

УДК 691.3

Морозова Н.Н. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ninamor@mail.ru

Хамза Абдулмалек Кайс – студент

E-mail: hamza.qais@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Получение высокопрочного мелкозернистого бетона с использованием природного цеолита

Аннотация

Высокопрочный бетон достигается за счет оптимизации состава и свойств исходных материалов. Минеральный наполнитель с низкой водопотребностью и высокой пуццолановой активностью один из факторов в создании высокой прочности цементных бетонов. К числу таковых относится природный цеолит с синайского полуострова Египта. Природный цеолит как эффективная минеральная добавка совместно с добавкой Melflux 2641 F и фракционированным песком позволяет получить высокопрочный мелкозернистый бетон классов В55, В60, В65 легко уплотняемого традиционным методом вибрирования, при этом бетонные мелкозернистые смеси характеризуются В/Ц отношением от 0,33 до 0,25.

Ключевые слова: высокопрочный мелкозернистый бетон, природный цеолит, водопотребность, модифицированный, высокая прочность.

Введение

Современные бетоны используют широкий спектр химических и минеральных добавок с целью экономии основных ресурсов или создания высокой прочности и долговечности [1].

Высокопрочные и высококачественные бетоны требуют для своего производства не только эффективных модификаторов, но и высококачественных заполнителей, которые дополнительно приводят к удорожанию готового продукта. Сегодня для производства цементного бетона существует широкий диапазон портландцементов с различными их характеристиками и приемлемыми ценами на них. Если для большинства регионов нашей страны цементные вяжущие имеют хорошую логистику, то для заполнителей, особенного щебня плотных горных пород, существует высокая территориальная неоднородность по доступности или их отсутствие. Снижение спроса на гравий и щебень для тяжелого бетона уже отмечалось в кризис 2009 г. [2], а это знак к развитию мелкозернистых бетонов, особенно, для Приволжского и Центрального Федеральных округов России, как регионов с наибольшим потреблением щебня (19 и 25 % соответственно) [3]. Такая ситуация в период спада строительства становится более актуальной. В связи с этим объектом исследования настоящей работы явился мелкозернистый бетон. Согласно нового ГОСТ 25192-2012 «Бетоны. Классификация и общие технические требования», мелкозернистый бетон – это бетон на цементном вяжущем с плотным мелким заполнителем. К мелким заполнителям относят песок с наибольший размер зерен 5 мм. Поэтому, вторым названием мелкозернистого бетона является песчаный бетон, который более точно отражает вид заполнителя.

Высокопрочный бетон характеризуется более высокими механическими свойствами (высокой прочностью, плотностью) и большей долговечностью (низкой ионной, водо- и паропроницаемостью, деформативностью, высокой морозостойкостью и др.), чем обычный бетон. Применение бетона высоких марок во многом имеет свои преимущества, а именно, сокращение поперечного сечения балок, колонн и увеличения высоты здания, высокая прочность бетона может работать лучше в экстремальных и неблагоприятных климатических условиях, сокращая расходы на обслуживание и ремонт зданий и сооружений. К высокопрочным бетонам, согласно вышеупомянутого ГОСТа, могут быть отнесены бетоны с классом прочности при сжатии В55 и более (средняя прочность не менее 720 кгс/см²).

Способы получения высокопрочных бетонов существуют самые разнообразные, но многие исследователи склонны считать следующие необходимые факторы: низкое В/Ц смеси, увеличение содержания низкоосновных гидросиликатов, высокая плотность структуры затвердевшего камня на макро-, микро- и мезоуровне [4]. Как известно первый фактор легко решается за счет использования химических добавок пластифицирующего действия, разнообразие которых сегодня огромное. Вторым фактором достигается за счет применения добавок пуццоланового действия, к числу которых относят кремнеземистые и алюмосиликатные минеральные порошки природного или искусственного происхождения.

