

УКД 691.32

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ДОБАВКОЙ «УКД-1»

А. А. МАСЛЕНКОВ, А. А. САВОСТЕЕНКО

Научные руководители Е. Е. КОРБУТ, канд. техн. наук, доц.; О. Ю. МАРКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Качество бетона определяют его свойства, поэтому целью настоящих исследований являлось установление закономерностей влияния добавки «УКД-1», содержащей структурированный углеродный наноматериал, на физико-механические свойства бетона, такие как плотность, пористость, водопоглощение и прочность.

В качестве *вяжущего вещества* для бетона использовали портландцемент ЦЕМ I 42,5Н марки М500 I группы эффективности при пропаривании производства Белорусской цементной компании.

Заполнители для бетона:

- щебень гранитный крупностью 5...10 мм;
- песок природный с модулем крупности $M_k = 2,45$.

В качестве *химических добавок* для бетона использованы:

- ускоритель твердения – сульфат натрия кристаллизационный;
- комплексная углеродосодержащая добавка «УКД-1».

Сульфат натрия кристаллизационный применяется для интенсификации твердения бетона на ранних сроках. Встречается в природе в виде минералов тенардита Na_2SO_4 , мирабилита (глауберова соль) $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, входит в состав астрахонита $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, вантгоффита $\text{Na}_6\text{Mg}(\text{SO}_4)_4$, глауберита $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ и др. [1]. Также сульфат натрия получается как отход в производстве вязкозных нитей на Могилевском химическом комбинате (ГОСТ 21458–75). Образуется при взаимодействии серной кислоты с едким натром в отработанном растворе осадительной ванны.

Добавка «УКД-1» – это комплексная химическая добавка, разработанная в Беларуси с использованием в составе отечественного углеродного наноматериала (УНМ) и обладающая эффективным сочетанием пластифицирующе-ускоряющего воздействия на цементный бетон. Получена путем интенсивного механического смешивания порошкообразных сульфата натрия с УНМ и суперпластификатором.

Углеродные наноматериалы (нанотрубки) имеют длину, в 10 и более раз превышающую размеры поперечного сечения, которое составляет до 10 нм – для однослойных трубок и более 10 нм – для многослойных. За счет высокой потенциальной энергии частиц УНМ и эффектов нано- и микроармирования структуры они повышают прочность цементного камня и бетона на сжатие и растяжение [2].

В институте тепло- и массообмена имени Лыкова НАН Беларуси разработали уникальный отечественный способ получения углеродных

наноматериалов в плазме высоковольтного разряда и создания соответствующего оборудования для реализации технологии их производства. Именно эти УНМ и входят в состав исследуемой добавки (рис. 1).



Рис. 1. Электронные микрофотографии неочищенного (а) и очищенного (б, в) углеродного наноматериала

В экспериментах использовали составы бетона, приведенные в табл. 1. Составы бетона с добавкой ускорителя твердения сульфата натрия (Na_2SO_4 ; СН) приняты для оценки эффективности исследуемой добавки «УКД-1», поскольку это вещество содержится в комплексной добавке.

Табл. 1. Составы бетона для исследований

Номер состава бетона	Класс бетона	Наличие и вид добавки, %	Подвижность бетонной смеси (ОК), см	Марка цемента	Расход составляющих, кг, на 1 м ³ бетона				Водоцементное отношение бетона
					Ц	П	Щ	В	
1	C ^{12/15}	—	12...14	M500	380	685	1100	201	0,53
2	C ^{12/15}	1 % Na_2SO_4	12...14	M500	360	720	1100	182	0,50
3	C ^{12/15}	1 % «УКД-1»	12...14	M500	340	715	1150	163	0,48

По результатам кратковременных испытаний образцов бетона 100×100×100 мм на сжатие по методике ГОСТ 10180–2012 определяли прочностные характеристики бетона в возрасте 1, 3, 7 сут и в проектном возрасте (28 сут), которые приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты испытания образцов на прочность

Номер состава бетона	Плотность ρ , кг/м ³	Прочность бетона на сжатие в возрасте, сут							
		1		3		7		28	
		МПа	%	МПа	%	МПа	%	МПа	%
1. Без добавок	2416	11,1	26	22,5	53	31,6	74	42,5	100
2. 1 % Na_2SO_4	2436	17,8	42	33,2	78	38,7	91	—	—
3. 1 % «УКД-1»	2444	20,4	48	39,1	92	45,9	108	—	—

Водопоглощение бетона определяли на образцах-кубах размером 100×100×100 мм по методике ГОСТ 12730.3–2020. Для оценки кинетики водопоглощения бетона образцы взвешивали через 30 мин, 4 ч, 1 и 2 сут. Результаты экспериментальных исследований представлены в табл. 3.

Табл. 3. Водопоглощение образцов бетона

Номер состава бетона	Водопоглощение, % по массе / % по объему, через время			
	30 мин	4 ч	1 сут	2 сут
1. Без добавок	2,68 / 6,47	4,24 / 10,24	5,25 / 12,68	5,29 / 12,78
2. 1 % Na ₂ SO ₄	2,66 / 6,48	4,26 / 10,38	5,26 / 12,81	5,27 / 12,84
3. 1 % «УКД-1»	1,56 / 3,86	2,47 / 6,11	3,81 / 9,43	3,85 / 9,52

На рис. 2 для наглядности в виде графиков частично представлены данные табл. 2 и 3 в виде графиков.

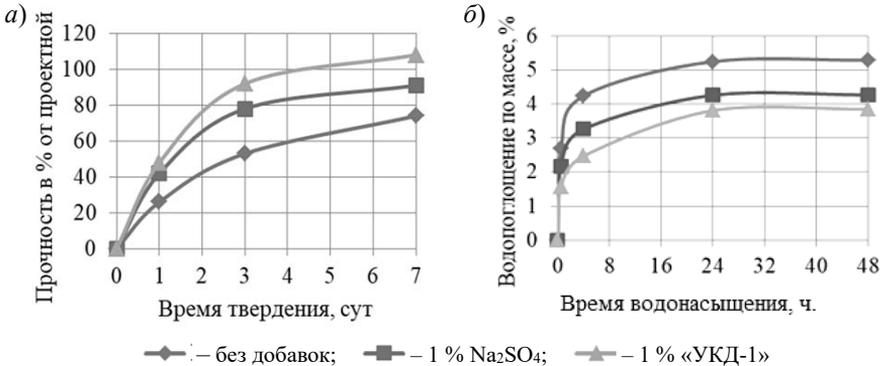


Рис. 2. Кинетика роста прочности бетона на сжатие (а) и кинетика водопоглощения по массе (б)

Прочность бетона с комплексной добавкой 1 % «УКД-1» (за счет совместного эффекта от снижения водоцементного отношения и действия компонентов сульфата натрия и углеродного наноматериала) в возрасте 7 сут составила 108 % от проектной прочности бетона.

Плотность образцов с добавкой 1 % «УКД-1» увеличилась на 1,15 % за счет снижения водоцементного отношения, ускоренного набора бетоном прочности и более интенсивного образования кристаллогидратов.

Водопоглощение по массе образцов бетона с исследуемой добавкой снизилось на 37 % в сравнении с равноподвижным бетоном без добавок, водопоглощение по объему – на 34 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Режим доступа: <http://www.xumuk.ru>.
2. Марко, О. Ю. Теоретические аспекты влияния наноуглеродсодержащей добавки на продукты реакции цемента с водой / О. Ю. Марко, Э. И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. / Ин-т БелНИИС; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск: БелНИИС, 2017. – Вып. 9. – С. 343–364.