



## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



# Гипсоцементные реакционные порошковые бетоны

В.В. Щерба<sup>1</sup>

Криворожский национальный университет, 50005, Украина, Кривой Рог, Островского, 29.

### Информация о статье

УДК 691.32

Научная статья

### История

Подана в редакцию 23 апреля 2014  
Принята 28 июня 2014

### Ключевые слова

цемент,  
гипс,  
полиспирт,  
прочность,  
водостойкость, стекло.

### АННОТАЦИЯ

Состояние развития строительной науки обуславливает при ремонте и усилении уникальных зданий и сооружений 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). Однако большинство указанных бетонов, получивших в настоящее время широкое научное и практическое развитие, основаны на портландцементе, скорость гидратации которого ограничена и, очевидно, на сегодняшний день достигла предела. А это не дает возможности ускорять работы по ремонту и усилению уникальных зданий и сооружений. Актуальность работы заключается в необходимости получения и исследования RPC, обладающих высокой скоростью набора прочности, высокой совместимостью с бетонами конструкций и другими эксплуатационными свойствами достаточного уровня. 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 в гипсовое вяжущее портландцемента и гидравлических добавок — получением гипсоцементного вяжущего. По составу своих компонентов бетоны на гипсоцементном вяжущем могут быть отнесены к RPC, которые обладают высокой скоростью схватывания и твердения, а также совместимы с бетонами существующих строительных конструкций. Следовательно, у них отсутствуют недостатки присущие другим известным видам RPC. Целью работы является исследование возможности получения и свойств RPC на основе гипсоцементного вяжущего. Поставленная цель достигнута путем использования при получении гипсоцементного вяжущего в качестве гидравлической добавки тонкодисперсного натрий-кальциевого силикатного стекла при смешивании сухих компонентов с водным раствором полиспирта. Полученный гипсоцементный реакционный порошковый бетон, обладает прочностью при сжатии, достигающей 35 МПа, коэффициентом водостойкости не менее 0,9 при высокой скорости твердения.

### Содержание

Введение	143
Обзор литературы	143
Постановка задачи	144
Описание исследования	144
Заключение	146

<sup>1</sup>

Контактный автор:

+3 806 756 911 80, a5691180@mail.ru (Щерба Владимир Викторович, аспирант)

## Введение

Современное состояние развития строительной науки обуславливает при ремонте и усилении уникальных зданий и сооружений [1-3] 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).

## Обзор литературы

Идея RPC заключается в снижении до минимума дефектов структуры. Основными компонентами RPC, обычно, являются либо портландцемент [4], либо доменный гранулированный шлак [5, 6], либо шлакошламовое вяжущее [7]. В качестве наполнителей таких бетонов используют, чаще всего, микрокремнезем [5], золу-унос [8,9], известняк [10] и метакаолин [11], наноглины и силикаты [12-14] в количестве 25—30 % от массы цемента.

Тонкодисперсные компоненты RPC резко изменяют его реологические свойства, которые, обычно, ухудшаются из-за усиления межчастичных взаимодействий [15]. В то же время, при определенных условиях и дозировке тонкодисперсных компонентов, они способны уменьшать водопотребность бетонных смесей либо повышать их подвижность [16].

Для регулирования реологических свойств RPC смесей, обладающих низкой расслаиваемостью, применяют суперпластификаторы, основная функция которых заключается в деагрегации тонкодисперсных частиц в гетерогенных системах [17, 18].

Большинство известных RPC, которые получили широкое развитие, основаны на портландцементе, скорость гидратации которого ограничена и, очевидно, достигла предела.

В то же время известны RPC на основе доменных гранулированных шлаков [5, 6] или шлакошламового вяжущего [7]. Скорость гидратации вяжущих этих RPC, даже без применения добавок-ускорителей, достигает значительных величин. Недостатком таких 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 [19]. Так, Волженский А. В. [19] предложил применять трехкомпонентное 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 [20-26], 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, применяя определенные технологические приемы, натрий-кальциевые силикатные стекла можно использовать в качестве гидравлической добавки в гипсоцементные вяжущие. А это позволит, применяя достаточно дешевое сырье, повысить как прочность при сжатии, так и водостойкость гипсоцементных вяжущих, при сохранении высокой скорости формирования их свойств.

