



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION

2012, ТОМ 8, НОМЕР 3, 149–158

УДК 666.943

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЦЕМЕНТІВ

О. К. Халюшев

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: khaljushhev@mail.ru

Отримана 8 серпня 2012; прийнята 21 вересня 2012.

Анотація. Наведені результати експериментальних досліджень експлуатаційних властивостей в умовах короткочасного і тривалого навантаження бетонів на основі композиційного цементу типу КЦ V/Б, модифікованого у високовольтному електричному полі. Встановлено, що дрібнозернисті бетонні суміші на основі композиційних цементів КЦ V/Б, активованих у високовольтному електричному полі при відповідних режимах, характеризуються меншими на 23–27 % показниками ефективної в'язкості у порівнянні з аналогічними контрольними складами бетонних сумішей, що забезпечує зменшення водопотреби бетонних сумішей на 5–7 % при досягненні необхідних показників рухливості. Це сприяє формуванню більш щільної структури бетону (підвищення середньої густини, зниження середнього радіуса пор $\overline{\lambda_2}$ та підвищення їх однорідності за розмірами α). В свою чергу, більш щільна структура бетону на модифікованому композиційному цементі обумовлює підвищення його деформаційних та експлуатаційних характеристик.

Ключові слова: композиційний цемент, модифікований, деформації повзучості і усадки, морозостійкість.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ

А. К. Халюшев

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: khaljushhev@mail.ru

Получена 8 августа 2012; принята 21 сентября 2012.

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований эксплуатационных свойств в условиях кратковременного и длительного нагружения бетонов на основе композиционного цемента типа КЦ V/Б, модифицированного в высоковольтном электрическом поле. Установлено, что мелкозернистые бетонные смеси на основе композиционных цементов КЦ V/Б, активированных в высоковольтном электрическом поле при соответствующих режимах, характеризуются меньшими на 23–27 % показателями эффективной вязкости в сравнении с аналогичными контрольными составами бетонных смесей, что обеспечивает уменьшение водопотребности бетонных смесей на 5–7 % при достижении необходимых показателей подвижности. Это способствует формированию более плотной структуры бетона (повышение средней плотности, снижение среднего радиуса пор $\overline{\lambda_2}$ и повышение их однородности по размерам α). В свою очередь, более плотная структура на модифицированном композиционном цементе обуславливает повышение его деформационных и эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: композиционный цемент, модифицированный, деформации ползучести и усадки, морозостойкость.

EXPLOITATION PROPERTIES OF CONCRETE WITH THE MODIFIED COMPOSITE CEMENTS

Alexsandr Khaljushev

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: khaljushev@mail.ru

Received 8 August 2012; accepted 21 September 2012.

Abstract. Results of experimental researches of an exploitations ability in the conditions of a short-term and long loading of concrete with composite cement type CEM V/B modified in high-voltage electric field are resulted. It is established, that fine-grained concrete mixes with composite cements type CEM V/B activated in high-voltage electric field at corresponding modes, are characterized smaller on 23–27 % by indicators of effective viscosity in comparison with similar structures of concrete mixes that provides reduction of a water demand of concrete mixes by 5–7 % at achievement of necessary indicators of slump. It promotes formation of more dense structure of concrete (increase of average density, decrease in average radius of pores and increase of their uniformity on the sizes α). In turn, more dense structure on the modified composite cement causes its increase deformation and performance properties.

Keywords: composite cement, modified, deformations of creep and shrinkage, frost resistance.

Введение. Анализ состояния и обоснование актуальности проблемы, постановка задачи

Современные бетоны включают в своем составе, как правило, от пяти до десяти минеральных компонентов, взаимодействия между которыми могут создавать разнообразие показателей удобоукладываемости бетонной смеси, прочности и долговечности бетона [1]. При этом правильно подобранная и оптимизированная смесь минеральных добавок может обеспечивать синэргетический эффект в бетоне. С одной стороны, это стимулирует развитие научных разработок в области исследований многокомпонентных композиционных цементов и бетонов на их основе, с другой стороны, для широкого внедрения в производство таких цементов требуется соответствующая нормативно-техническая база.

Производство композиционных цементов осуществляется, как правило, двумя основными способами: совместным помолом клинкера портландцемента с минеральными добавками или раздельным помолом отдельных ингредиентов с последующим смешиванием [2]. Совместное измельчение технологически проще, при этом мельница выполняет функции одновременно помольного устройства и смесителя (гомогенизатора). Однако вследствие различной размалываемости материалов цемент получается не с оптимальной

гранулометрией [3]. Так, совместный помол клинкера и доменного гранулированного шлака обеспечивает получение цемента с высокой степенью дисперсности клинкера и низкой шлака [4].

