УДК 666.972

Н.С. Хирис, Т.К. Акчурин

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волгоград, Россия

ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫЙ МЕЛКОДИСПЕРСНЫЙ БЕТОН ДЛЯ ФУНДАМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Бетон, применяемый при строительстве гидротехнических сооружений, должен удовлетворять особым требованиям по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости. Обеспечить такие характеристики бетона могут повышенная плотность его структуры, снижение уровня водопоглощения, что достигается высоким наполнением мелкозернистой бетонной композиции в сочетании с виброуплотнением.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, мелкодисперсный бетон, шлаковый микронаполнитель, вибрационное уплотнение, высоконаполненная композиция.

N.S. Khiris, T.K. Akchurin

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, Volgograd,
Russian Federation

MICROFINE OF HIGHLY CONCRETE FOR THE FOUNDATION HYDRAULIC STRUCTURES

Concrete used in the construction of hydraulic structures, must meet special requirements for strength, water resistance, cold resistance. Provide features such concrete may increased density of its structure, reducing water absorption, which is achieved by a high content of fine-grained concrete composition in combination with the vibro.

Keywords: waterworks, fine concrete, slag microfill, vibratory compaction, composition of highly

Переоценить роль бетона в строительстве просто невозможно. В процессе эксплуатации бетонные и железобетонные конструкции подвергаются воздействию различных факторов, таких как знакопеременные напряжения, колебания температуры, влажности, агрессивная среда и др. Поэтому бетон должен обеспечивать длительную службу конструкции, особенно для фундаментов гидротехнических сооружений, постоянно или периодически омываемых водой.

Возможность эксплуатации разрабатываемых высоконаполненных мелкозернистых бетонов (ВНМЗБ) в зоне повышенной влажности, в условиях воздействия грунтовых вод, предъявляет к ним особые требования по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости. Основу такого уровня характеристик составляют повышенная плотность его структуры, снижение уровня водопоглощения, что достигается высоким наполнением мелкозернистой бетонной композиции в сочетании с виброуплотнением. В сформированной смеси ВНМЗБ частицы наполнителя чередуются с порами, образующими поровые криволинейные каналы (рис. 1, а, б), по которым может проникать вода.

Плотность упаковки частиц основывается на соизмеримости гранулометрического состава шлакового микронаполнителя (ШМН) с портландцементом. ШМН вводится взамен небольшой части цемента, проявляя микроармирующий эффект, так как объемная концентрация наполнителя все-таки увеличивается. Фракционный состав молотого шлака Волжского трубного завода позволяет достичь максимально плотной упаковки частиц заполнителя в тесте на стадии приготовления бетонной смеси при двухчастотном виброуплотнении.

Рис. 1. Схематическое изображение пор (а) и поровых каналов (б) в мелкозернистой структуре бетона

При двухчастотном режиме вибрационного уплотнения композиции была получена прочность ВНМЗБ при сжатии (кубиковая, 28 сут) – 117 МПа и средняя плотность – 2345 кг/м³. Прочность при изги-

бе (28 сут) составила 7,0 МПа. Величина прироста прочностных характеристик ВНМЗБ в возрасте от 28 до 180 сут составила для прочности на сжатие – 15 %, для прочности при изгибе – 20 % [1].

При оптимизации параметров технологии изготовления ВНМЗБ с использованием двухчастотного виброционного уплотнения определили влияние соотношения цемента и ШМН на физико-механические характеристики мелкозернистого бетона, наполненного тонкомолотым металлургическим шлаком. Тенденция изменения прочностных характеристик и плотности композиции представлена в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики высоконаполненного мелкозернистого бетона в зависимости от соотношения вяжущего и шлакового микронаполнителя в композиции (7 сут)

Физико-механические характеристики	Соотношение Ц:ШМН				
	1:0	1:0,3	1:0,5	1:0,8	1:1
Прочность при сжатии, МПа	20,0	25,6	26,8	27,6	28,0
Прочность при изгибе, МПа	3,8	4,5	4,6	4,9	5,5
Средняя плотность, кг/м ³	2120	2254	2298	2320	2343

Рост физико-механических показателей ВНМЗБ прослеживается с увеличением содержания шлакового микронаполнителя. При соотношении 1:0,8 и до 1:1 наблюдается тенденция стабилизации показателей. Но введение шлакового микронаполнителя в таких количествах в сочетании с пластифицирующей добавкой (С-3) повышает расход суперпластификатора и цемента в композиции, что нецелесообразно с экономической точки зрения [2].

Поэтому для оптимизации состава ВНМЗБ и исследования показателей, определяющих плотность, пористость, морозостойкость и водопотребность, проводились при соотношении Ц:ШМН – 1:0,3.

Структурную пористость определяли по ГОСТ 12730.4–78 (полный объем открытых пор бетона – W_n , объем открытых капиллярных пор – W_o , водопоглощение бетона, показатель среднего размера пор – λ , показатель однородности пор по размерам – α). В табл. 2 представлены результаты испытаний.

