

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ
ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ
В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

(г. Минск, БНТУ — 27-28.05.2014)

УДК 666:972.69;693.547.34

**О ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ АПРОБАЦИИ НОВОЙ
ХИМИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ
УГЛЕРОДНЫЙ НАНОМАТЕРИАЛ**

ШЕЙДА О.Ю., БАТЯНОВСКИЙ Э.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Введение

Совершенствование химических добавок, применяемых в строительной отрасли для снижения трудовых, энергетических затрат и повышение качественных характеристик бетона, представляет собой актуальную и не теряющую со временем практической значимости задачу. Развитие в последние годы технологии получения ультрадисперсных наноматериалов и, в частности, углеродных наноматериалов (УНМ) в Беларуси [1-3], понижение стоимости их производства поставило 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...0,05 % от массы цемента. Решая проблему введения в бетон малых количеств твердофазного порошкообразного вещества установили, что одним из наиболее рациональных вариантов является совмещение их с иными химически активными веществами, поверхность которых «заряжена» отрицательно и способна адсорбционно удерживать

живать вещество УНМ и, при контакте с водой, равномерно распределять 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 [5, 8-10]. В итоге была разработана, прошла установленную процедуру утверждения и освоен выпуск добавки для цементных бетонов и растворов с комплексным пластифицирующим и ускоряющим твердение эффектом: «УКД-1», содержащая в составе отечественный углеродный наноматериал.

Характеристика добавки.

Комплексная добавка для бетона «УКД-1» (ТС 01.2093.14) – 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 (таблица 1).

Применение добавки способствует повышению водонепроницаемости и морозостойкости бетона на одну или две марки в зависимости от дозировки и обеспечивает снижение энергозатрат на твердение бетона за счет реализации беспрогревной (без подвода тепла от внешних источников) и малоэнергоёмкой (с кратковременным подводом тепла и разогревом бетона до 35...50°С) технологией. Эти эффекты обеспечиваются комплексным воздействием на цементный бетон, включающем снижение водосодержания за счет пластифицирующего компонента и ускоренный рост прочности бетона под влиянием ускоряющего твердение компонента, усиленного действием УНМ [8, 9].

Таблица 1

Технические характеристики добавки «УКД-1»

Наименование показателя	Норма
Внешний вид	Мелкозернистый порошок светло-коричневого цвета
Массовая доля сухого вещества, %	99,6
Водородный показатель 15%-го водного раствора добавки, един. рН	6,8
Насыпная плотность	904
Содержание хлор-ионов, %	0,041

Продолжение таблицы 1

Удельная активность естественных радионуклидов, Бк/кг	26,6+13,3	
Эффективность пластифицирующих свойств добавки. Вид добавки по СТБ 1112	Пластификатор Группы	
1. Подвижность бетонной смеси после приготовления (ОК), см: - контрольный состав - основной состав (В=const) -основной состав через 45 мин. (В=const)	Дозировка	
	0,7 %	1,5 %
	4,0 (П1) 22,0 (П5)	4,0 (П1) 24,0 (П5)
	16,0 (П4)	18,0 (П4)
2. Прочность бетона на сжатие, твердеющего в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях, МПа: - контрольный состав - основной состав (В=const)	32,6 32,6	32,6 32,7
	3. Снижение прочности бетона основного состава, % Снижения нет	
Эффективность добавки, ускоряющей твердение бетона.	Дозировка	
	0,7 %	1,5 %
1. Прочность бетона на сжатие, твердеющего в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях, МПа: - контрольный состав - основной состав (ОК=const)	32,6 35,3	32,6 36,5
	2. Прочность бетона на сжатие, твердеющего в течение 1 суток в нормально-влажностных условиях, МПа: - контрольный состав - основной состав (ОК=const)	6,9 8,4
3. Прочность бетона на сжатие, твердеющего в течение 2 суток при температуре 5 °С, МПа: - контрольный состав - основной состав (ОК=const)		6,0 8,0
	4. Увеличение прочности на сжатие бетона с добавкой, твердевшего, %: - в течение 28 суток в нормально-влажностных условиях - в течение 1суток в нормально-влажностных условиях - в течение 2 суток в нормально-влажностных условиях	108,3
21,7		24,6
33,3		36,7

