

[State Unitary Enterprise Center Design Products in Construction]. 367 p. (in Russian).

9. **Pisarenko, G. S.**, Agarev, V. A., Kvitka, A. L., Popkov, V. G., & Umanskii, E. S. (1973) *Resistance of Materials*. Kiev, Vysccha Shkola. 672 p. (in Russian).

10. **Ruditsyn, M. N.**, Artemov, P. Ya., & Liuboshits, M. I. (1961) *Reference Book on Material Resistance*. Minsk, Gosizdat BSSR. 516 p. (in Russian).

11. **Lapchinsky, A. K.** (2005) Operational Reliability of Reinforced Concrete Open-Frame Girder. *Arkhitektura i Stroitelstvo* [Architecture and Construction], 1, 114–116 (in Russian).

12. **Yanko, Ya.** (1961) *Mathematical and Statistical Tables*. Moscow, Gosstatizdat. 244 p. (in Russian).

Поступила 18.11.2014

УДК 666:941; 693.54

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ СТРУКТУРИРОВАННЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ, НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

Асп. ШЕЙДА О. Ю., докт. техн. наук, проф. БАТЯНОВСКИЙ Э. И.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: bat47@mail.ru

Изложены результаты исследований влияния отечественной комплексной химической добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал и характеризующейся совмещенным (ускоряющим твердение и пластифицирующим) эффектом воздействия на свойства цемента и цементного камня. Целью исследований, с одной стороны, являлось подтверждение эффективности добавки УКД-1 с позиций повышения темпа роста прочности цементного бетона и влияния добавки на сроки схватывания, т. е. сохранения формовочных свойств бетонных смесей во времени, а с другой – оценка «механизма» действия добавки УКД-1 в цементном бетоне. В результате установлены закономерности изменения под влиянием добавки водопотребности и сроков схватывания цемента, являющиеся предпосылкой соответствующих изменений формовочных свойств бетонных смесей, а также экспериментально обоснована возможность понижения температуры прогрева цементного бетона с добавкой УКД-1 с целью экономии энергоресурсов в производственных условиях. Кроме этого, подтверждена эффективность данной добавки, выраженная ростом прочности цементного камня до 20–40 % в проектном (28 сут.) возрасте, что является основной для роста прочности цементного бетона, и подтверждена гипотеза о физической природе данного явления, так как методом рентгенофазового анализа показано отсутствие изменений морфологии продуктов гидратации портландцемента под действием вещества добавки, содержащей структурированный углеродный наноматериал. Результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности добавки УКД-1 подтверждены производственной апробацией при изготовлении сборных изделий и возведении (устройстве) монолитных конструкций, в частности в условиях производства (г. Минск, ОП «Стройпрогресс» ОАО «МАПИД») и на строительных площадках (г. Могилев, ОАО «Стройтрест № 12»).

Ключевые слова: комплексная химическая добавка, цемент, углеродный наноматериал.

Ил. 2. Табл. 4. Библиогр.: 18 назв.

THE INFLUENCE OF THE COMPLEX CHEMICAL ADDITIVE CONTAINING THE STRUCTURED CARBON NANOMATERIAL ON PROPERTIES OF CEMENT

SHEYDA O. Yu., BATYANOVSKY E. I.

Belarusian National Technical University

The paper presents results of investigations on influence of domestic complex chemical additive containing structured carbon nanomaterial and characterized by a combination effect (curing acceleration and plasticizing) on cement and cement stone properties. The purpose of the investigations, on the one hand, has been to confirm efficacy of УКД-1-additive from the perspective for increasing the rate of gain, strength growth of cement concrete and additive influence on setting time with the purpose to preserve molding properties of concrete mixes in time, and on the other hand, that is to assess “mechanism” of the УКД-1 additive action in the cement concrete. The research results have revealed regularities in changes due to the additive of water requirements and time period of the cement setting. The regularities are considered as a pre-requisite for relevant changes in molding properties of the concrete mixes. The paper also experimentally substantiates the possibility to decrease temperature of cement concrete heating with the УКД-1 additive. It has been done with the purpose to save energy resources under production conditions. In addition to this the paper proves the efficiency of the additive which is expressed in strength increase of cement stone up to 20–40 % in the rated age (28 days) that is considered as a basis for strength growth of cement

concrete. The paper confirms a hypothesis on physical nature of this phenomenon because the X-ray phase analysis method has shown that there are no changes in morphology of portland cement hydration products under the action of the additive agent containing a structured carbon nanomaterial. Results of theoretical and experimental investigations on УКД-1 additive efficiency have been proved by industrial approbation while fabricating precast concrete products and construction of monolithic structures under plant industrial conditions (Minsk, SS "Stroyprogress" JSC MAPID) and on building sites (Mogilev, JSC Stroytrest No 12).

Keywords: complex chemical additive, cement, carbon nanomaterial.

Fig. 2. Tab. 4. Ref.: 18 titles.