Раздельное измельчение материалов с последующим смешиванием создает условия для улучшения гранулометрического состава цемента, возможности варьирования тонкости помола в широком интервале. Композиционные цементы на основе клинкера портландцемента и доменного граншлака, размолотых отдельно, имеют большую удельную поверхность и повышают раннюю прочность бетона [3, 5]. По данной технологии композиционные цементы могут быть получены и в условиях заводов товарных бетонных смесей и сборного железобетона путем непосредственного дозирования и смешивания предварительно подготовленных исходных составляющих вяжущего. Такая схема позволяет вовлечь в производство местные минеральные отходы промышленности, что значительно расширяет сырьевую базу пуццолановых материалов и номенклатуру получаемых композиционных цементов. Немаловажное значение при этом приобретает возможность внедрения в технологический процесс производства бетонных смесей различных активационных способов воздействия на цемент или его отдельные составляющие.

Из анализа отечественных и зарубежных литературных источников, выполненного в диссертационной работе Н. М. Зайченко [6], следует, что утилизация золошлаковых смесей ТЭС реализуется в основном по двум направлениям. Зола-унос используется как активная минеральная добавка, а шлак применяют в основном для обогащения мелких песков и в качестве крупного заполнителя. Показано, что, несмотря на практически одинаковый химический состав золы и шлаковой составляющих золошлаковых смесей, степень кристалличности золы в сравнении со шлаком значительно выше, что обуславливает меньшую ее пуццолановую активность. На основе шлака ТЭС и агломерированной кремнеземистой пыли, размолотых совместно в присутствии сухого суперпластификатора С-3, получены эффективные органоминеральные модификаторы высокопрочных бетонов.

Установлено [7], что комбинирование доменного граншлака с суперпластификаторами позволяет значительно усилить качества индивидуальных компонентов. Синэргетическое взаимодействие между шлаком и суперпластификатором обеспечивает получение бетонов с высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками. Несмотря на это, в странах Западной Европы перспективным направлением при производстве композиционных цементов типа СЕМ II является снижение содержания трудно размалываемого доменного граншлака. Альтернативой этому материалу может служить тонко измельченный известняк, содержание которого в промышленных цементах достигает 15–17 % [8]. С применением известняка получены многокомпонентные композиционные цементы СЕМ II/В-М(С-LL)42,5N (клинкер 63 % + ДГШ 20 % + молотый известняк 13,5 % + гипс 3,5 %), кото-

рые по показателям качества не уступают цементам СЕМ I. При этом достигается существенное снижение энергоемкости производства цемента [9, 10]. С другой стороны, влияние указанных минеральных добавок в повышенных дозировках на свойства бетонных смесей и бетонов не исследовано.

Целью работы является исследование эксплуатационных свойств бетонов на основе композиционного цемента модифицированного в высоковольтном электрическом поле.

Характеристика исходных материалов

Эксплуатационные свойства бетонов в условиях кратковременного и длительного нагружения исследовали на образцах трех серий, различного состава (табл. 1).

Дисперсные минеральные компоненты бетонных смесей предварительно модифицировали в высоковольтном электрическом поле на установке, предназначенной для активации композиционного цемента [11].

Из бетонных смесей на модифицированном композиционном цементе были изготовлены образцы-кубы с размером ребра 100 мм и образцы-призмы размером 100×100×400 мм, которые твердели в нормальных условиях при температуре окружающего воздуха 18–22 °С и относительной влажности воздуха не ниже 90 %.

Определение показателей деформаций усадки и ползучести бетона производили на призматических образцах с размерами 40×40×160 и 100×100×400 мм, не изолированных от влагообмена с окружающей средой. Измерение деформаций усадки и ползучести проводили согласно ГОСТ 24544-81 в направлении к продольной оси незагруженного образца и загруженного

Таблица 1. Состав и свойства бетонных смесей

№	Наименование материала	Расход, кг (л)/м ³		
		Состав 1	Состав 2	Состав 3
1	Композиционный цемент	КЦ В/Б-И	433	-
		КЦ В/Б-МШ	-	433
		КЦ В/Б-ЗУ	-	433
2	Песок кварцевый Просяновского карьера, М _к =2,4	643		
3	Щебень гранитный фракции 5-10 мм	1127		
4	Суперпластификатор С-3	2,6		
5	Вода	165		
Подвижность бетонной смеси - осадка конуса, см		1,5	2,5	2,0
Водоцементное отношение		0,38		

постоянной по величине осевой сжимающей нагрузкой, соответственно.

