

## **ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ «УКД-1» НА СОХРАНЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

### **Введение**

Развитие в Беларуси производства структурированных углеродных наноматериалов (УНМ) [1-3], а также накопленные данные об эффективности их применения в цементном бетоне [4-8] поставили на повестку дня необходимость их практического использования. С учетом того, что эффективность УНМ проявляется в ускорении твердения и повышении прочности бетона в малых дозировках (0,05...0,0005% от массы цемента), одним из направлений применения УНМ явилось введение их в состав комплексной химической добавки в бетон с целью усиления действия ускоряющего его твердение компонента. Одновременно этот компонент способен «адсорбировать» своей поверхностью дисперсные частицы углеродного наноматериала, имеющие положительный заряд, обеспечивая тем самым равномерное распределение малых количеств УНМ в объеме цементного теста на стадии приготовления бетона. С появлением новой добавки «УНМ-1» на рынке Беларуси потребовалось проведение исследований ее эффективности в бе-

тоне и, в частности, ее влияния на свойства цемента, технологические свойства бетонных смесей, кинетику твердения и свойства бетона. Основные результаты исследований влияния добавки «УКД-1» на сохранение формовочных свойств бетонных смесей разной исходной подвижности при изменении температуры и условий хранения (транспортирования), представленные в настоящей статье, обеспечивают достижение цели, заключающейся в разработке рекомендаций по транспортированию бетонных смесей с добавкой «УКД-1» для монолитного строительства при круглогодичном ведении бетонных работ.

**Влияние различных факторов на формовочные свойства бетонной смеси**  
**Составы бетона для исследований.** В таблице 1 приведены исходные данные по составам и свойствам бетонных смесей и приготовленного из них бетона, которые использовались в исследованиях. Дозировка химических добавок (исследуемой «УКД-1» и принятой для сравнения – сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , СН), который входит в комплекс «УКД-1» в качестве ускорителя твердения) принята соответствующей 1% от массы цемента (МЦ) по сухому веществу как наиболее рациональная; для сульфата натрия – по рекомендациям источников [9, 10], а для «УКД-1» по собственным исследованиям автора, приведенным в источнике [11].

**Влияние температуры.** В экспериментах принят диапазон температуры бетонной смеси тяжелого конструкционного бетона от  $5^\circ\text{C}$  до  $30^\circ\text{C}$ , как наиболее характерный для климатической зоны Беларуси при круглогодичном ведении работ, включая требования к температуре смесей ТКП 45-5.03-21-2006 [13] для зимнего периода работ.

На рисунках 1 и 2 приведены данные (частично, промежуточные результаты для  $t = 12...15^\circ\text{C}$  и  $t = 18...22^\circ\text{C}$  опущены) об изменении формуемости бетонной смеси (во всех случаях среднее по 2-м определениям здесь и далее) составов (по таблице 1) №№ 2, 7, 12 (низкопластичная смесь) и №№ 5, 10, 16, 17 (пластичная и литая (по СТБ 1035-96) [12] под влиянием температуры наружного воздуха ( $t_{\text{на}}$ ). При этом температура бетонной смеси ( $t_{\text{см}}$ ) соответствовала условию:  $t_{\text{см}} = t_{\text{на}}$ , для температуры среды в  $(5...8)^\circ\text{C}$ ;  $(12...15)^\circ\text{C}$  и  $(18...22)^\circ\text{C}$ ; при  $t_{\text{на}} = (25...30)^\circ\text{C}$  температура смеси начальная равнялась  $(18...20)^\circ\text{C}$ . В последнем случае объем пробы бетона на период ожидания в процессе эксперимента укрывали жестким паронепроницаемым колпаком. Указанные диапазоны температуры обеспечивали, выполняя эксперименты в разные периоды весны-лета 2013 г. При этом сухие приготовленные смеси при температуре  $(5...8)^\circ\text{C}$  предварительно охлаждали, а при  $t = (25...30)^\circ\text{C}$  – подогревали примерно до средней указанного диапазона. Естественная температура среды соответствовала указанной в конкретных вариантах эксперимента.

Таблица 1 – Характеристики бетонных смесей и бетона

№ п/п	Класс бетона	Формуемость бетонной смеси		Марка цемента	Расход составляющих (кг) на $1 \text{ м}^3$ бетона:				Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$	Водоцементное отношение бетона
		«ОЖ», с	«ОК», см		Ц	П	Ш <sub>ш</sub>	В		
А. Составы без добавок:										
1	$\text{C}^{12/15}$	7...8	–	M400	245	760	1230	155	2390	0,63
2	$\text{C}^{12/15}$	–	3...4	M400	275	765	1200	160	2400	0,58
3	$\text{C}^{12/15}$	–	12...14	M400	380	685	1100	201	2365	0,53
4	$\text{C}^{25/30}$	–	3...4	M500	385	620	1180	176	2350	0,46
5	$\text{C}^{25/30}$	–	12...14	M500	465	590	1090	208	2350	0,45

