

УДК 691.32

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНОЙ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ

А. А. МАСЛЕНКОВ

Научные руководители Е. Е. КОРБУТ, канд. техн. наук, доц.;

О. Ю. МАРКО, канд. техн. наук

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Целью исследований являлось выявление закономерностей влияния комплексной добавки «УКД-1», содержащей структурированный углеродный наноматериал, на морозостойкость бетона. По результатам предыдущих этапов исследований установили, что эффективность добавки «УКД-1» заключается в увеличении плотности и прочности бетона, уменьшении его водопоглощения и, как мы ожидаем, в увеличении морозостойкости бетона.

Марка по морозостойкости обозначает, какое количество циклов «заморозание/размораживание» выдерживает стройматериал до появления явных признаков разрушения, снижения прочности более чем на 5 %, изменения физических свойств. Определение морозостойкости бетона осуществляется путем лабораторных исследований на бетонных образцах-кубах со стороной 100 или 150 мм. После достижения ими проектной прочности следует череда циклов замораживания и оттаивания в диапазоне температур от -18°C до $+18^{\circ}\text{C}$. Морозостойкость бетона устанавливается базовым методом или ускоренным.

Общий методологический подход заключался в последовательном накоплении теоретических и экспериментальных данных о влиянии добавки «УКД-1» на прочность бетона при его попеременном замораживании и оттаивании.

В экспериментах использовали составы бетона, приведенные в табл. 1.

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 % «УКД-1»	12...14	M500	340	715	1150	163	0,48

Комплексная добавка для бетона «УКД-1» – пластифицирующая добавка I группы, ускоряющая твердение, применяемая для приготовления бетонных смесей, предназначенных для изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций, вяжущими для приготовления которых являются цементы на основе портландцементного клинкера, содержащая в своем составе

пластифицирующие, ускоряющие твердение цементного бетона компоненты и структурированный углеродный наноматериал. Технические характеристики добавки приведены в табл. 2.

Табл. 2. Технические характеристики «УКД-1»

Наименование показателя	Норма
Внешний вид	Мелкозернистый порошок светло-коричневого цвета
Массовая доля сухого вещества, %	99,6
Насыпная плотность, кг/м ³	904
Оптимальная дозировка добавки, %	0,7...1,5
Образование высолов на поверхности бетона с добавкой	Высолы на поверхности образцов отсутствуют
Характеристика коррозионного состояния арматурной стали в бетоне	Устойчивое пассивное состояние

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 [1].

На начальном этапе исследовали кинетику твердения (рост прочности) бетона без добавок и с 1 % «УКД-1» (табл. 3).

Табл. 3. Прочность бетона на сжатие

Номер состава бетона	Прочность бетона на сжатие в возрасте, сут							
	1		3		7		28	
	МПа	% от R ₂₈	МПа	% от R ₂₈	МПа	% от R ₂₈	МПа	% от R ₂₈
1. Без добавок	5,04	26	10,27	53	14,34	74	19,38	100
2. 1 % «УКД-1»	11,53	48	22,11	92	25,95	108	24,03	124

На следующем этапе определяли морозостойкость образцов бетона. В исследованиях был принят второй ускоренный метод определения морозостойкости бетона в условиях предварительного насыщения образцов в 5-процентном растворе соляной кислоты (NaCl). Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные перед замораживанием в течение 4 сут насыщают водным раствором хлорида натрия. Время замораживания насыщенных образцов – не менее 2,5 ч при температуре $-(18 \pm 2)^\circ\text{C}$, оттаивание образцов проходит в специальной ванне, наполненной 5-процентным раствором NaCl, в течение $(2 \pm 0,5)$ ч при температуре $+(18 \pm 2)^\circ\text{C}$. При вынужденных перерывах в испытаниях образцы хранились в замороженном состоянии.