В то же время, имеются данные о том, что введение в бетонную смесь минеральных добавок [27] совместно с суперпластификатором, приводит к меньшей потере подвижности бетонной смеси, чем без минеральной добавки. В частности известен способ повышения прочности пенобетона введением в его состав комплексной добавки представляющей собой смесь минерального железосодержащего комплекса и полиспирта [27]. В описанных случаях происходит частичная адсорбция органического компонента добавки на минеральном компоненте, что снижает количество адсорбированного пластификатора на

частицах вяжущего и новообразований и, как следствие, снижает эффект замедления гидратации вяжущего. Известные исследования в области флотации [28] показывают, что наиболее эффективно связывают органические ПАВ железосодержащие минеральные комплексы.

Анализ результатов известных исследований послужил основой научной гипотезы, которая заключается в следующем: для управления процессами структурообразования гипсоцементных вяжущих систем необходимо создание условий для протекания синтеза таких минерально-органических веществ, которые способны модифицировать структуру продуктов гидратации гипсоцементных вяжущих, способствуя достижению высокой прочности при сжатии и коэффициента размягчения затвердевшей системы. Наиболее приемлемыми являются минерально-органические системы, содержащие в качестве минеральной составляющей смесь натрий-кальциевого силикатного стекла и соединений железа, а в качестве органической составляющей – высшие спирты или их производные. Данный вид бетонов соответствует Reactive powder concretes (RPC) с заменой известных видов вяжущих на гипсоцементное.

### Постановка задачи

Целью настоящей работы является получение гипсоцементных реакционных порошковых бетонов и определение степени влияния минерально-органической добавки, состоящей из натрий-кальциевого силикатного стекла, соединений железа и полиспирта, на прочность при сжатии и коэффициент размягчения гипсоцементного RPC.

### Описание исследования

В исследовании производили в соответствии со стандартными методиками. Определение прочности при сжатии производили на универсальной машине УММ-100 испытанием стандартных образцов (размер образцов 40 x 40 x 160 мм). Для изготовления образцов использовали стандартный портландцемент М400 производства ПАО «Хайдельберг цемент» (г. Кривой Рог) и гипс строительный Даниловского завода. Высокодисперсное натрий-кальциево-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.

Предварительными 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 силикатного стекла с удельной поверхностью 250-300 м<sup>2</sup>/кг приводит к незначительному увеличению прочности получаемого камня и значительному повышению водостойкости. Так в данном случае относительная водостойкость смешанного вяжущего характеризовалась коэффициентом размягчения 0,98, т.е. 150% коэффициентом размягчения камня, полученного в результате твердения смеси гипса и портландцемента в соотношении 1:2,8, а относительная прочность при сжатии – 120% или 35 МПа. Коэффициент размягчения определяли, как частное от деления численного значения прочности при сжатии образцов, хранившихся в воде в течение 48 часов, на численное значение прочности при сжатии образцов того же состава и размера, твердевших в сухих условиях (относительная влажность среды твердения этих образцов 50-60%).

Результаты экспериментов, приведенные в таблице 1, показывают, что с увеличением удельной поверхности натрий-кальциевого силикатного стекла увеличивается прочность бетона при сжатии.

**Таблица 1. Влияние размеров частиц натрий-кальциевого силикатного стекла на прочность бетона при сжатии**

Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг, (размер частиц) натрий-кальциевого силикатного стекла,	Прочность бетона при сжатии, МПа
420	35,0
250-300	12,0
(1,25 мм)	8,65
(2,5 мм)	5,60

Примечания.

1. Содержание натрий-кальциевого силикатного стекла – 20% от массы смеси.
2. Водовязующее отношение – 0,25.

Характер зависимости прочности бетона при сжатии от дисперсности натрий-кальцевого силикатного стекла во времени остается неизменным. Со временем характер кривых не изменяется, но они смещаются вверх – к более высоким прочностным характеристикам по мере твердения камня вяжущего. Оптимальное содержание исследуемой гидравлической добавки – натрий-кальцевого силикатного стекла составляет 15-20% от массы гипсоцементного вяжущего (таблица 2).

Однако введение натрий-кальцевого силикатного стекла в большей степени оказывает влияние на коэффициент размягчения камня затвердевшего вяжущего (таблица 3).