Продолжение таблицы 1

Б. Составы с добавкой 1 % СН от МЦ										
6	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	7...8	—	M400	235	740	1280	145	2400	0,62
7	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	—	3...4	M400	270	738	1230	147	2380	0,56
8	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	—	12...14	M400	360	720	1100	182	2370	0,50
9	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	—	3...4	M500	364	670	1185	161	2380	0,44
10	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										
11	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	7...8	—	M400	220	825	1240	122	2410	0,55
12	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	—	3...4	M400	247	785	1250	130	2415	0,52
13	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	—	12...14	M400	340	755	1150	163	2380	0,48
14	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	—	21...23	M400	405	720	1065	180	2370	0,44
15	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	—	12...14	M500	345	725	1175	145	2395	0,42
16	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	—	21...23	M500	420	720	1065	175	2380	0,41
17	C <sup>32</sup> / <sub>40</sub>	—	12...14	M500	400	695	1150	156	2405	0,39

Данные рисунков 1 и 2 подтверждают прямую зависимость ухудшения формуемости бетонной смеси и с добавками и без них с повышением температуры смеси и окружающей среды. Обобщая данные приведенных графиков приходим к выводу, что с введением в бетон комплексной добавки 1% «УКД-1» от МЦ период сохраняемости формовочных свойств зависит от температуры смеси и окружающей среды и составляет для низкопластичных смесей период до 120...90 мин. при температуре 5...30°C соответственно (по критерию снижения «остаточной» осадки конуса, но не менее 1 см); для пластичных бетонных смесей с добавкой 1% «УКД-1» (состав № 13) период их сохранности соответствует до 90 мин. для  $t_{нв} \sim (5...8)^\circ\text{C}$ , до 75 мин. для  $t_{нв} \sim (12...15)^\circ\text{C}$ , до 60 мин для  $t_{нв} \sim (20...30)^\circ\text{C}$ . Сохраняемость свойств литой бетонной смеси, полученной с применением добавки «УКД-1», в пределах марки П5 сохраняется до 30 мин. при  $t_{нв} \sim (5...15)^\circ\text{C}$  и 15... 20 мин. при  $t_{нв} \sim (20...30)^\circ\text{C}$ .

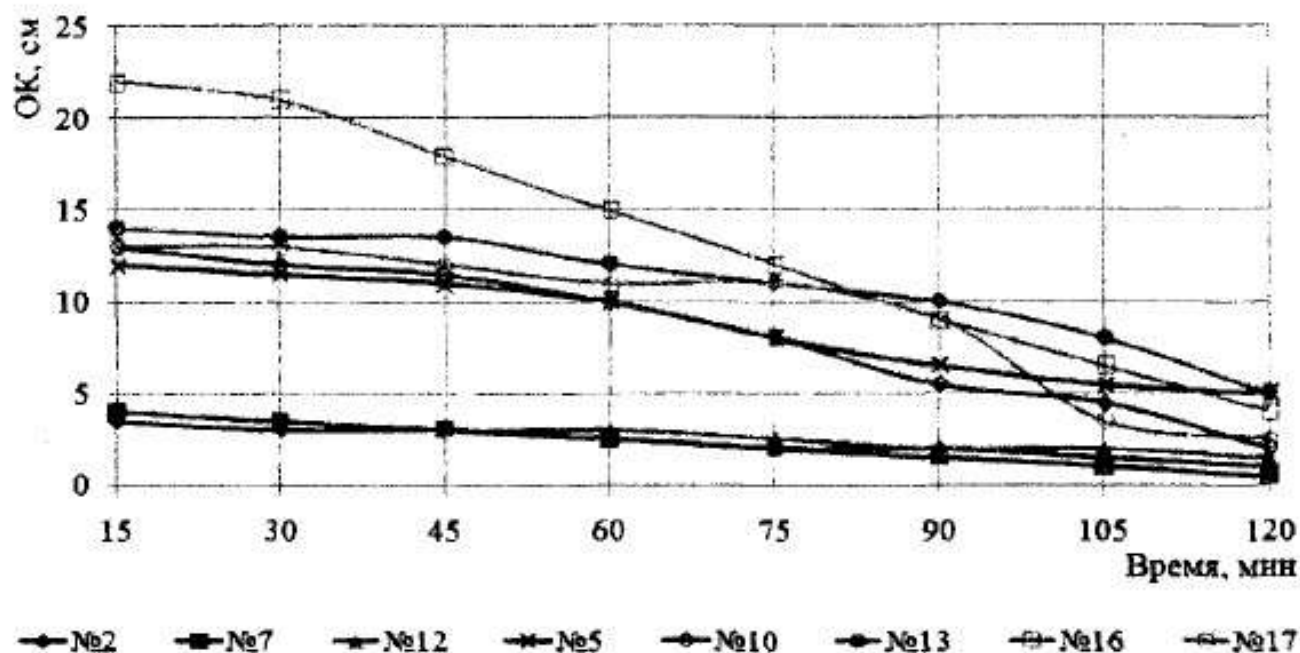


Рисунок 1 – Изменение формуемости бетонных смесей (ОК, см) за период (в мин.) от момента приготовления при температуре наружного воздуха  $t_{нв} = 5...8^\circ\text{C}$

