



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spb.ru



Щелочные реакционные порошковые бетоны

А.А. Шишкин¹

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

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 691.32

История

Подана в редакцию 29 января 2014
Оформлена 26 февраля 2014
Согласована 27 февраля 2014

Ключевые слова

бетон
прочность
железо
полиспирт
щелочь

АННОТАЦИЯ

Современное состояние развития строительной науки обуславливает при строительстве уникальных зданий, сооружений, а также возведении сложных строительных конструкций и их ремонте, использование высокопрочных вяжущих веществ и бетонов на их основе.

Высокопрочные бетоны появились в зарубежной практике в начале 60-х годов прошлого столетия. Разные страны в промышленных масштабах начали применение бетона прочностью свыше 40 МПа. Особенно перспективны полученные в конце 80-х годов двадцатого столетия, так называемые реакционные порошковые бетоны — Reactive powder concretes (RPC). Бетон назван реакционным порошковым вследствие высокой дисперсности компонентов и повышенного количества гидравлически активных материалов.

В то же время давно существует такой вид вяжущих как шлакощелочные вяжущие, активность которых, даже без применения особых приемов, применяемых для повышения прочности портландцементных бетонов, описанных выше, достигает 80 МПа. Установленный эффект взаимодействия между силикатами натрия и солями железа и полученное так называемое шлакошламовое вяжущее, представляющее собой смесь доменного гранулированного шлака с отходами горно-обогатительных комбинатов (железосодержащим минеральным комплексом), затворенную водой.

Эти два положения послужили основой для получения нового вида бетона, так называемого шлакощелочного реакционного порошкового бетона, который представляет собой смесь доменного гранулированного шлака с железосодержащим минеральным комплексом, затворенную водным раствором щелочного компонента с добавлением полиспирта. Данный вид вяжущего обладает прочностью при сжатии, достигающей 110 МПа.

Содержание

Введение	57
Обзор литературы	57
Постановка задачи	58
Описание исследования	58
Заключение	60

1.

Контактный автор:

+38 (067) 569 1180; 5691180@mail.ru (Шишкин Александр Алексеевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии строительных изделий, материалов и конструкций»)

Введение

Современное состояние развития строительной науки обуславливает при строительстве уникальных зданий, сооружений, а также возведении сложных строительных конструкций [1-4] и их ремонте, использование высокопрочных вяжущих веществ и бетонов на их основе.

Обзор литературы

Высокопрочные бетоны появились в зарубежной практике в начале 60-х годов прошлого столетия - США, Норвегия, Германия и другие страны в промышленных масштабах начали применение бетона прочностью свыше 40 МПа. Особенно перспективны полученные в конце 80-х годов двадцатого столетия во Франции так называемые реакционные порошковые бетоны — Reactive powder concretes (RPC). Это новое поколение бетонов с прочностью при сжатии от 200 до 800 МПа и прочностью при растяжении 25-150 МПа, энергией разрушения 3000 Дж/м³ и средней плотностью 2500-3000 кг/м³. Компонентами такого бетона являются портландцемент, микрокремнезем (25—30 % массы цемента), мелкозернистый песок с максимальной крупностью зерен 0,3-0,4 мм, стальная микрофибра и суперпластификатор (2,0-3,0 % массы цемента) при водотвердом отношении в диапазоне 0,12-0,15. Бетон назван реакционным порошковым вследствие высокой дисперсности компонентов и повышенного количества гидравлически активных материалов. Концепция RPC заключается в получении материала, с минимумом дефектов структуры - микротрещин и пор.

Оптимизация гранулометрического состава частиц портландцемента, песка, молотого кварца и микрокремнезема, которая основывается на предложенной F. De Larrard [5] линейной модели плотной упаковки (LPDM — linear packing density model), обеспечивает очень высокую плотность композита. В связи с этим в высокопрочных бетонах предусматривается использование тонкомолотых наполнителей.