Микрокремнезем является одним из самых известных пуццолановых материалов, который является побочным продуктом производства различных кремниевых сплавов. Альтернативными материалами для дорогого микрокремнезема могут быть природные цеолиты, характеризующиеся большим числом каналов и полостей, которые имеют высокую площадь поверхности. Природные цеолиты являются водными алюмосиликатными минералами, содержащими щелочные и щелочно-земельные металлы, образованные в результате изменения вулканического пепла, которые в основном аморфные. Они рассматриваются в качестве материалов с высокой пуццолановой активностью [5-8]. Пуццолановая активность цеолитов зависит от количества реактивного SiO_2 и Al_2O_3 , которые взаимодействуют с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделившегося при гидратации клинкерных минералов цемента. В результате микроструктура затвердевшего цементного бетона улучшается, а бетон становится более непроницаемым [9, 10].

В литературе существуют многочисленные сообщения об использовании природных цеолитов в бетонах [11-17]. Это связано с широкой доступностью природных цеолитов, что экономически более благоприятно для крупномасштабного производства. Однако, ограничения в использовании природных цеолитов в том, что они имеют переменный химический состав в зависимости от их происхождения и, кроме того могут присутствовать различные количества примесей. Еще одним ограничением является то, что природные цеолиты до их использования в качестве добавок в бетонах должны быть измельчены.

При анализе свойств бетона, содержащего цеолиты как добавки к вяжущим материалам различных следователей сосредоточены главным образом на механические свойства, которые обычно считаются самыми важными для любого типа бетона [18-21]. Поэтому география применения высокопрочного бетона расширяется. Его используют во многих регионах земного шара. Однако, не все регионы богаты качественными крупными заполнителями для бетонов. Востребованность высокопрочного бетона расширяется и благодаря развитию технологии, появлению спроса в монолитном высотном строительстве, большепролетном строительстве мостов, морских платформ и ряда других специальных сооружений. В рамках представленной статьи рассмотрено получение высокопрочного мелкозернистого бетона с применением водоредуцирующей добавки и природного цеолита.

Выбор в качестве заполнителя только мелкий обусловлен тем, что заполнители для высокопрочного бетона кроме чистоты и хорошего зернового состава с малой пустотностью не должны содержать слабых зерен и иметь предел прочности крупного заполнителя на 20 % выше заданной прочности бетона [9].

Характеристики материалов

Для изготовления мелкозернистого бетона использовали портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н, минеральный его которого следующий: C_3S в количестве 62 %, C_2S – 17 %, C_3A – 4 % и C_4AF – 14 %, его химический состав приведен в табл. 1, в качестве заполнителя использован фракционированный песок, полученный из природного нефракционированного песка Камского месторождения ПО «Нерудматериалы» г. Казань.

В качестве минеральной добавки использован природный цеолит из Египта, выпускаемый фирмой «Gawish import & export egypt» фракции 0-0,08 мм, содержащий 75 % клиноптилолита, кварца 8 %, плагиоклаза до 3 %, карбоната 2,5 %, гидрослюда до 3 %. Общая химическая формула цеолита – $(\text{Na}^{2+}, \text{K}^{2+})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, соотношение Si/Al составляет 4,8-5,4, а удельная поверхность по ПСХ – 9900 $\text{cm}^2/\text{г}$. Химический состав цеолита представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав портландцемента и природного цеолита

Наименование показателя	Значение показателя, %	
	ЦЕМ I 42,5 Н	цеолит
SiO ₂	22,0	71,4
CaO	66,2	1,26
MgO	0,86	0,45
Fe ₂ O ₃	5,32	1,04
Na ₂ O	0,14	2,086
Al ₂ O ₃	4,79	11,9
SO ₃	0,09	–
K ₂ O	0,6	3,02

В качестве водоредуцирующего модификатора использован суперпластификатор Melflux 2641 F производства Degussa Constraction Polymers (SKW Trostberg, Германия) приобретенный в ООО «ЕвроХим-1», представляет собой легко растворимый в воде порошковый продукт, полученный методом распылительной сушки на основе модифицированного полиэфиркарбоксилата. Технические данные: желтоватый порошок, насыпная плотность – 350...600 г/л, потери при нагревании – макс. 2,0 мас. %, 20 % раствор при 20 °С, имеет рН = 6,5–8,5;

Предметом настоящего исследования является прочность после ТВО, как наиболее распространенный способ ускорения твердения изделий в производстве сборного железобетона и прочность в возрасте 28 суток.