Таблица 2

Влияние микронаполнителя на пористость, плотность и прочность бетона (28 сут)

Образец	Прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м ³	Полный объем пор W_n , %	Показатели пористости		
				W_o , %	λ	α
Контрольный	51	2258	17,8	6,1	0,9	0,5
С добавкой ШМН	72	2285	15,6	3,9	0,7	0,6

По результатам испытаний видно, что полный объем пор уменьшился на 13,5 % за счет введения ШМН и двухчастотного виброуплотнения композиции, открытая пористость снизилась на 40 %, показатель среднего размера пор уменьшился на 2,5 %, увеличилась однородность размеров пор. Структура высоконаполненного мелкозернистого бетона стала более мелкопористой, более однородной, что привело к росту плотности и прочности композиции в целом. Формирование плотной структуры ВМЗБ при двухчастотном вибрационном уплотнении связано не только с упорядочением расположения частиц ШМН в жестком каркасе из зерен кварцевого песка, но и с максимальным заполнением пустот в цементном вяжущем частицами ШМН, а также пустот в цементирующей пленке конгломератов. Таким образом снижается пористость композиции в целом.

Совокупность этих факторов приводит к снижению водопоглощения бетона в среднем в 1,5–2 раза (с 16,85 до 4,5 %) и повышению его морозостойкости. Испытания бетонов на морозостойкость осуществлялось по ГОСТ 10060–95 путем попеременного замораживания и оттаивания. После 20 циклов потери прочности составили 0,5 %, после 37 циклов – 4,2 %.

При изготовлении образцов время вибрационного уплотнения варьировалось от 10 с до 30 с. Изменение частоты колебаний при виброуплотнении считаем нецелесообразным, так как зерна песка при двухчастотном уплотнении (верхнее – 12 600 кол/мин, нижнее – 3000 кол/мин) уже сблизилась на расстояние, соизмеримое с размером частиц заполнителя при сдвиге структурных кластеров в единичной матричной фазе на момент прекращения вибрационного воздействия. Перемещению подверглись также и частицы шлакового микронаполнителя, что снизило толщину сферы из цементной пленки вокруг

микрочастиц ШМН при обдире во время виброколебаний и уменьшило расстояние между ними (рис. 2).

Рис. 2. Микроструктура высоконаполненного мелкозернистого бетона (Ц:ШМН – 1:1): 1 – кварцевый наполнитель; 2 – поровое пространство; 3 – цементный камень; 4 – ШМН

Структура данной композиции ВНМЗБ имеет более плотную структуру, такой структуре способствует высокое наполнение композиции тонкомолотым шлаковым наполнителем [2–3].

Разрабатываемую высоконаполненную композицию отличают повышенная плотность, пониженная пористость, что является определяющим фактором при оценке долговечности и стойкости ВНМЗБ к воздействию воды и агрессивных сред, увеличивает срок ее службы и позволяет применять в гидротехнических сооружениях.

Библиографический список

1. Хирис Н.С., Акчурин Т.К. Анализ влияния шлакового микронаполнителя на процессы формирования структуры высоконаполненного мелкозернистого бетона // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2013. – Вып. 33 (52). – С. 97–102.
2. Хирис Н.С., Акчурин Т.К. Формирование внутренней структуры мелкозернистого бетона высокой плотности и прочности при

наполнении металлургическим шлаком и двухчастотном виброуплотнении // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. – 2014. – Вып. 35 (54). – С. 121–126.

3. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон. –1995. – № 3. – С. 16–20.

References

1. Khiris N.S., Akchurin T.K. Analiz vliyaniya shlakovogo mikronapolnitelya na protsessy formirovaniya struktury vysokonaplnennogo melkozernistogo betona [The analysis of the influence of slag micro-filler on the structure formation processes of high-filled fine-grained concrete]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 33 (52), pp. 97-102.

2. Khiris N.S., Akchurin T.K. Formirovanie vnutrennej struktury melkozernistogo betona vysokoj plotnosti i prochnosti pri napolnenii metallurgicheskim shlakom i dvukh-chastotnom vibrouplotnenii [The formation of the internal structure of the fine-grained concrete with high density and strength when filling with metallurgical slag and two-frequency vibrocompaction]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 35 (54), pp. 121-126.

3. Kaprielov S.S. Obshchie zakonomernosti formirovaniya struktury tsementnogo kamnya i betona s dobavkoj ul'tradispersnykh materialov [General regularities of structure formation of cement stone and concrete with the addition of ultrafine materials]. *Beton i zhelezobeton*, 1995, no. 3, pp. 16–20.

Сведения об авторах

Акчурин Талгатъ Кадимович (Волгоград, Россия) – кандидат технических наук, профессор, советник РААСН, академик РАТ, академик МАИЭС, заведующий кафедрой «Строительные материалы и специальные технологии» Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.

Хирис Наталья Сергеевна (Волгоград, Россия) – аспирант кафедры «Строительные материалы и специальные технологии» Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.

About the authors

Akchurin Talgat Kadimovich (Volgograd, Russian Federation) – Candidate of Engineering Science, Professor, the Head of Department of Construction materials and special technologies, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, councilor RAASN, the academician RAT,

Khiris Natalya Sergeevna (Volgograd, Russian Federation) – Doctoral Student, Department of Construction materials and special technologies, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering

Получено 15.04.2014