Так молотый известняк в составе бетона в количестве до 35 % широко применяется во Франции, в то же время в других странах Западной Европы, например Германии, Дании дозировка молотого известняка, как правило, не превышает 5 % [6].

Значительно более высокий уплотняющий эффект в структуре бетона достигается при применении ультрадисперсного микрокремнезема (кремнеземистой пыли). В результате резко изменяются реологические свойства: повышается вязкость, пластическая прочность, связность и тиксотропия смесей, что является следствием усиления межчастичных взаимодействий, а также повышения водопотребности добавок с высокой удельной поверхностью [7, 8]. В то же время ряд исследователей [9-11] отмечают, что при определенных условиях и оптимальной дозировке минеральные добавки способны уменьшать водопотребность бетонных смесей либо повышать их подвижность.

Использование золы-уноса приводит к снижению расхода воды при сохранении подвижности бетонной смеси, модификации состава продуктов гидратации цемента в результате пуццолановой реакции с гидроксидом кальция и связывания щелочей [12, 13].

При замене портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком прочность при сжатии бетона в ранние сроки, как и в случае с золой-уноса, также замедляется, но выравнивается к 28 суткам (если замена до 50 %) или к 90 суткам (если замена до 70%) [14].

Ускорение гидратации портландцементной пасты, которая содержит комплекс минеральных добавок, включающий золу-унос или молотый гранулированный шлак, может быть достигнуто также при введении молотого известняка [15] или метаксаолина [16].

Для регулирования технологических свойств и получения «реопластичных» бетонных смесей с низким водоцементным отношением, обладающих высокой когезией и нерасплаиваемостью применяют суперпластификаторы - полиэлектролиты органического происхождения, основная функция которых заключается в диспергировании химической среды в гетерогенных системах [17]. Следует отметить, что как СНФ, так и СМФ-конденсаты не обеспечивают длительной сохранности подвижности во времени бетонных смесей на их основе. При этом, чем ниже водоцементное отношение, тем выше скорость потери подвижности, особенно смесей на основе СНФ суперпластификаторов [17]. Быстрая потеря подвижности в основном связана с повышением ионной силы раствора цементной суспензии в процессе гидратации, что приводит к рефлокуляции дисперсных частиц в результате ван-дер-ваальсового взаимодействия. Этот эффект является также следствием низкой величины стерического отталкивания молекул полиэлектролитов [18].

Таким образом, современные высокопрочные бетоны - это комплексная смесь 5-10 различных минеральных композиций. Взаимодействия между ними могут создавать разнообразие показателей удобоукладываемости смеси и прочности бетона, что определяется морфологией, дисперсностью частиц и свойствами поверхности индивидуальных компонентов [19].

Однако все виды бетонов, получившие в настоящее время широкое научное развитие, основаны на портландцементе, активность которого ограничена и, очевидно, на сегодняшний день исчерпана.

В то же время давно существует такой вид вяжущих как шлакощелочные вяжущие [20], активность которых, даже без применения особых приемов, применяемых для повышения прочности портландцементных бетонов, описанных выше, достигает 80 МПа. Недостатком шлакощелочных бетонов считалась их повышенная деформативность, однако современные типы высокопрочных бетонов (например, Reactive powder concretes - RPC) на основе портландцемента также обладают повышенной деформативностью сравнимой с деформативностью шлакощелочных бетонов.

Еще в начале двадцатого столетия был отмечен эффект взаимодействия между силикатами натрия и солями железа [21], а несколько позже было получено так называемое шлакошламовое вяжущее [22], представляющее собой смесь доменного гранулированного шлака с отходами горно-обогатительных комбинатов (железосодержащим минеральным комплексом), затворенную водой. Активность данного вяжущего значительно превышает активность доменного гранулированного шлака затворенного водой.

