

УДК 625.731.82

UDC 625.731.82

**ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА  
ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА  
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА**

**INFLUENCE OF THE MODIFIED MINERAL  
ADDITIVES ON STRENGTH PROPERTIES OF  
FINE-GRAINED CONCRETE**

Андреева Айталиа Валентиновна  
м.н.с.

Andreeva Aitalina Valentinovna  
junior scientist researcher

Давыдова Наталья Николаевна  
н.с.

Davidova Natalya Nikolaevna  
scientist researcher

Буренина Ольга Николаевна  
к.т.н., в.н.с.

Burenina Olga Nikolaevna  
Cand.Tech.Sci., leading scientist

Петухова Евгения Спартаковна  
к.т.н., с.н.с.  
*ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО  
РАН, Якутск, Россия*

Petukhova Evgenya Spartakovna  
Cand.Tech.Sci., senior researcher  
*Federal State-funded Research Institute of  
Oil and Gas Issues, Siberian branch of Russian  
Academy of Sciences, Yakutsk, Russia*

В статье представлены результаты исследования влияния активированных минеральных добавок на механические свойства мелкозернистого бетона. Показано, что глина и цеолиты в механоактивированном состоянии повышают как раннюю, так и проектную прочность бетона

In the article we have presented the results of research of influence of activated mineral fillers on mechanical properties of fine-grained concrete. It is shown that clay and zeolites in mechanical activated condition have increased both early and estimated durability of concrete

Ключевые слова: МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН, МИНЕРАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ, МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ, ТЕКСТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ, СТРУКТУРА БЕТОНА

Keywords: FINE-GRAINED CONCRETE, MINERAL ADDITIVES, MECHANICAL ACTIVATION, TEXTURAL CHARACTERISTICS, DURABILITY AT COMPRESSION, CONCRETE STRUCTURE

Одним из эффективных способов повышения качества цемента, а также снижения затрат при производстве бетонных изделий, является применение минеральных добавок, которые представляют собой тонкомолотые минеральные порошки, состоящие из низкоосновных силикатов, алюминатов и ферритов кальция, аморфного кремнезема и других веществ, которые обладают достаточно заметной самостоятельной гидравлической и пуццолановой активностью. Целью применения таких добавок является замена ими части клинкерного цемента при сохранении или увеличении прочности бетона и требуемой подвижности бетонной или растворной смеси.

Введение в цементные системы тонкодисперсных наполнителей, инертных по отношению к воде, позволяет обеспечить создание

необходимых реологических условий для получения высокотехнологичных и удобоукладываемых смесей и формирования плотно упакованной структуры твердения. Высокая плотность структуры может быть достигнута и за счет введения в систему 2-3 фракций минеральных микронаполнителей, близких друг к другу по кристаллохимическому строению. Наиболее целесообразным в этом случае является использование микронаполнителей, параметры кристаллических ячеек, которых соизмеримы с аналогичными параметрами гидратных фаз цементных систем. Применение в цементных системах дисперсных и ультрадисперсных минеральных наполнителей со структурными особенностями, близкими к цементным минералам, является целесообразным не только вследствие проявления многими из них химической активности, но и вследствие возможности встраивания их молекул в структуры кристаллогидратных фаз в процессе гидратации. Минеральные добавки, инертные по отношению к воде и не вступающие в реакции гидратации, в отличие от цемента, способствуют формированию устойчивой реологической матрицы цементных систем и улучшению технологических свойств растворных и бетонных смесей.

Технические требования, которым должны удовлетворять такие добавки, аналогичны сырьевым материалам, из которых производятся активные минеральные добавки: высокая дисперсность – удельная поверхность – 2000...5000 см<sup>2</sup>/г, размер зерен - менее 0,1 мм; аморфная, стеклообразная и частично кристаллизованная структура[1]. Получение порошков необходимого гранулометрического состава возможно с применением механоактивационных технологий. Кроме того, с учетом снижения активности цемента при длительном хранении, актуальной становится задача поиска минеральных добавок, изготовленных из местного сырья, для получения бетона с высокими эксплуатационными характеристиками.

Таким образом, целью данной работы является исследование возможности применения минерального сырья Республики Саха (Якутия) в качестве добавок к цементу с применением механоактивационных технологий, а также исследование структуры и механических свойств бетона, содержащего активированные добавки.

