



Троян В. В.



Сирак А. Ю.

**Троян В. В., канд. техн. наук, доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры (КНУСА), ТОВ «МЦ Баухеми» Украина, г. Березань, Сирак А. Ю., инженер-технолог, ООО «Бетонбуд», г. Львов**

## ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ СУЛЬФАТОСТОЙКОСТИ

Рассмотрена эффективность повышения сульфатостойкости цементных бетонов при введении пуццолановых добавок различных типов

### Вступление

Отрицательное действие сульфатов на бетон известно с 1877 года. Первые систематические исследования разрушения цементного камня вследствие реакций протекающих при воздействии сульфатов провели Candlot и Michaelis в 1890 году [1]. Эти исследования показали, что повреждения структуры цементного камня связаны с образованием комплексных соединений с большим содержанием кристаллизационной воды таких как эттрингит.

В Германии первое крупное разрушение, обусловленное воздействием сульфатов, было отмечено в 1890 году в Магдебурге. Новый мост через Эльбу начал разрушаться через несколько лет после завершения строительства. Причина заключалась в воздействии на бетон воды с высоким содержанием сульфатов [1]. Этот случай разрушения заставил ведущих ученых того времени усиленно искать возможности повышения устойчивости бетона к воздействию сульфатов. Вскоре были предложены соответствующие технологические меры, которые отчасти применяются и сейчас.

Определяющее влияние на стойкость бетона оказывает сульфатостойкость входящего в его состав цемента. Сульфатостойкость цемента, в свою очередь зависит от количественного соотношения минералов клинкера  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  и  $C_2(A,F)$  и продуктов их гидратации, включая  $Ca(OH)_2$ , при этом решающее влияние на снижение сульфатостойкости цемента оказывает повышение содержания  $C_3A$  принимающего непосредственное участие в образовании эттрингита. Сульфатостойкость портландцемента со средним и высоким содержанием  $C_3A$  может быть повышена путем введения различных пуццолановых добавок, исследование эффективности которых и является целью данной работы.

### Ускоренная оценка сульфатостойкости

В Европе методы ускоренной оценки сульфатостойкости цементов не стандартизированы. Сульфатостойкость цементного камня определяется на цементно-песчаных образцах, которые на протяжении

определенного периода хранятся в сульфатных растворах, при этом фиксируется относительное изменение их длины. Если изменение длины в конце испытательного периода превышает определенный предел, то цемент или вяжущая композиция считаются не сульфатостойкими.

Научно-исследовательский институт цементной промышленности Германии предлагает использование трех методов оценки сульфатостойкости цементов:

**Wittekindt метод** – классический тест по W. Wittekindt [2];

**Метод SVA** – предлагаемый экспертным комитетом по «технологии бетона» Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) [3];

**Метод CEN** – по CEN TC51 / WG12 / TG1 [4];

По методу Wittekindt и SVA используются плоские призматические формы 1x4x16 см. Соотношение вода/цемент по методу Wittekindt составляет 0,60. Контрольный раствор – дистиллированная вода. Концентрация сульфат-ионов в растворе сульфата натрия составляет 29800 мг/л (4,4% раствор  $Na_2SO_4$ ). Критерий сульфатостойкости по методу Wittekindt – расширение  $L < 0,5$  мм/м, после 56 дней хранения в 4,4% растворе  $Na_2SO_4$ .

По методу SVA соотношение вода/цемент составляет 0,50. Контрольный раствор насыщают гидроксидом кальция. Концентрация сульфат-ионов в растворе сульфата натрия составляет 29800 мг/л (4,4% раствор  $Na_2SO_4$ ). Критерий сульфатостойкости по методу SVA – расширение  $L < 0,5$  мм/м, после 91 дней (180 по рекомендации DIBt) хранения в сульфатном растворе.

По методу CEN используются призматические формы 2x2x16 см, соотношение вода/цемент составляет 0,50. Контрольный раствор – дистиллированная вода. Концентрация сульфат-ионов в растворе сульфата натрия составляет 16000 мг/л (2,4% раствор сульфата натрия). Для метода CEN в настоящее время нет обязательного критерия.

Таким образом, обобщенные характеристики ускоренных методик испытания сульфатостойкости цемента приведены в табл. 1.

Удлинение плоских призм на основе цемента разных типов при их испытании по методу SVA в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  приведено на рис.1.

Возможен способ оценки сульфатостойкости путем сравнения относительной прочности вяжущего при выдерживании в сульфатном растворе с прочностью сульфатостойких цемента или других вяжущих. Так, относительная прочность при выдерживании в сульфатном растворе образцов на разных типах цемента приведена на рис.2-3.