Эти два положения послужили основой для получения нового вида вяжущего вещества, так называемого шлакошламового щелочного вяжущего, которое представляет собой смесь доменного гранулированного шлака с железосодержащим минеральным комплексом, затворенную водным раствором щелочного компонента [23]. Данный вид вяжущего обладает прочностью при сжатии, достигающей 110 МПа. Кроме этого получен так называемый шламопортландцемент, представляющий собой смесь портландцемента с железосодержащим минеральным комплексом (в том числе «хвостами» горно-обогатительных комбинатов), затворенную водой [23].

В то же время, известны результаты исследований в области флотации [24] и применения суперпластификаторов в технологии бетона [25, 26], а также данные о том, что введение в бетонную смесь минеральных добавок, например, метакаолина, микрокремнезема или молотого известняка [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 [28]. В описанных случаях происходит частичная адсорбция органического компонента добавки на минеральном, что снижает количество адсорбированного пластификатора на частицах вяжущего и новообразований, что снижает эффект замедления гидратации вяжущего. Известные исследования в области флотации [24] показывают, что железосодержащие минеральные комплексы наиболее эффективно связывают органические ПАВ.

Приведенные выше данные послужили основой научной гипотезы, которая заключается в следующем: для управления процессами структурообразования вяжущих систем необходим синтез таких органо-минеральных веществ, которые в зависимости от строения неорганического носителя и органического компонента, степени модифицирования сорбента и прочности закрепления органических веществ на поверхности твердой фазы, будут способны модифицировать структуру продуктов гидратации вяжущих, способствуя повышению скорости гидратации и достижению высокой прочности затвердевшей системы. Наиболее приемлемыми являются органо-минеральные системы, минеральная часть которых содержит соединения железа, а органическая представлена высшими спиртами, непредельными высшими жирными кислотами или их производными. Данный вид бетонов практически полностью подпадает под классификацию как Reactive powder concretes (RPC) с заменой вида вяжущего с портландцемента на шлакощелочное вяжущее.

Постановка задачи

Целью настоящей работы является определение степени влияния органо-минеральной добавки на основе минерального комплекса, содержащего железо и полиспирта на прочность шлакощелочного Reactive powder concretes (RPC).

Описание исследования

Эксперименты проводились в соответствии со стандартными методиками. Контроль прочности образцов производили на универсальной машине УММ-100. Для изготовления образцов использовали доменные гранулированные шлаки ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и отходы обогащения железных

руд Новокриворожского горно-обогатительного комплекса ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». В качестве полиспирта применяли пропантриол-1,2,3; в качестве щелочного компонента: силикат натрия, едкий натр и карбонат натрия.

Результаты экспериментов, приведенные в таблице 1, показывают, что наиболее приемлемым щелочным компонентом, для получения высокопрочных шлакощелочных наполненных бетонов (Reactive powder concretes без пластификаторов), являются силикаты натрия (растворимое стекло).

Таблица 1. Влияние вида щелочного и железистого компонентов на прочность наполненных бетонов при сжатии

Щелочной компонент	Прочность бетона, МПа, при содержании железистого компонента, %						
	0	10	20	30	40	50	60
Оксид натрия	38	40	43	42	39	21	12
Карбонат натрия	31	35	42	40	38	25	9
Силикат натрия	63,4	68	72,6	72,4	72	64	50

*Примечание. Плотность водного раствора щелочного компонента составляла 1180 кг/м³.

Оптимальное содержание железистого минерального комплекса во всех случаях составляет 20...30%. Однако, при применении в качестве щелочного компонента силикатов натрия диапазон оптимального содержания железистого компонента расширяется, в данном случае предел его содержания (обеспечивающий максимальную прочность R_{PC}) составляет 20...40% от массы вяжущего.

Результаты исследования влияния плотности водного раствора силикатов натрия на прочность при сжатии шлакощелочного наполненного бетона, приведенные в таблице 2, показали, что с увеличением плотности водного раствора силикатов натрия – прочность наполненного бетона при сжатии резко возрастает.