Введение. Развитие в последние годы технологии получения ультрадисперсных наноматериалов и, в частности, углеродных наноматериалов (УНМ) в Беларуси [1–3], понижение стоимости их производства поставили на повестку дня необходимость перехода от изучения их свойств к практическому применению [4–10]. Особенностью влияния УНМ на цементные системы является их эффективность при малых дозировках, соответствующих 0,0005–0,0500 % от массы цемента (МЦ). Решая проблему введения в бетон малых количеств твердофазного порошкообразного вещества, установили, что один из наиболее рациональных вариантов – предварительное совмещение их с иными твердофазными химически активными веществами – добавками в бетон, поверхность частиц которых заряжена отрицательно и способна адсорбционно удерживать вещество УНМ. В таком случае при контакте с водой обеспечивается равномерное распределение его в объеме жидкости и приготавливаемого бетона. Введенное таким образом в бетон вещество УНМ будет дополнять эффективность добавки собственно проявляемым эффектом роста прочности цементного камня и бетона [6, 8–10]. В итоге была разработана, прошла установленную процедуру утверждения и в Беларуси освоен выпуск добавки для цементных бетонов и растворов с комплексным пластифицирующим и ускоряющим твердение эффектом – УКД-1, содержащей в своем составе отечественный углеродный наноматериал. Следует отметить, что, несмотря на значительную насыщенность современного рынка Беларуси химическими добавками для бетона, их совершенствование с позиций снижения трудовых, энергетических затрат в строительной отрасли и повышения качественных характеристик бетона представляет собой актуальную и не теряющую со временем практическую значимость задачу. Этой цели соответствуют исследуемая добавка и проявляемая ею эффективность при твердении цемента, отраженная в

материале настоящей статьи. С учетом того что добавка УКД-1 – это трехкомпонентное вещество, в исследованиях ставилась задача как оценки роли отдельных составляющих, так и влияния рационального сочетания их на свойства вяжущего, включая структурно-морфологические изменения в продуктах гидратации портландцемента.

Влияние добавки на схватывание цемента. Схватывание затворенного водой цемента (цементного теста) отражает процесс связывания жидкости частицами твердой фазы. В начальный период взаимодействия ее распределение в системе сольватных оболочек частиц (флоккул) цемента неравномерно, и миграция воды связана с проявлением электростатических сил поверхности вяжущего. Со временем в системе «цемент – вода» развивается процесс гидролиза-гидратации, который сопровождается «выходом» в объем жидкой фазы элементарных частиц вяжущего. Они, в свою очередь, адсорбируют некоторое количество молекул воды, образуя собственную оболочку из ее тончайших слоев.

Углубление процесса гидратации вяжущего сопровождается постепенным связыванием воды твердой фазой как физическим (адсорбция поверхностью), так и химическим путем (образование новых фаз – этtringита, гидроксида кальция, гидроалюминатов кальция). С течением времени вся жидкость переходит из свободного в связанное состояние, и взаимное расположение частиц твердой фазы (включая непрореагировавшие к этому времени «ядра» взаимодействующих с водой частиц цемента) фиксируется за счет появления в зонах контакта сольватных оболочек связей между накопившимися в жидкости элементарными частицами новых фаз (новообразованиями). Эти силы незначительны, но достаточны для того, чтобы цементное тесто утратило способность к пластическим деформациям, т. е. схватилось, а его структура приобрела способность удерживать приданную форму.

Дальнейшее развитие процесса гидратации вяжущего сопровождается резким ускорением образования новых фаз, роста плотности их взаимной «упаковки» и прочности цементного камня. То есть явление схватывания – процесс формирования и становления коагуляционной структуры цементного теста – переходит в процесс твердения, который характеризуется постепенным образованием структуры кристаллогидратных новообразований из гидросиликатов, алюминатов и ферритов клинкерных минералов портландцемента [11, 12]. Следовало установить степень влияния на эти процессы добавки УКД-1, включающей ускоряющий твердение цементного бетона и пластифицирующий компоненты в сочетании с ультрадисперсным твердофазным углеродным наноматериалом, так как для практической работы с бетоном необходимо знать период времени, предшествующий схватыванию (когда бетонная смесь на портландцементе достаточно устойчиво сохраняет формовочные свойства) и называемый индукционным.

Особенность комплексной добавки заключается в том, что ускоряющий твердение бетона компонент является «истинным» электролитом. Его ионы активно влияют на развитие (ускорение) процесса гидролиза клинкерных минералов, способствуют дезагрегации цементных флоккул, интенсифицируют процесс образования новых фаз [13–15]. В результате сокращается продолжительность индукционного периода, ускоряются схватывание и потеря формовочных свойств бетонной смеси. Пластифицирующий компонент содержит в своем составе поверхностно-активные вещества, адсорбция молекул которых поверхностью вяжущего (при оптимальных дозировках – у ее активных центров), наоборот, приводит к торможению гидратационного процесса и

увеличению сроков схватывания цементного теста и бетона. Влияние УНМ на сроки схватывания цемента, согласно [8], проявляется в незначительном (2–6 %) их сокращении.

Итоговое влияние комплексной добавки УКД-1 на сроки схватывания цементов разных групп активности при пропаривании, производимом отечественными заводами (табл. 1), отражено данными (приведены частично) табл. 2. Результаты экспериментов, означенные составом УКД-1, относятся к производственному соотношению ее компонентов, остальные отражают результаты поиска их оптимального соотношения. Очевидно, что комплексная пластифицирующе-ускоряющая твердение добавка оказывает неоднозначное влияние на сроки схватывания цемента. Так, при неизменном количестве воды затворения в пластифицированном тесте начало и конец схватывания цемента несколько отодвигаются во времени с ростом содержания компонента – суперпластификатора (СП) в комплексной добавке. При этом сроки схватывания цемента с комплексной добавкой во всех случаях меньше, чем с монодобавкой СП, но больше, чем с монодобавкой ускорителя твердения (сульфата натрия, или СН; в статье эти данные не приводятся). Снижение количества воды затворения до получения цементного теста нормальной густоты (т. е. при сохранении пластичности – const; данные 1*, 3*, 5*, 6*) сопровождается сокращением срока начала схватывания примерно на (15–25) % относительно цемента без добавок. При этом абсолютная величина сроков начала схватывания цементов групп 1 и 2 эффективности (№ 1, 5 и № 3, 6 соответственно) с комплексной добавкой 1^{30} – 2^{30} (ч, мин) на исследованных цементах удовлетворяет нормативным требованиям (не менее 45 мин).