**Таблица 2. Влияние количества натрий-кальцевого силикатного стекла на прочность бетона при сжатии**

Водоцементное отношение	Прочность бетона при сжатии, МПа, при содержании натрий-кальцевого силикатного стекла, %			
	10	15	20	25
0,25	10,3	11,8	12,0	10,1
0,35	9,6	10,1	9,9	9,3
0,45	8,4	9,6	9,5	9,0

Примечание. Удельная поверхность натрий-кальцевого силикатного стекла – 250 м<sup>2</sup>/кг.

**Таблица 3. Влияние количества натрий-кальцевого силикатного стекла на коэффициент размягчения бетона**

Водоцементное отношение	Коэффициент размягчения бетона при содержании натрий-кальцевого силикатного стекла, %			
	10	15	20	25
0,25	0,56	0,96	0,98	0,97
0,35	0,51	0,97	0,99	0,94
0,45	0,45	0,96	0,95	9,0

Примечание. Удельная поверхность натрий-кальцевого силикатного стекла – 250 м<sup>2</sup>/кг.

Далее, в соответствии с рабочей гипотезой, в исследованные бетоны вводили органический компонент. В данном случае в бетоны вводили полиспирт - пропантриол-1, 2, 3. В результате был получен гипсоцементный реакционный порошок бетон (gypsum-cement Reactive Powder Concretes - g-cRPC), прочностные показатели которого приведены в таблице 4.

**Таблица 4. Прочность при сжатии g-sRPC**

Содержание полиспирта, %	Прочность бетона при сжатии, МПа, при содержании натрий-кальцевого 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

Примечания.

1. Удельная поверхность натрий-кальцевого силикатного стекла – 250 м<sup>2</sup>/кг.
2. Водотвердое отношение – 0,25.

**Таблица 5. Коэффициент размягчения g-sRPC**

Содержание полиспирта, %	Коэффициент размягчения 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

*Примечания.*

1. Удельная поверхность натрий-кальциевого силикатного стекла – 250 м<sup>2</sup>/кг.
2. Водотвердое отношение – 0,25.

Результаты данной группы экспериментов показали, что полиспирт оказывает значительное влияние на исследованные свойства бетона на основе гипсоцементного вяжущего. Полученный гипсоцементный реакционный порошок бетон (slag-alkaline reactive powder concretes - g-sRPC) обладает достаточно высокой для гипсоцементных бетонов прочностью при сжатии и коэффициентом размягчения.

Наибольшая прочность и коэффициент размягчения у g-sRPC наблюдаются при содержании натрий-кальциевого силикатного стекла в количестве 20% от массы минеральной части бетона и содержании полиспирта в количестве 0,5-1,0% от массы минеральной части бетона. Изменение количества указанных компонентов в большую или меньшую сторону приводит к уменьшению величины контролируемых показателей: прочности при сжатии и коэффициента размягчения (см. таблицы 4 и 5).

## **Заключение**

Проведенные исследования и анализ их результатов позволяют сделать следующие выводы:

1. Установлено, что на основе гипсоцементного вяжущего, натрий-кальциевого силикатного стекла и органического компонента в виде полиспирта возможно получение современных реакционных порошковых бетонов, обладающих достаточно высокой для гипсоцементных бетонов прочностью при сжатии и коэффициентом размягчения.
2. Показано, что имеется оптимальное содержание натрий-кальциевого силикатного стекла (порошка) и органического компонента в g-sRPC, обеспечивающее наибольшую прочность при сжатии и коэффициент размягчения таких бетонов.
3. Установлено, что в качестве органического компонента g-sRPC возможно использование полиспирта, который обеспечивает прирост прочности при сжатии бетона до 100%.

