

## **БЕТОНЫ ДЛЯ РЕМОНТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Щерба В.В., Шишкин А.А.

Криворожский национальный университет  
г. Кривой Рог, Украина

**АННОТАЦИЯ:** Приведены результаты исследований бетонов, которые представляют собой композицию из гипсоцементного вяжущего и тонкодисперсного натрий-кальциевого силикатного стекла, получаемые путем смешивания сухих компонентов с водным раствором полиспирта, предназначенных для ремонта строительных конструкций.

**АНОТАЦІЯ:** Наведено результати досліджень бетонів, які представляють собою композицію з гіпсоцементного в'язучого і тонкодисперсного натрій-кальцієвого силікатного скла, одержувані шляхом змішування сухих компонентів з водним розчином поліспирту, призначених для ремонту будівельних конструкцій

**ABSTRACT:** The results of studies of concrete which constitute the composition of the gypsum-cement binder and fine soda-lime-silicate glass. These concretes are prepared by mixing the dry ingredients with aqueous polyalcohol and they are intended for repair of building structures.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** бетон, гипс, цемент, стекло, полиспирт.

Современное состояние развития строительной науки [1] обуславливает при ремонте и усилении зданий и сооружений, подвергающихся сейсмическим воздействиям использование вяжущих веществ и бетонов на их основе, обладающих высокой прочностью и скоростью ее набора, к которым относятся так называемые реакционные порошковые бетоны — Reactive powder concretes (RPC). Идея RPC заключается в снижении до минимума дефектов структуры. Основными компонентами RPC, обычно, являются либо портландцемент, либо

доменный гранулированный шлак [2, 3], либо шлаколамовое вяжущее [4]. В качестве наполнителей таких бетонов используют, чаще всего, микрокремнезем [5], золу-унос [6], известняк [7] в количестве 25...30 % от массы цемента.

Однако большинство указанных выше видов бетонов, получивших в настоящее время широкое научное развитие, основаны на портландцементе, скорость гидратации которого ограничена и, очевидно, на сегодняшний день достигла предела.

В то же время получен такой вид бетонов как шлаковые RPC [4], скорость гидратации вяжущего которого, даже без применения добавок-ускорителей, достигает значительных величин. Недостатком шлаковых RPC является их несовместимость с бетонами существующих конструкций, которые изготовлены, в основном, на портландцементе.

Как известно, достаточно высокой скоростью схватывания и твердения обладают гипсовые вяжущие вещества. Однако они обладают пониженной водостойкостью, которая ограничивает область их применения. Повышение водостойкости гипсового камня может быть обеспечено совместным введением портландцемента и гидравлических добавок в различных соотношениях [8]. Так, А.В. Волженский [8] предложил применять трехкомпонентные вяжущее, которое имеет состав: 60...80 % гипса, 15...25 % портландцемента, 15...20 % гидравлической добавки. Данные вяжущие и бетоны на их основе могут быть отнесены к RPC на гипсоцементном вяжущем, так как обладают всеми свойствами RPC. Кроме того эти бетоны обладают высокой скоростью схватывания и твердения, а также совместимы с бетонами существующих строительных конструкций, т.е. у них отсутствуют недостатки присущие другим видам RPC.

Недостатком данных бетонов является дефицитность изученных гидравлических добавок. В то же время известно, что в качестве гидравлической добавки может быть использовано натрий-кальциевое силикатное стекло [9, 10], использование которого в качестве добавки в портландцементных композициях ограничено вследствие существующей проблемы взаимодействия натрий-кальциевого силикатного стекла с цементным камнем.

Таким образом, анализ известных работ показал, что натрий-кальциевые силикатные стекла можно использовать в качестве гидравлической добавки в гипсоцементных вяжущих. А это позволит, применяя достаточно дешевое сырье, повысить как прочность, так и водостойкость гипсоцементных вяжущих при сохранении высокой скорости формирования свойств бетонами на основе этих вяжущих.

В то же время известен способ повышения прочности пенобетона введением в его состав комплексной добавки представляющей собой смесь минерального железосодержащего комплекса и полиспирта [11].