Таблица 1

Характеристики цементов, использованных в исследованиях

№ п/п	Завод-изготовитель	Марка цемента	Группа активности при пропаривании	Минералогический состав, %				$K_{нг}$	Срок схватывания, ч, мин	
				C_3S	C_3A	C_2S	C_4AF		Начало	Конец
1	БЦЗ	M500-Д0	1	60	7,3	15	11,5	0,255	2^{05}	3^{10}
2	БЦЗ	M400-Д0	1	56	6,5	18	13	0,265	2^{10}	3^{20}
3	Кричевцементношифер	M500-Д0	2	54	5	21	16	0,260	3^{15}	5^{10}
4		M400-Д20	3	51	4,5	26	15	0,270	3^{20}	5^{10}
5	Красносельскцемент	M500-Д0	1	55	4,7	20	15	0,255	2^{05}	3^{17}
6		M500-Д20	2	53	3,3	23	15,7	0,250	2^{35}	3^{55}
7	То же	M400-Д20	2	52	3,8	22	17,5	0,265	2^{30}	3^{40}

Таблица 2

Влияние комплексной добавки на сроки схватывания цемента

№ цемента по табл. 1	Состав ** комплексной добавки «СП + СН», % от МЦ по сухому веществу	Срок схватывания цемента, ч, мин		Изменение начала схватывания, % от исходного по табл. 1
		Начало	Конец	
1	0,3 + 0,5	1 ⁵⁸	2 ⁵⁹	-6
1	0,4 + 0,5	2 ¹⁰	3 ¹¹	+4
1	0,5 + 0,5	2 ²⁰	3 ²³	+12
1	УКД-1	2 ⁰⁵	2 ⁴⁵	0
1*	0,5 + 0,5	1 ³²	2 ¹⁰	-26
1*	УКД-1	1 ⁴⁰	2 ¹⁵	-20
3	0,5 + 0,5	3 ¹³	3 ⁵⁵	-1
3*	0,5 + 0,5	2 ³⁶	3 ⁰⁵	-20
3*	УКД-1	2 ⁴⁵	3 ⁰⁰	-15
5	0,5 + 0,5	2 ¹²	3 ²⁴	+6
5*	0,5 + 0,5	1 ⁴⁵	2 ¹⁸	-16
5*	УКД-1	1 ⁴⁵	2 ²⁰	-16
6	0,5 + 0,5	2 ⁴⁰	3 ³⁰	+3
6*	0,5 + 0,5	2 ¹⁰	3 ⁰⁰	-16
6*	УКД-1	2 ⁰⁴	2 ⁵²	-17

1*, 3*, 5*, 6* – с уменьшением начального водосодержания до консистенции цементного теста, соответствующей тесту нормальной густоты.
 ** Доля УНМ составляла ~0,0005 % от МЦ, т. е. была постоянной (определено как минимально необходимое содержание при разработке добавки).

При этом добавка УКД-1 производственного состава практически не изменяет срока начала схватывания цементного теста без корректировки воды затворения и на 15–20 % сокращает время схватывания при уменьшении количества воды затворения (в экспериментах – на ~20 %) и сохранении постоянной консистенции цементного теста (на уровне нормальной густоты). Данное обстоятельство следует учитывать при работе с УКД-1, в частности с введением соответствующего поправочного коэффициента при оценке изменений подвижности приготавливаемой бетонной смеси.

Прочность и структурно-морфологические изменения в цементном камне. Исследования возможных структурно-морфологических изменений в продуктах гидратации цемента под влиянием вещества добавки УКД-1 выполняли на пробах (12 шт.) цементного камня, полученных измельчением его до порошкообразного состояния после испытаний образцов (20×20×20 мм) на прочность (сжатие). Данные (дозировка добавок – в % от массы цемента) этих испытаний (каждое значение – среднее среди не менее шести образцов), из которых очевидна эффективность (рост прочности на сжатие в 28 сут. – на 15–40 %) исследуемой добавки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Относительная прочность, %, образцов цементного камня

