

# РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ БЕТОНА

*О.Ю. Марко, Е.Е. Корбут*

*Белорусско-Российский университет, sheyda@mail.ru, korbutee@mail.ru*

В данной статье представлены результаты исследований влияния комплексной добавки «УКД-1» на сохранение формовочных свойств бетонных смесей во времени при различных температурных режимах и изменении условий хранения.

Ключевые слова: цемент, бетон, бетонная смесь, углеродный наноматериал, формовочные свойства, подвижность, удобоукладываемость, условия транспортирования.

В современной строительной отрасли Беларуси производство бетонных смесей осуществляется через развитую сеть предприятий – от крупных заводов железобетонных изделий до мобильных бетоносмесительных установок строительных организаций. Такая централизованная или районная система приготовления бетонных смесей на стационарных БСУ требует значительного времени транспортировки материала на строительные площадки. В контексте инженерной экологии ключевой задачей является ресурсосбережение, так как длительная транспортировка и хранение бетонных смесей могут приводить к ухудшению их качественных и формовочных

свойств, особенно при применении химических добавок, ускоряющих схватывание.

Транспортировка смесей самосвалами, автобетоносмесителями и бадьезами часто сопровождается расслоением и снижением качества бетона, что влечет за собой переработку брака, дополнительное потребление материалов и энергии, а также увеличение количества строительных отходов. Это негативно сказывается на эффективности использования природных и материальных ресурсов, снижая экологическую устойчивость строительных процессов.

Одним из путей повышения ресурсосбережения является введение химических добавок непосредственно во время транспортировки или на строительной площадке. Такая практика позволяет сохранять оптимальные физико-химические свойства бетонных смесей, снижая потери материала и необходимость повторной обработки, что способствует рациональному использованию ресурсов и уменьшает негативное экологическое воздействие.

Полученные данные о влиянии комплексной добавки «УКД-1» на сохранение формовочных свойств бетонных смесей во времени обосновывают рекомендации по применению добавки в монолитном бетоне с целью продления срока пригодности бетонного раствора без потери качества. Сравнительный анализ также включал смеси без добавок и с применением сульфата натрия – ускорителя твердения. Рассматривались марки подвижности бетонных смесей от «П1» до «П5», что охватывает диапазон от пластичных до литых смесей, направленных на повышение эффективности укладки с минимальными затратами энергии. Испытания проводились на бетонах классов  $C^{12}/_{15}$ ,  $C^{25}/_{30}$  и  $C^{32}/_{40}$ , широко используемых в строительстве, что делает результаты особо значимыми для практического ресурсосбережения при массовом строительстве.

Добавка «УКД-1» – новый вариант комплексной добавки в бетон, отличающийся тем, что кроме ускоряющего и пластифицирующего компонентов содержит в своем составе тонкодисперсный структурированный углеродный наноматериал.

В настоящих исследованиях поставлена задача определить условия эффективного применения добавки «УКД-1» в монолитном бетоне, поскольку в этом случае (в сравнении с производством сборного бетона и железобетона) очень существенное значение для качества бетона имеет способность бетонной смеси сохранять формуемость (удобоукладываемость) с течением времени и под влиянием температуры, условий транспортирования, приема на объекте, подачи и укладки в опалубку. Оценивали снижение подвижности (ОК, см) по СТБ EN 12350-3-2012 бетонных смесей без добавок и с добавками во времени при следующих изменяющихся факторах: начальной формуемости смеси и состава бетона; при изменении температуры наружного воздуха; при статическом состоянии и с периодическим перемешиванием смеси.

В таблице 1 приведены исходные данные по составам и свойствам бетонных смесей и приготовленного из них бетона, которые использовались в исследованиях.