Окончание таблицы 1

Марка бетона по водонепроницаемости: - контрольный состав - основной состав (OK=const)	W4 W6	W4 W8
Повышение марки бетона по водонепроницаемости, разы	На одну марку	На две марки
Марка бетона по морозостойкости (потеря прочности, %): - контрольный состав - основной состав (B=const)	F100(4,7) F150(3,8)	F100(4,7) F200(4,5)
Повышение марки бетона по морозостойкости, разы	На одну марку	На две марки
Образование высолов на поверхности бетона с добавкой	Высолы на поверхности образцов отсутствуют	
Характеристика коррозионного состояния арматурной стали в бетоне	Устойчивое пассивное состояние	

В настоящей статье частично представлены данные о результатах производственной апробации эффективности добавки «УКД-1» при изготовлении сборных железобетонных изделий и монолитных конструкций, выполненной на ряде предприятий (организаций) Беларуси. В качестве примера взяты результаты, полученные на ОП «Стройпрогресс» ОАО «МАПИД», г. Минск и ОАО «Стройтрест № 12», г. Могилев.

Оценка эффективности при заводском производстве железобетонных изделий

Условия проведения производственных испытаний. Авторами совместно с технологическими службами завода проведены производственные испытания (в период февраля-марта 2014 г.) комплексной пластифицирующе-ускоряющей твердение бетона добавки «УКД-1» при производстве железобетонных изделий: внутренних стен (изготовление в многоместных стенд-кассетах), наружных стеновых панелей (конвейерное производство).

Производственные испытания произведены при введении в бетон на стадии приготовления смеси апробируемой добавки «УКД-1» (РБ) в виде водного раствора ~ 10% концентрации в дозировке ~ 0,7% (для кассет) и ~ 0,5% (для конвейера) от массы цемента (МЦ) по сухому веществу.

После формирования изделия подвергали тепловой обработке по сокращенному (рекомендуется для добавки «УКД-1») и практикуемому предприятием режимам (указаны далее).

Параллельно контрольные образцы (100x100x100 мм) бетона класса С 16/20 (ОК ~12 см) без добавки и с 0,7% «УКД-1» подвергли тепловой обработке в лабораторной ямной камере по рекомендуемому для бетона с добавкой «УКД-1», режиму, включающему разогрев бетона до $t \sim 40...50^\circ \text{C}$ с последующим твердением по методу «термоса» (без подвода тепла).

Бетон готовили на цементе ОАО «Кричевцементношифер» марки: ПЦ М500 Д20, 2-ой группы эффективности; ОАО «БЦЗ» марки: М500 Д20, 1-ой группы эффективности.

Заполнители: щебень гранитный фр. 5...20 мм; песок природный с Мк ~2,6...2,7.

Составы бетона (класс С 16/20) при испытаниях не изменяли; удобоукладываемость смесей характеризовалась осадкой конуса ОК ~ 8...13 см для кассет и ОК ~ 4...6 см при изготовлении изделий на конвейере.

Данные испытаний в лаборатории завода. Режим тепловой обработки в лабораторной камере (состав бетона для кассет; С 16/20) соответствовал: предварительная выдержка 1,5...2,0 ч, подъем температуры до $t = 40^\circ \text{C}$ за 2 часа и последующее твердение в камере без подвода пара до 7^{00} следующего дня (т.е. при общей продолжительности ~ 15 ч). Данные о прочности бетона контрольных образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Прочность бетона состава для кассет при твердении в лабораторной камере

Класс бетона	Вид добавки, расход на 1м ³ бетона	Осадка конуса, см	Прочность бетона на сжатие, МПа, %:	
			Требуемая для класса С 16/20	Фактическое после «ГО»
С 16/20	Без добавки	8...10	25,7 (100%)	15,2(59%)
С 16/20	«УКД-1», 0,7 % МЦ; 2,73 кг	8...13	25,7 (100%)	25,5(100%)

Данные по кассетному производству (внутренние стеновые панели) приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Режимы тепловой обработки в кассетах

Режим:	Предварительная выдержка, ч	Подъем температуры за время, ч, до 0 °С	Изотермический прогрев	Общая продолжительность подачи пара, ч
1. Исходный заводской	до 4 ч.	2 ч. до 75 °С	5 ч.	7
2. Предлагаемый №1 (зимний)	до 2...4 ч.	2 ч до (40...50) °С	-	2
3. Предлагаемый №2 (летний)	до 1...2 ч.	1 ч до 40 °С	-	1

Таблица 4

Характеристика результатов по кассетному производству
(при твердении контрольных образцов в формах, размещенных на верху кассеты)

Класс бетона	Вид добавки, расход на 1м ³ бетона	Осадка конуса, см	Прочность бетона на сжатие, МПа, (%):			
			Требуемая	Фактическое после «ТО»		
				горячие	остывшие	3 сут 28 сут
С 16/20	Без добавки	8...10	25,7 (100)	-	-	21,6 (84)
С 16/20	«УКД-1», 0,7 % МЦ	8...13*	25,7 (100)	14,3 (56)	16,5 (64)	26,9 (105)
С** 16/20	«УКД-1», 0,7 % МЦ	8...13*	25,7 (100)	-	29,0 (128)	-

* При введении добавки «УКД-1» расход воды затворения для равноподвижной смеси уменьшали на ~ (10...16%).