## Литература

1. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Усиление строительных конструкций с использованием постнапряженного железобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3. С. 29-32.
2. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Перспективы применения нанобетона в монолитных большепролетных ребристых перекрытиях с постнапряжением // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2. С. 54-58.
3. Шишкин А.А., Шишкина А.А. Технология монолитных бетонных и железобетонных конструкций: монография. - Кривой Рог: Издательский центр КНУ, 2013. - 347 с.
4. Bentz D.P. (2005) Replacement of "coarse" cement particles by inert fillers in low w/c ratio concretes. II. Experimental validation. Cement Concrete Research. 2005. Vol. 35. Issue 1. Pp. 185-188.
5. Swamy R.N., Sakai M., Nakamura N. (2006) Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete. The Fourth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI SP-148-1, 2006, Proceedings. Detroit (USA), Pp. 1-26.
6. Kocaba V., Gallucci E., Scrivener K.L. (2012) Methods for determination of degree of reaction of slag in blended cement pastes. Cement and concrete research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2012. 42. Pp. 511-525.
7. Шишкин А.А. Щелочные реакционные порошковые бетоны // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2 (17). С. 56-65.
8. An innovation method in producing high early strength PFA concrete (1999) / Poon C.S., Kou S.C., Lam L., Lin Z.S. Creating with Concrete: International Conference. 1999: Proceedings. Dundee (Scotland), 1999. Pp. 131-138.
9. Cao J., Chung D.D.L. (2004) Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding. Cement and Concrete Research. 2004. Vol. 34. Issue 10. Pp. 1889-1892.
10. Effect of temperature on the hydration of portland cement blended with siliceous fly ash / Deschner F., Lothenbach B., Winnefeld F., Neubauer J. (2013) Cement and Concrete Research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2013. Vol. 52. Pp. 169-181.
11. Gruber K.A., Ramlochan T., Boddy A. (2001) Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin. Cement and Concrete Research. 2001. Vol. 23. № 6. Pp. 479-484.
12. Farzadnia N., Abang Ali A.A., Demirboga R. [et. al.] Effect of halloysite nanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortar. (2013) Cement and Concrete Research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2013. Vol. 48. Pp. 97-104.
13. Madani H., Bagheri A., Parhizkar T. (2012) The pozzolanic reactivity of monodispersed nanosilica hydrosols and their influence on the hydration characteristics of portland cement. Cement and Concrete Research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2012. Vol. 42. Pp. 1563-1570.
14. Martirena F., Fernandez R., Scrivener K.L. (2011) The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: a comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. Cement and Concrete Research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2011. Vol. 41. Pp. 113-122.
15. Artelt C., Garcia E. (2008) Impact of super plasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behavior of dense mortar suspensions. Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38. Issue 5. Pp. 633-642.
16. Erdem T.K., Kirca O. (2008) Use of binary and ternary blends in high strength concrete. Construction and Building Materials. 2008. Vol. 22. Issue 7. Pp. 1477-1483.
17. Kong H.J., Bike S.G., Li V.C. (2006) Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions. Cement and Concrete Research. 2006. Vol. 36. Issue 5. Pp. 851 - 857.
18. Korpa A., Kowald T., Trettin R. (2008) Hydration behavior, structure and morphology of hydration phases in advances cement-based systems containing micro and nanoscale pozzolanic additives. Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38. Issue 7. Pp. 955-962.
19. Волженский А.В., Роговой М.И., Стамбулко В.И. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие и изделия. М.: Госстройиздат, 1960. 168 с.

20. Пузанов С.И. Оценка комплексного воздействия стеклобоя на окружающую среду и совершенствование технологий его вторичного использования: диссертация на соиск. степ. к.т.н. : Спец. 03.00.16. Пермь, 2010. 184 с.
21. Вайсман Я.И., Кетов А.А. Воздействие на окружающую среду и перспективы переработки стеклобоя // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. - 2011. № 4. С. 78-95.
22. Кетов А.А., Корзанов В.С. Ионообменные и вяжущие свойства силикатных стекол // Вестник Пермского университета. Химия. 2011. № 2. С. 96-101.
23. Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. (2013) Production of foamed materials from synthesized silicate glasses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2013. Vol. 86. Issue 7. Pp. 952-957.
24. Moon J., Speziale S., Meral C. [et. al] (2013) Determination of the elastic properties of amorphous materials: case study of alkali-silica reaction gel. Cement and Concrete Research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2013. Vol. 54. Pp. 55-60.
25. Remarque W., Heinz D., Schleusser C. (2001) Glass powder as a reactive addition for blast furnace cements. Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19-20 March 2001. Dundee UK. Pp. 229-238.
26. Swirzen A., Penttala V., Vornanen C. (2008) Reactive powder concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC. Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38. Issue 10. Pp. 1217-1226.
27. Шишкина А. А. Свойства и технология пенобетона, модифицированного оксидами железа: дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н., спец. 05.23.05. Кривой Пог, 2010. 178 с.
28. Годэн А.М. Флотация. М.: Госнаучлит по горному делу, 1959. 653 с.