Для исследования были изготовлены образцы мелкозернистого бетона. В качестве вяжущего был использован портландцемент ПЦ 400 Д0 производства ОАО ПО «Якутцемент» (ГОСТ 10178-85). В качестве заполнителя использовался песок из поймы р. Лена, который согласно ГОСТ 8736-93, соответствует II классу, категории очень мелкий – модуль крупности составляет  $M_{кр} = 1,29$ . Гранулометрический состав заполнителя приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав песка

Фракция	Содержание, %
Менее 0,16 мм	8,7
Свыше 5 мм	нет
Пылевидные и глинистые частицы	0,84

В качестве минерального сырья были выбраны: цеолит месторождения Хонгуруу РС(Я) и глина Ой-Бесского месторождения РС(Я). В табл. 2 приведен состав минеральных добавок и исходного сырья.

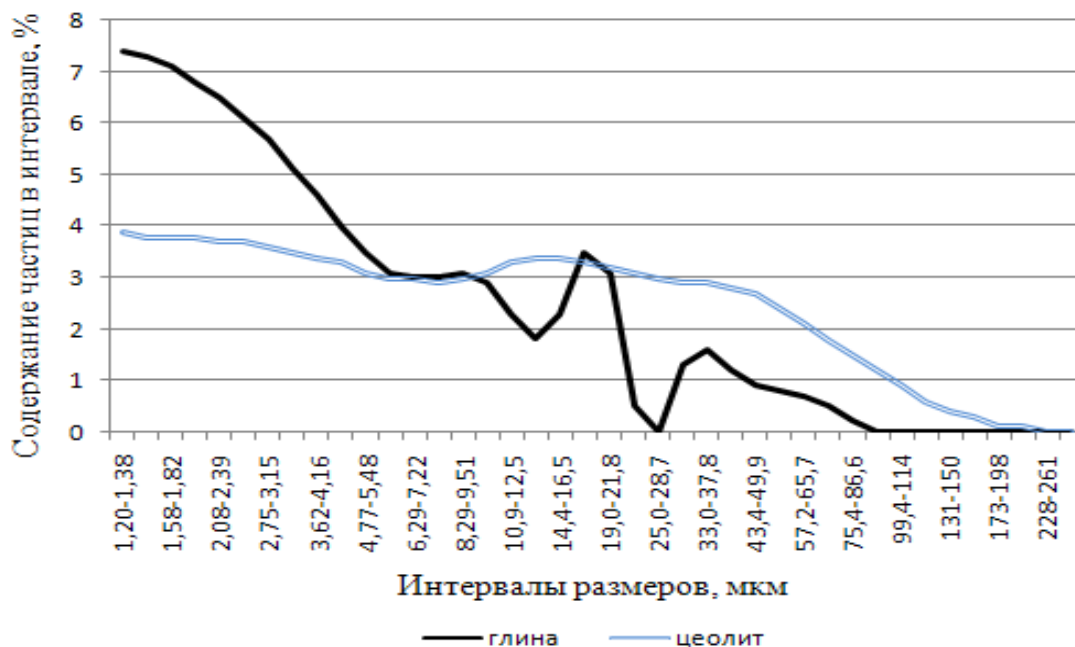
Таблица 2 – Состав исходного сырья и минеральных добавок (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Сырье							
цемент [2]	21	6,55	3,67	61,64	3,97	-	-
песок [2]	87,13- 90,73	3,85- 5,55	1,0- 1,75	0,58- 0,98	0,14- 0,24	3,24-3,89	-
Минеральные добавки							
Цеолит [3]	62,8	12,16	1,76	2,62	1,88	3,30	0,13
Глина[4]	55,6	14,40	3,79	1,24	3,50	5,7	0,73

Для установления распределения частиц добавок по размерам и их текстурных характеристик были использованы следующие методы исследования: лазерная гранулометрия на установке «MicroSizer-201»; анализ поверхностных характеристик на анализаторе «СОРБОМЕТР-М» по методу Брунауэра-Эметта-Тейлора (БЭТ). Структуру бетонов, содержащих активированные добавки, исследовали на сканирующем электронном микроскопе JSM-6480 LV «JEOL» (Япония). Определение предела прочности при сжатии осуществляли по ГОСТ 10180-90 на прессе ИП-1А-1000 при скорости нагружения 3,5 кН/сек. Для исследования были изготовлены кубические образцы 70x70x70 мм (при соотношениях Ц:П 1:1,3 и В/Ц 0,4). Количество механоактивированной добавки составляло 5-15 % от веса цемента.

Механоактивацию минеральных добавок производили на планетарной мельнице-активаторе АГО-2 при скорости вращения барабанов 1200 об/мин. Время активации составляло 2 мин, так как ранее проведенные исследования показали, что такая продолжительность активации наполнителей является оптимальной для получения наполненного бетона с высокими физико-механическими характеристиками.