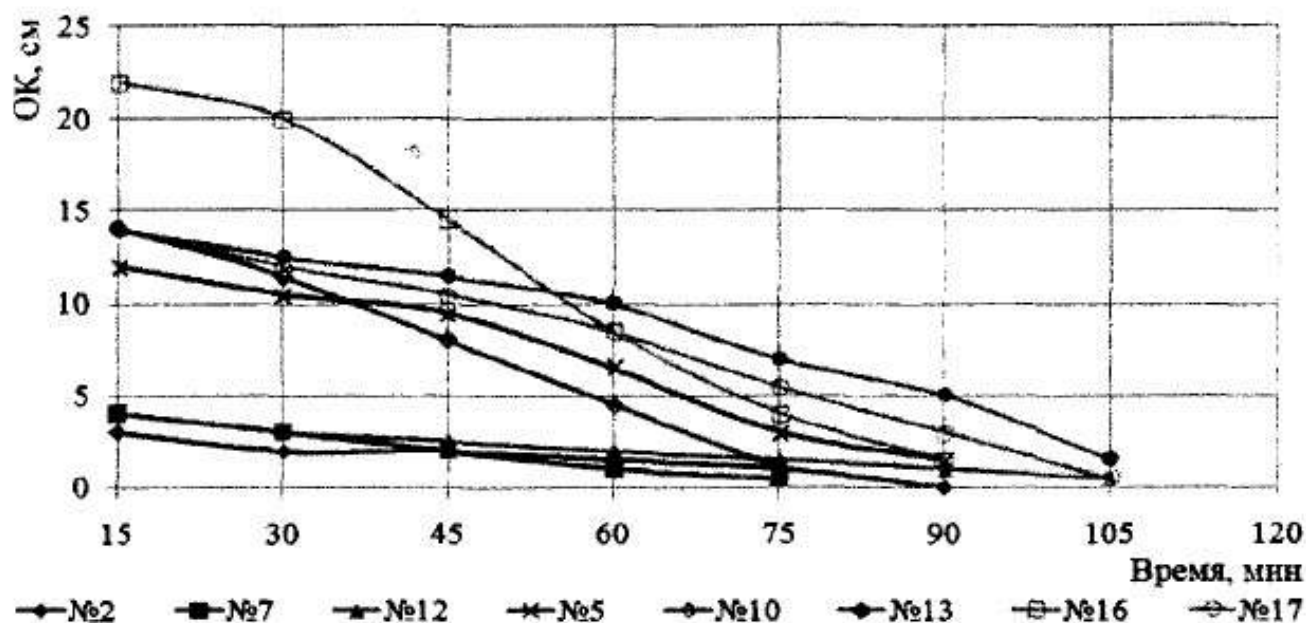


Рисунок 2 – Изменение формуемости бетонных смесей (ОК, см) за период (в мин.) от момента приготовления при температуре наружного воздуха  $t_{\text{нв}} = 25 \dots 30^\circ\text{C}$

**Влияние свойств цемента.** На рисунке 3 приведены экспериментальные данные, отражающие зависимость изменения подвижности бетонных смесей с исходной формуемостью (удобоукладываемостью) марок «П1»; «П3» и «П5» от свойств цемента различных заводов Беларуси при хранении приготовленной смеси до момента испытаний в неподвижном (статическом) состоянии. Температура бетонной смеси и окружающей среды соответствовала  $18 \dots 22^\circ\text{C}$ . Бетонную смесь готовили с объемом замеса в 20 л, выгружали из смесителя на поддон и только непосредственно перед испытанием пробу перемешивали в течение 60 с.