## Gypsum-cement reactive powder concrete

V.V. Scherba<sup>1</sup>

*Krivoy Rog National University, 21 Ostrovskogo st., Krivoy Rog, 50005, Ukraine.*

### ARTICLE INFO

Original research article

### Article history

Received 23 April 2014  
Accepted 28 June 2014

### Keywords

cement,  
plaster,  
polyalcohol,  
strength,  
water resistance,  
glass.

### ABSTRACT

Current state of construction science causes for the repair and strengthening of unique buildings and structures using binders and concretes based on them having a high strength and speed of her set, which includes the so-called reactive powder concrete - Reactive powder concretes (RPC). However, most of these concretes currently received broad scientific and practical development, based on Portland cement hydration rate is limited and, obviously, today has reached its limit. This makes it impossible to accelerate work on the repair and strengthening of unique buildings and structures. Relevance of the work is the need to obtain and study RPC, with high speed curing, high compatibility with concrete structures and other properties of a sufficient level of performance. It is known that a sufficiently high rate of setting and hardening of gypsum binders have, however, they have a reduced water resistance, which restricts their area of application. Increase the water resistance of gypsum can be achieved by coadministration of gypsum binder in Portland cement and hydraulic additives - give gypsum cement binder. According to the composition of its components on gypsum cement concrete binder can be attributed to the RPC, which have a high rate of setting and hardening, as well as compatible with concretes existing constructions. Consequently they have no disadvantages inherent in other known species of RPC. The aim is to investigate the possibility of obtaining and properties of RPC - based gypsum cement binder. This goal is achieved by using in the preparation of gypsum cement as hydraulic binder in finely divided additives soda lime silicate glass by mixing the dry ingredients with an aqueous solution of a polyalcohol. The resulting particulate reaction gypsum cement concrete has a compressive strength reaching 35 MPa, coefficient of the water resistance of not less than 0.9 at high speed curing.

<sup>1</sup>

*Corresponding author:*

+3 806 756 911 80, a5691180@mail.ru (Vladimir Viktorovich Scherba, Post-graduate Student)



## References

1. Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. (2009) *Usileniye stroitelnykh konstruktсий s ispolzovaniyem postnapryazhennogo zhelezobetona* [The issue of strengthening constructions] Magazine of Civil Engineering. 2009. Issue 3. Pp. 29-32. (rus)
2. Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. (2009) *Perspektivy primeneniya nanobetona v monolitnykh bolsheproletnykh rebriykh perekrytiyakh s postnapryazheniyem* [Nanoconcrete use in monolithic slabs] Magazine of Civil Engineering. 2009. Issue 2. Pp. 54-58. (rus)
3. Shishkin A.A., Shishkina A.A. (2013) *Tekhnologiya monolitnykh betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktсий: monografiya* [Production of monolithic concrete structures]. - *Krivoy Rog: Izdatelskiy tsentr KNU*, 2013. - 347 p. (rus).
4. Bentz D.P. (2005) Replacement of "coarse" cement particles by inert fillers in low w/c ratio concretes. II. Experimental validation. *Cement Concrete Research*. 2005. Vol. 35. Issue 1. Pp. 185-188.
5. Swamy R.N., Sakai M., Nakamura N. (2006) Role of Superplasticizers and Slag for Producing High Performance Concrete. The Fourth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI SP-148-1, 2006, Proceedings. Detroit (USA), Pp. 1-26.
6. Kocaba V., Gallucci E., Scrivener K.L. (2012) Methods for determination of degree of reaction of slag in blended cement pastes. *Cement and concrete research*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2012. 42. Pp. 511-525.
7. Shishkin A.A. (2014) *Shchelochnyye reaktsionnyye poroshkovyye betony* [Properties of alkali reactive concrete] *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2014. Vol. 17. Issue 2. Pp. 56-65. (rus)
8. An innovation method in producing high early strength PFA concrete (1999) / Poon C.S., Kou S.C., Lam L., Lin Z.S. *Creating with Concrete: International Conference*. 1999: Proceedings. Dundee (Scotland), 1999. Pp. 131-138.
9. Cao J., Chung D.D.L. (2004) Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding. *Cement and Concrete Research*. 2004. Vol. 34. Issue 10. Pp. 1889-1892.
10. Effect of temperature on the hydration of portland cement blended with siliceous fly ash / Deschner F., Lothenbach B., Winnefeld F., Neubauer J. (2013) *Cement and Concrete Research*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2013. Vol. 52. Pp. 169-181.
11. Gruber K.A., Ramlochan T., Boddy A. (2001) Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin. *Cement and Concrete Research*. 2001. Vol. 23. № 6. Pp. 479-484.
12. Farzadnia N., Abang Ali A.A., Demirboga R. [et. al.] Effect of halloysite nanoclay on mechanical properties, thermal behavior and microstructure of cement mortar. (2013) *Cement and Concrete Research*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2013. Vol. 48. Pp. 97-104.
13. Madani H., Bagheri A., Parhizkar T. (2012) The pozzolanic reactivity of monodispersed nanosilica hydrosols and their influence on the hydration characteristics of portland cement. *Cement and Concrete Research*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2012. Vol. 42. Pp. 1563-1570.
14. Martirena F., Fernandez R., Scrivener K.L. (2011) The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: a comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2011. Vol. 41. Pp. 113-122.
15. Artelt C., Garcia E. (2008) Impact of super plasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behavior of dense mortar suspensions. *Cement and Concrete Research*. 2008. Vol. 38. Issue 5. Pp. 633-642.
16. Erdem T.K., Kirca O. (2008) Use of binary and ternary blends in high strength concrete. *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 22. Issue 7. Pp. 1477-1483.
17. Kong H.J., Bike S.G., Li V.C. (2006) Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions. *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36. Issue 5. Pp. 851 -857.
18. Korpa A., Kowald T., Trettin R. (2008) Hydration behavior, structure and morphology of hydration phases in advances cement-based systems containing micro and nanoscale pozzolanic additives. *Cement and Concrete Research*. 2008. Vol. 38. Issue 7. Pp. 955-962.
19. Volzhenskiy A.V., Rogovoy M.I., Stambulko V.I. (1960) *Gipsotsementnyye i gipsoshlakovyye vyazhushchiye i izdeliya* [Properties of gypsum cement and binders gipsoshlakovykh]. *M.: Gosstroyizdat*, 1960. - 168 p. (rus)