Таблица 2. Влияние плотности водного раствора силикатов натрия на прочность наполненного бетона

Плотность водного раствора силикатов натрия, кг/м ³	Содержание железистого компонента, %	Прочность бетона, МПа в возрасте, сут.			
		1	28	90	180
1150	0	12	52	52,4	56,3
1150	20	18	53	56,8	61,2
1150	40	16,5	50	55,1	58,9
1200	0	20	63,4	69,3	71,2
1200	20	22	72,6	77,4	79,3
1200	40	24	72	73,3	75,5
1320	0	24	68,4	71,1	74,6
1320	20	31	110,9	121,7	134,6
1320	40	35	104,5	117,5	129,4

Влияние на прочность наполненного шлакощелочного бетона вида соединений железа в железистом минеральном комплексе, результаты определения которого приведены в таблице 3, показали,

что наиболее оптимальным является соотношение соединений железа (оксид : карбонат) в железистом комплексе близкое к единице.

Таблица 3. Влияние состава железистого минерального комплекса на прочность бетона

Соотношение соединений железа в железистом компоненте - оксид:карбонат	Прочность бетона, МПа, при содержании железистого компонента, %				
	0	5	10	20	30
0,52	52	58,9	65,8	68,2	70,5
1,03	52	68,3	71,5	75,2	76,6
1,51	52	67,3	69,8	70,2	70,9

Для получения реакционного порошкового бетона — Reactive powder concretes (RPC), на основе полученных и описанных выше наполненных бетонов, в последние необходимо ввести органический компонент. В данном случае в наполненные бетоны вводили полиспирт - пропантриол-1,2,3. В результате был получен шлакощелочной реакционный порошок бетон (slag-alkaline reactive powder concretes - s-aRPC), прочностные показатели которого приведены в таблице 4.

Таблица 4. Прочность s-aRPC при сжатии

Содержание полиспирта, %	Относительная прочность s-aRPC при сжатии при содержании железистого комплекса, %						
	0	5	10	15	20	25	30
0	1	1,31	1,38	1,28	1,45	1,46	1,47
0,2	1,04	1,33	1,57	1,97	1,96	1,79	1,699
0,4	1,28	1,69	1,97	2,12	2,14	2,02	2,056
0,6	1,11	1,41	1,62	1,74	1,79	1,65	1,687

Результаты исследований данной группы экспериментов показали, что полиспирт оказывает значительное влияние на прочность наполненного бетона на основе шлакощелочного вяжущего и железистого минерального комплекса. Полученный шлакощелочной реакционный порошок бетон (slag-alkaline reactive powder concretes - s-aRPC) обладает достаточно высокой прочностью при сжатии.

Заключение

Проведенные исследования и анализ их результатов позволяют сделать следующие выводы:

1. Установлено, что на основе шлакощелочных бетонов, железистых минеральных комплексов и органических компонентов возможно получение современных реакционных порошковых бетонов высокой прочности.
2. Показано, что содержание минерального железистого комплекса (порошка) и органического компонента в s-aRPC носит экспоненциальный характер, т.е. имеется их содержание, обеспечивающее наибольшую прочность таких бетонов.
3. Установлено, что в качестве органического компонента s-aRPC возможно использование полиспирта, который обеспечивает прирост прочности бетона до 100%.