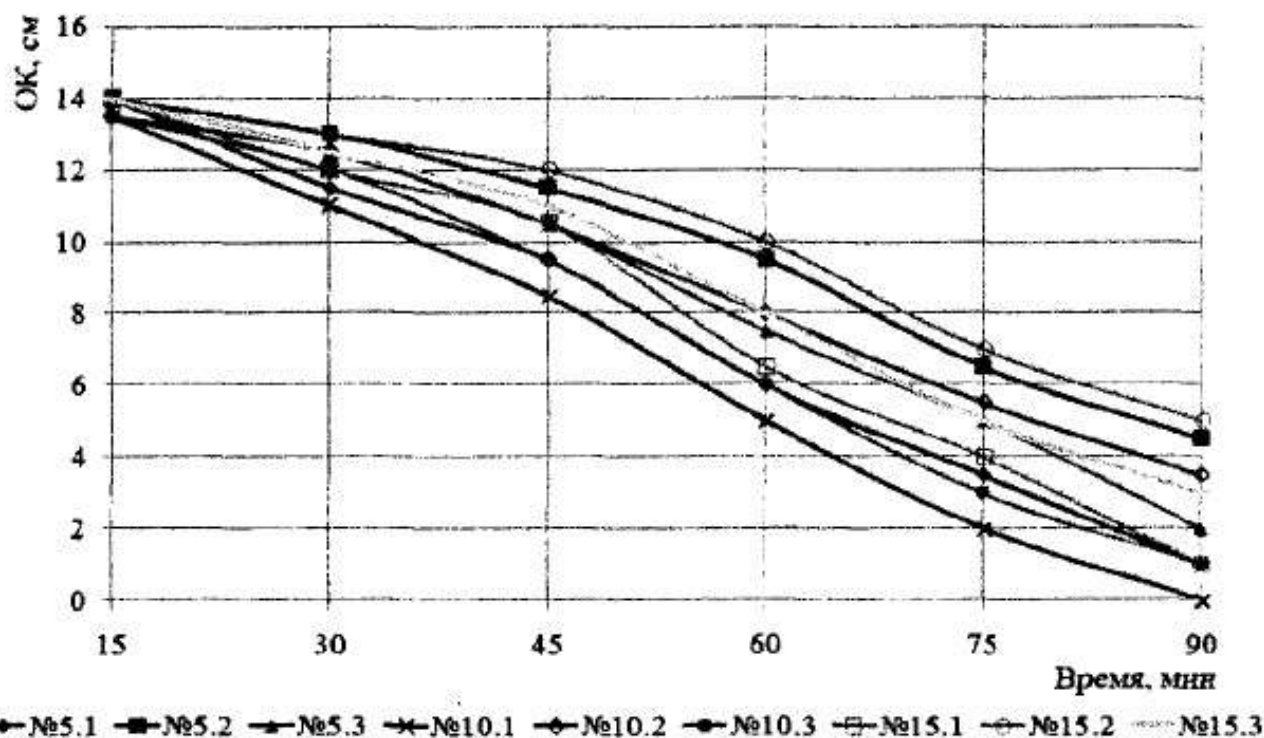


Рисунок 3 – Изменение формуемости бетонных смесей (ОК, см) за период (в мин.) от момента приготовления в зависимости от свойств цемента: №№5.1, 10.1, 15.1 – цемент БЦЗ, М500; №№5.2, 10.2, 15.2 – цемент Кричевцементношифер, М500; №№5.3, 10.3, 15.3 – цемент Красносельскстройматериалы, М500

Результаты экспериментов подтверждают взаимосвязь жизнеспособности бетонной смеси (способности сохранять формуемость во времени) с минералогическим и вещественным составом цемента. Например, цементы марок М400 и М500 Белорусского цементного завода характеризуются суммарным содержанием клинкерных минералов:  $C_3S + C_3A$ , примерно равным 63 % и 68,5 % соответственно; т.е. же марки цемента «Красносельскстройматериалы»: ≈ 56 и 60 % (в статье эти данные не приводятся). Именно эти минералы портландцементного клинкера гидратируются с наибольшими скоростями и, соответственно, наиболее быстро связывают воду затворения, что сопровождается потерей подвижности бетонной смеси.

**Влияние механического воздействия.** На рисунках 4 и 5 приведены результаты экспериментов, показывающие изменения подвижности низкопластичной бетонной смеси (составы №№ 2, 7 и 12) и пластичной (№№ 3, 8, 13) на примере бетона класса  $C^{12}/_{15}$ . Бетонную смесь перемешивали (в лабораторном бетоносмесителе принудительного принципа действия) в течение 2 (только на стадии приготовления бетона), 15 и 30 минут, имитируя вариант ее транспортирования с постоянным (или периодическим, но в целом продолжительным) побуждением в пути следования. Учитывая, что частота вращения лопастей вала лабораторного бетоносмесителя принудительного действия в 6 раз и более превышает скорость вращения барабана автобетоносмесителя, интенсивность воздействия на смесь примерно сопоставима с вероятным воздействием на нее в процессе реального транспортирования автобетоносмесителем. Температура бетонной смеси и окружающей среды в этих экспериментах соответствовала 18...22 °С.

Увеличение времени перемешивания до 30 мин. не вносит существенных изменений в показатель формуемости смеси, определенный сразу после выгрузки. Однако появляется тенденция ее незначительного снижения, что, на наш взгляд, связано со следующим. В частности, с увеличением времени перемешивания бетонной смеси нарастает эффект увеличения площади поверхности твердой фазы, способной адсорбировать воду. Во-первых, за счет возрастающего во времени процесса дезагрегации (распадения) цементных флоккул и вступления в контакт (и реакцию) с водой дополнительных реакционно-способных поверхностей вяжущего.