Морозостойкость бетона определяли в проектном возрасте в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-47-96, ДСТУ Б В.2.7-48-96. Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщали водой при температуре $18 \pm 2^\circ \text{C}$.

Результаты экспериментов и обсуждение

Морозостойкость бетона оценивали ускоренным методом согласно ДСТУ Б В.2.7-49-96, п. 6.2 (насыщение и оттаивание образцов бетона производили в растворе хлористого натрия 5 %-ной концентрации). Критерием оценки морозостойкости служили показатели изменения предела прочности при сжатии образцов бетона по сравнению с контрольными образцами (снижение прочности не более чем, на 5 %). В течение всего периода испытаний визуально контролировали состояние образцов: появление трещин, отколов,

шелушение поверхности (табл. 2). При выявлении указанных дефектов испытания прекращали.

Прочность образцов определяли после определенного количества циклов попеременного замораживания-оттаивания (табл. 3), что соответствовало определенной марке по морозостойкости.

Образцы контрольных составов 1-К и 2-К (без обработки) разрушались практически одинаково в течение 35–50 циклов, что соответствует марки бетона по морозостойкости F150; F200. Для образцов бетона приготовленных на модифицированном композиционном цементе составы 1-М и 2-М эта величина соответствует 50 и 75 циклам – марка бетона по морозостойкости F200; F300.

Эксплуатационные свойства бетонов исследуемых составов определяли в возрасте 28 и 150 суток. Измерение линейных продольных деформаций образцов выполнено индикаторами часового типа ИЧ-10 на базе измерения 250 мм (рис. 1).

Таблица 2. Характер разрушения образцов бетона

№ состава	Марка бетона по морозостойкости	Критерии морозостойкости бетона							
		признаки разрушения							
		количество циклов попеременного замораживания-оттаивания по ДСТУ Б В.2.7-49-96							
		15	25	25	35	35	50	75	100
1 - К	F150	отсутствуют		шелушение		трещины, потеря массы		-	
2 - К	F200	то же		отсутствуют		трещины, потеря массы			
1 - М	F200	то же		отсутствуют		шелушение		трещины, потеря массы	
2 - М	F300	то же		отсутствуют		шелушение		трещины, потеря массы	

Таблица 3. Показатели морозостойкости бетонов

№ состава	Предел прочности образцов контрольной серии, σ_{28} , МПа	Предел прочности бетона, МПа, после циклов попеременного замораживания-оттаивания								
		повышение (+), снижение (-) предела прочности при сжатии, %								
		количество циклов по ДСТУ Б В.2.7-49-96								
		15	25	25-35	35-50	50-75	75-100	100-150	150-200	200-250
1 - К	35,5	36,2	35,9	35,0	34,4	34,0	33,1			
		+1,9	+1,1	-1,4	-3,1	-4,4	-7,2			
2 - К	45,1	46,4	45,9	45,3	44,6	43,9	43,3	42,6		
		+2,8	+1,8	+0,4	-1,1	-2,7	-4,1	-5,9		
1 - М	40,3	41,8	40,9	40,5	39,6	39,1	38,8	38,5	37,5	
		+3,7	+1,5	+0,5	-1,7	-3,0	-3,9	-4,5	-7,4	
2 - М	52,6	54,1	53,8	53,2	52,9	52,4	51,8	51,1	50,6	49,7
		+2,9	+2,3	+1,1	+0,6	-0,4	-1,5	-2,9	-3,9	-5,8