По второму ускоренному методу определения морозостойкости образцы подвергались 20 циклам попеременного замораживания и оттаивания. Эффективность комплексной добавки оценивалась по коэффициенту

морозостойкости K_s , который рассчитывается как отношение прочности основных образцов в водонасыщенном состоянии, прошедших испытания на многократное замораживание и оттаивание, к прочности контрольных образцов, твердеющих в воздушно-влажных условиях (табл. 4, рис. 1).

Табл. 4. Прочность бетона на сжатие при испытаниях на морозостойкость

Номер состава бетона	Прочность бетона на сжатие в возрасте, сут				Коэффициент морозостойкости K_f
	28		после 20 циклов замораживания/оттаивания		
	МПа	% от R_{28}	МПа	% от R_{28}	
1. Без добавок	19,38	100	16,09	83	$16,09/19,38 = 0,83$
2. 1 % «УКД-1»	24,03	124	24,03	124	$24,03/24,03 = 1,00$

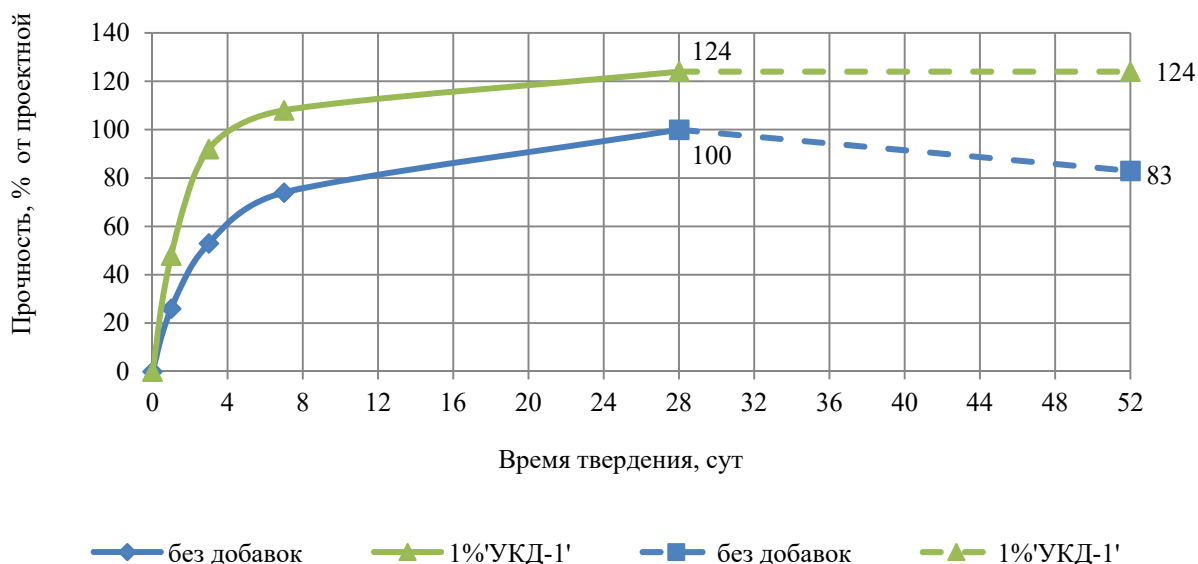


Рис. 1. Кинетика роста прочности бетона до проектного возраста и после 20 циклов попеременного замораживания и оттаивания

На графике наглядно видно преимущество состава с добавкой «УКД-1» над бездобавочным составом. Так, после 20 циклов попеременного замораживания и оттаивания в 5-процентном растворе NaCl, что соответствует марке по морозостойкости F150, коэффициент морозостойкости K_f составил 0,83. Введение «УКД-1» в дозировке 1 % от массы цемента повышает коэффициент морозостойкости $K_f = 1,00$, что подтверждает положительное влияние комплексной добавки «УКД-1» на свойства цемента и цементного бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марко, О. Ю. Теоретические аспекты влияния нанокремнекислотсодержащей добавки на продукты реакции цемента с водой / О. Ю. Марко, Э. И. Батяновский // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. – Минск: БелНИИС, 2017. – Вып. 9. – С. 343–364.