Таблица 1

## Характеристики бетонных смесей и бетона

№ п/п	Класс бетона	Формуемость бетонной смеси		Марка цемент а	Расход составляющих (кг) на 1 м <sup>3</sup> бетона:				Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водоцементное отношение бетона
		«Ж», с	«ОК», см		Ц	П	Ш <sub>ш</sub>	В		
А. Составы без добавок										
1	C <sup>12</sup> <sub>/15</sub>	-	3...4	M400	275	765	1200	160	2400	0,58
2	C <sup>25</sup> <sub>/30</sub>	-	12...14	M500	465	590	1090	208	2350	0,45
Б. Составы с добавкой 1 % СН от МЦ										
3	C <sup>12</sup> <sub>/15</sub>	-	3...4	M400	270	738	1230	147	2380	0,56
4	C <sup>25</sup> <sub>/30</sub>	-	12...14	M500	442	625	1100	195	2360	0,44
В. Составы с добавкой 1% «УКД-1» от МЦ										
5	C <sup>12</sup> <sub>/15</sub>	-	3...4	M400	247	785	1250	130	2415	0,52
6	C <sup>12</sup> <sub>/15</sub>	-	12...14	M400	340	755	1150	163	2380	0,48
7	C <sup>25</sup> <sub>/30</sub>	-	21...23	M500	420	720	1065	175	2380	0,41
8	C <sup>32</sup> <sub>/40</sub>	-	12...14	M500	400	695	1150	156	2405	0,39

Во всех случаях в таблице 1 начальную (исходную) подвижность бетонных смесей определяли через 15 мин. после выгрузки их из смесителя (СТБ 1035-96 п. 5.2.).

Таблица 2

## Изменение формуемости бетонной смеси различных составов и консистенции

Номер состава бетона по таблице 1	Наличие и вид примененной добавки	Изменение формуемости бетонной смеси (осадки конуса (см) или жесткости (с) за период (в мин) от момента приготовления:							
		15 (исходная)	30	45	60	75	90	105	120
1	-	ОК, 3 см	2,5	2	≈ 2	1,5	≈ 1	0,5	-
3	СН	ОК, 4 см	3,0	2	1,5	1,0	0,5	-	-
5	«УКД-1»	ОК, 4 см	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5
2	-	ОК, 12 см	11	10	8	6	4,5	4	3
4	СН	ОК, 14 см	13	11	9	5	3,5	1,5	-
6	«УКД-1»	ОК, 14 см	13	12	10,5	8	6,5	5	4
7	«УКД-1»	ОК, 22 см	20	16	10	6,5	4	2,5	0,5
8	«УКД-1»	ОК, 13 см	11	11	8	6	2,5	0,5	-

В таблице 2 приведены данные об изменении формуемости бетонной смеси во времени *в зависимости от состава бетона* (цемент М400 и М500 второй группы эффективности), начальной консистенции смеси, наличия и вида добавки («УКД-1» или СН – сульфат натрия). Температура смеси соответствовала ~ (15...18) °С и окружающей среды ~ (18...22) °С.

Из данных таблицы 2, относящихся к бетонной смеси без добавок (составы №№ 1 и 2) следует, что формуемость их в условиях выполненных экспериментов закономерно ухудшается с течением времени: снижается осадка конуса и возрастает жесткость. Полученные на бетонных смесях

данные полностью соответствуют ранее установленным закономерностям влияния этих добавок на сроки схватывания цемента [1].

На рисунке 1 приведены данные об изменении формуемости бетонной смеси под влиянием температуры наружного воздуха ( $t_{нв}$ ). При этом температура бетонной смеси ( $t_{см}$ ) соответствовала условию:  $t_{см} = t_{нв}$ , для температуры среды в (5...8) °С; при  $t_{нв} = (25...30)$  °С температура смеси начальная равнялась (18...20) °С.