20. Puzanov S.I. (2010) *Otsenka kompleksnogo vozdeystviya stekloboya na okruzhayushchuyu sredu i sovershenstvovaniye tekhnologiy yego vtorichnogo ispolzovaniya* [Properties of concrete on the broken glass]: dissertatsiya . k.t.n. : 03.00.16. Perm, 2010. - 184 p. (rus)
21. Vaysman Ya.I., Ketov A.A. (2011) *Vozdeystviye na okruzhayushchuyu sredu i perspektivy pererabotki stekloboya. Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika* [Properties of concrete on broken glass]. - 2011. Issue 4. Pp. 78-95. (rus)
22. Ketov A.A., Korzanov V.S. (2011) *Ionoobmennyye i vyazhushchiye svoystva silikatnykh stekol* [Binders of silicate glasses]. Vestnik Permskogo universiteta. Khimiya. 2011. Issue 2. Pp. 96-101. (rus)
23. Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. (2013) Production of foamed materials from synthesized silicate glasses // Russian Journal of Applied Chemistry. 2013. Vol. 86. Issue 7. Pp. 952-957.
24. Moon J., Speziale S., Meral C. [et. al] (2013) Determination of the elastic properties of amorphous materials: case study of alkali-silica reaction gel. Cement and Concrete Research. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 2013. Vol. 54. Pp. 55-60.
25. Remarque W., Heinz D., Schleusser C. (2001) Glass powder as a reactive addition for blast furnace cements. Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19-20 March 2001. Dundee UK. Pp. 229-238.
26. Cwirzen A., Penttala V., Vornanen C. (2008) Reactive powder concretes: Mechanical properties, durability and hybrid use with OPC. Cement and Concrete Research. 2008. Vol. 38. Issue 10. Pp. 1217-1226.
27. Shishkina A. A. (2010) *Svoystva i tekhnologiya penobetona, modifitsirovannogo oksidami zheleza: diss. na soisk. uchen. step. k.t.n., spets. 05.23.05* [Properties and foam technology]. Krivoy Rog, 2010. - 178 p. (rus)
28. Goden A.M. Flotatsiya. M. (1959) *Gosnauchlit po gornomu delu* [Regulations enrichment by flotation], 1959. - 653 p. (rus)