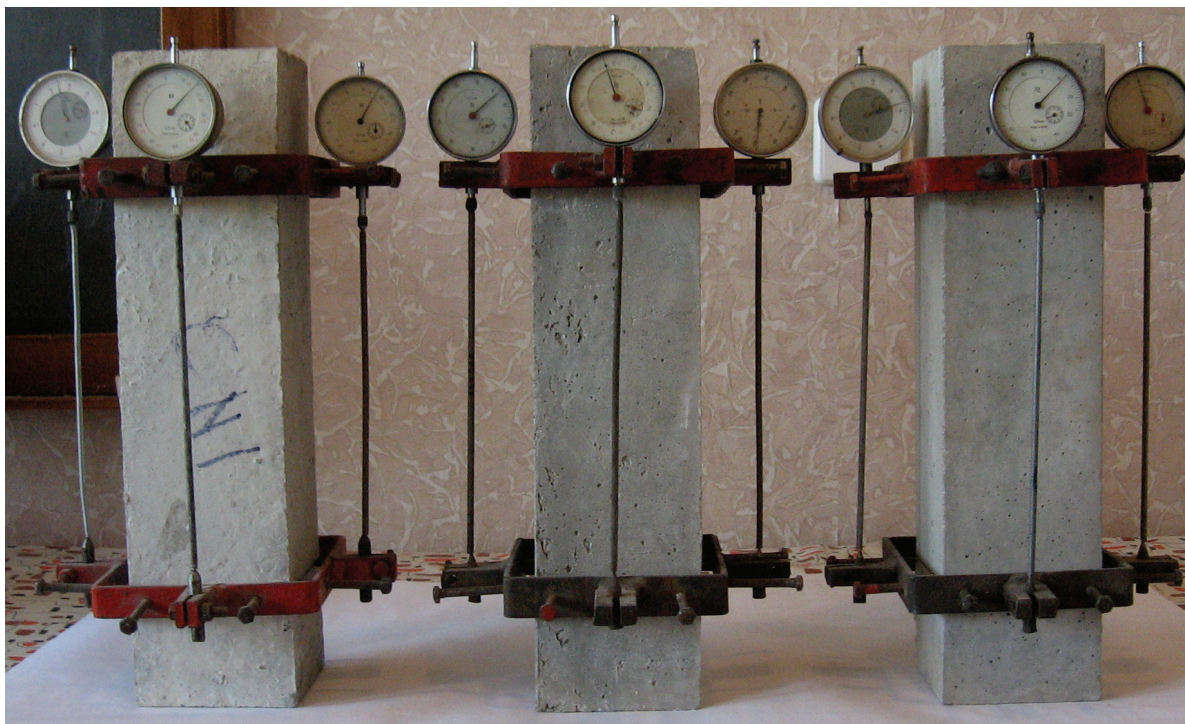


Рисунок 1. Схема устройства для определения деформаций усадки образцов с размерами поперечного сечения более 100×100 мм.

В процессе испытаний нагружение образцов осуществляли ступенями величиной по 0,1 от расчетной предельной нагрузки с 4-минутной выдержкой на каждой ступени. По результатам испытаний определяли: призмную прочность бетона R_b , начальный модуль упругости E_b , предельные деформации бетона при сжатии ε_b . Характеристики деформативных свойств бетона – начальный модуль упругости E_b определяли по ГОСТ 24452-80 при напряжениях $\sigma_3 \leq 0,5 \cdot R_b$ в испытаниях на сжатие.

Деформации ползучести определяли при нагружении образцов бетона в возрасте 28 суток с момента формирования. Режим нагружения – жесткий, с мгновенным приложением нагрузки до уровня $\eta = \sigma / R_b = 0,5$ (в течение часа) и последующей выдержкой в течение времени $T = 122$ сут. Испытания проводились при температуре окружающего воздуха $t = 16\text{--}20^\circ\text{C}$ и относительной влажности $\phi = 70 \pm 5\%$.

Нагружение образцов осевой сжимающей нагрузкой выполнено на специальных установках с помощью гидравлических домкратов ДГ-200. Во избежание потерь давления на этапах длительной выдержки в систему были включены баллоны-ресиверы со сжатым воздухом (рис. 2).

Средние значения кубиковой (\bar{R}) прочности бетона для двух составов в возрасте $T = 7$ и 28 сут. представлены в табл. 4.

Средние значения величины начального модуля упругости при $t = +20^\circ\text{C}$ в возрасте $T = 28$ сут. для образцов состава № 1 и состава № 2 соответствуют $E_b = 38,59 \cdot 10^3$ МПа и $E_b = 42,02 \cdot 10^3$ МПа. После стабилизации деформаций ползучести в условиях длительного осевого сжатия осуществлялась разгрузка образцов и последующие испытания (в возрасте $T = 150$ сут.) прочностных и деформативных свойств бетона при уровне $\eta = \sigma / R_b = 0,5$.

Средние значения призмной (R_b) прочности бетона при $t = +20^\circ\text{C}$ в возрасте $T = 150$ сут. (после длительного осевого обжатия $\eta = \sigma / R_b = 0,5$) составили соответственно 35,75 и 54,89 МПа для бетонных образцов состава № 1 и № 2.