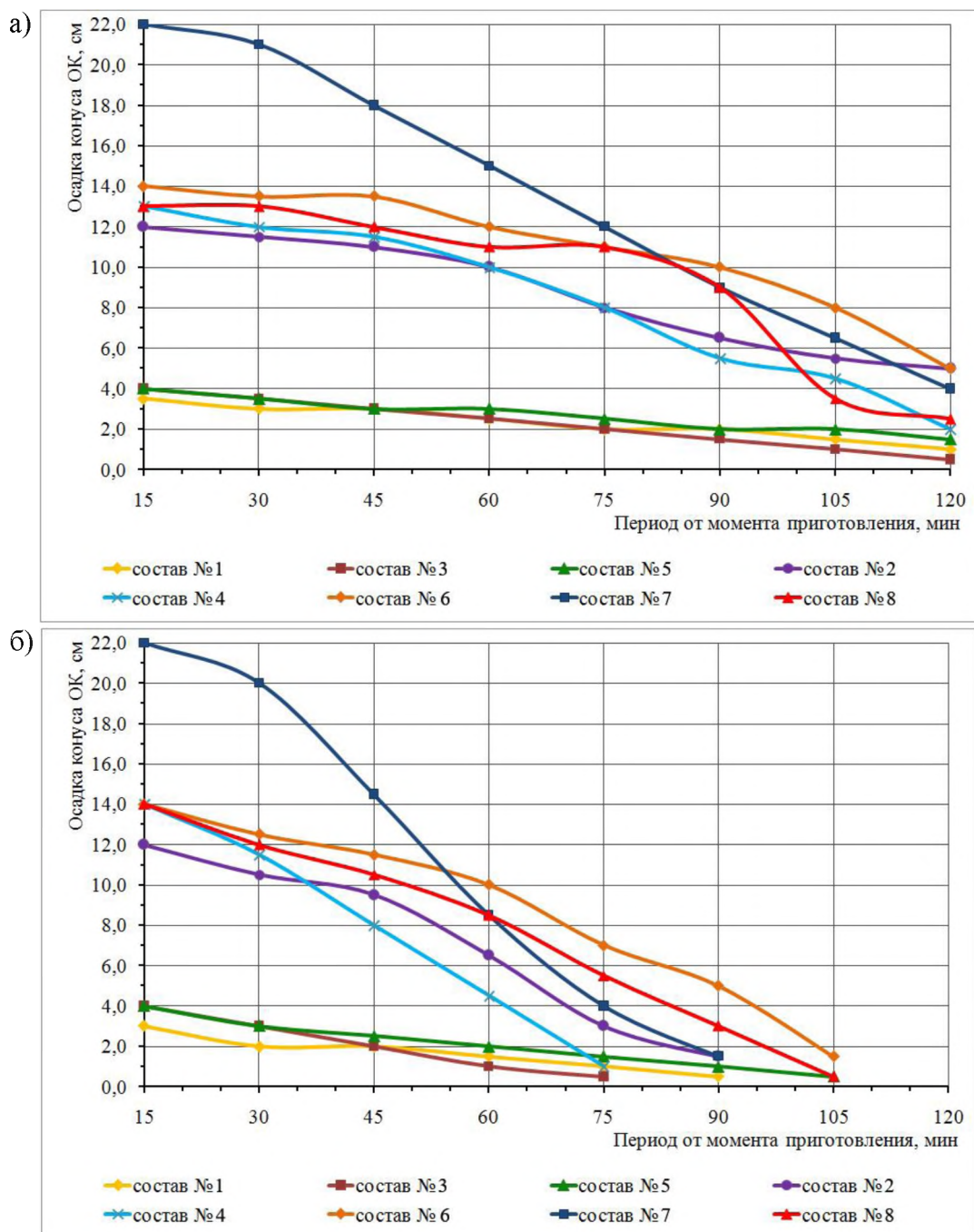


Рис. 1. Влияние температуры окружающей среды и добавок на изменение формуемости бетонных смесей: а – при  $t_{нв} = 5...8$  °С; б – при  $t_{нв} = 25...30$  °С.

Данные рисунка 1 подтверждают прямую зависимость ухудшения формуемости бетонной смеси и с добавками, и без них с повышением

температуры смеси и окружающей среды. Влияние на этот процесс добавок также нарастает с повышением температуры.

