

КВАРЦЕВЫЙ ПЕСОК – ПОДАРОК ПРИРОДЫ ДЛЯ СТРОЙИНДУСТРИИ И СТРОИТЕЛЬСТВА, СОХРАНЕНИЯ ЭКОЛОГИИ ПЛАНЕТЫ И ЕЕ КЛИМАТА. ЧАСТЬ 1

М.Я. БИКБАУ, доктор хим. наук, академик РАЕН, генеральный директор ОАО «Московский ИМЭТ»

В статье приводятся характеристики бетонных смесей на основе наноцементов с кварцевым песком, испытанных на соответствие национальному предстандарту РФ 19-2014 «Портландцемент наномодифицированный» лабораторией ГУП «НИИМосстрой».

В настоящее время цементные заводы производят ежегодно 4,6 млрд. т портландцемента с выбросом на каждую тонну материала около 1000 кг CO₂, расходуя от 120 кг топлива для сухого способа производства цемента до 200 кг при мокром способе. Работа посвящена развитию технологии портландцементов – основного строительного материала современности – путем наномодификации и вовлечения при этом в массу портландцемента до 70 % масс. кварцевых песков, добиваясь радикального (в 2-3 раза) снижения удельных выбросов CO₂ и затрат топлива, с обеспечением высоких конструктивных свойств наноцементов и бетонов на их основе.

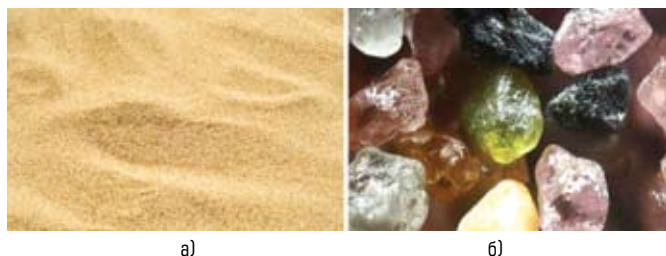


Рис. 1. Жёлтый песок – одна из самых распространённых в мире пород: а – общий вид; б – крупинки песка под микроскопом

Кварцевые пески – одни из самых распространённых и дешевых минеральных материалов на поверхности нашей планеты, распространённые на десятках и сотнях млн кв. км – в пустынях, морях и озерах, реках, тысяч промышленных карьеров, в объёмах в триллионы тонн... Достаточно указать, что только пустыни, состоящие, в основном, из кварцевых песков, сегодня покрывают пятую часть земной суши...

Кварцевые пески

Природные пески на планете – это остатки монолитных твердых пород, которые вода, солнце и ветер сотни млн лет разрушали на маленькие частички минералов, размером от десятых долей до нескольких миллиметров, представленных, в основном, из зерен кварца – самого распространённого на Земле минерала, состоящего из двух главных элементов земной коры – кислорода и кремния (рис. 1).

Вещественный состав песков крайне разнообразен и зависит от характера процессов, формирующих песок из горных пород (преобладание химического или механического выветривания), факторов и условий перемещения; географической среды, в которой происходило отложение толщи песка и факторов вторичного преобразования и стадий развития и перемещения песчаных пород.

В состав природных песков входит большое количество минералов, основными из которых являются кварц, полевые шпаты, кальцит, слюда. Реже встречаются такие минералы, как глауконит, ангидрит, роговые обманки, доломит, авгит, циркон и др.

Таблица 1. Классификация песков по минералогическому составу (по П. И. Фадееву)

Содержание составных частей / Наименование песка	Главный минерал		Все другие минералы	
	название	содержание, %	преобладающий минерал	содержание, %
Мономинеральные				
Кварцевый	Кварц	90	Не определяет названия песка	10
Полевошпатовый	Полевые шпаты	90		10
Слюдистый	Слюды	90		10
Роговообманковый	Роговая обманка	90		10
Полиминеральные				
Кварцево-полевошпатовый	Кварц	50-90	Полевые шпаты	10-50
Кварцево-слюдистый	Кварц	50-90	Слюды	10-50
Кварцево-роговообманковый	Кварц	50-90	Роговая обманка	10-50
Полевошпатово-кварцевый	Полевые шпаты	50-90	Кварц	10-15
Слюдисто-кварцевый	Слюды	50-90	-	10-15
Роговообманково-кварцевый и т. д.	Роговая обманка	50-90	-	10-15
Полевошпатово-слюдистый и т. д.	Полевые шпаты	50-90	Слюды	10-50