Результаты исследования гранулометрического состава модифицирующих добавок приведены на рис.1. Установлено что, доля фракций размером выше 0,1 мм составляет не более 1 %.



**Рисунок 1.** Зерновой состав механоактивированных цеолита и глины

Следует отметить, что гранулометрический состав механоактивированной глины характеризуется большей долей частиц с размером менее 10 мкм, в то время как фракционный состав цеолитов более равномерен – доля каждой фракции в составе молотого образца практически одинакова. Таким образом, исследование распределения частиц минеральных добавок по размерам показывает, что зерновой состав глины и цеолитов соответствует требованиям для применения в качестве минеральной добавки в цемент.

В табл. 3 приведены результаты исследования удельных поверхности и объема пор добавок до и после активации.

Таблица 3 – Текстуальные характеристики минеральных добавок до и после механоактивации

Характеристика	До активации		После активации	
	цеолит	глина	цеолит	глина
Удельная геометрическая поверхность, м <sup>2</sup> /г	13,85	10,73	17,17	17,31
Удельный объем пор, см <sup>3</sup> /г	0,017	0,004	0,028	0,007

Установлено, что после механоактивации удельная поверхность цеолитов и глины повышается на 24 и 61% и объем пор на 65% и 75%, соответственно.

В табл. 4 представлены результаты исследования зависимости предела прочности при сжатии образцов исходного бетона и образцов бетона, содержащего 5, 10 и 15 масс.% минеральных добавок от времени твердения.

Таблица 4 – Кинетика прочности бетонов с механоактивированными минеральными добавками

Возраст твердения, сутки	Предел прочности при сжатии, МПа						
	Исходный бетон	Минеральная добавка, масс.% от веса цемента					
		5		10		15	
		глина	цеолит	глина	цеолит	глина	цеолит
3 суток	13,4	14,9	16,2	19,3	13,7	20,4	9,7
7 суток	17,6	16,9	19,9	22,8	15,8	23,2	11,4
28 суток	20,0	20,7	34,4	26,8	32,3	28,3	20,0

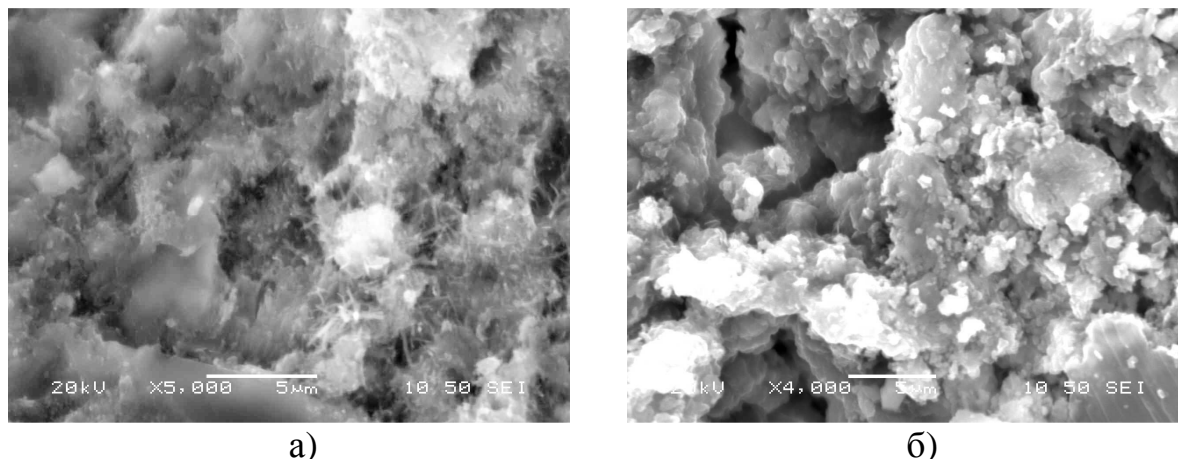
Установлено, что введение в бетон 5 мас.% механоактивированного цеолита позволяет на 70% повысить прочность бетона по сравнению с исходным образцом. Практически те же значения прочности получены при замене 10% массы цемента цеолитами. При замене 15% цемента

цеолитами наблюдается существенное снижение ранней прочности бетона при сохранении исследуемого показателя на уровне исходного образца в проектном возрасте.

При использовании глины в качестве добавки-заменителя наблюдается обратная картина. При введении 5 масс.% глины прочность образцов бетона остается на уровне исходного образца, не содержащего добавок. Видно, что введение 15% механоактивированной глины от массы цемента позволяет получить бетон с высокой скоростью затвердевания. Причем, прочность такого бетона уже на ранней стадии твердения выше чем, прочность исходного бетона. В возрасте 28 суток его прочность на 42% выше по сравнению с исходным бетоном.

