

УДК 666.946

## **СВОЙСТВА КАЛЬЦИЙСУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО (CSA) ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

И.А. Белов<sup>1</sup>, Н.П. Богданова<sup>1</sup>, Е.И. Барановская<sup>2</sup>,  
М.В. Попова<sup>2</sup>, Р. Шяучюнас<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГП «Институт НИИСМ», г. Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

<sup>3</sup>Каунасский технологический университет, г. Каунас

Специальные цементы на основе глиноземистого и кальций-сульфоалюминатного клинкера применяются в производстве строительных растворов и бетонов специального назначения (ремонтные смеси, гидроизоляция, наливные полы и т.д.). Такие цементы широко используются в монолитном строительстве при быстром возведении массивных бетонных сооружений и конструкций (плотина ГЭС «Три ущелья», Китай), где жесткими требованиями являются отсутствие усадочных деформаций, высокая устойчивость к воздействию агрессивных сред, повышенная водонепроницаемость, морозостойкость, долговечность. Сульфоалюминатные цементы характеризуются быстрым набором прочности (до 40–50 МПа в возрасте 2 суток) и относятся к быстротвердеющим и высокопрочным цементам.

Технология производства CSA-цемента принципиально не отличается от технологии портландцемента. Температура спекания сырьевой смеси мела, бокситовой глины и фосфогипса составляет  $(1200 \pm 50)^\circ\text{C}$ , что на  $250^\circ\text{C}$  ниже температуры спекания клинкера для производства портландцемента. Специальные клинкеры легче размалываются. Суммарные удельные энергозатраты на производство специальных цементов на 20–30 % ниже, чем для производства портландцемента.

Совместно с БГТУ (кафедра ХТБМ) в ГП «Институт НИИСМ» изготовлены и испытаны опытные образцы CSA-цемента (таблица 1, таблица 2). Цемент получен совместным помолом до  $S_{\text{уд}}=4200 \text{ см}^2/\text{г}$  клинкера, микрокремнезема и пластификатора С-3. Цемент испытан по показателю прочности при изгибе и сжатии в соответствии с методикой испытаний СТБ ЕН 196-1-2007. Образец для сравнения – портландцемент ОАО «Кричевцементношифер».

Проведены испытания расширяющегося цемента по показателю линейного расширения (таблица 3) в соответствии с методикой СТБ 942-93. Образец для сравнения – добавка РД-1 (ООО «Консолит», РФ по ТУ5743-023-46854090-98).

**Таблица 1 – Результаты испытаний при В/Ц=0,5**

Прочность в возрасте, МПа					
после пропаривания		в 2 суток		в 28 суток	
изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
Контрольный состав: Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Кричевцементношифер»					
5,9 (при В/Ц=0,4)	39 (при В/Ц=0,4)	6,2	36	6,8	54
Основной состав: опытный образец цемента ЦРП-52,5R					
8,6	54	6,8	42	6,4	55

**Таблица 2 – Результаты испытаний CSA-цемента при В/Ц=0,35  
(расплав стандартного конуса=110 мм)**

Прочность в возрасте, МПа									
после 4ч твердения		48 часов				28 суток			
		при хранении в камере нор- мального твердения		при хранении в воде		при хранении в камере нор- мального твердения		при хранении в воде	
		изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
7,8	42	7,0	62	7,6	57	7,9	91	7,2	73

**Таблица 3 – Результаты определения линейного расширения**

Состав	Линейное расширение			
	48 часов		28 суток	
	при хранении в воде	при хранении в камере нор- мального твердения	при хранении в воде	при хранении в камере нор- мального твердения
Контрольный	0,003	усадка	0,006	усадка
Замена 10% це- мента бездоба- вочного на до- бавку РД-1	0,03	0,05	0,49	0,20
Замена 10% це- мента бездоба- вочного на CSA-цемент	0,03	0,01	0,23	0,14

Результаты определения прочности опытных образцов, изготовленных с использованием CSA-цемента, представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Результаты определения прочности опытных образцов**

Состав	Прочность в возрасте, МПа							
	48 часов				28 суток			
	при хранении в воде		при хранении в камере нормального твердения		при хранении в воде		при хранении в камере нормального твердения	
	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
Контрольный	6,8	40,4	8,6	45,4	10,1	70,1	8,9	68,3
Замена 10% цемента бездобавочного на добавку РД-1	5,7	33,2	6,3	31,2	6,4	50,2	7,8	54,3
Замена 10% цемента бездобавочного на ЦРП	7,1	43,2	8,9	47,5	10,4	75,6	10,9	73,4

Самонапряжение в соответствии с требованиями СТБ 1335-2002 для напрягающего цемента по ГОСТ 30515-2013 (тип II-с) составляет 1,3 МПа (3 суток) и 2,4 МПа (28 суток), что соответствует требованиям для НЦ - 2 (ГОСТ Р 56727-2015).

CSA-цемент испытан в соответствии с требованиями СТБ ЕН 14647 (Цемент глиноземистый. Состав, технические требования и критерии оценки соответствия).

Данные по прочности изготовленных образцов цементов представлена в таблице 5.

**Таблица 5 – Результаты определения прочности опытных образцов по СТБ ЕН 14647**

Прочность на сжатие, МПа				
через 6 ч		через 24 ч		после пропаривания
нормируемая	фактическая	нормируемая	фактическая	фактическая
≥18,0	27,8	≥40,0	45,0	56,7

Цемент испытан по ГОСТ 969-91 «Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Технические условия». В таблице приведены сравнительные данные испытаний CSA-цемента и глиноземистых цементов различных производителей. Результаты испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты испытаний по ГОСТ 969-91

Наименование цемента	Прочность на сжатие, МПа			
	через 24 ч		через 72 ч	
	нормируемая	фактическая	нормируемая	фактическая
CSA-цемент (в/ц=0,35)	–	50,5	–	60,4
Цемент глиноземистый марки CementFondu марки 60 (в/ц=0,36) («Kerneos S.A.», Франция)	≥32,4 (для марки 60)	52,0	≥60,0 (для марки 60)	63,8
Цемент глиноземистый марки GORKAL 40M («GORKASEMENTS Sp. zo.o.», Польша) (в/ц=0,36)	≥22,5 (для марки 40)	42,4	≥40,0 (для марки 40)	43,7
Цемент глиноземистый марки 40 (SIMSAISIDAC 40) («SIMSACIMENTOS ANAYIVETI-CARETA.S.», Турция) (в/ц=0,37)	≥22,5 (для марки 40)	49,6	≥40,0 (для марки 40)	61,8

Проведены испытания CSA-цемента в составах бетонов и строительных растворов. Установлено, что его использование в смеси с портландцементом в соотношении 1:9 приводит к увеличению водонепроницаемости на 4–6 ступеней с одновременным упрочнением и повышением морозостойкости до марок F300–F500.

По результатам испытаний опытного образца цемента установлено, что опытный образец CSA-цемента является быстротвердеющим гидравлическим вяжущим материалом и соответствует классу 52,5R (52,5Б по ГОСТ 31108-2003). В смесях опытного цемента с портландцементом 1:9 и 3:7 при испытаниях по СТБ 942-93 наблюдается линейное расширение от 0,04 до 0,3% с одновременным упрочнением на (10–20)%. Опытный цемент имеет прочностные характеристики сопоставимые с глиноземистыми цементами при испытании по ГОСТ 969-91 и СТБ EN 14647.

Испытания опытных цементов в составе строительных растворов и бетонов показали увеличение водонепроницаемости последних на 4–6 ступеней с одновременным упрочнением и повышением морозостойкости до марок F300–F500.