Таблица 2. Основные географические характеристики и площади пустынь мира

Название	Площадь, тыс. кв. км	Преобладающие абсолютные высоты, м	Абсолютный максимум температур, °С	Абсолютный минимум температур, °С	Среднегодовое количество осадков, мм
Средняя Азия и Казахстан					
Каракумы	350	100 – 500	+50	–35	70 – 100
Устюрт и Мангышлак	200	200 – 300	+42	–40	80 – 150
Кызылкум	300	50 – 300	+45	–32	70 – 100
Приаральские и Каракумы	35	400	+42	–42	130 – 200
Бетпак-Дала	75	300 – 350	+43	–38	100 – 150
Муонкум	40	100 – 660	+40	–45	170 – 300
Центральная Азия					
Такла-Макан	271	800 – 1500	+37	–27	50 – 75
Алашань	170	800 – 1200	+40	–22	70 – 150
Бэйшань	175	900 – 2000	+38	–24	40 – 80
Ордос	95	1100 – 1500	+42	–21	150 – 300
Цайдам	80	2600 – 3100	+30	–20	50 – 250
Гоби	1050	900 – 1200	+45	–40	50 – 200
Иранское нагорье					
Деште-Кевир	55	600 – 800	+45	–10	60 – 100
Деште-Луг	80	200 – 800	+44	–15	50 – 100
Регистан	40	500 – 1500	+42	–19	50 – 100
Полуостров Индостан					
Тар	300	350 – 450	+48	–1	150 – 500
Тхал	26	100 – 200	+49	–2	50 – 200
Аравийский полуостров					
Руб-эль-Хали	600	100 – 500	+47	–5	25 – 100
Большой Нефуд	80	600 – 1000	+54	–6	50 – 100
Дехна	54	450	+45	–7	50 – 100
Сирийская пустыня	101	500 – 800	+47	–11	100 – 150
Северная Африка					
Сахара	7000	200 – 500	+59	–5	25 – 200
Ливийская пустыня	1934	100 – 500	+58	–4	25 – 100
Нубийская пустыня	1240	350 – 1000	+53	–2	25
Южная Африка					
Намиб	150	200 – 1000	+40	–4	2 – 75
Калахари	600	900	+42	–9	100 – 500
Карру	120	450 – 750	+44	–11	100 – 300
Северная Америка					
Большой Бассейн	1036	100 – 1200	+41	–14	100 – 300
Мохаве	30	600 – 1000	+56,7	–6	45 – 100
Сонора	355	900 – 1000	+44	–4	50 – 250
Чиуауа	100	900 – 1800	+42	–6	75 – 300
Южная Америка					
Атакама	90	300 – 2500	+30	–15	10 – 50
Патагония	400	600 – 800	+40	–21	150 – 200
Австралия					
Большая Песчаная	360	400 – 500	+44	+2	125 – 250
Гибсона	240	300 – 500	+47	0	200 – 250
Большая пустыня Виктория	350	200 – 700	+50	–3	125 – 250
Симпсон	300	0 – 200	+48	–6	100 – 150

Пески, состоящие в основном из зерен одного минерала, называются мономинеральными, а имеющие в своем составе различные минералы — полиминеральными. Об-

щепризнанной классификации песков по минералогическому составу не существует. Самородный песок кварцевый подразделяется на песок кварцевый речной (наиболее



Рис. 2. Барханы пустыни Сахара



Рис. 3. Песок занес кладбище в Казахстане

чистый), песок кварцевый горный и песок кварцевый с глубины земли (лежащий в грунте на произвольной глубине и извлекаемый карьерным способом).

В зависимости от размера зерен различают восемь групп песков: 063 – грубый; 04 – очень крупный; 0315 – крупный; 02 – средний; 016 – мелкий; 01 – очень мелкий; 0063 – тонкий; 005 – пылевидный. Цифры обозначают номер сита, на котором вместе с двумя смежными ситами остаются зерна основной фракции формовочных песков. Природные кварцевые пески отличаются экологической чистотой...

По распределению основной фракции песка на трех смежных ситах существует две категории песков: А и Б. К категории А относятся пески с остатками основной фракции на крайнем верхнем сите, большим, чем на крайнем нижнем сите; к категории Б – пески с остатком основной фракции на крайнем нижнем сите, большим, чем на крайнем верхнем.

Как правило, пустыни представлены в основном полиминеральными кварцевыми песками, чаще всего они эолового происхождения. Скорость их перемещения зависит от силы ветра, длительности его действия и величины бархана. Наиболее подвижны отдельно стоящие барханы (рис. 2).

Они могут перемещаться со скоростью от 5-6 до 50-70 м/год. Сложные сочетания барханов передвигаются с малой скоростью, почти незаметно для человека. Подвижные пески опасны своим движением. Перемещаясь, они заносят поля, оазисы, каналы, дороги, здания, селения и даже города (рис. 3). Строительство и эксплуатация зда-

ний и сооружений в районах пустынь требует постоянной борьбы с подвижными песками.