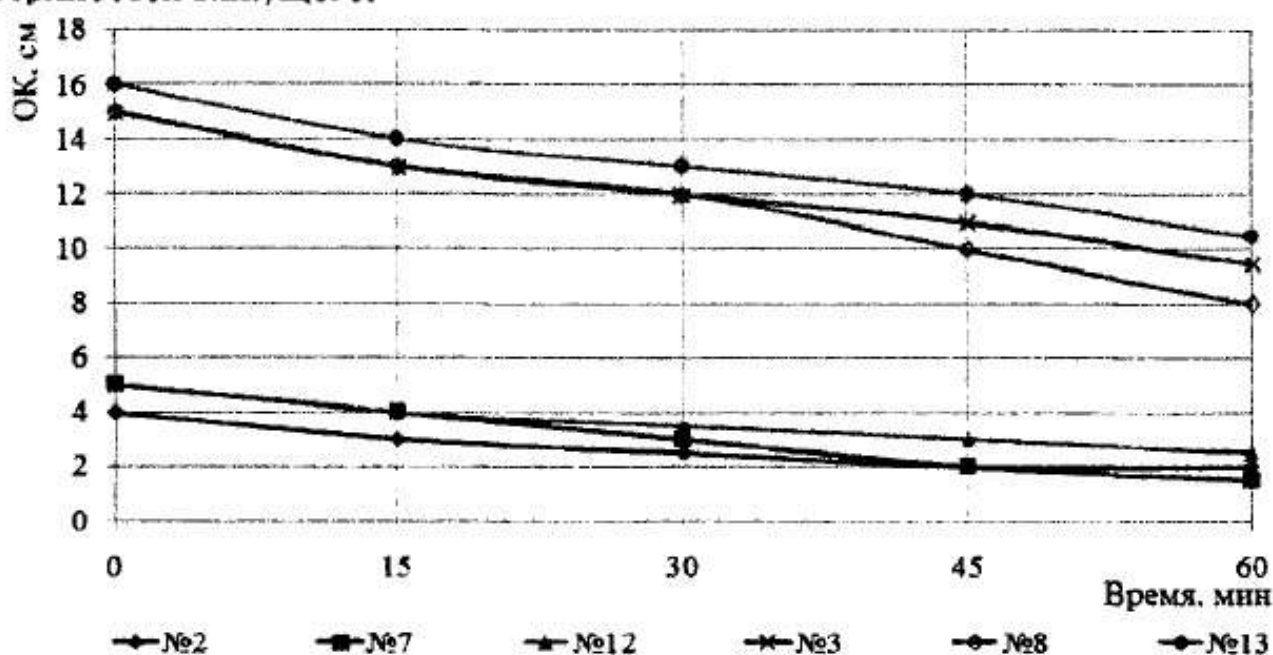


Рисунок 4 – Изменение формуемости бетонных смесей (ОК, см) за период (в мин.) от момента приготовления при продолжительности перемешивания смеси 2 мин.