Литература

1. Дзюба И.С., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Монолитное большепролетное ребристое перекрытие с постнапряжением // Инженерно-строительный журнал. 2008. № 1. С. 5-12.
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. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Усиление строительных конструкций с использованием постнапряженного железобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3. С. 29-32.
4. Усиление железобетонных конструкций с использованием композиционных материалов на основе углеродных волокон и постнапрягаемых стержней / Ватин Н.И., Дьячкова А.А., Кишиневская Е.В., Кузнецов В.Д. // Стройпрофиль. 2009. № 4. 20 с.
5. De Larrard F. Ultrafine particles for making of very high strength concrete // Cement Concrete Research. 1988. Vol. 19. No 2. Pp. 161-172.
6. Bentz D.P. Replacement of "coarse" cement particles by inert fillers in low w/c ratio concretes. II. Experimental validation // Cement Concrete Research. 2005. Vol. 35. No 1. Pp. 185-188.
7. Shoya M., Sugita S., Tsukinaga Y. Properties of self-compacting concrete with slag fine aggregates // Creating with Concrete: International Conference. 1999: Proceedings. Dundee (Scotland), 1999. Pp. 121-130.
8. Artelt C., Garcia E. Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions // Cement Concrete Research. 2008. Vol. 38. № 5. Pp. 633-642.
9. Ferraris C.F., Obla K.H., Hill R. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete // Cement Concrete Research. 2001. Vol. 31. № 2. Pp. 245-255.
10. Nehdi M. Why some carbonate fillers cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials // Cement Concrete Research. 2000. Vol. 30. № 10. Pp. 1663-1669.
11. Erdem T.K., Kirca O. Use of binary and ternary blends in high strength concrete // Construction and Building Materials. 2008. Vol. 22. № 7. Pp. 1477-1483.
12. Poon C.S., Kou S.C., Lam L., Lin Z.S. An innovation method in producing high early strength PFA concrete // Creating with Concrete: International Conference. 1999: Proceedings. Dundee (Scotland), 1999. Pp. 131-138.
13. Cao J., Chung D.D.L. Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding // Cement Concrete Research. 2004. Vol. 34. №10. Pp. 1889-1892.
14. Swamy R.N., Sakai M., Nakamura N. 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, Proceedings. Detroit (USA), Pp. 1-26.
15. Menendez G., Bonavetti V., Irassar E.F. Strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furnace slag // Cement Concrete Research. 2003. Vol. 25. № 1. Pp. 61-67.
16. Gruber K.A., Ramlochan T., Boddy A. Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin // Cement Concrete Research. 2001. Vol. 23. № 6. Pp. 479-484.
17. Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures / Papayianni I., Tsohos G., Oikonomou N., Mavria P. // Cement Concrete Research. 2005. Vol. 27. № 2. Pp. 217-222.
18. Kong H.J., S.G. Bike, V.C. Li. Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions // Cement Concrete Research. 2006. Vol. 36. № 5. Pp. 851 -857.
19. Korpa A., T. Kowald, R. Trettin. Hydration behaviour, structure and morphology of hydration phases in advanced cement-based systems containing micro and nanoscale pozzolanic additives // Cement Concrete Research. 2008. Vol. 38. № 7. Pp. 955-962.
20. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будивэльник, 1978. 183 с.
21. Охотин В.В., Кульвинская А.И. Стабилизация грунтов методом силикатирования. Стабилизация грунтов. М.: Изд-во Гущосдор, 1938. С. 102-116.
22. Резниченко П.Т., Чехов А.П. Охрана окружающей среды и использование отходов промышленности. Днепропетровск: Проминь, 1973. 94 с.
23. Шишкин А.А. Бетоны на основе шламов обогащения железных руд и щелочного компонента: дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н., спец.: 05.23.05. Кривой Рог, 1989. 177 с.

24. Годэн А.М. Флотация. М.: Госнаучлит по горному делу, 1959. 653 с.
25. Батудаева А.В., Кардумян Г.С., Каприелов С.С. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей // Бетон и железобетон. 2005. № 4. С. 14-18.
26. The adsorption behaviour of PNS superplasticizer and its relation to fluidity of cement paste / Kim B., Jiang S., Jolicoeur C., Aytcin P.-C. // Cement Concrete Research. 2000. Vol. 30. № 6. Pp. 887-893.
27. Torresan I., Magarotto R., Zeminian N. Interaction between Superplasticizers and Limestone Blended Cements - Rheological Study // The Sixth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. SP-195, 2000: Proceedings Nice (France), 2000. Pp. 229-247.
28. Шишкина А. А. Свойства и технология пенобетона, модифицированного оксидами железа: дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н., спец. 05.23.05. Кривой Рог, 2010. 178 с.