Значения начального модуля упругости составили для образцов состава № 1 $E_b = 39,81 \cdot 10^3$ МПа и для образцов состава № 2 $E_b = 46,3 \cdot 10^3$ МПа. Результаты кратковременных испытаний на осевое сжатие представлены в табл. 5.

На диаграмме деформирования (рис. 3) после кратковременных испытаний при уровне нагружения ($\eta = \sigma / R_b = 0,5$) были выявлены

1 – домкрат ДГ-200;
 2 – баллон-ресивер со сжатым воздухом;
 3 – манометр;
 4 – испытываемые образцы в нагревательных рубашках;
 5 – рамки для измерения продольных деформаций;
 6 – рамки для измерения поперечных деформаций;
 7 – индикаторы часового типа;
 8 – кварцевые удлинители;
 9 – металлические плиты-пластины;
 10 – шаровой шарнир;
 11 – винт.



Рисунок 2. Схема нагружения образцов-призм и общий вид установки для исследования ползучести бетона при нагружении осевым сжатием при уровне $\eta = \sigma / R_b = 0,5$.

Таблица 4. Физико-механические свойства бетонов

Номер состава	Средний предел ($5 \times 5 \times 5$ см) прочности при сжатии, МПа		Средний предел прочности при сжатии ($10 \times 10 \times 10$ см) в возрасте 28 суток	Водопоглощение, %
	7 суток	28 суток		
С№1	40,8	46,5	40,3	5,7
С№2	48,6	57,3	52,6	4,7
С№3	38,5	43,3	35,1	5,9

Таблица 5. Характеристики механических свойств бетонов при осевом сжатии

Состав	η_1	T, сут	R_b , МПа	$E_b \times 10^3$, МПа	$\varepsilon_3 \cdot 10^{-3}$
С№ 1	0	28	37,4	38,59	-
	0,5	150	35,75	39,81	1,82
С№ 2	0	28	50,2	42,02	-
	0,5	150	54,89	46,3	2,46

следующие закономерности в изменении механических свойств бетона исследуемых образцов состава № 1 и № 2:

- предельная сжимаемость для бетонов в возрасте 150 сут. – $\bar{\varepsilon}_{b1}=182 \cdot 10^{-5}$, $\bar{\varepsilon}_{b2}=246 \cdot 10^{-5}$;
- значения модуля упругости бетона E_b при повторном нагружении имеют тенденцию к некоторому незначительному увеличению образцов для состава № 1 на 3,7 % и для состава № 2 на 10,2 %.

Деформации усадки для образцов состава № 1, 2 и 3 в возрасте 45 сут. составили $\bar{\varepsilon}_{cs1}=42,8 \cdot 10^{-5}$, $\bar{\varepsilon}_{cs2}=39,4 \cdot 10^{-5}$ и $\bar{\varepsilon}_{cs3}=34,1 \cdot 10^{-5}$ (рис. 4).

Деформации ползучести бетона при уровне нагружения ($\eta = \sigma / R_b = 0,5$) имеют значения $\bar{\varepsilon}_{cr1}=620 \cdot 10^{-5}$ и $\bar{\varepsilon}_{cr2}=450 \cdot 10^{-5}$ – (рис. 5).

Мера ползучести бетона в возрасте 150 сут. при уровне нагружения ($\eta = \sigma / R_b = 0,5$) составила $C_1 = 4,09 \cdot 10^{-5}$ и $C_2 = 2,97 \cdot 10^{-5}$ (рис. 6).

Полные деформации ползучести при уровне нагружения ($\eta = \sigma / R_b = 0,5$) имеют значения $\bar{\varepsilon}_{31}=1332 \cdot 10^{-5}$ и $\bar{\varepsilon}_{32}=768 \cdot 10^{-5}$ (рис. 5).

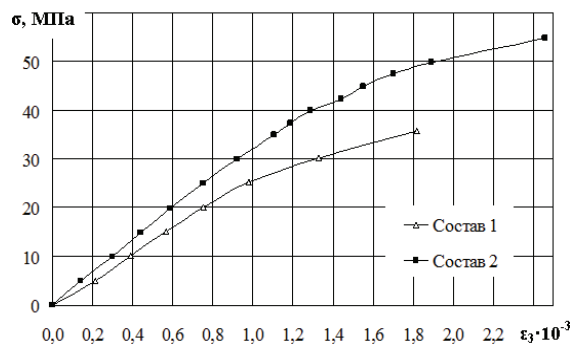


Рисунок 3. Диаграмма деформирования для образцов состава № 1, 2.