Результаты исследований и обсуждение

Первоначально, для получения мелкозернистого бетона был подготовлен фракционированный песок путем отсева на стандартные фракции 5-2,5; 2,5-1,25; 1,25-0,63; 0,63-0,315.

Для приготовления мелкозернистого бетона эти фракции песка взяты в количестве 69 % фр. 5-2,5; 17,5 % – фр. 1,25-0,63 и 13,5 – фр. 0,315-0,16. Расчет модуля крупности такого песка составил 2,61. Подготовленный таким образом песок был использован в качестве заполнителя в мелкозернистом бетоне, в котором дополнительно использовали природный цеолит в количестве 5 и 10% в замен портландцемента. Условия твердения приняты нормальные температурно- влажностные и в условиях тепловлажностной обработке при температуре 80°С по режиму (3+6+2) часов. Все составы имели В/Ц=0,33.

Таблица 2

Состав и свойства мелкозернистого бетона с природным цеолитом

Расход материалов, кг/м ³			Прочность при изгибе, кг/см ² , после		Прочность на сжатии, МПа, после	
цемент	песок фракционированный	цеолит	ТВО	28 сут н.тв.	ТВО	28 сут н.тв.
600	1500	-	74.5	103.9	56.31	68.8
570		30	88.2	112	60.29	72.81
540		60	85.63	93.7	55.66	69.5

Как видно из табл. 2, использованный фракционный состав песка позволяет получить высокую прочность бетона, но не достаточную, чтобы охарактеризованный данный состав как высокопрочный. В случае изготовления мелкозернистого бетона с использованием в качестве минеральной добавки природного цеолита в количестве 5 % от массы вяжущего позволяет получить высокопрочный бетон, при этом фактическая прочность бетона на сжатие составила 72, 8 МПа. Введение 10 % природного цеолита не снизило прочность бетона в возрасте 28 суток относительно контрольного состава, но она стала меньше состава с 5 % цеолита. Высокие показатели получены при исследовании прочности при изгибе. Поэтому данный состав интересен для изделий, работающих на изгиб или для дорожного строительства.

Считаем, что применение природного цеолита в цементных бетонах – это внутренний уход бетона. Поскольку цеолитовые окна и полости выполняют роль «закрамов» химических веществ попавших в них на первом этапе – гидролизе клинкерных минералов цемента при затворении его водой. Наличие в порах влаги, химические процессы будут продолжаться. Другим преимуществом исследованного цеолитового материала заключается в его низкой водопотребности (рис. 1), что позволяет прогнозировать низкую пористость изделий с его применением. Водопотребность природного цеолита с синайского полуострова Египта по сравнению с цеолитсодержащем мергелем (ЦСП) месторождения Татарско-Шатрашанского в 2,5 раза меньше. Полученная водопотребность природного цеолита из Египта несколько меньше водопотребности цемента, определенная по методике проф. Калашникова по расплыву теста на границе гравитационной растекаемости водноминеральных систем. Для сравнения измельченный природный мытый песок с удельной поверхностью $3800 \text{ см}^2/\text{г}$ показал такое же значение, как и природный цеолит с удельной поверхностью $9000 \text{ см}^2/\text{г}$. Низкая водопотребность природного цеолита важна для высоких механических показателей цементных систем.

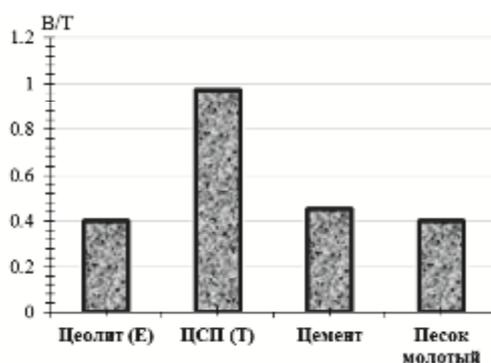


Рис. 1. Водопотребность минеральных паст

Далее исследованы свойства мелкозернистого бетона с природным цеолитом при дополнительном введении химической добавки Melflux. Количество добавки Melflux было принято 0,3 и 0,5 % от массы вяжущего. Результаты представлены в табл. 3.