Alkaline reaction powder concretes

A.A. Shishkin¹

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

ARTICLE INFO

Article history

Received 29 January 2014
Received in revised form 26 February
2014
Accepted 27 February 2014

Keywords

concrete
strength
iron
polyalcohol
alkali

ABSTRACT

Current state of construction science causes during the construction of unique buildings, and construction of complex structures and their repair, high-strength binders and concretes based on them. High-strength concrete appeared in foreign practice in the early 60-ies different countries on an industrial scale started using concrete strength greater than 40 MPa.

Particularly promising obtained at the end of the 80-ies of the twentieth century, the so-called reactive powder concrete - Reactive powder concretes (RPC). Concrete powder as reaction components due to the high dispersity and increased amounts of hydraulically active materials.

At the same time, there exists a long form as slag-alkaline cementations binder, the activity of which, even without the use of special techniques used to improve the strength portland cement concrete, described above, up to 80 MPa. Fixed effect of the interaction between sodium silicate and iron salts and the resulting so-called slag slurry binder is a mixture of granulated blast furnace slag waste mining and processing (iron-bearing mineral complex), mixed with water.

These two positions were the basis for a new type of concrete, a so-called slag-alkaline reactive powder concrete, which is a mixture of granulated blast furnace slag to iron- mineral complex, mixing an aqueous solution of the alkaline component with the addition of a polyalcohol. This type of binder has a compressive strength reaching 110 MPa.

¹

Corresponding author:

+38 (067) 569 1180; 5691180@mail.ru (Aleksandr Alekseevich Shishkin, D.Sc., Professor, Head of Department "Technology of building products, materials and structures")

References

1. Dzyuba I.S., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. *Monolitnoye bolsheproletnoye rebristoye perekrytiye s postnapryazheniyem* [Solid ribbed large-span overlap with poststressing] // Magazine of Civil Engineering. 2008. № 1. Pp. 5-12. (rus)
2. Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. *Perspektivy primeneniya nanobetona v monolitnykh bolsheproletnykh rebristyykh perekrytyakh s postnapryazheniyem* [Nanoconcrete application prospects in monolithic slabs with ribbed span poststressing] // Magazine of Civil Engineering. 2009. № 2. Pp. 54-58. (rus)
3. Kishinevskaya Ye.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. *Usileniye stroitelnykh konstruksiy s ispolzovaniyem postnapryazhennogo zhelezobetona* [Strengthening of building structures using poststressing reinforced concrete] // Magazine of Civil Engineering. 2009. № 3. Pp. 29-32. (rus)
4. *Usileniye zhelezobetonnykh konstruksiy s ispolzovaniyem kompozitsionnykh materialov na osnove uglerodnykh volokon i postnapryagayemykh stendov* [Strengthening of reinforced concrete structures using composite materials based on carbon fibers and poststressing strands] / Vatin N.I., Dyachkova A.A., Kishinevskaya Ye.V., Kuznetsov V.D. // *Sroyprofil*. 2009. № 4. 20 p. (rus)
5. De Larrard F. Ultrafine particles for making of very high strength concrete // *Cement Concrete Research*. 1988. Vol. 19. No 2. Pp. 161-172.
6. Bentz D.P. Replacement of "coarse" cement particles by inert fillers in low w/c ratio concretes. II. Experimental validation // *Cement Concrete Research*. 2005. Vol. 35. No 1. Pp. 185-188.
7. Shoya M., Sugita S., Tsukinaga Y. Properties of self-compacting concrete with slag fine aggregates // *Creating with Concrete: International Conference*. 1999: Proceedings. Dundee (Scotland), 1999. Pp. 121-130.
8. Artelt C., Garcia E. Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions // *Cement Concrete Research*. 2008. Vol. 38. № 5. Pp. 633-642.
9. Ferraris C.F., Obla K.H., Hill R. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete // *Cement Concrete Research*. 2001. Vol. 31. № 2. Pp. 245-255.
10. Nehdi M. Why some carbonate fillers cause rapid increases of viscosity in dispersed cement-based materials // *Cement Concrete Research*. 2000. Vol. 30. № 10. Pp. 1663-1669.
11. Erdem T.K., Kirca O. Use of binary and ternary blends in high strength concrete // *Construction and Building Materials*. 2008. Vol. 22. № 7. Pp. 1477-1483.
12. Poon C.S., Kou S.C., Lam L., Lin Z.S. An innovation method in producing high early strength PFA concrete // *Creating with Concrete: International Conference*. 1999: Proceedings. Dundee (Scotland), 1999. Pp. 131-138.
13. Cao J., Chung D.D.L. Use fly ash as an admixture for electromagnetic interference shielding // *Cement Concrete Research*. 2004. Vol. 34. №10. Pp. 1889-1892.
14. Swamy R.N., Sakai M., Nakamura N. 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, Proceedings*. Detroit (USA), Pp. 1-26.
15. Menendez G., Bonavetti V., Irassar E.F. Strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furnace slag // *Cement Concrete Research*. 2003. Vol. 25. № 1. Pp. 61-67.
16. Gruber K.A., Ramlochan T., Boddy A. Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin // *Cement Concrete Research*. 2001. Vol. 23. № 6. Pp. 479-484.
17. Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures / Papayianni I., Tsohos G., Oikonomou N., Mavria P. // *Cement Concrete Research*. 2005. Vol. 27. № 2. Pp. 217-222.
18. Kong H.J., S.G. Bike, V.C. Li. Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions // *Cement Concrete Research*. 2006. Vol. 36. № 5. Pp. 851 -857.
19. Korpa A., T. Kowald, R. Trettin. Hydration behaviour, structure and morphology of hydration phases in advances cement-based systems containing micro and nanoscale pozzolanic additives // *Cement Concrete Research*. 2008. Vol. 38. № 7. Pp. 955-962.
20. *Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshchelochnyye tsementy i betony* [Slag-alkaline cements and concretes]. *Kiyev: Budivelnik*, 1978. 183 p. (rus)
21. *Okhotin V.V., Kulvinskaya A.I. Stabilizatsiya gruntov metodom silikatirovaniya. Stabilizatsiya gruntov*. [Soil stabilization method with silicate] *M.: Izd-vo Gushosdor*, 1938. Pp. 102-116. (rus)