Как видно из рис. 2, содержание шлака больше 36% в случае использования СЕМ III не является достаточным условием обеспечения повышенной сульфатостойкости цемента.

Если принимать в качестве критерия сульфатостойкости снижение относительной прочности ниже 0,8, стойкость в 10% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  шлакопортландцемента ШПЦ III/A-400 (рис.3), который по содержанию шлака в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-85-99 может быть отнесен к сульфатостойким цементам, превышает стойкость ПЦ II/A-Ш 400 не более чем в 1,25 раза.

При невозможности или нецелесообразности использования сульфатостойких цемента, повышение сульфатостойкости бетонов на основе средне и высокоалюминатных портландцементов может достигаться введением пуццолановых добавок.

Так, сульфатостойкость цемента ПЦ-500 с пуццолановыми добавками: золой уноса (Ладыженская ТЭС), Centrilit NC (MC-Bauchemie) и микрокремнеземом (Польша) исследовали путем сравнения относительной прочности на изгиб образцов  $1 \times 1 \times 6 \text{ см}$  из цементно – песчаного раствора 1:3 с водоцементным отношением 0,5, которые 360 дней выдерживали в 5% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Как видно из рис. 4, у всех образцов до 90 суток в 5% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , наблюдается прирост относительной прочности на изгиб, а затем начинается постепенное снижение прочности. Если принимать в качестве критерия сульфатостойкости снижение относительной прочности ниже 0,8, 10% добавки Centrilit NC (от массы цемента) увеличивает сульфатостойкость (время стойкости в 5% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) до 1,6 раза, при введении 10% микрокремнезема сульфатостойкость повышается в 1,7 раза. Относительная прочность в 5% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  образцов с содержанием 10% от массы цемента золы-уноса снижается до критического уровня на 180 суток как и образцов на основе ПЦ-500 без добавок, однако, в отличие от контрольного состава, прочность образцов с золой-уноса сохраняется на уровне 0,8 до 270 суток после чего начинает снижаться.

Увеличение содержания пуццолановых добавок до 20% приводит к закономерному увеличению сульфатостойкости исследуемых образцов в 5% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Сульфатостойкость составов содержащих 20% микрокремнезема и 20% добавки Centrilit NC более чем в 1,8 раза превышали сульфатостойкость контрольного состава на основе ПЦ-500 без добавок.

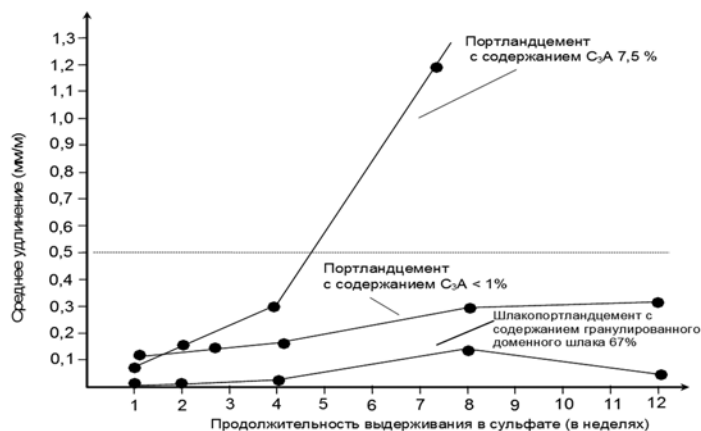


Рис. 1. Удлинение плоских призм при выдерживании в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [1]

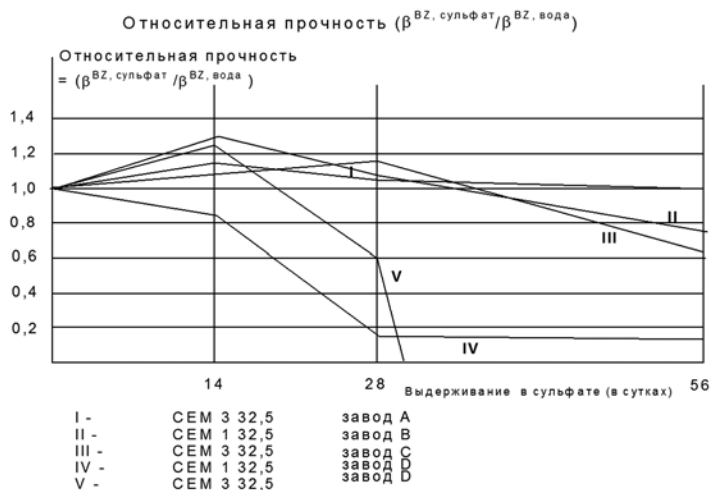


Рис. 2. Относительная прочность при изгибе образцов из разных типов цемента (Германия) при выдерживании в сульфатном растворе [1]