Применение химической добавкой Melflux позволяет снизить водопотребность бетонной смеси на 18-21 %. Совместное введение природного цеолита и добавки Melflux в исследуемых дозировках способствовало росту прочности как при тепловлажностной обработке, так и при нормальных условиях твердения. Наибольшая прочность при изгибе и сжатии получена на составе с 5 % природного цеолита и 0,5 % добавки Melflux от массы цемента. Как видно из табл. 3, к высокопрочным бетонам следует отнести все приведенные составы. Применение комплексного модификатора позволяет увеличить прочность на сжатие по сравнению с без добавочным составом на 24 % при ускоренном твердении (ТВО) и на 25 % при твердении в нормальных температурно- влажностных условиях.

Таблица 3

Состав и свойства модифицированного мелкозернистого бетона добавками Melflux и природным цеолитом

Расход материалов, кг/м ³				В/Ц	Прочность при изгибе, кг/см ² , после		Прочность на сжатии, МПа, после	
цемент	песок фракционированный	цеолит	Melflux		ТВО	28 сут н.тв.	ТВО	28 сут н.тв.
570	1500	30	0,3	0,27	100,6	118,7	64,12	82,32
			0,5	0,26	105,8	123,6	70,06	86
60		0,3	0,27	95,7	102,6	60,1	78,5	
		0,5	0,26	91,1	119,8	65,54	80,9	
540			0,7	0,25	89,7	96,7	63,48	75,7

Введение природного цеолита 5 % в замен цемента с модификатором Melflux приводит к росту прочности мелкозернистого бетона на 15 % после ТВО и на 22 % при твердении в нормальных условиях. При введение 10 % цеолита прочность на сжатие возрастает лишь на 3-5 %. Увеличение количества добавки Melflux до 0,7 % от массы вяжущего в состав с 10% цеолита позволило снизить В/Ц смеси, однако прочность этого бетона меньше, чем у состава с 0,5 % добавки Melflux. Также полученные составы показали высокую свою эффективность при пропаривании, тогда как минеральные добавки с малым содержанием цеолитового минерала [22] лучше себя проявляют при пропаривании. В нашем случае, минеральная добавка с большим содержанием цеолитового минерала хорошо твердеет при комнатных температурах и при повышенных в гидротермальных условиях.

Представляя результаты исследования в графическом виде, установим границу получения высокопрочного бетона.

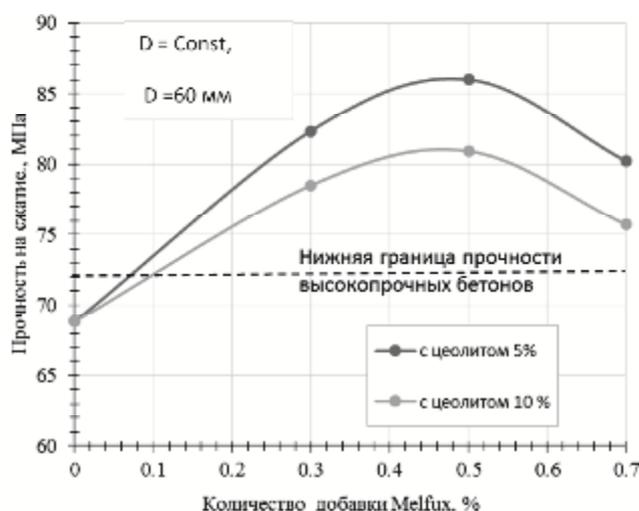


Рис. 2. Изменение прочности на сжатие модифицированного мелкозернистого бетона в возрасте 28 сут. нормального твердения

Как видно из рис. 2, прочность мелкозернистого бетона на сжатие при введение природного цеолита и добавки Melflux способствуют росту прочности. Все составы модифицированного бетона имеют прочность выше нижнего допустимого предела, установленного ГОСТ 25192-2012. Эффективное совместное действие химической и минеральной добавок вероятно обусловлено строением последней и ее высокой реологической и пуццолановой активностью [23, 24].