Для этой цели применяют ряд методов: установку на пути движения песков щитов. Этот способ не всегда эффективен, особенно в районах, где ветер часто меняет своё направление. Иногда против выдувания песка щиты укладывают на землю. Одним из главнейших способов борьбы является посадка растительности (кустарники, травы).

Высаженные растения закрепляют своей корневой системой верхние слои песка. Битумизация, цементация, глинизация и т. д. – эти методы дорогостоящие и недолговечные.

За последние 50 лет во всем мире в бесплодные песчаные пустыни превратились на суше площади, равные половине Южной Америки. На грани опустынивания находится 1/5 земной поверхности.

Применение разработанной нами технологии на-ноцементов позволит применять новый эффективный метод борьбы с наступлением песка пустынь – массовую переработку дешевых и доступных песков в качественные цементы и бетоны.

Применение кварцевых песков

Не останавливаясь на многочисленных примерах использования кварцевых песков в различных отраслях, укажем только на широкое их применение в строительстве, стройиндустрии, а также в производстве сухих строительных смесей, что связано с замечательными свойствами кварцевых песков. Речь идет об экологической чистоте, распространенности и легкости применения; стабильности химических составов в месторождениях и карьерах; о размерах частиц в пределах от долей до нескольких миллиметров; химической стойкости в условиях природных и техногенных воздействий и т.д.

Наибольший объем кварцевых песков – около 40% – уходит на дорожное строительство. В связи с созданием новых автомагистралей, железных дорог, станций метрополитена, инженерных сооружений эта цифра постоянно увеличивается. Заводы бетонных и железобетонных изделий потребляют порядка 25% объемов кварцевого песка, а строительные компании – около 20%, значительные объемы этого вида песка использует стекольная промышленность для выпуска стекла и тары.

Основные классы портландцемента, выпускаемые цементными заводами во всем мире, колеблются в пределах от 32,5 до 52,5 МПа с преобладанием класса 42,5 и общим недостатком – сроком гарантии качества цемента не более 2 месяцев. Количество вводимых в портландцементы минеральных добавок без серьезной потери качества достигает в развитых странах 35% масс., но цементные заводы России, например, вводят цемент в среднем в объеме 8,4%.

Строители в России и других странах предпочитают покупать бездобавочный портландцемент в связи с опасениями потери качества цемента при вводе минеральных добавок. Цементники, к сожалению, исчерпали свои технологические возможности по повышению марочности и

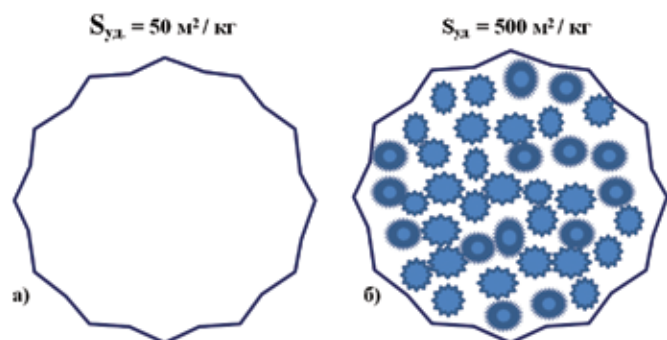


Рис. 4. Изменение удельной поверхности частичек кварцевого песка при измельчении: а) зерно исходным размером 500 мкм; б) в контуре исходного зерна более мелкие частички, измельченные до уровня 10-20 мкм

уступили перспективы совершенствования бетонов предприятиям по их производству.

Технология обеспечения качества требуемых бетонов в настоящее время предусматривает вариации составов бетонных смесей с широким применением значительного числа различных минеральных и химических добавок, позволяющих модифицировать бетоны и достичь необходимых показателей. Однако применение химических добавок значительно удорожает стоимость бетона.

Перспективы эффективного использования кварцевых песков

Изобретение в России наноцементов позволило достичь высоких строительно-технических свойств бетонов без традиционного подхода к ужесточению требований к нерудным составляющим бетонных смесей и к отсутствию необходимости применения дорогостоящих химических добавок в бетонные смеси.

Анализ свойств портландцемента и наномодифицированного портландцемента показывает, что применение тех-

нологии механохимической активации и нанокапсуляции позволяет радикально повысить класс прочности цемента и снизить в цементе количество дорогого цементного клинкера в 3 раза с получением марочной прочности цементного камня (в 28 суток твердения), не уступающей таковой для исходного портландцемента.

Установлено, что при измельчении портландцемента совместно с кварцевым песком в шаровых мельницах, совмещенном с механохимической активацией портландцемента до оптимального уровня дисперсий 400-600 м²/кг и нанокапсуляцией модифицированным полимерным модификатором портландцемент превращается в качественно новый продукт – наноцемент с отличными строительно-техническими свойствами.