№ состава	Расход, г (% от МЦ)				K _{нг}	ΔB, г	Условия твердения		Прочность, % от R ₂₈ ^н в возрасте, сут.			
	В	Ц	СН	СП			НВУ**	В воде	1	3	7	28
1	102	400	–	–	0,255	–	+	–	50	81	92	100
2	102	400	1,0 %	–	0,255	–	+	–	67	92	102	110
3	102	400	0,5 %	–	0,255	–	+	–	66	90	97	107
4	80	400	–	0,5 %	0,200	22	+	–	30	73	94	102
5	90	400	0,5 %	0,5 %	0,225	12	+	–	58	86	101	105
6*	102	400	–	–	0,255	–	+	–	52	87	93	101
7*	102	400	1,0 %	–	0,255	–	+	–	67	89	99	104
8*	102	400	0,5 %	–	0,255	–	+	–	66	86	99	103
9*	80	400	–	0,5 %	0,200	22	+	–	35	78	94	101
10*	90	400	0,5 %	0,5 %	0,225	12	+	–	59	89	101	105
11*	102	400	–	–	0,255	–	–	+	57	88	94	103
12*	102	400	1,0 %	–	0,255	–	–	+	68	89	101	109
13*	102	400	0,5 %	–	0,255	–	–	+	67	88	100	105
14*	80	400	–	0,5 %	0,200	22	–	+	37	80	95	107
15*	90	400	0,5 %	0,5 %	0,225	12	–	+	60	89	101	107
16*	90	400	1,0 %	УКД-1	0,225	12	–	+	70	93	113	120
17	90	400	1,0 %	УКД-1	0,225	12	–	+	70	108	127	145

* С нагревом за 1,5 ч до температуры 50 °С и остыванием в баке (~22 ч): № 16 – после хранения УКД-1 в течение года в помещении, № 17 – 45–60 сут. после изготовления.
 ** Нормально-влажные условия.

Одновременно подтверждаются взаимосвязь и взаимозависимость становления коагуляционной структуры цементного теста (схватывание) с формированием и упрочнением кристаллогидратной структуры (твердение) цементного камня.

Так, замедление схватывания цементного теста добавкой СП сопровождается снижением темпа роста прочности цементного камня, даже несмотря на уменьшение водоцементного отношения (количества воды затворения). С учетом повышения при этом плотности и непроницаемости цементного камня (основы долговечности бетона) очевидно, что наибольший совокупный эффект следует ожидать от комплексной добавки, в частности такой, как УКД-1. Очевидно, что кратковременный разогрев цементного камня до температуры менее 50 °С не оказывает существенного влияния на прочность в проектном (28 сут.) воз-

расте, одновременно повышая ее в первые трое суток последующего твердения в нормально-влажных условиях и воде. Это существенно, так как одним из условий эффективности мало-энергоёмкой технологии монолитного бетона является повышение темпа роста его прочности в начальный период для ускорения оборота опалубки и повышения темпов строительства при обеспечении требуемой проектной прочности бетона возводимых (устраиваемых) конструкций.

Результаты исследований методом рентгенофазового анализа проб затвердевшего цементного камня, полученного без введения добавок, содержащего ускоритель твердения (СН), комплексную добавку (СН + СП) и УКД-1 (СН + СП + УНМ), свидетельствуют о том, что все пробы цементов имеют идентичный фазовый минералогический состав. В статье приведены частично – рис. 1, 2, табл. 4.

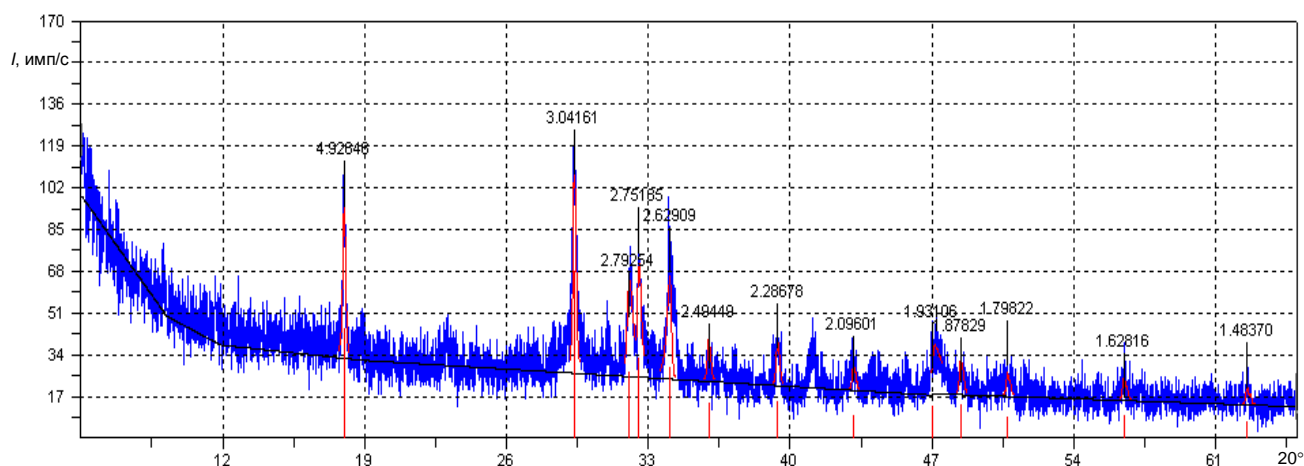


Рис. 1. Дифрактограмма пробы № 11 (исходный цемент, нагрев 1,5 ч до $t = 50$ °С, затем – твердение в воде)

