

4. Добшиц, Л.М. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов / И. И. Магомедэминов, Л. М. Добшиц // Бетон и железобетон. 2012. №4. – с. 16-19.

5. Загер, И.Ю. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождения нерудных материалов Ямало-Ненецкого Автономного округа / И. Ю. Загер, Л. Н. Андропова // Строительные материалы, 2011. – №5. – с. 84-86.

6. Старчуков, Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы. – Бетон и железобетон. 2011. №14. – с. 22-24.

УДК 691.327:53

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ И ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОДОБАВКАМИ (ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ НАНОКРЕМНЕЗЕМОМ И МНОГОСЛОЙНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ)**

*ПОЛОНИНА Е. Н., ЛЕОНОВИЧ С. Н., БУДРЕВИЧ Н. А.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Статья посвящена проблеме модифицированного бетона, а именно проблеме высококачественного бетона (высокопрочного бетона). Для придания бетона определенных свойств используют комплекс различных химических и минеральных добавок.

В первую очередь идет речь о новой добавке, которая включает в себя два наноразмерных материала – золь нанокремнезема и многослойные углеродные нанотрубки.

Исследование состояло из 4-х этапов:

1. Исследование золь нанокремнезема на прочность тяжелого бетона.

2. Исследование золь нанокремнезема совместно с суперпластификатором на прочность тяжелого бетона.

3. Исследование многослойных углеродных нанотрубок совместно с суперпластификатором на прочность тяжелого бетона.

4. Исследование комплексной добавки, содержащей в себе золь нанокремнезема, многослойные углеродные нанотрубки и суперпластификатор на прочность тяжелого бетона.

**I шаг.** Исследование влияния золя нанокремнезема на прочностные характеристики тяжелого бетона

Золь нанокремнезема или наносилика (рис. 1, 2), результат вулканического геотермального действия на Камчатке в Российской Федерации (жидкая фаза гидротермальных теплоносителей скважин Мунтовских геотермальных электрических станций. Кремнезем образуется в природном растворе из молекул ортокремниевой кислоты в результате ее химического взаимодействия с алюмосиликатными минералами пород в недрах гидротермальных месторождений. При подъеме раствора на поверхность по продуктивным скважинам и снижения температуры раствор становится перенасыщенным и в нем происходят поликонденсация и нуклиация молекул ОКК, приводящие к формированию сферических наночастиц кремнезема диаметров 5-100 нм).



Рис. 1. Золь нанокремнезема

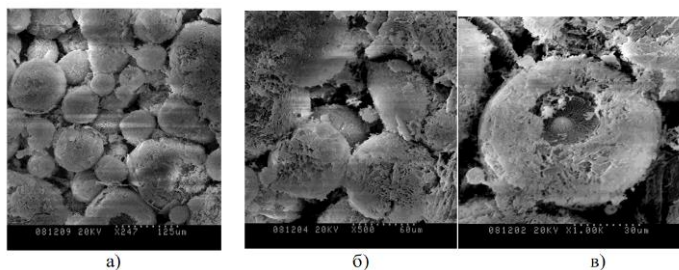


Рис. 2. Снимки криогранул золя, полученные на сканирующем электронном микроскопе

Исследования золя нанокремнезема могут быть очень перспективными, т.к. он может использоваться взамен микрокремнезема с промышленных предприятий. Это огромная природная база производства этого материала.

Оценивание производилось по средней прочности бетона на сжатие. Испытания проводились в возрасте 1-х, 7, 14 и 28 суток (рис. 3).

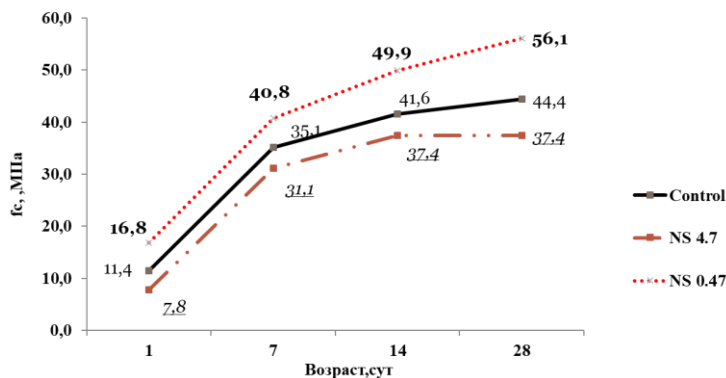


Рис. 3. Влияние концентрации золя нанокремнезема на прочностные характеристики тяжелого бетона

Полученные данные показали, что при содержании золя нанокремнезема  $\text{SiO}_2$  в количестве 0.1 мас. % по цементу (NS 0.47) приращение прочности при сжатии по сравнению с контрольным образцом (Control) составило на первые сутки – +50%, на 28-е – +26 % (рис. 3).

При этом выявлено, что увеличение концентрации данной нанодобавки NS 4.7 приводит к понижению прочности в 1.2 раза, что говорит о целесообразности использования суперпластификатора (SP) в данной системе.