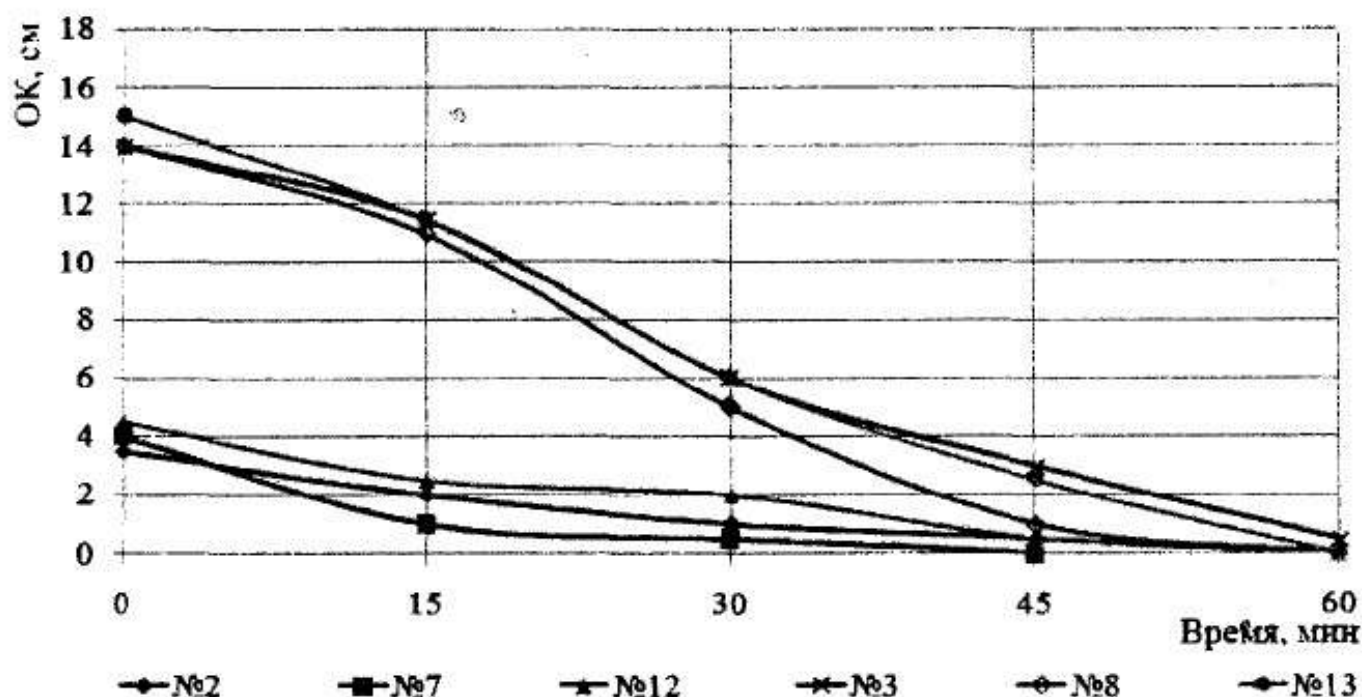


Рисунок 5 – Изменение формуемости бетонных смесей (ОК, см) за период (в мин.) от момента приготовления при продолжительности перемешивания смеси 30 мин.

Во-вторых, сказывается переход пылевидных частиц, удерживаемых поверхностью заполнителей, в объем цементного теста. Это приводит к дополнительному перераспределению жидкости и ее связыванию поверхностью дисперсных частиц пылевидных фракций. В-третьих, возникающее в процессе перемешивания полидисперсной массы, насыщенной зернами твердой фазы крупного и мелкого заполнителей, являющихся своеобразными мелющими телами, силы трения (постоянно нарушая (срывая) «пленки» воды и продуктов гидратации с поверхности частиц цемента) активизируют поверхностные силы частиц вяжущего, что способствует ускорению процессов гидролиза-гидратации цемента. Отмеченные эффекты дополняются постоянными нарушениями стабильности в формировании вокруг цементных зерен реакционных оболочек, которые в статическом состоянии системы «цемент-вода» достаточно быстро формируются, уплотняются и начинают сдерживать развитие гидратационного процесса.

Исследуемая комплексная добавка «УКД-1» обеспечивает некоторый рост подвижности пластичной смеси сразу после выгрузки при продолжительном перемешивании (очевидно из-за более равномерного распределения в объеме цементного теста и бетона пластифицирующего компонента добавки, чем это имеет место при традиционном времени перемешивания) и несколько стабилизирует пластические свойства во времени. Однако эффект этот (из-за развития ранее изложенных процессов) непродолжителен и не превышает 30 мин. от времени выгрузки смеси. Вместе с тем, можно сделать вывод, что при продолжительном перемешивании (побуждении в пути следования) смеси с добавкой «УКД-1» имеет место достаточный по продолжительности (до 30 мин.) период для работы с ней на объекте (для подачи и укладки бетона в опалубку).

**Водоотделение и растворотделение.** Подача бетонных смесей в опалубку современными способами (особенно бетононасосами и пневмонагнетанием) и качество (однородность) укладки бетона зависит от подверженности пластичных смесей расслоению. В свою очередь гомогенность (однородность) бетонной смеси, содержащей крупный заполнитель, зависит от ряда факторов: свойств цемента, начального водосодержания, соотношения и свойств заполни-

телей и других, среди которых существенным является влияние введенных в состав бетона химических добавок. В этой связи было необходимым исследовать влияние добавки «УКД-1» на характеризующие однородность бетонной смеси показатели – водоотделение и раствооротделение, которые экспериментально определены в сопоставлении с равноподвижными смесями марок «П1» и «П3» без добавок.

*Водоотделение* бетонных смесей – это проявление передозировки воды над необходимым ее количеством, которое может быть удержано частицами твердой фазы в бетоне за счет потенциала ее поверхности. Наибольшей «водоудерживающей» способностью в бетоне обладает цемент, т.к. именно вяжущее из-за своей дисперсности характеризуется наибольшим значением потенциала поверхности. Чистые заполнители плотных горных пород (кварц и полевой шпат, являющиеся основой песка; гранитообразующие породы щебня) обладают меньшим потенциалом поверхности, который возрастает с увеличением в заполнителях доли мелких фракций за счет повышения удельной поверхности их.

Таким образом, физическая основа проявления эффекта водоотделения (результаты приведены в таблице 2) – это наличие в бетоне жидкости в количестве, которое превышает некоторый предел суммарных сил поверхности твердой фазы, входящей в его состав.

В результате проявления сил гравитационного притяжения (седиментации), а также эффекта контракции (стяжения, уменьшения объема или гидратации цемента) цементного теста из объема бетона мигрирует «свободная» (не связанная) вода и накапливается на поверхности конструкции (изделия) или образцов.