** Образцы в формах твердели на верху лабораторной камеры под гидроизоляцией (полиэтиленовая пленка) и с утеплением поверхности.

Данные по конвейерному производству (наружные стеновые панели). Режим тепловой обработки на конвейерной линии (без изменений при введении добавки «УКД-1»):

- предварительная выдержка - 6...7 ч;
- подъем температуры и изотермия при $t \sim 40...450 \text{ C}$ - 8...10 ч;
- остывание - 10...13 ч;
- общая продолжительность ~ 30 ч.

Данные по прочности бетона приведены в таблице 5.

Таблица 5

Характеристика результатов по конвейерному производству

Класс бетона	Осадка конуса, см	Вид добавки, расход на 1м3 бетона	Прочность бетона, МПа (%) после ТО
C25/30	6	0,5 % «УКД-1»; 1,95 кг	36,9 (96%)
C25/30	5	0,7 % «УКД-1»; 2,73 кг	36,2 (94%)
C25/30	4	0,8% (гиперпласт); 3,12 кг*	42,6 (110%)

* По жидкому веществу 32% -ой концентрации добавки «Бетопласт СМ».

Выводы по результатам производственной апробации добавки «УКД-1» на ОП «Стройпрогресс».

- Добавка «УКД-1» соответствует заявленным функциональным свойствам ускоряющей твердение бетона добавки с пластифицирующим эффектом по эффективности в бетоне, выраженной в уменьшении расхода воды для равноподвижной смеси на ~ 10...16% и в обеспечении его прочности после рекомендуемой тепловой обработки более 90% от проектной.

- Подтвержден рекомендуемый малоэнергоемкий режим тепловой обработки изделий в кассетах, включающий подъем температуры до ~ 50 градусов за период времени ~ 2 часа при последующем твердении бетона без подвода тепла (горячий термос) в течении 10...12ч. при дозировке добавки «УКД-1» в 0,7% от массы цемента.

- В условиях действующего в зимней период на предприятии конвейерного производства прочность бетона $\geq 90\%$ от проектной обеспечивается дозировкой добавки «УКД-1» в 0,5% от массы цемента при относительных затратах на добавку «УКД-1» в расчете на 1 м³ бетона в 2 раза ниже, чем на добавку «гиперпластификатора» - «Бетопласт-СМ».

Апробация в условиях строительной площадки при ведении работ монолитным способом

Авторами совместно с технологическими службами ОАО «Стройтрест № 12» г. Могилева проведены (в период с апреля 2013 по апрель 2014 г.г.) производственные испытания комплексной пластифицирующе-ускоряющей твердение бетона добавки «УКД-1» при получении бетона расчетных составов и устройстве лестничных маршей, перекрытий над лестничной клеткой и диафрагм жесткости (объект – торговый центр «Лифтовый»).

Производственные испытания произведены в варианте сравнения: в равных дозировках по массе цемента в бетон вводили используемые на предприятии добавки суперпластификатора (добавка I-ой группы) «Полипласт СП-1» и «Криопласт СП 15-1» и апробируемую добавку «УКД-1».

После формирования образцы (100x100x100 мм) первой серии испытаний (апрель–май 2013 г.), твердели в помещении лаборатории треста в естественных условиях (средняя температура ~ 10 °С); второй серии (лестничные марши и диафрагма жесткости; период с января по апрель 2014 г.) – с обогревом греющими проводами и третьей серии (перекрытия лестничной клетки) – в естественных условиях.

Составы бетона (класс С20/25) при испытаниях не изменяли; удобоукладываемость смесей характеризовалась маркой «ПЗ» (осадкой конуса ОК ~ 10...15 см). Результаты испытаний приведены в таблицах 6, 7.