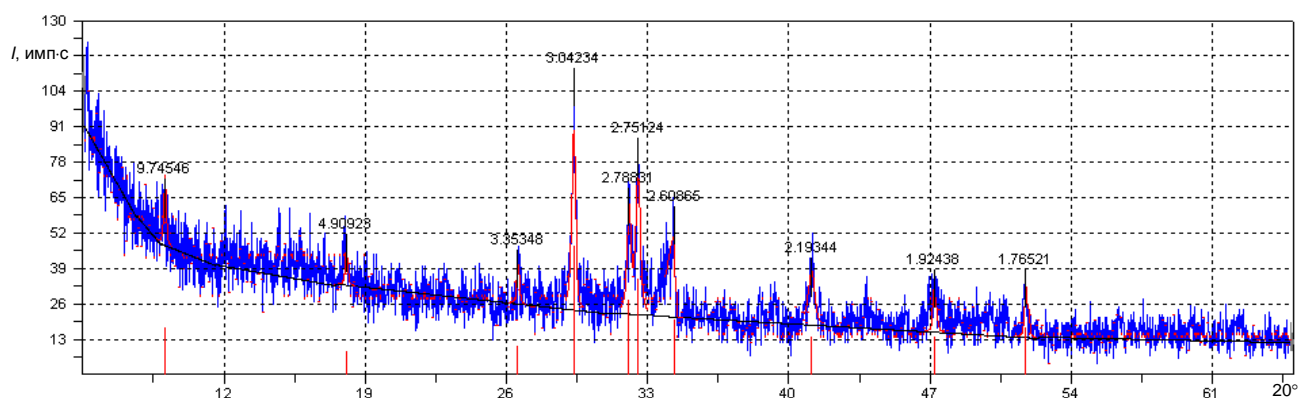


Рис. 2. Дифрактограмма пробы № 17 (добавка УКД-1, нагрев 1,5 ч до $t = 50$ °С, затем – твердение в воде)

Таблица 4

Наличие минералов в исследуемых пробах в зависимости от условий твердения и содержания добавок

№ пробы	Добавка	Наличие минералов в пробах при различных условиях твердения							
		C-S-H (II)	C ₂ SH	C ₂ S ₃ H ₂	C ₂ S ₂ H ₃	C ₃ A · 3CaSO ₄ × × 32H ₂ O	Ca(OH) ₂	CaSO ₄ × × 2H ₂ O	CaSO ₄ × × 0,5H ₂ O
		Воздушно-сухие условия							
1	Исходный цемент	+	+	-	+	+	+	-	-
3	1,0 % Na ₂ SO ₄	-	+	-	+	+	+	-	-
5	0,5 % Na ₂ SO ₄ + 0,5 % C-3	+	+	+	+	+	+	-	+
		Выдержка 1,5 ч при t = 50 °С, затем – воздушно-сухие условия							
6	Исходный цемент	-	+	-	+	+	+	+	-
8	1,0 % Na ₂ SO ₄	-	-	+	+	+	+	-	+
10	0,5 % Na ₂ SO ₄ + 0,5 % C-3	-	-	-	+	+	+	-	+
		Выдержка 1,5 ч при t = 50 °С, затем – твердение в воде							
11	Исходный цемент	-	-	-	+	+	+	+	-
13	1,0 % Na ₂ SO ₄	-	+	-	-	+	+	-	-
15	0,5 % Na ₂ SO ₄ + 0,5 % C-3	-	+	-	+	+	+	-	-
16	УКД-1	+	-	-	+	+	+	-	-
17	УКД-1	+	+	+	+	+	+	-	-

Запись дифрактограмм проводили на рентгеновском дифрактометре «Дрон-7» при Cu- α -излучении, напряжение на трубке 30 кВ, ток 15 мА. На дифрактограммах всех проб имелись дифракционные отражения в рентгеновских спектрах, принадлежащие следующим фазам:

- алиту C₃S с межплоскостными расстояниями $d/n = 0,304; 0,299; 0,277; 0,274; 0,261; 0,232; 0,218... \text{ нм}$;
- белиту β -C₂S ($d/n = 0,305; 0,287; 0,281; 0,279; 0,274; 0,271; 0,260; 0,232... \text{ нм}$);
- трехкальциевому алюминату C₃A ($d/n = 0,305; 0,299; 0,278; 0,270; 0,220; 0,204... \text{ нм}$);
- четырехкальциевому алюмоферриту C₄AF ($d/n = 0,723; 0,270; 0,265; 0,217; 0,204... \text{ нм}$);
- портландиту Ca(OH)₂ ($d/n = 0,493; 0,311; 0,263... \text{ нм}$);
- этtringиту C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O ($d/n = 0,973; 0,561; 0,388... \text{ нм}$).

Кроме перечисленных выше минералов, в пробах содержались:

- гиллебрандит C₂SH ($d/n = 0,490; 0,313; 0,293... \text{ нм}$);
- риверсайдит C₂S₂H₃ ($d/n = 0,306; 0,298; 0,279... \text{ нм}$);
- гиролит C₂S₃H₂ ($d/n = 0,96; 0,468; 0,336... \text{ нм}$);
- в пробах № 6 и 11 (исходный цемент) – гипс CaSO₄ · 2H₂O ($d/n = 0,756; 0,305; 0,286... \text{ нм}$);

- в пробах № 5, 8 и 10 – полугидрат CaSO₄ · 0,5H₂O ($d/n = 0,598; 0,298; 0,278... \text{ нм}$).

На основании анализа полученных данных можно сделать следующие выводы.

В рентгеновских спектрах всех проб присутствуют дифракционные отражения исходных клинкерных минералов: алита (C₃S), белита (β -C₂S), трехкальциевого алюмината (C₃A) и четырехкальциевого алюмоферрита (C₄AF). Причем интенсивность этих отражений уменьшается в пробах с добавками, что связано с их влиянием (углублением) на гидролизно-гидротационные процессы в твердеющем цементном камне. При этом во всех составах наименьшее количество клинкерных минералов наблюдается при твердении образцов в воде (пробы № 11–17).