Сравнительные характеристики физико-механических, деформационных и эксплуатационных свойств бетонов на основе композиционного цемента типа КЦ V/Б-МИ приведены в табл. 2.

Увеличение прочности бетона при сжатии образцов, изготовленных на основе модифицированного (активированного в высоковольтном электрическом поле) цемента объясняется снижением на 5 % водоцементного соотношения бетонных смесей при обеспечении необходимой подвижности, а также повышения степени гидратации активированного вяжущего.

Это способствует формированию более плотной структуры бетона (повышение средней плотности, снижение среднего радиуса пор $\bar{\lambda}_2$ и повышение их однородности по размерам α).

В свою очередь, более плотная структура на модифицированном композиционном цементе обуславливает повышение его деформационных и эксплуатационных характеристик.

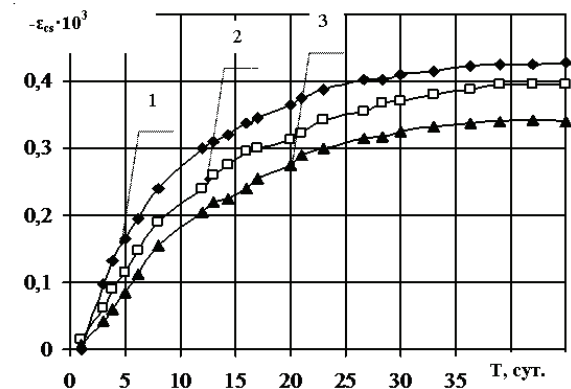


Рисунок 4. Изменение деформаций усадки для образцов состава № 1, 2 и 3.

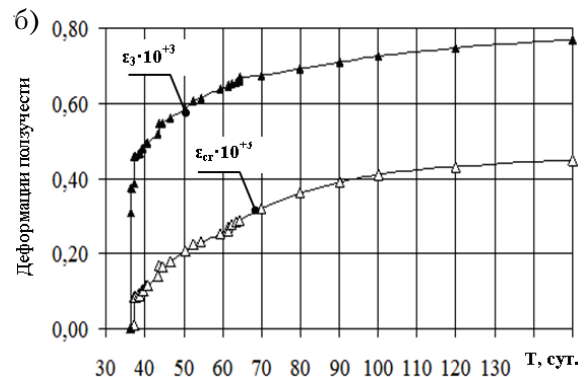
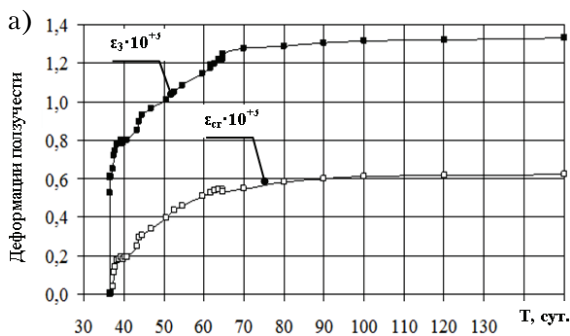


Рисунок 5. Диаграмма изменения деформаций ползучести во времени при длительном нагружении ($\eta = \sigma / R_b = 0,5$) для образцов: а) состава № 1, б) состава № 2.

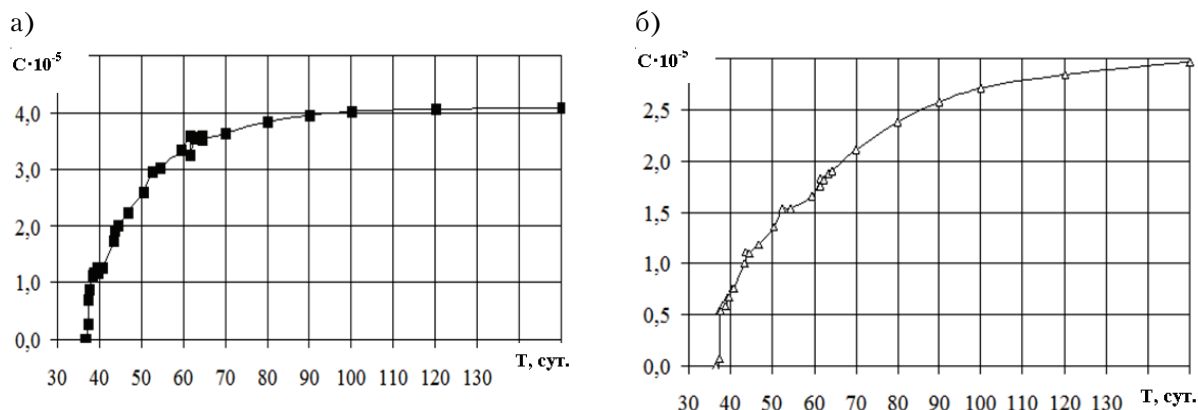


Рисунок 6. Изменение меры ползучести бетона во времени при длительном нагружении ($\eta = \sigma / R_b = 0,5$) для образцов: а) состава № 1, б) состава № 2.