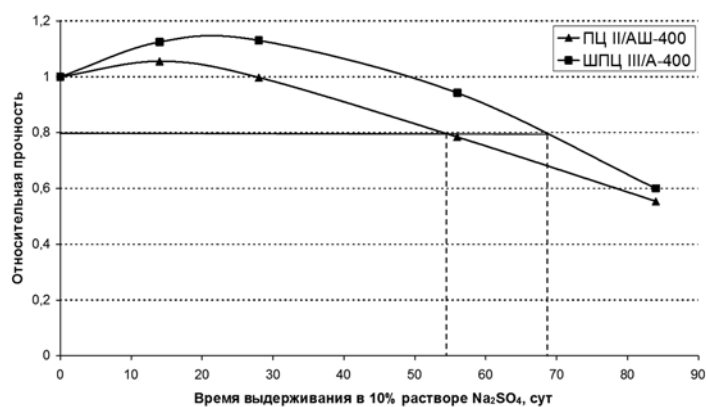
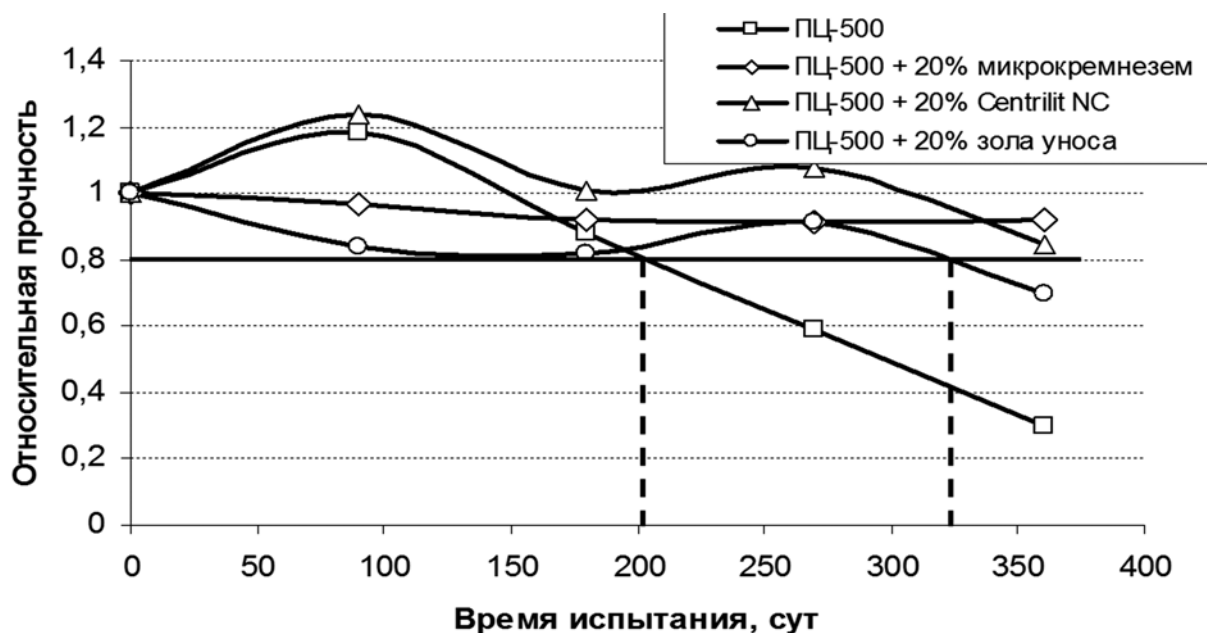
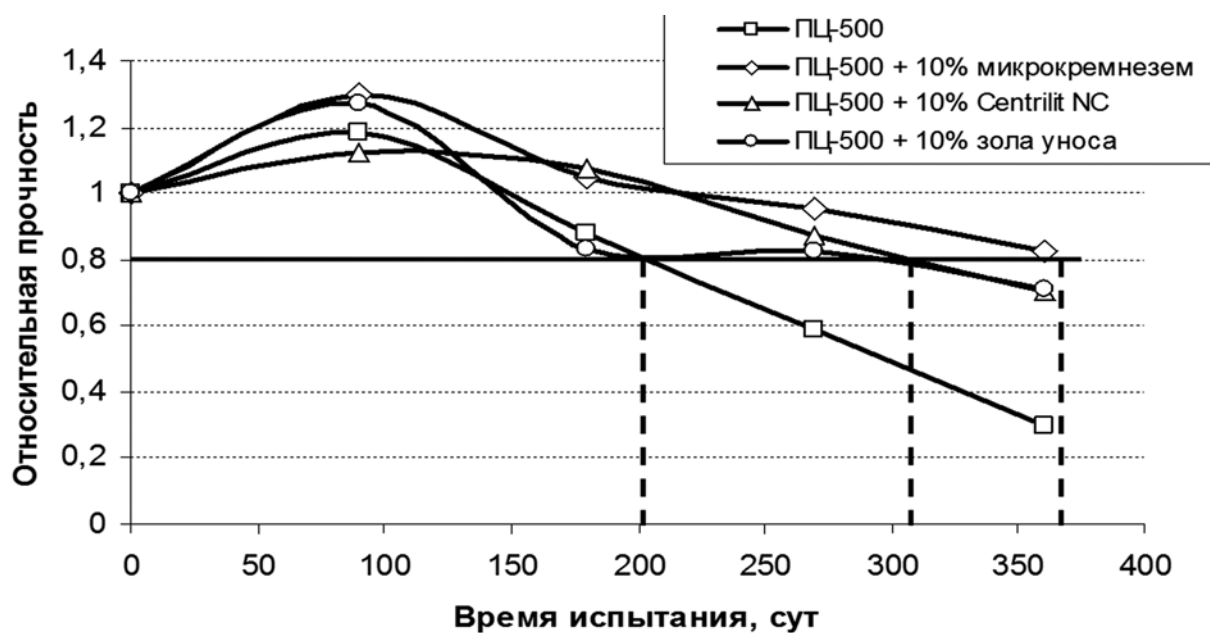