Увеличение количества цеолита более 10 % возможно с целью снижения расхода портландцемента в бетонах.

Заключение

В мировой практике применение минеральных добавок совместно с химическими добавками известно давно, однако эффективное их совмещение является задачей актуальной. В настоящей статье разработаны составы мелкозернистого бетона, характеризующиеся классом по прочности при сжатии B55, B60, B65.

Введение только 5 % природного цеолита с синайского полуострова Египта позволяет повысить прочность мелкозернистого бетона и достичь значения высокопрочного без химического модификатора и при уплотнении смеси вибрированием. Совместное применение добавки Melflux 2641 F в количестве 0,5 % и природного цеолита в количестве 5 % увеличивает прочность на 20 %.

Продолжение исследования в данном направлении может обеспечить создания бетонов супервысоких марок на основе общестроительных цементов и фракционированного мелкого заполнителя, которые для многих регионов являются материалами местными.

Список библиографических ссылок

1. Морозова Н.Н., Кайс Х.А. Оценка водоредуцирующей активности химических модификаторов в минеральных добавках для цементных бетонов // Вестник Казанского технологического университета, 2015, Т. 18, № 15. – С. 101-105.
2. Пешкова Г.Ю. Анализ развития рынка нерудных строительных материалов: основные тенденции и перспективы развития // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета, 2014, № 4. – С. 53-64.
3. Дидковская О.В. Реализация методов строительного стоимостного инжиниринга в управлении стоимостью материальных ресурсов В сборнике: Экономические аспекты управления строительным комплексом в современных условиях. Сборник статей. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. – Самара, 2015. – С. 201-208.
4. Иванов А.А., Кулаковский В.А., Софронеева В.Р., Леонтьев Г.Н. Разработка состава комплексной добавки на основе тонкомолотого цеолита. // В сборнике: Аммосов-2014 Сборник материалов всероссийской научно-практической конференции, проводимой в рамках Форума научной молодежи федеральных университетов. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, под ред. Н.В. Малышевой, 2014. – С. 947-954.
5. Федосов С.В., Акулова М.В., Краснов А.М., Кононова О.В., Черепов В.Д. Мелкозернистый бетон высокой прочности // Известия КГАСУ, 2010, № 2 (14). – С. 286-291.
6. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакаолина для цементных бетонов // Строительные материалы, 2013, № 11. – С. 54-56.
7. Баранов И.М., Юсупов Р.К., Тарасов А.С., Солдатова Н.И. Реальности и перспективы повышения прочности особопрочных бетонов // Строительные материалы, 2013, № 11. – С. 50-53.
8. Макаров Ю.А., Терешкин И.П., Лукашина С.В. Возможность использования природных цеолитов в качестве минеральной добавки для бетона // Научный альманах, 2015, № 8 (10). – С. 852-855.
9. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
10. Tatomirović T., Radeka M. Zeolite as pozzolanic material. XXVI International symposium on researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures – Vrnjačka Banja, October 29-31, 2014. – P. 215-224.
11. Chan S. Y.N., Ji X. Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes, Cement Concrete Composites, 21 (4), 1999. – P. 293-300.
12. Gervais C., Ouki S.K., Performance study of cementitious systems containing zeolite and silica fume: effects of four metal nitrates on the setting time, strength and leaching characteristics, Journal of Hazardous Materials 93 (2), pp.187-200, 2002.
13. Caputo D, Liguori B, Colella C. Some advances in understanding the pozzolanic activity of zeolites: the effect of zeolite structure. Cem Concr Compos 2008;30(5):455–62.
14. Feng N, Niu Q. Effect of modified zeolite on the expansion of alkaline silica reaction. Cem Concr Res 2005;35(9):1784–8.
15. Fu Y., Ding J., Beaudoin J. J., Zeolite-based additives for high alumina cement products, Advanced Cement Basic Materials, 1996, 3 (1). – P. 37-42.
16. Gervais C., Ouki S. K., Performance study of cementitious systems containing zeolite and silica fume: effects of four metal nitrates on the setting time, strength and leaching characteristics, Journal of Hazardous Materials, 2002, 93 (2). – P. 187-200.
17. Морозова Н.Н. Модификация портландцемента цеолитсодержащей породой для получения смешанного вяжущего // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Казань, 1997.