*Влияние механического воздействия на бетонную смесь.* Длительное механическое воздействие (перемешивание) на бетон после приготовления смеси способствует повышению ее однородности (гомогенности), более равномерному распределению воды затворения, цементного теста и инертных составляющих в бетоне. Кроме этого, способна оказывать активизационный эффект за счет углубления процесса дезагрегации цементных флоккул, дополнительного перераспределения воды и вовлечения в реакции с ней открывающихся поверхностей частиц вяжущего. В результате увеличения реагирующей с водой поверхности вяжущего возрастает объем образующихся продуктов его гидратации в виде кристаллогидратов клинкерных минералов, этtringита, портландита и других новообразований. Как следствие, возрастают плотность и прочность цементного камня и бетона [2, 3].

*Раствороотделение бетонных смесей* характеризует ее расслаиваемость при динамическом воздействии, возникающим при транспортировании и уплотнении бетона. Сущность определения этой характеристики заключается в проявлении расслоения смеси под воздействием динамических импульсов, результате которого появляются различия состава исходного бетона в верхней и нижней части образца в процессе вибрирования на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами (амплитуда:  $A \sim 0,5 \pm 0,05$ , мм; частота:  $f \sim 2900 \pm 100$ , кол/мин).

**Таблица 3**

**Раствороотделение бетонных смесей**

Номер состава бетона по таблице 1, наличие добавки, осадка конуса, см	Масса бетонной смеси, г:		Масса щебня, г:		Масса раствора, г:		Показатель раство-роотде-ления, $P_r$ , %	Сниже-ние показателя, %
	в верх-ней части	в ниж-ней части	в верх-ней части	в ниж-ней части	в верх-ней части	в ниж-ней части		
№1; без добавок; ОК ~ 4 см	6108	5892	2973	3027	3135	2865	4,5	-
№5; 1% «УКД-1»; ОК ~ 4 см	5970	6105	2950	3301	3020	2804	3,7	~ 18
№2; без добавок; ОК ~ 13 см	5985	5765	2678	2972	3307	2993	5,0	-
№6; 1% «УКД-1»; ОК ~ 14 см	6055	5985	2886	3054	3169	2931	3,9	22

Эксперименты по определению раствоороотделения бетонных смесей и зависимости этого явления от наличия в составе добавки «УКД-1» по методике СТБ 1545-2005 на составах бетона подвижностью марок «П1» и «П3», классов  $C^{12}/_{15}$  (№1 и №5) и  $C^{25}/_{30}$  (№2 и №6) по таблице 1 приведены в таблице 3.

Анализ данных по раствоороотделению показал, что при динамическом воздействии вибрацией более устойчивы к расслоению смеси с добавкой «УКД-1», поскольку равная подвижность (и одинаковая прочность бетона) обеспечиваются при уменьшенном объеме цементного теста (расходе цемента) и снижении начального водосодержания. При этом, в рамках выполненных экспериментов, снижение показателя раствоороотделения для равноподвижных бетонных смесей с добавкой 1% «УКД-1» составило ~ 18% для подвижности марки «П1» и 22% – для марки «П3».

Таким образом, внедрение комплексных добавок и оптимизация технологий приготовления и транспортировки бетонных смесей способствует значительному сокращению потерь материалов и энергии в строительной отрасли, что отвечает принципам инженерной экологии и способствует ее устойчивому развитию.

#### Библиографический список

1. Шейда О. Ю., Батяновский Э. И. Влияние комплексной химической добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал, на свойства цемента // Наука и техника. – 2015. – №2. – С. 30–38.
2. Ахведов, И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахведов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с. (Измененная редакция, Изм. N 1, 2). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 1999. – 40 с.
3. Ахведов, И. Н. Ультразвуковое вибрирование в технологии бетона / И. Н. Ахведов, М. А. Шалимо. – М.: Стройиздат, 1969. – 135 с.