Таблица 6. Эксплуатационные свойства бетонов на основе композиционного цемента

№	Название показателя	Ед. изм.	Значения показателя для бетона на основе КЦ V/Б-МИ	
			контрольного	модифицированного
1	Средняя плотность	кг/м ³	2290	2350
2	Водопоглощение по массе	%	6,4	5,3
3	Предел прочности при сжатии:	МПа		
	- 28 суток		48,6	56,7
	- 90 суток		54,8	63,2
	- 360 суток		58,4	66,8
4	Усадка	мм/м	0,63	0,55
5	Марка по морозостойкости	-	F150	F200
6	Начальный модуль упругости	ГПа	-	38,6
7	Призмная прочность в возрасте 150 суток после длительного осевого обжатия $\eta = \sigma / R_b = 0,5$	МПа	-	35,8
8	Мера ползучести (150 суток, уровень нагружения $\eta = \sigma / R_b = 0,5$)	-	-	$C = 4,09 \cdot 10^{-5}$
9	Деформации ползучести ($\eta = \sigma / R_b = 0,5$)	-	-	$\bar{\epsilon}_{cr1} = 620 \cdot 10^{-5}$

Выводы

Сравнительные характеристики физико-механических, деформационных и эксплуатационных свойств бетонов на основе композиционного цемента типа КЦ V/Б, свидетельствуют о положительном влиянии активации цемента в высоковольтном электрическом поле на повышение прочностных характеристик бетонов, что обус-

ловлено снижением водоцементного соотношения бетонных смесей при обеспечении необходимой подвижности, а также повышением степени гидратации активированного вяжущего. Это способствует формированию более плотной структуры бетона, что, в свою очередь, обеспечивает повышение его деформационных и эксплуатационных характеристик.

Литература

1. Ferraris, C. F. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete [Текст] / C. F. Ferraris, K. H. Obla, R. Hill // *Cem. Concr. Res.* – 2001. – Vol. 31, No. 2. – P. 245–255.
2. Blended cements [Электронный ресурс] / Slag Cement Association. – 2003. – No. 21. – 2 p. – Режим доступа : <http://www.slagcement.org/pdf/no21%20Blended%20Cements.pdf>.
3. Opoczky, L. Multicomponent composite cements [Текст] / L. Opoczky, F. D. Tamas // *Advances in*

References

1. Ferraris, C. F.; Obla, K. H.; Hill, R. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. In: *Cem. Concr. Res.*, 2001, Vol. 31, No. 2, P. 245–255.
2. Blended cements / Slag Cement Association. 2003. No. 21. 2 p. Accessed at: <http://www.slagcement.org/pdf/no21%20Blended%20Cements.pdf>.
3. Opoczky, L.; Tamas, F. D. Multicomponent composite cements. In: *Advances in cement technology: chemistry, manufacture and testing* /