22. Reznichenko P.T., Chekhov A.P. *Okhrana okruzhayushchey sredy i ispolzovaniye otkhodov promyshlennosti*. [Environmental protection and the use of industrial waste] Dnepropetrovsk: Promin, 1973. 94 p. (rus)
23. Shishkin A.A. *Betony na osnove shlamov obogashcheniya zheleznykh rud i shchelochnogo komponenta* [Concrete on the basis of sludge concentration of iron ores and alkaline component] Dissertation of Ph.D. 05.23.05. Krivoy Rog, 1989. 177 p. (rus)
24. Goden A.M. *Flotatsiya*. [Flotation] M.: Gosnauchlit po gornomu delu, 1959. 653 p. (rus)
25. Batudayeva A.V., Kardumyan G.S., Kapriyev S.S. *Vysokoprochnyye modifitsirovannyye betony iz samovyvnyayushchikhsya smesey* // Concrete and Reinforced Concrete. 2005. № 4. Pp. 14-18. (rus)
26. The adsorption behaviour of PNS superplasticizer and its relation to fluidity of cement paste / Kim B., Jiang S., Jolicoeur C., Aytcin P.-C. // Cement Concrete Research. 2000. Vol. 30. № 6. Pp. 887-893.
27. Torresan I., Magarotto R., Zeminian N. Interaction between Superplasticizers and Limestone Blended Cements - Rheological Study // The Sixth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete. SP-195, 2000: Proceedings Nice (France), 2000. Pp. 229-247.
28. Shishkina A.A. *Svoystva i tekhnologiya penobetona, modifitsirovannogo oksidami zheleza* [Properties and foam technology, modified iron oxides] Dissertation of Ph.D. 05.23.05. Krivoy rog, 2010. 178 p. (rus)