18. Canpolat F., Yilmaz L., Koess M.M., Suemer M., Yurdusey M.A. Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production, *Cement Concrete Res.*, vol. 34, 2004, № 5. – P. 731-735.
19. Панина А.А., Лыгина Т.Л. Комплексная минеральная добавка для портландцемента // *Цемент и его применение*, 2015, № 4. – С. 28-30.
20. Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г., Власов В.В. Высокопрочное гипсоцементноцеолитовое вяжущее // *Строительные материалы*, 2010, № 2. – С. 53-55.
21. Смородинова Т.Н., Котванова М.К. Новые возможности применения цеолитового туфа люльинского месторождения хмао-югры в составе строительных смесей // *Вестник Югорского государственного университета*, 2015, № S2 (37). – С. 194-196.
22. Najimi M. An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 35. – P. 1023-1033.
23. Морозов Н.М., Хохряков О.В., Морозова Н.Н., Хозин В.Г., Сагдатуллин Д.Г. Эффективность цеолитсодержащих мергелей в цементных бетонах // *Известия КГАСУ*, 2011, № 3 (17). – С. 134-138.
24. Морозова Н.Н., Кайс Х.А. Реологические характеристики модифицированных минеральных добавок для высокопрочных бетонов // *Современные научные исследования и инновации*, 2015, № 10 (54). – С. 33-40.
25. Андреева А.В., Буренина О.Н., Давыдова Н.Н., Даваасенгэ С.С., Саввинова М.Е. Влияние технологических параметров на структуру и прочность при сжатии модифицированных мелкозернистых бетонов // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2015, № 111. – С. 1476-1488.

Morozova N.N. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: ninamor@mail.ru

Hamza Abdulmalik Qais – student

E-mail: hamza.qais@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Getting high fine-grained concrete with the use of natural zeolite

Resume

High-strength concrete has undergone many developments based on the study of the influence of cement type, type and amount of mineral admixtures, type of superplasticizer and the mineralogical composition of the aggregate for concrete. High-strength concrete is achieved by optimizing the composition and properties of raw materials. Mineral filler of low water requirement and high pozzolanic activity one of the factors in creating the high strength of cement concrete. These include natural zeolite from the Sinai Peninsula of Egypt. Natural zeolite as an effective mineral additive together with the additive Melflux 2641 F and graded sand allows to obtain high-strength fine-grained concrete classes B55, B60, B65 easily compacted traditional method of vibration, while fine-grained concrete mixtures are characterized by W/C ratio from 0,33 to 0,25. Continued research in this direction can ensure the creation of concrete super-brands based on construction of cement and graded fine aggregate, which for many of the regions are local.

Keywords: High-strength fine-grained concrete, natural zeolite, water requirement, modified, high strength.

Reference list

1. Morozova N.N., Qais H.A. Evaluation of water reduction activity of chemical modifiers in mineral additives for cement concrete // *Bulletin of Kazan Technological University*, 2015, T. 18, № 15. – P. 101-105.