Рис. 3. Относительная прочность при изгибе образцов на основе ПЦ II/A-Ш 400 и ШПЦ III/A-400 при выдерживании в 10% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Таблица 1.

Сравнение ускоренных методов испытания сульфатостойкости цемента

	Witekintd	SVA	CEN
Размеры образцов	10x40x160 мм	10x40x160 мм	20x20x160 мм
В/Ц отношение	0,6	0,5	0,5
Концентрация $\text{Na}_2\text{SO}_4$	4,4%	4,4%	2,4%
Длительность испытания	56 дней	91 день	не определено
Критерий	$\leq 0,5 \text{ мм/м}$	$\leq 0,5 \text{ мм/м}$	не определено

Рис. 4. Относительная прочность при изгибе цемента с 10% пуццолановых добавок при выдерживании в 5% растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>Рис. 5. Относительная прочность при изгибе цемента с 20% пуццолановых добавок при выдерживании в 5% растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Относительная прочность состава содержащего 20% золы-уноса практически сразу снижается до критического значения, однако сохраняется на таком уровне до 320 суток, таким образом, сульфатостойкость этого состава превышает стойкость контрольного состава без добавок в 1,6 раз.

#### Выводы

Все составы, содержащие пуццолановые добавки оказались более устойчивыми к действию сульфатных растворов, чем портландцемент без добавок. Введение 10% микрокремнезема повышают сульфатостойкость цемента в 1,7 раза, содержание 10% Centrilit NC увеличивает сульфатостойкость цемента до 1,6 раза. Относительная прочность состава с 10% золы-уноса снижается до критического уровня как и прочность состава на основе ПЦ-500 без добавок, однако, в отличие от контрольного состава, прочность образцов с золой-уноса сохраняется на критическом уровне до 1,4 раза дольше. Увеличение содержания пуццолановых добавок до 20% приводит к увеличению сульфатостойкости. Составы с 20% микро-

кремнезема и 20% добавки Centrilit NC более чем в 1,8 раза превышают стойкость контрольного состава без добавок. Сульфатостойкость состава с 20% золы-уноса превышает стойкость контрольного состава в 1,6 раз. Использование шлакопортландцемента ШПЦ III/A, который традиционно относят к сульфатостойким цементам, не является достаточным условием существенного повышения сульфатостойкости бетона.

#### Литература:

1. Й. Штарк, Б.Вихт. Долговечность бетона. / Штарк Й., Вихт Б. Пер. с нем. – А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко // – Киев.: «Оранта», 2004. – 293 с
2. Wittekindt, W.: Sulfatbeständige Zemente und ihre Prüfung; Zement-Kalk-Gips 13 (1960) H. 2, S. 565–572.3
3. Stark, J., Wicht B.: Dauerhaftigkeit von Beton – Der Baustoff als Werkstoff. Baupraxis Birkhauser, Berlin 2001
4. CEN/TC 51/WG12/TG1. Sulphate Resistance Testing- State of the Art, 2006