Таблица 6

Прочность бетона при испытаниях в лаборатории треста

Класс бетона	Вид и дозировка добавки	Прочность бетона на сжатие, МПа, через сутки			
		1 сут	2 сут	7сут	28 сут
С 20/25	«Полипласт СП-1» 0,7 % МЦ*	3,3	10,7	22,4	32,2
С 20/25	«УКД-1», 0,7 % МЦ	5,3	14,5	28,1	42,7

*в пересчете на сухое вещество

Таблица 7

Прочность бетона при ведении работ монолитным способом

Класс бетона	Вид и дозировка добавки	Прочность бетона, МПа, (% от проектной), через сутки:		
		1	3*	5
С 20/25	«Криопласт СП15-1» 0,7 % МЦ	–	17,0*	25,5 (80%)**
С 20/25	«УКД-1», 0,7 % МЦ	7,5	24,0*	33,8 (105%)**

* данные в 3 сут. относятся к бетону перекрытия над лестничной клеткой, который твердел без прогрева (воздушно-сухие условия при положительной температуре среды);

** в % от проектной прочности в 28 сут.

Выводы по результатам производственной апробации добавки «УКД-1» на ОАО «Стройтрест № 12»:

- Добавка «УКД-1» соответствует заявленным функциональным свойствам ускоряющей твердение бетона добавки с пластифицирующим эффектом, и по эффективности в бетоне, выраженной в обеспечении его прочности и формуемости бетонной смеси, не уступает добавкам первой группы – суперпластификаторам, применяемым ОАО «Стройтрест № 12».

- С учетом подтверждения эффективности, полученной в производственных условиях, добавка «УКД-1» может быть рекомендована к применению при ведении бетонных работ в монолитном строительстве.

- Экономическая эффективность добавки «УКД-1» складывается из ее стоимости для потребителей (10,3 млн. руб./т без НДС) при стоимости добавки «Криопласт СП15-1» – 11,25 млн. руб./т без НДС, в пересчете на сухое вещество), а также из ускорения оборота опалубок и уменьшения расхода энергии на прогрев бетона с учетом более высокого темпа роста его прочности.

- Необходимо отметить, что при общей эффективности добавки «УКД-1» работа с ней, как с сухим порошкообразным веществом, сложнее, чем с жидкими добавками «Полипласт» и «Криопласт», т.к. требует предварительного приготовления ее раствора.

Общие рекомендации по применению добавки «УКД-1» в бетоне и железобетоне

Область применения. Углеродосодержащая комплексная добавка в бетон (УКД-1) – трехкомпонентное вещество, в состав которого входят ускоряющий твердение, пластифицирующий компоненты и структурирующая присадка углеродного наноматериала, в бетоне (растворе) и железобетоне (обычное и преднапряженное армирование) применяется без ограничений. Рекомендуемые дозировки: 0,5...0,7% от массы цемента (МЦ) – летний период работ; 0,7...1% - зимний период, в расчете на сухое вещество. Общий рекомендуемый предел дозирования – до 1,5% от МЦ.

Эффективность добавки обеспечивается за счет снижения энергозатрат на прогрев бетона (изделий, конструкций), повышение темпа роста его прочности в ранний период и в проектном возрасте.

Возможно 5...10% -ое снижение расхода цемента при условии сохранения равной прочности.

Снижение водосодержания бетона для равноподвижных смесей составляет 15...25% (большее - при дозировке 1...1,5% от МЦ).

Рекомендуемые режимы твердения для обеспечения 70...80% -ой прочности от проектной соответствуют: предварительная выдержка (применяемая для бетона без добавок), подъем температуры до 40...50°C (для цемента 1-ой и 2-ой групп эффективности (либо «R» или «N» маркировок, соответственно) и последующие твердение (≥ 10 ч) по методу «термоса» в тепловом агрегате (опалубке) без подвода тепла.

Рекомендуется плавный подъем температуры до указанного уровня за 2...3 часа подвода тепла; допускается подъем её за 1...1,5 часа (на пример, в кассетах и т.п.).

Для обеспечения 90...100% -ой прочности после прогрева рекомендуется 1...2 часовая изотермическая выдержка при указанной температуре или повышение температуры разогрева бетона на $\sim 10^\circ$ С при соответствующем увеличении времени подъема температуры.

Конкретные режимы для конкретных условий ведения работ и решения требуемых задач отрабатываются технологическими службами на основе приведенных общих рекомендаций.

Растворение добавки. Перед загрузкой (всыпанием) добавки (расход по таблице 8) следует привести воду (подогретую до 25...40°C) в режим интенсивной циркуляции по всему объему емкости перемешиванием механически (лопастной мешалкой, например) или подачей сжатого воздуха (пара).