Результаты анализа, приведенные выше, послужили основой научной гипотезы, которая заключается в следующем: для управления процессами структурообразования гипсоцементных вяжущих систем необходимо создание условий для протекания синтеза таких веществ, которые способны модифицировать структуру продуктов гидратации гипсоцементных вяжущих, способствуя достижению высокой прочности и водостойкости затвердевшей системы при высокой скорости гидратации. Для создания указанных выше условий наиболее приемлемыми являются минерально-органические системы, содержащие натрий-кальциевое силикатное стекло, а органическая составляющая представлена высшими спиртами или их производными. Данный вид бетонов соответствует Reactive powder concretes (RPC) с заменой известных видов вяжущих на гипсоцементное.

**Целью** настоящей работы является определение степени влияния минерально-органической добавки на основе минерального комплекса, содержащего натрий-кальциевое силикатное стекло, железо и полиспирта на прочность и водостойкость гипсоцементного Reactive powder concretes (RPC).

Исследования выполняли согласно со стандартными методиками. Прочности стандартных образцов производили на универсальной машине УММ-100. Для изготовления образцов использовали стандартный портландцемент М400 производства ПАО «Хайдельберг цемент» (г. Кривой Рог) и гипс строительный Даниловского завода. Высокодисперсное натрий-кальциевое силикатное стекло получали дроблением промышленного и бытового стеклобоя в молотковой дробилке с последующим помолом в роторной мельнице до удельной поверхности 250...300 м<sup>2</sup>/кг. В качестве полиспирта применяли пропантриол-1,2,3.

Проведенными исследованиями было определено оптимальное соотношение между гипсом и портландцементом, которое составило 1:2,8. В результате исследований установлено, что введение в данную систему (заменой смеси гипса и портландцемента) до 12% молотого натрий-кальциевого стекла с удельной поверхностью 250...300 м<sup>2</sup>/кг приводит к незначительному увеличению прочности получаемого камня, но значительному повышению водостойкости. Так, в данном случае относительная водостойкость смешанного вяжущего характеризовалась коэффициентом водостойкости 0,98, т.е. 150% водостойкости камня, полученного в результате твердения смеси гипса и портландцемента в соотношении 1:2,8, а относительная прочность – 12%.

Характер зависимости прочности при сжатии от дисперсности наполнителя во времени остается неизменным. Со временем характер кривых не изменяется, но они смещаются вверх - к более высоким прочностным характеристикам по мере твердения камня вяжущего.

Для получения эффективного реакционного порошкового бетона — (RPC), на основе полученных и описанных выше наполненных бетонов, в последние необходимо ввести активный органический компонент. В данном случае в наполненные бетоны вводили полиспирт - пропантриол-1,2,3. В результате был получен гипсоцементный реакционный порошок бетон (gypsum-cement reactive powder concretes - g-sRPC), прочностные показатели которого приведены в табл. 1, а водостойкость в табл. 2.

Таблица 1

Прочность g-sRPC при сжатии

Содержание полиспирта, %	Прочность бетона при содержании натрий-кальциевого силикатного стекла, %			
	10	15	20	25
0	10,3	11,8	12,0	10,1
0,5	16,6	20,1	24,9	19,3
1,0	24,4	19,6	29,5	21,0
1,5	20,1	18,4	20,3	16,4

Таблица 2

Водостойкость g-sRPC

Содержание полиспирта, %	Коэффициент водостойкости бетона при содержании натрий-кальциевого силикатного стекла, %			
	10	15	20	25
0	0,56	0,96	0,98	0,97
0,5	0,71	1,07	1,09	1,05
1,0	0,75	1,06	1,05	1,00
1,5	0,73	0,98	1,00	0,95

Результаты исследований данной группы экспериментов показали, что полиспирт оказывает значительное влияние на прочность наполненного полученного гипсоцементного реакционного порошкового бетона (slag-alkaline reactive powder concretes - g-sRPC), который обладает достаточно высокой прочностью при сжатии и водостойкостью.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что на основе гипсоцементного вяжущего, натрий-кальциевого силикатного стекла и органического компонента в виде полиспирта возможно получение современных реакционных порошковых бетонов g-sRPC высокой прочности и водостойкости.