Кроме исходных минералов, во всех пробах содержались портландит Ca(OH)₂ и этtringит C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O. Максимальное количество портландита (как отражение углубления гидратации C₃S и C₂S) содержалось в пробах № 11, 13, 15, которые твердели в воде (выдержка 1,5 ч при t = 50 °С, затем – твердение в воде). Минимальное количество портландита в пробах № 6, 8, 10 с режимом твердения: выдержка 1,5 ч при t = 50 °С, затем – воздушно-сухие условия, отражая ухудшение условий гидратации цемента. Максимальное количество этtringита (C₃A · 3CaSO₄ · 32H₂O) и тоберморитового геля (C-S-H (II)), гиллебрандита

(C_2S_3H) и гиrolита ($C_2S_3H_2$), т. е. соединений – продуктов реакций клинкерных минералов с водой, было в пробах № 16 и 17 (содержащих добавку УКД-1).

Минералы, образующиеся в исследуемых пробах в зависимости от условий твердения и содержания добавок, приведены в табл. 4. Обобщение полученных результатов рентгенофазового анализа проб в сочетании с данными дериватографического анализа (разложением проб цементного камня при нагреве от 20 до 1000 °С), результаты которого для цементного камня, содержащего углеродный наноматериал, приведены в [4, 6, 8], показывает следующее.

Во-первых, отсутствие химического взаимодействия УНМ добавки УКД-1 с продуктами гидролиза и гидратации клинкерных минералов, что подтверждается идентичностью фазового состава проб чистого цемента и содержащего добавку УКД-1, а также выводами, сделанными в [4, 6, 8] на основании дериватографии и рентгенофазового анализа проб цементного камня, содержащего УНМ и без него. Во-вторых, наличие в комплексной добавке ускорителя твердения Na_2SO_4 способствует росту количества образующегося в цементном камне этрингита $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, гидрокристаллы которого примерно в 2,86 раза [15, 16] больше по объему, чем исходные составляющие его вещества, и способствуют уплотнению структуры на ранней стадии твердения цементного камня. И, в-третьих, снижение содержания (отражений) клинкерных минералов в пробах с добавкой УКД-1, по сравнению с пробами без добавки и с монодобавками СП и СН, свидетельствует о более глубоком развитии процессов гидролиза-гидратации цемента в присутствии данной добавки. Результатом является рост плотности и прочности цементного камня, а на этой основе – и цементного бетона.

С учетом изложенного следует считать обоснованным вывод, сформулированный в [4, 6, 8], о физической основе эффекта роста прочности цементного камня при введении в его состав ультрадисперсного УНМ. Обладая значительным потенциалом поверхности, частицы УНМ служат своеобразной подложкой (центрами кристаллизации) для ускоренного формирования кристаллогидратных новообразований в твердеющем цементном камне. А трубчатые УНМ, характеризующиеся размерами поперечных сечений, меньше размеров пор новообразований (пор геля) [15, 17, 18], и длиной, превышающей размеры образующихся

гидрокристаллов, обеспечивают специфическое наноармирование формирующейся из них структуры цементного камня. Сочетание этих эффектов способствует повышению темпа роста и уровня прочности цементного камня и цементного бетона [9, 10].

ВЫВОДЫ

1. Приведенные результаты теоретических исследований прошли производственную апробацию в форме оценки эффективности добавки УКД-1 при изготовлении сборных изделий (ОП «Стройпрогресс» ОАО МАПИД, г. Минск) и устройстве монолитных конструкций (ОАО «Стройтрест № 12», г. Могилев). По их результатам составлены соответствующие акты и протоколы, в которых сформулированы следующие выводы. УКД-1 соответствует заявленным функциональным свойствам ускоряющей твердение бетона добавки с пластифицирующим эффектом и по эффективности в бетоне, выраженной в обеспечении его прочности и формустойкости бетонной смеси, не уступает добавкам первой группы – суперпластификаторам (по СТБ 1112–98).

2. Подтвержден рекомендуемый малоэнергетичный режим тепловой обработки изделий, включающий подъем температуры до ~50 °С за период времени 1,5–2 ч при последующем твердении бетона без подвода теплоты (горячий термос) в течение 10–12 ч, с обеспечением прочности бетона (70–80) % и более от проектной.

3. С учетом подтверждения эффективности, полученной в производственных условиях, добавка УКД-1 может быть рекомендована к применению при производстве сборных бетонных и железобетонных изделий и при ведении бетонных работ в монолитном строительстве. При этом экономическая эффективность добавки УКД-1 складывается из уменьшения расхода энергии на прогрев бетона и ускорения оборота опалубок с учетом более высокого темпа роста его прочности, а также из возможности снижения на (5–15) % расхода цемента при сохранении прочности бетона на исходном уровне.

4. По результатам комплексно выполненных теоретических, экспериментальных исследований и производственной апробации разработан технологический регламент на применение добавки УКД-1 в цементном бетоне и железобетоне, обеспечивающий необходимые условия для эффективного ведения бетонных работ с ее применением.

ЛИТЕРАТУРА

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. – St. Petersburg: Ioffe Institute, 2002.

2. **Установка** для получения углеродных наноматериалов: пат. № U 2839 Респ. Беларусь: МПК В82В 3/00 / С. А. Жданок, А. В. Крауклис, П. П. Самцов, В. М. Волжанкин; дата публ.: 30.06.2006.