- cement technology: chemistry, manufacture and testing / S. N. Ghosh [editor]. – Second ed. – New Delhi : Tech Books Intern., 2002. – P. 559–591.
4. Limestone, fly ash, slag, and natural pozzolana: a comparative study of their effect on the cement properties [Текст] / N. Voglis, S. Tsvilis, G. Kakali [et al.] // *Creating with Concrete : Proceedings International Conference (and Seminars) Held at the University of Dundee, Scotland, U.K. on 6–10 September 1999* / Edited by R. K. Dhir, M. Roderick Jones. – London : Thomas Telford Publishing, 1999. – P. 203–210.
5. Moranville-Regourd, M. Portland Cement – based Binders – Cements for the next millennium [Текст] / M. Moranville-Regourd // *Creating with Concrete : Proceedings International Conference (and Seminars) Held at the University of Dundee, Scotland, U.K. on 6–10 September 1999* / Edited by R. K. Dhir, M. Roderick Jones. – London : Thomas Telford Publishing, 1999. – P. 87–99.
6. Зайченко, Н. М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой [Текст] : дис. д-ра техн. наук : 05.23.05 / Зайченко Николай Михайлович. – Макеевка : ДонНАСА, 2009. – 356 с.
7. Swamy, R. N. Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete [Текст] / R. N. Swamy, M. Sakai, N. Nakamura // *Proceedings of the Fourth Canmet/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete* / editor: V. M. Malhotra. – Detroit : American Concrete Institute, 1994. – Volume SP-148. – P. 1–26.
8. Chatterjee, A. K. Special cements [Текст] / A. K. Chatterjee // *Structure and Performance of Cements* / J. Bensted and P. Barnes [editors]. – Second ed. – London, New York : Spon Press, 2002. – P. 186–237.
9. Zach, J. Possibilities of utilization of finely ground limestone for cement CEM II as substitution to blast furnace slag [Текст] / J. Zach, P. Schorik, V. Petranek // *Proceedings 17th Ibausil, international conference on building materials (internationale baustofftagung), 23–26 September 2009, Weimar, Germany. Band 1* / H. B. Fischer & K. A. Bode (Eds.). – Weimar, Germany: Bauhaus-Universität Weimar, 2009. – P. 1-0117–1-0122.
10. Menendez, G. Strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furnace slag [Текст] / G. Menendez, V. Bonavetti, E. F. Irassar // *Cem. Concr. Comp.* – 2003. – Vol. 25, No 1. – P. 61–67.
11. Пат. 26894 Україна, МПК Е 04 G 21/04. Пристрій для електростатичної активації цементу [Текст] / М. М. Зайченко, М. М. Голоденко, О. К. Халюшев (Україна). – № у 200705931 ; заявл. 29.05.07 ; опубл. 10.10.07, Бюл. № 16. – 4 с. : іл.
- S. N. Ghosh [editor]. Second ed. New Delhi: Tech Books Intern., 2002, p. 559–591.
4. Voglis, N.; Tsvilis, S.; Kakali, G. [et al.] Limestone, fly ash, slag, and natural pozzolana: a comparative study of their effect on the cement properties. In: *Creating with Concrete : Proceedings International Conference (and Seminars) Held at the University of Dundee, Scotland, U.K. on 6–10 September 1999* / Edited by R. K. Dhir, M. Roderick Jones. London: Thomas Telford Publishing, 1999, p. 203–210.
5. Moranville-Regourd, M. Portland Cement – based Binders – Cements for the next millennium. In: *Creating with Concrete : Proceedings International Conference (and Seminars) Held at the University of Dundee, Scotland, U.K. on 6–10 September 1999* / Edited by R. K. Dhir, M. Roderick Jones. London: Thomas Telford Publishing, 1999, p. 87–99.
6. Zaichenko, N. M. High-impact close-grained concretes with all-round utilogic microstructure: D.Sc. in engineering dissertation. Makiivka: DonNASEA, 2009. 356 p. (in Russian)
7. Swamy, R. N.; Sakai, M.; Nakamura, N. Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete. In: *Proceedings of the Fourth Canmet/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete* / editor: V. M. Malhotra. Detroit: American Concrete Institute, 1994. Volume SP-148, p. 1–26.
8. Chatterjee, A. K. Special cements. In: *Structure and Performance of Cements* / J. Bensted and P. Barnes [editors]. Second ed. London, New York: Spon Press, 2002, p. 186–237.
9. Zach, J.; Schorik, P.; Petranek, V. Possibilities of utilization of finely ground limestone for cement CEM II as substitution to blast furnace slag. In: *Proceedings 17th Ibausil, international conference on building materials (internationale baustofftagung), 23–26 September 2009, Weimar, Germany. Band 1* / H. B. Fischer & K. A. Bode (Eds.). Weimar, Germany: Bauhaus Universität Weimar, 2009, p. 1-0117–1-0122.
10. Menendez, G.; Bonavetti, V.; Irassar, E. F. Strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furnace slag. In: *Cem. Concr. Comp.*, 2003, Vol. 25, No 1, p. 61–67.
11. Zaichenko, M. M.; Golodenko, M. M.; Khaljushev, O. K. Patent 26894 Ukraine, МПК Е 04 G 21/04. Technology for electrostatic sensitizing of cement. No. u 200705931; declaration 29.05.07; published 10.10.07, Bul. No. 16. 4 p. (in Ukrainian)

Халюшев Олександр Каюмович – к. т. н., доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: бетони на основі композиційних цементів.

Халюшев Александр Каюмович – к. т. н., доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: бетоны на основе композиционных цементов.

Alexsandr Khaljushev – PhD (Eng.), Associated Professor; Technology of Building Construction, Products and Materials Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of composed cements.