2. Показано, что содержание натрий-кальциевого силикатного стекла (порошка) и органического компонента в g-sRPC носит экспоненциальный характер, т.е. имеется их содержание, обеспечивающее наибольшую прочность и водостойкость таких бетонов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шишкин А.А. Технология монолитных бетонных и железобетонных конструкций: монография / Шишкин А.А., Шишкина А.А. - Кривой Рог: КНУ, 2013. - 347 с.
2. Swamy R.N. Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete / Swamy R.N., Sakai M., Nakamura N. // The Fourth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI SP-148-1, - 2006. - Proceedings. Detroit (USA). - P. 1-26.
3. Kocaba V. Methods for determination of degree of reaction of slag in blended cement pastes / Kocaba V., Gallucci E., Scrivener K.L. // Cement and concrete research: Elsevier Science Publishing Company, Inc.-2012. – V. 42.– P. 511-525.
4. Шишкин А.А. Щелочные реакционные порошковые бетоны / Шишкин А.А. // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014. - № 2 (17). -С.56-65.
5. Cao J., Chung D.D.L. Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding // Cement Concrete Research. - 2004. - Vol. 34. - №10. - P. 1889-1892.
6. Effect of temperature on the hydration of portland cement blended with siliceous fly ash / [Deschner F., Lothenbach B., Winnefeld F., Neubauer J.] // Cement and concrete research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2013. – Vol. 52. – P. 169-181.
7. Effect of halloysite nanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortars / [Farzadnia N., Abang Ali A.A., Demirboga R., Anwar M.P.] // Cement and concrete research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2013. – Vol. 48. – P. 97-104.
8. Волженский А.В. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие и изделия / Волженский А.В., Роговой М.И., Стамбулко В.И. - М.: Госстройиздат, 1960. - 168 с.
9. Vaisman Ya.I. production of foamed materials from synthesized silicate glasses / Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. // Russian Journal of Applied Chemistry. - 2013. – Vol. 86. - № 7. - P. 952-957.
10. Determination of the elastic properties of amorphous materials: case study of alkali-silica reaction gel / [Moon J., Speziale S., Meral C. and other] // Cement

and concrete research: Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2013. – Vol. 54. – P. 55-60.

11. Шишкина А.А. Свойства и технология пенобетона, модифицированного оксидами железа: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Шишкина А.А. - Кривой Рог, 2010. - 178 с.

## REFERENCES

1. Shishkin A.A. Technology of monolithic concrete and reinforced concrete structures: monograph / Shishkin A.A., Shishkina A.A. - Krivoy Rog: KNU, 2013. - 347 p.
2. Swamy R.N. Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete / Swamy R.N., Sakai M., Nakamura N. // The Fourth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI SP-148-1, - 2006. - Proceedings. Detroit (USA). - P. 1-26.
3. Kocaba V. Methods for determination of degree of reaction of slag in blended cement pastes / Kocaba V., Gallucci E., Scrivener K.L. // Cement and concrete research: Elsevier Science Publishing Company, Inc.– 2012.– V. 42. –P. 511-525.
4. Shishkin A.A. Alkaline reaction powder concretes / Shishkin A.A. // Construction of Unique Buildings and Structures, 2014. - № 2 (17). - P. 56-65.
5. Cao J., Chung D.D.L. Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding // Cement Concrete Research. - 2004. - Vol. 34. - №10. - P. 1889-1892.
6. Effect of temperature on the hydration of portland cement blended with siliceous fly ash / [Deschner F., Lothenbach B., Winnefeld F., Neubauer J.] // Cement and concrete research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2013. – Vol. 52. – P. 169-181.
7. Effect of halloysite nanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortars / [Farzadnia N., Abang Ali A.A., Demirboga R., Anwar M.P.] // Cement and concrete research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2013. – Vol. 48. – P. 97-104.
8. Volzhensky A.V. Gypsum cement and gipsoshlakovye binders and products / Volzhensky A.V., Horn M.I., Stambulko V.I. - M.: Gosstroizdat, 1960. – 168 p.
9. Vaisman Ya.I. production of foamed materials from synthesized silicate glasses / Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. // Russian Journal of Applied Chemistry. - 2013. – Vol. 86. - № 7. - P. 952-957.
10. Determination of the elastic properties of amorphous materials: case study of alkali-silica reaction gel / [Moon J., Speziale S., Meral C. and other] // Cement and concrete research: Elsevier Science Publishing Company, Inc. – 2013. – Vol.54. – P. 55-60.
11. Shishkina A.A. Properties and foam technology, modified iron oxides: a thesis for the degree of Ph.D.: 05.23.05 / Shishkina A.A. - Krivoy Rog, 2010. – 178 p.

Статья поступила в редакцию 05.08.2014 г.