3. **Плазмохимический** реактор конверсии углеводородов в электрическом разряде: пат. № U 3125 Респ. Беларусь: МПК В01J 19/00 / С. А. Жданок, П. П. Самцов, А. В. Крауклис, К. О. Борисевич, А. В. Суворов; дата публ.: 30.10.2006.

4. **Нанотехнологии** в строительном материаловедении: реальность и перспективы / С. А. Жданок [и др.] // Вестник БНТУ. – 2009. – № 3. – С. 5–22.

5. **Батяновский, Э. И.** Направления исследований эффективности графитных наноматериалов в тяжелом бетоне / Э. И. Батяновский, П. В. Рябчиков // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XV Междунар. науч.-метод. семинара, Новополоцк, 27–28 нояб. 2008 г.: в 2 т. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – Т. 2.

6. **Батяновский, Э. И.** Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента / Э. И. Батяновский, П. В. Рябчиков, В. Д. Якимович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: сб. трудов XVI Междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 28–30 мая 2009 г.: в 2 ч. – Брест: БрГТУ, 2009. – Ч. 2. – С. 136.

7. **Батяновский, Э. И.** Нанотехнология и углеродные наноматериалы в строительном материаловедении / Э. И. Батяновский, П. В. Рябчиков, В. Д. Якимович // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3. – С. 22–29.

8. **Влияние** углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня / Э. И. Батяновский [и др.] // Строительная наука и техника. – 2010. – № 1–2 (28–29). – С. 3–10.

9. **Батяновский, Э. И.** Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая наноуглеродные добавки / Э. И. Батяновский, В. Д. Якимович, П. В. Рябчиков // Проблемы современного бетона и железобетона: материалы III Междунар. симпозиума, Минск, 9–11 нояб. 2011 г.: в 2 т. – Минск: Минсктиппроект, 2011. – Т. 2. – С. 53–68.

10. **Батяновский Э. И.** Особенности применения углеродных наноматериалов в конструкционно-теплоизоляционных пенобетонах / Э. И. Батяновский, Г. С. Галузо, М. М. Мордич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2011 – Т. 2. – С. 272–273.

11. **Ахвердов, И. Н.** Высокопрочный бетон / И. Н. Ахвердов. – М.: Госстройиздат, 1961. – 106 с.

12. **Ахвердов, И. Н.** Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.

13. **Ратников, В. Б.** Добавки в бетон / В. Б. Ратников, Т. И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 186 с.

14. **Батраков, В. Г.** Модифицированные бетоны / В. Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.

15. **Тейлор, К.** Химия цемента: пер. с англ. / К. Тейлор. – М.: МИР, 1986. – С. 418–429.

16. **Рояк, С. М.** Специальные цементы / С. М. Рояк, Г. С. Рояк. – М.: Стройиздат, 1969. – 270 с.

17. **Горчаков, Г. И.** Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений / Г. И. Горчаков, М. М. Капкин, Б. Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 194 с.

18. **Шейкин, А. Е.** Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

REFERENCES

1. **Zhdanok, S. A.** (2002) *Fifth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar "Nanotechnologies in the Area of Physics, Chemistry and Biotechnology"*, 27–29 May, 2002. St. Petersburg.

2. **Zhdanok, S. A., Krauklis, A. V., Samtsov, P. P., & Volzhankin, V. M.** (2006) *Carbon Nanomaterial Plant*. Patent Republic of Belarus No U 2839. (in Russian).

3. **Zhdanok, S. A., Samtsov, P. P., Krauklis, A. V., Borisevich, K. O., & Suvorov, A. V.** (2006) *Plasma-Chemical Reactor for Hydrocarbon Conversion in Electrical Discharge*. Patent Republic of Belarus No U 3125. (in Russian).

4. **Zhdanok, S. A., Khrestalev, B. M., Batianovskii, E. I., & Leonovich, S. N.** (2009) Nanotechnologies in Construction Material Science: Reality and Prospects. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the Belarusian National Technical University], 3, 5–22 (in Russian).

5. **Batianovsky, E. I., & Riabchikov, P. V.** (2008) Directions in Investigation of Graphite Nanomaterial Efficiency in Heavy Concrete. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov Respubliki Belarus'*. Sb. Trudov XV Mezhdunar. Nauch.-Metod. Seminara. T. 2 [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel in the Republic of Belarus. Collected Papers of 15th International Scientific and Methodical Workshop. Vol. 2]. Novopolotsk: Polotsk State University (in Russian).

6. **Batianovsky, E. I., Riabchikov, P. V., & Yakimovich, V. D.** (2009) Influence of Carbon Nanomaterials on Concrete Properties. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov Respubliki Belarus'*. Sb. Trudov XVI Mezhdunar. Nauch.-Metod. Seminara. Chast' 2 [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel in the Republic of Belarus. Collected Papers of 16th International Scientific and Methodical Workshop. Part. 2.]. Brest: BrSTU [Brest State Technical University], 136 (in Russian).

7. **Batianovsky, E. I., Riabchikov, P. V., & Yakimovich, V. D.** (2009) Nanotechnology and Carbon Nanomaterials in Construction Material Science. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Equipment], 3, 22–29 (in Russian).

