(4,96)	63,8(4,89)
то же	70	27,6(4,06)	52,8(4,66)	56,4(4,88)	54,7(4,77)
"-	90	-	39,5(4,43)	45,8(4,74)	40,2(4,6)

том дальнейших научных исследований. На основании приведенных данных (например, по водонепроницаемости бетона (образцов) при выдержке 48ч под давлением 2,0 МПа) можно сделать вывод о перекрытии сечения капилляров адсорбционными слоями жидкости, обладающими способностью сопротивляться сдвиговым усилиям. В результате затрудняется диффузия вглубь бетона жидкости и агрессивных реагентов, повышается его долговечность, что подтверждают исследования морозо-, водо- и коррозионной стойкости бетона, защитной способности его по отношению к стальной арматуре. Данные табл. 2 об опережающем росте прочности основных образцов бетона до 400 циклов попеременного замораживания-оттаивания, в сравнении с твердевшими в нормально-влажностных условиях, являются отражением сложного сочетания двух взаимоисключающих процессов: деструкции и образования новых фаз, в результате специфично развивающейся гидратации цемента под влиянием знакопеременной температуры. Означенный эффект возможен при отсутствии в системе жидкой фазы со свойствами, присущими "свободной воде". Расчеты и приведенные экспериментальные данные свидетельствуют об аномальных свойствах жидкости в бетоне с повторным вибрированием, присущих как адсорбционным ее слоям, так и насыщенным растворам - квазиэлектролитам. В целом, представленная совокупность свойств бетона сухого формирования свидетельствует о достаточно высокой степени гарантии его эксплуатационной долговечности.

Литература

1. Ахвердов И.Н., Батяновский Э.И. А.с. 846271. Способ изготовления бетонных и железобетонных изделий. СССР.
2. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. Стройиздат.
3. Лещинский М.Ю. Испытание бетона. Стройиздат.