**II шаг.** Исследование влияния действия суперпластификатора отдельно и совместно с золом нанокремнезема на прочностные характеристики тяжелого бетона

Испытания пластифицирующей добавки, включающей золь нанокремнезема в паре с суперпластификатором, были проведены при значениях В/Ц от 0.2 до 0.3 (рис. 4).



Рис. 4. Испытания пластифицирующей добавки

Добавка, содержащая золь нанокремнезема с концентрацией твердого  $\text{SiO}_2$  равной 0.47 г/кг, вводимого в суперпластификатор в количествах 8, 4 и 1 г/т при определении прочности на сжатии показала лучший результат 73.7 МПа при вводе твердого  $\text{SiO}_2$  4г на 1т суперпластификатора.

При этом ввод золя нанокремнезема увеличил прочность бетона до 45% по сравнению с бетоном содержащего только суперпластификатор и до 65% по сравнению с контрольным образцом (рис. 5).

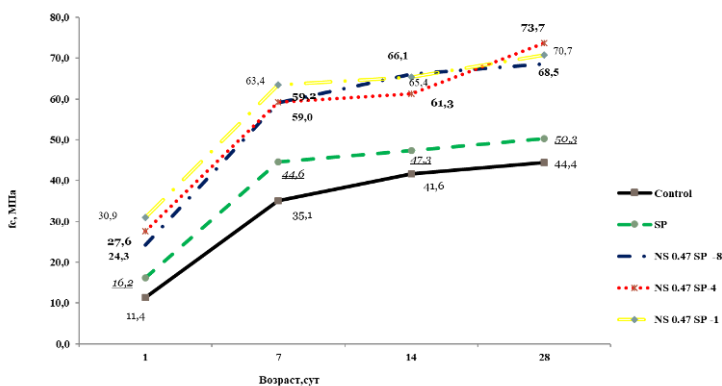


Рис. 5. Влияние действия суперпластификатора отдельно и совместно с золом нанокремнезема на прочностные характеристики тяжелого бетона

**III шаг.** Исследование влияния действия суперпластификатора совместно с многослойными углеродными нанотрубками на прочностные характеристики тяжелого бетона

Исследование влияния действия суперпластификатора совместно с многослойными углеродными нанотрубками под торговой маркой ART-CONSTRIT осуществлялось в аккредитованной строительной лаборатории Генподрядчика по строительству Белорусской Атомной Электростанции (БелАЭС). Разработчиком добавки является академик Жданок Сергей Александрович.

**VI шаг.** Исследование влияния комплексной добавки на прочностные характеристики тяжелого бетона

Влияние комплексной добавки (рис. 6), содержащей МУНТ(MLCNT), золь нанокремнезема (NS) и суперпластификатор (SP) на прочностные характеристики бетона представлены на рис. 7.



Рис. 6.

Прочность на сжатие образцов тяжелого бетона, улучшенная комплексной нанодисперстной системой, составила 78.7 МПа, что превышает прочность образца, содержащего добавку МУНТ в паре с суперпластификатором на 37%.

Таким образом получена комплексная нанодисперсная система включающая многослойные углеродные нанотрубки, золь нанокремнезема и суперпластификатор, которая эффективно влияет на структуру тяжелого бетона создавая при этом синергетический эффект.

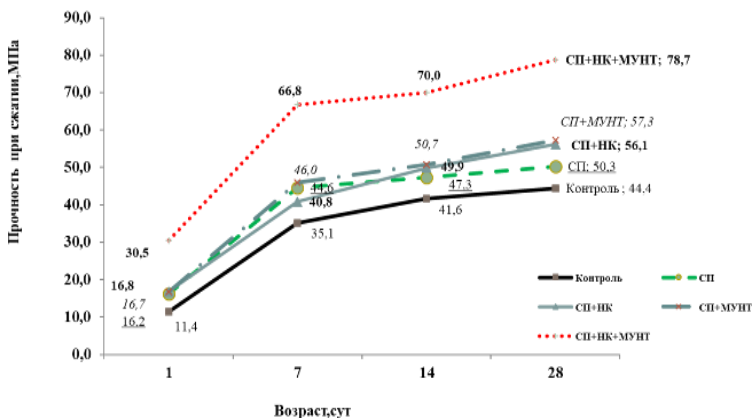


Рис. 7. Влияние комплексной добавки на прочностные характеристики тяжелого бетона

Можно предположить, что механизм действия представленной комплексной добавки, заключается в следующем: введение в цементную систему нанокремнезема приводит к плотности упаковки частиц системы, а при введении еще меньшего по размеру нанокремнезема создаются дополнительные центры кристаллизации гидратных новообразований. Следовательно, нанокремнезем выступает в качестве нанонаполнителя данной системы, который активнее влияет на концентрацию  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$  и уменьшает количество пор.

На основе анализа результатов испытаний можно заключить, что комплексная нанодисперсная система, включающая многослойные углеродные нанотрубки, нанокремнезем и суперпластификатор, способствует сближению частиц, уплотнению структуры и формированию контактов срастания, что эффективно влияет на структуру тяжелого бетона. Таким образом данный эффект достигается путем направленной структурной модификации основных компонентов цементного камня - гидросиликатов кальция относительно композиции и морфологии новообразований.