8. **Batianovsky, E. I., Krauklis, A. V., Riabchikov, P. V., & Samtsov, P. P.** (2010) Influence of Carbon Nanomaterials on Cement and Cement Stone Properties. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika* [Construction Science and Equipment], 1–2 (28–29), 3–10 (in Russian).

9. **Batianovsky, E. I., Yakimovich, V. D., & Riabchikov, P. V.** (2011) Specific Features of Technology for High-Strength Concrete on the Basis of Domestic Materials Including Nanocarbon Additives. *Problemy Sovremennogo Betona i Zhelezobetona. Materialy III Mezhdunarodnogo Simpoziuma*. T. 2 [Problems of Modern Concrete and Reinforced Concrete. Collected papers of 3rd International Symposium. Vol. 2]. Minsk, Minsktiproekt, 53–68 (in Russian).

10. **Batianovsky, E. I.**, Galuzo, G. S., & Mordich, M. M. (2011) Peculiar Features in Application of Carbon Nanomaterials in Structural and Heat Insulating Foam Concrete. *Nauka – Obrazovaniiu, Proizvodstvu, Ekonomike. Materialy Deviatoi Mezhdunarodnoi Nauchno-Tekhnicheskoi Konferentsii. T. 2* [Science to Education, Industry, Economics. Proceedings of 9th International Science and Technical Conference. Vol. 2]. Minsk: BNTU, 272–273 (in Russian).
11. **Akhverdov, I. N.** (1961) *High-Strength Concrete*. Moscow, Gosstroyizdat. 106 p. (in Russian).
12. **Akhverdov, I. N.** (1981) *Fundamentals of Concrete Physics*. Moscow, Stroiizdat. 464 p. (in Russian).
13. **Ratnikov, V. B.**, & Rozenberg, T. I. (1989) *Concrete Additives*. Moscow, Stroyizdat. 186 p. (in Russian).
14. **Batrakov, V. G.** (1990) *Modified Concrete*. Moscow, Stroyizdat. 400 p. (in Russian).
15. **Taylor, H. F. W.** (1990) *Cement Chemistry*. 2nd ed. London, Academic Press. 410 p. (Russ. ed.: Taylor, K. (1986). *Khimia Tsementa*. Moscow, Mir, 418–429).
16. **Royak, S. M.**, & Royak, G. S. (1969) *Special Cement*. Moscow, Stroyizdat. 270 p. (in Russian).
17. **Gorchakov, G. I.**, Kapkin, M. M., & Skramtaev, B. G. (1965) *Improvement of Concrete Freeze-Thaw Resistance in Structures of Industrial and Hydroengineering*. Moscow, Stroyizdat. 194 p. (in Russian).
18. **Sheikin, A. E.**, Tchekhovskiy, Yu. V., & Brusser, M. I. (1979) *Structure and Properties of Cement Concrete*. Moscow, Stroyizdat. 344 p. (in Russian).

Поступила 14.07.2014

УДК 528.5

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЛИФТОВЫХ ШАХТ

Канд. техн. наук, проф. **НЕСТЕРЕНКО М. С.¹⁾**, инж. **ВЕКСИН В. Н.²⁾**

¹⁾Белорусский национальный технический университет,

²⁾УП «Геокарт»

E-mail: vfnest@gmail.com

Поэтажная съемка смонтированных элементов лифтовой шахты координатным методом при помощи тахеометра затруднена необходимостью выноса точки установки прибора на перекрытия каждого монтажного горизонта, что в условиях законченного каркаса здания при наличии множества ситуационных помех приводит к дополнительным измерениям и как следствие к большим затратам времени и снижению точности получаемых результатов. Технические возможности современного электронного тахеометра значительно упрощают выполнение этой задачи, поскольку прибор можно использовать не только в функции вертикального проецирования, но и для исполнительной съемки лифтовой шахты усовершенствованным полярным способом. При реализации данного способа электронный тахеометр, снабженный диагональным окуляром, устанавливается над опорным знаком в приемке шахты, а контрольные точки лифтовой шахты определяют посредством специально сконструированной переносной марки-светоотражателя в виде диска радиусом r , который закреплен на стержне-ручке и ориентируется перпендикулярно лазерному лучу. С применением данной марки разработана инновационная схема исполнительной съемки лифтовых шахт, отличающаяся высокой эффективностью, которая состоит в том, что с одной установки тахеометра выполняется высокоточная, полная планово-высотная съемка всего лифтового ствола, включая дверные проемы, их пороги и откосы.

Предложен новый способ исполнительной съемки лифтовых шахт посредством электронного тахеометра с применением специально разработанной светоотражающей марки, обеспечивающей геометрическую привязку одной или одновременно двух точек съемки к пространственной системе координат, в которой ведется исполнительная съемка. Способ характеризуется высокой геометрической точностью и технологической эффективностью.

Ключевые слова: электронный тахеометр, исполнительная съемка, лифтовая шахта.

Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

APPLICATION OF ELECTRONIC TACHEOMETER FOR PRE- AND POST-CONSTRUCTION SURVEY OF ELEVATOR SHAFT

NESTERIONOK M. S.¹⁾, **VEKSIN V. N.²⁾**

¹⁾Belarusian National technical University,

²⁾UE “Geokart”

Floor-by-floor survey of installed elements of an elevator shaft using coordinate method and tacheometer is also inhibited by the necessity to determine device installation points for floors of every mounting horizon that leads to additional measurements due to conditions of the completed building framework and presence of a great number of situational disturbances and