2. Peshkov G.Y. Analysis of the development of the market of non-metallic building materials: the basic tendencies and prospects of development // Corporate management and innovative development of the economy of the North: Bulletin of the Research Center of corporate law, management and venture investment Syktyvkar State University, 2014, № 4. – P. 53-64.
3. Didkovskaya O.V. Realization of methods of construction and value engineering in the cost management of material resources In the book: Economic aspects of management of a building complex in modern conditions. A collection of articles. Samara state University of architecture and construction. – Samara, 2015. – P. 201-208.
4. Ivanov A.A., Kulakovskii V.A., Sofroniew R.V., Leont'ev G.N. Development of the composition of a complex additive on the basis of fine-grinded zeolite // In the collection: the Ammosov-2014 the Collection of materials of all-Russian scientific-practical conference held in the framework of the Forum of young scientists of Federal universities. North-Eastern Federal University. M.K. Ammosov, ed. In. Malysheva, 2014. – P. 947-954.
5. Fedosov S.V., Akulova M.V., Krasnov, A.M., Kononova O.V., Cherepov V.D. The fine-Grained high-strength concrete // Izvestiia KGASU, 2010, № 2 (14). – P. 286-291.
6. Kirsanov A.A., Kramar L.Y. Organic-mineral modifiers on the basis of metakaolin for cement concrete // Building materials, 2013, № 11. – P. 54-56.
7. Baranov I.M., Yusupov R.K., Tarasov A.S., Soldatova N.A. Reality and prospects of increasing the strength of extra strong concrete // Building materials, 2013, № 11. – P. 50-53.
8. Makarov Y.A., Tereshkin I.P., Lukashin S.V. Possibility of using natural zeolites as a mineral additive for concrete // Scientific almanac, 2015, № 8 (10). – P. 852-855.
9. Bazhenov Y.M. Tekhnologiya betona. – M.: DIA, 2002. – 500 p.
10. Tatomirović T., Radeka M. Zeolite as pozzolanic material. XXVI International symposium on researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures – Vrnjačka Banja, October 29-31, 2014. – P. 215-224.
11. Chan S. Y.N., Ji X., Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes, Cement Concrete Composites, 1999, 21 (4). – P. 293-300.
12. Gervais C., Ouki S.K. Performance study of cementitious systems containing zeolite and silica fume: effects of four metal nitrates on the setting time, strength and leaching characteristics, Journal of Hazardous Materials, 2002, 93 (2). – P. 187-200.
13. Caputo D., Liguori B., Colella C. Some advances in understanding the pozzolanic activity of zeolites: the effect of zeolite structure. Cem Concr Compos, 2008; 30 (5): 455–62.
14. Feng N., Niu Q. Effect of modified zeolite on the expansion of alkaline silica reaction. Cem Concr Res 2005; 35 (9): 1784–8.
15. Fu Y., Ding J., Beaudoin J. J., Zeolite-based additives for high aluminacement products, Advanced Cement Basic Materials, 1996, 3 (1). – P. 37-42.
16. Gervais C., Ouki S.K., Performance study of cementitious systems containing zeolite and silica fume: effects of four metal nitrates on the setting time, strength and leaching characteristics // Journal of Hazardous Materials, 2002, 93 (2). – P. 187-200.
17. Morozova N.N. Modification of Portland cement by zeolite breed to obtain mixed binder // Abstract of thesis on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences. – Kazan, 1997.
18. Canpolat F., Yilmaz L., Koess M.M., Suemer M., Yurdusey M.A. Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production, Cement Concrete Res., 2004, vol. 34, № 5. – P. 731-735.
19. Panina A.A., Lygina T.L. Complex mineral additive to Portland cement // Cement and its applications, 2015, № 4. – P. 28-30.
20. Sagdatullin D.G., Morozova N.N., Khozin V.G., Vlasov V.V. High-Strength binder gypsum cement // Building materials, 2010, № 2. – P. 53-55.
21. Smorodina T.N., Kotvanov M.K. New applications of zeolite tuff deposits Sulinsk KhMAO-Yugra as a part of construction compounds // Bulletin Ugra state University, 2015, № S2 (37). – P. 194-196.

22. Najimi M. An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 35. – P. 1023-1033.
23. Morozov N.M., Khokhryakov O.V., Morozova N.N., Khozin V.G., Sagdatullin, D.G. Efficiency of zeolite-containing marl in cement concrete // *Izvestiia KGASU*, 2011, № 3 (17). – P. 134-138.
24. Morozova N.N., Qais H.A. Rheological characteristics of modified mineral admixtures for high-strength concrete // *Modern scientific researches and innovations*, 2015, № 10 (54). – P. 33-40.
25. Andreeva A.V., Burenina O.N., Davydova N.N., Devasena, S.S., Savinov M.E. Influence of technological parameters on the structure and compressive strength of the modified fine-grained concrete // *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban state agrarian University*, 2015, № 111. – P. 1476-1488.