Эффективность и количественное соотношение минеральных добавок определяется, по-видимому, исходной структурой минерального сырья. Цеолиты имеют жесткий каркас с развитой системой пор и каналов. Вероятно, такая структура характеризуется высокими значениями водопотребления, что приводит к дефициту затворяющей жидкости и неполному протеканию гидратационных процессов при высокой степени наполнения. Слоистая структура глины, придающая ей пластичность, в свою очередь, характеризуется меньшим значением водопотребления, что позволяет частицам глины комфортно встраиваться в структуру бетона, не поглощая воду, необходимую для затвердевания.

На рис. 2. представлены результаты микроисследования образцов бетона, содержащих 15 масс.% модифицирующих добавок.



**Рисунок 2.** Структура бетона, содержащего механоактивированные добавки:

а) 15 масс.% глины; б) 15 масс.% цеолита

Видно, что структура образца с активированной глинистой добавкой (рис.2 а) более плотная, чем у образца с активированным цеолитом (рис.2 б), межзерновые полости заполнены волокнистыми новообразованиями, создающими множественные пространственные связи, что в целом повышает плотность, а соответственно и прочность цементного камня. У образца с цеолитовой добавкой (рис. 2б) наблюдается структура с большим количеством свободного межзернового пространства, расстояния между кристаллическими формами достигает 15-20 мкм, почти отсутствуют игольчатые и волокнистые новообразования, что свидетельствует о более полном протекании гидратационных процессов.

Таким образом, показано, что введение в мелкозернистый бетон активированных минеральных добавок позволяет повысить скорость его твердения и проектную прочность. С учетом различного водопотребления применяемых добавок, для получения бетона с высокими эксплуатационными характеристиками, их концентрация должна быть различной. Следует отметить, что прочность бетона, содержащего 15 масс.% активированного цеолита, не ниже прочности исходного бетона, следовательно, его применение может быть эффективным для снижения расхода портландцемента.



Работа выполнена при поддержке проекта № 12-08-98508 «Разработка технологий механоактивационной обработки местного минерального сырья для повышения качества бетонов», по региональному конкурсу грантов РФФИ\_Арктика.

### Список использованной литературы

1. Добавки в бетон: справ. Пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др. Под ред. В.С. Рамачандрана. Пер. с англ. Т.И. Розенберг, С.А. Болдырева; под ред. А.С. Болдырева, В.Б. Ратинова. М.: Стройиздат. 1988. 575 с.
2. Местников А.Е. Разработка и внедрение технологии производства стеновых материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами из автоклавного ячеистого бетона на основе кварцполевого песка. Промежуточный отчет по государственному контракту РС (Я) № 1076 от 26 мая 2011 г. Якутск. 2012. 75 с.
3. Колодезников К.Е. Кемпендяйские цеолиты – новый вид минерального сырья в Якутии. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. – 56 с.
4. О.Н. Лошанина, В.А. Семенов, А.Е. Местников. Особенности технологии производства композиционных строительных материалов и изделий из неорганического сырья // Конструкции из композиционных материалов. 1999. № 4. С. 23-28.

### References

1. Dobavki v beton: sprav. Posobie / V.S. Ramachandran, R.F. Fel'dman, M. Kolleparadi i dr. Pod red. V.S. Ramachandrana. Per. s angl. T.I. Rozenberg, S.A. Boldyreva; pod red. A.S. Boldyreva, V.B. Ratinova. M.: Strojizdat. 1988. 575 s.
2. Mestnikov A.E. Razrabotka i vnedrenie tehnologii proizvodstva stenovykh materialov s uluchshennymi jekspluatacionnymi svojstvami iz avtoklavnogo jacheistogo betona na osnove kvarcpolevogo peska. Promezhutochnyj otchet po gosudarstvennomu kontraktu RS (Ja) № 1076 ot 26 maja 2011 g. Jakutsk. 2012. 75 s.
3. Kolodeznikov K.E. Kempendjajskie ceolity – novyj vid mineral'nogo syr'ja v Jakutii. – Jakutsk: JaF SO AN SSSR, 1984. – 56 s.

4. O.N. Loshanina, V.A. Semenov, A.E. Mestnikov. Osobennosti tehnologii proizvodstva kompozicionnyh stroitel'nyh materialov i izdelij iz neorganicheskogo syr'ja // Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 1999. № 4. S. 23-28.