Вводить добавку в воду следует умеренным расходом её вещества в единицу времени через сетку с ячейкой 5...10 мм, распределяя вещество равномерно по площади сетки (горловины ёмкости).

Хранение раствора может осуществляться «без», с периодическим или постоянным перемешиванием малой интенсивности. Продолжительность хранения не ограничена, если поддерживается температурный режим, установленный для раствора принятой концентрации по таблице 8. Перед использованием раствор следует перемешать.

Таблица 8

Требуемое количество "УКД-1" и характеристики раствора

Концентрация раствора %		5	7	10	14	15
Количество добавки "УКД-1" в г:	на 1 кг р-ра	50	70	100	140	150
	на 1 л воды	53	75	111	162	175
Плотность раствора кг/л, при t~20°C		1,035... 1,036	1,051... 1,054	1,075... 1,78	1,107... 1,111	1,116... 1,119
Критическая температура раствора данной концентрации*		5	6	10	15	15

* Может образовываться осадок, который растворяется свежей порцией воды (с перемешиванием).

Введение в бетон осуществляют принятым на предприятии способом, дозируя раствор добавки либо специальным дозатором (по весу или объему), либо дозатором воды до дозирования воды затворения.

В рекомендованных дозировках добавка «УКД-1» не оказывает существенного влияния на процесс схватывания. Особенностью «действия» добавки является усиление эффекта временно наблюдаемого разжижения (тиксотропии) бетона при механическом воздействии (например, вибрировании). Это следует учитывать при формировании немедленно «распалубливаемых» изделий (конструкций), путем снижения расхода воды с подбором необходимой консистенции бетонной смеси для конкретных условий формирования заводскими (строительными) лабораториями.

Заключение. Результаты производственной апробации добавки «УКД-1», выполненной к настоящему времени на предприятиях г.г. Минска, Могилева, Баранович, Борисова, Фаниполя, подтвердили ее высокую техническую и экономическую эффективность. Основу эффективности составляют снижение энергетических затрат на ускорение твердения бетона и высокий темп набора прочности. Это обеспечивает ускоренный оборот форм и опалубок как в вари-

анте малоэнергоемкой (с разогревом бетона), так и беспрогревной (без подвода тепла) технологий изготовления сборных изделий и возведения (устройства) монолитных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhdanok S.A. et al. Fifth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar «Nanotechnologies in the area of physics, chemistry and biotechnology». St Petersburg, Russia, 27 – 29 May, 2002.

2. Жданок С.А., Крауклис А.В., Самцов П.П., Волжанкин В.М. Установка для получения углеродных наноматериалов. Пат. 2839.

3. Жданок С.А. и др. Плазмохимический реактор конверсии углеводов в электрическом разряде. Пат. 3125.

4. Батяновский Э.И., Рябчиков П.В. Направления исследований эффективности графитных наноматериалов в тяжелом бетоне. Перспективы развития новых технологий в стр-ве и подготовке инж. кадров Республики Беларусь. Сборник трудов XV Межд. науч.-метод. семинара. Новополоцк ПГУ 27-28 ноября 2008. Том 2.

5. Батяновский Э.И., Рябчиков П.В., Якимович В.Д. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента. XVI Межд. науч.-метод. Семинара/ Под общ. Ред. П.С. Пойты, В.В. Тура. – Брест: БрГТУ, 2009. – ч. 2. – С. 136.

6. Батяновский Э.И., Рябчиков П.В., Якимович В.Д. Нанотехнология и углеродные наноматериалы в строительном материаловедении. Журнал «Строительная наука и техника», № 3, 2009. – С. 22-29.

7. Жданок С.А., Хрусталеv Б.М., Батяновский Э.И., Леонович С.Н. Нанотехнологии в строительном материаловедении: реальность и перспективы. Журнал «Вестник БНТУ» № 3, 2009. – С. 5-22.

8. Батяновский Э.И., Крауклис А.В., Самцов Петр П., Рябчиков П.В., Самцов Павел П. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня. Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». - №1-2(28-29). – 2010. – С.3-10.

9. Батяновский Э.И., Якимович В.Д., Рябчиков П.В. Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая наноуглеродные добавки. Сборник материалов III международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона». – Минск, РУП «БелНИИС». – 2011-С.53-68.(Т.2).

10. Батяновский Э.И., Галузо Г.С., Мордич М.М. Особенности применения углеродных наноматериалов в конструкционно-теплоизоляционных пенобетонах. Сборник материалов Девятой международной научно-технической конференции «Наука - образованию, производству, экономике». – Минск, БНТУ. – 2011-С.272-273.