Таблица 2 – Водоотделение пластичных бетонных смесей

Номер состава бетона по таблице 1, наличие добавки, осадка конуса, см	Масса сосуда со смесью, г	Масса отделившейся воды, г	Показатель водоотделения по СТБ 1545-2005, %	Снижение показателя, %
№2; без добавок; ОК ~ 4 см	2450	13,6	1,51	-
№12; 1% «УКД-1»; ОК ~ 4 см	2477	10,1	1,12	27,4
№5; без добавок; ОК ~ 13 см	2414	18,7	2,08	-
№15; 1% «УКД-1»; ОК ~ 14 см	2462	11,4	1,27	38,9

Методика экспериментов (при объеме мерного сосуда – 1 л) соответствовала изложенной в п.8.4; СТБ 1545-2005 [14], поэтому не приводится. Во всех случаях объем бетонной смеси, укладываемой на 1,5 часа в мерный сосуд (отбор собирающейся воды – через каждые 15 мин.) был равен 900 см<sup>3</sup> (0,9 л). Составы бетона для сравнительных испытаний приняты по таблице 1, в частности, равноподвижные для марки «П1» – №2 (класс С<sup>12</sup>/<sub>15</sub>, содержание цемента 275 кг, В/Ц ~ 0,58) и №12 (С<sup>12</sup>/<sub>15</sub>; Ц = 275 кг; В/Ц ~ 0,52; 1% «УКД-1»); для марки «П3» – №5 (С<sup>25</sup>/<sub>30</sub>; Ц = 465 кг; В/Ц ~ 0,45) и №15 (С<sup>25</sup>/<sub>30</sub>; Ц = 345 кг; В/Ц ~ 0,42; 1% «УКД-1»). Из результатов экспериментов, представленных в таблице 2, следует, что равноподвижные бетонные смеси с добавкой «УКД-1» характеризуются меньшим (на ~ 25% для марки «П1» и ~ (35...40)% для марки «П3») водоотделением по сравнению со смесями без добавок.

Следует отметить, что абсолютные величины полученных данных по водоотделению смесей не имеют принципиального значения, но сравнение их показы-

вает эффективность использования добавки «УКД-1» с позиций повышения качества бетона. Причины снижения водоотделения смесей с добавкой, очевидно связаны и обуславливаются двумя основными факторами. Во-первых, уменьшение расхода цемента (т.е. объема цементного теста, из которого «уходит» отделяемая под действием сил тяжести и эффекта контракции вода). А во-вторых, за счет снижения начального водосодержания бетона от эффекта пластификации добавки «УКД-1». В совокупности эти факторы обусловили снижение на (25...40)% водоотделения бетонных смесей в рамках выполненных экспериментов.

*Раствороотделение бетонных смесей* характеризует ее расслаиваемость при динамическом воздействии, возникающем 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.).

Эти различия состава оцениваются по содержанию растворной составляющей бетона в верхней и нижней части мерного сосуда (объем 5 л) после вибрирования пластичных смесей марок «П1» и «П2» в течение 25 с, марки «П3» – 10 с, марок «П4» и «П5» – в течение (7...3)с. Показатель раствороотделения бетонной смеси определяют как соотношение разницы масс растворной составляющей бетона в верхней (0,5h) и нижней (0,5h) части испытуемого слоя высотой «h», отнесенной к их общей массе и выраженной в процентах.

Эксперименты по определению раствороотделения бетонных смесей и зависимости этого явления от наличия в составе добавки «УКД-1» по методике СТБ 1545-2005 [14] на составах бетона подвижностью марок «П1» и «П3», классов  $C^{12}/_{15}$  (№2 и №12) и  $C^{25}/_{30}$  (№5 и №15) по таблице 1, а их результаты приведены в таблице 3.

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 раствороотделения, $P_r$ , %	Снижение показателя, %
	в верхней части	в нижней части	в верхней части	в нижней части	в верхней части	в нижней части		
№2; без добавок; ОК ~ 4 см	6108	5892	2973	3027	3135	2865	4,5	-
№12; 1% «УКД-1»; ОК ~ 4 см	5970	6105	2950	3301	3020	2804	3,7	~ 18
№5; без добавок; ОК ~ 13 см	5985	5765	2678	2972	3307	2993	5,0	-
№15; 1% «УКД-1»; ОК ~ 14 см	6055	5985	2886	3054	3169	2931	3,9	22

Анализ данных по раствороотделению смесей с добавкой «УКД-1» (№12 и №15) и без добавок (№2 и №5) отражает ту же тенденцию, что и ранее полученные экспериментальные данные по водоотделению бетонных смесей ука-



занных составов (таблица 2). То есть и при статическом хранении бетонных смесей с добавкой «УКД-1» (водоотделение) и при динамическом воздействии вибрацией (раствороотделение) более устойчивы к расслоению смеси с добавкой. Общая тенденция в обоих вариантах испытаний подчеркивает общность причин, обеспечивающих более высокую степень однородности равноподвижных бетонных смесей: с добавкой «УКД-1» 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».

### **Заключение**

1. Влияние добавки «УКД-1» на изменение формовочных свойств бетонных смесей предсказуемо, подчиняется характерным для входящих в ее состав пластифицирующего и ускоряющих твердение бетона компонентов и требует от пользователя обычных (стандартизированных) мероприятий перед ее применением в производимых бетонах.

2. Время сохранения формовочных свойств смесей тяжелого бетона с добавкой «УКД-1» зависит от температуры смеси и наружного воздуха, от свойств цемента и исходной консистенции и в диапазоне температур 0...5°C до 25...30°C (в пределах выполненных экспериментов) может составить от 120 мин. до 30 мин. при исходной подвижности бетонной смеси марок «П1» и «П5», что обеспечивает возможность ее применения в монолитном бетоне, с учетом оценки строительной лабораторией «поведения» смесей для конкретных условий ведения бетонных работ.

3. Влияние минералогического состава цемента (в основном - количества «C<sub>3</sub>S + C<sub>3</sub>A»), его вещественного состава (наличие или отсутствие минеральных добавок) на сохраняемость формовочных свойств бетонных смесей с добавкой «УКД-1» проявляется в общеизвестных закономерностях, связанных с содержанием в вяжущем этих наиболее активно гидратирующихся клинкерных минералов и влиянием на этот процесс вещества введенных минеральных добавок. Специфического действия добавки «УКД-1» в зависимости от этих факторов не выявлено.

4. Установленное экспериментально повышение устойчивости бетонных смесей с добавкой «УКД-1» к расслоению (водо-, раствоороотделению) связано со снижением водосодержания равноподвижных смесей и снижения расхода цемента (объема цементного теста) для равнопрочных бетонов за счет эффективности данной добавки, проявляющейся в росте плотности и прочности цементного камня и бетона.

5. Результаты экспериментов позволили обосновать временные режимы транспортирования бетонных смесей с добавкой «УКД-1» для круглогодичного ведения бетонных работ.

### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Zhdanok, S.A. // Fifth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar «Nanotechnologies in the area of physics, chemistry and biotechnology». – St Petersburg, 27-29 May, 2002.
2. Жданок, С.А. Установка для получения углеродных наноматериалов: патент №2839 / С.А. Жданок, А.В. Крауклис, П.П. Самцов, В.М. Волжанкин [и др.].
3. Жданок, С.А. Плазмохимический реактор конверсии углеводородов в электрическом разряде: патент №3125 / С.А. Жданок [и др.].

4. Жданок, С.А. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы / С.А. Жданок, Б.М. Хрусталева, Э.И. Батяновский, С.Н. Леонович // Вестник БНТУ», 2009. – № 3. – С. 5-22.
5. Батяновский, Э.И. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента. XVI Межд. науч.-метод. семинара / Под общ. ред. П.С. Пойты, В.В. Тура. – Бр.: БрГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 136.
6. Батяновский, Э.И. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня / Э.И. Батяновский, А.В. Крауклис, Петр П. Самцов, П.В. Рябчиков, Павел П. Самцов // Строительная наука и техника. – 2010. – №1-2(28-29). – С. 3-10.
7. Батяновский, Э.И. Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая наночастицы углерода / Э.И. Батяновский, В.Д. Якимович, П.В. Рябчиков // Проблемы современного бетона и железобетона: сборник материалов III Международного симпозиума. – Мн.: РУП «БелНИИС», 2011. – Т.2. – С. 53-68.
8. Батяновский, Э.И. Особенности применения углеродных наноматериалов в конструкционно-теплоизоляционных пенобетонах / Э.И. Батяновский, Г.С. Галузо, М.М. Мордич // Наука - образованию, производству, экономике: сборник материалов Девятой Международной научно-технической конференции. – Мн.: БНТУ, 2011. – С. 272-273.
9. Применение добавок в бетон: пособие П1-99 к СНиП 3.09.01-85. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2000. – 33 с.
10. Батяновский, Э.И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона / Э.И. Батяновский, Е.И. Иванова, Р.Ф. Осос // Строительная наука и техника. – 2006. – 3(6). – С. 7-17.
11. Шейда, О.Ю. Влияние комплексной химической добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал, на свойства цемента / О.Ю. Шейда, Э.И. Батяновский. – Мн.: БНТУ, 2014. – С. 272-273.
12. Смеси бетонные. Технические условия: СТБ 1035-96. – Мн.: Стройтехнорм, 1997. – 12 с.
13. Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства: ТКП 45-5.03-21-2006 (02250). – Мн.: Стройтехнорм, 2006. – 107 с.
14. Смеси бетонные. Методы испытания: СТБ 1545-2005. – Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2005. – 20 с.