Настоящее исследование посвящено решению проблемы получения качественных наноцементов, а также производству прочных и высокопрочных бетонов на основе ввода в состав наноцементов в виде минеральных добавок увеличенных объемов природных кварцевых песков – как карьерных, так и песков пустынь.

Традиционные бетоны, как и все продукты на основе портландцемента, включают кварцевый песок, частички которого играют роль мелкого заполнителя и реагента, медленно вступающего в химическую реакцию с продуктами гидратации портландцемента с образованием в цементном камне гидросиликатов кальция, обеспечивающих прочность и долговечность бетонов.

Строительный песок характеризуется наличием весьма крупных частиц кремнезема и кремнеземистых минералов. Размер подавляющего объема частиц составляет от сотен до нескольких тысяч микрон, что делает поверхность реакции частичек песка и значительно более мелких частиц цемента весьма небольшой – не превышающей 50-70 м²/кг

Таблица 3. Характеристики наноцементов с кварцевым песком, испытанных на соответствие национальному предстандарту РФ 19-2014 «Портландцемент наномодифицированный» лабораторией ГУП «НИИМосстрой»

Наименование цемента и его удельная поверхность, м²/кг (в скобках)	Предел прочности образцов нормального твердения, МПа						Нанооболочка, толщина, нм	Удельные показатели*** на тонну цемента, кг	
	в возрасте 2 сут.		в возрасте 7 сут.		в возрасте 28 сут.			затраты топлива	выбросы CO ₂
	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии			
Портландцемент исходный ПЦ-500 Д0-Н «Осколцемент» партия №654 (282)	2,9	21,3	-	-	6,4	54,4	Отсутствует	200	1070
Наноцемент 90** К 82,5 (519)	7,1	53,8	8,0	72,6	8,7	82,7	30-120	180	960
Наноцемент 75 К 72,5 (521)	6,9	54,7	8,0	68,5	8,5	77,8	30-115	150	802
Наноцемент 55 К 62,5 (527)	6,3	49,3	7,5	65,4	8,2	77,5	15-100	110	588
Наноцемент 45 К 52,5 (530)	4,8	39,9	6,7	57,4	7,9	68,1	18-95	90	481
Наноцемент 35 К 42,5 (537)	3,9	30,7	5,8	46,6	7,2	61,4	15-100	70	374
Наноцемент 30 К 32,5 (530)	3,0	20,4	5,6	46,4	7,6	52,1	14-85	60	321

цементно-песчаной смеси, при средней удельной поверхности портландцемента в России 300 м²/кг, а за рубежом 400 м²/кг. Во всех случаях при затворении современных бетонов на портландцементе химическая реакция создания цементного камня обеспечивается системой «цемент – вода – песок».

В современных бетонах взаимодействие составляющих в системе «цемент – вода – песок» идет весьма длительно, несмотря на соотношение песка и цемента, обычно 2:1, прежде всего из-за малой реакционной поверхности инертных частиц песка.

Напомним, что строительный песок имеет весьма крупные частицы кремнезема и кремнеземистых минералов. Размер подавляющей массы частиц составляет от сотен до тысяч микрон, что делает площадь реакции соответствующей поверхности частичек песка, не превышающей 50-70 м²/кг, способной к вступлению в водной среде во взаимодействие более мелких частичек цемента с размером в пределах от долей до нескольких микрон (рис. 4а).

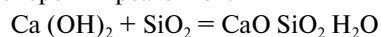
Остальная часть цемента оводняется, но доступа к свободному кремнезему у нее нет, что лимитирует реакции структурообразования в цементно-песчаной оводненной смеси. В отличие от этого, малоклинкерные наноцементы с тонкоизмельченным кварцевым песком (рис. 4б) содержат значительное количество мелких (от десятков *нм* до нескольких *мкм*) частиц портландцемента и кварцевого песка, которые активно участвуют при затворении в реакциях структурообразования цементного камня, меняя прописанные в учебниках представления о кварцевом песке как об инертном заполнителе.

Наноцементы с тонкомолотым кварцевым песком (рис. 2) позволяют значительно ускорить твердение цементного камня, интенсифицировать образование гидросиликатов кальция в цементном камне.

В сформировавшемся цементном камне присутствуют два вида гидратных минералов: гидросиликаты кальция и гидроксид кальция. Соотношение масс указанных фаз цементного камня, масс. %: гидросиликаты кальция – 85; гидроксид кальция – 15.

Казалось бы, содержание гидроксида кальция не очень велико, но именно его присутствие значительно ослабляет строительные-технические свойства цементного камня, и прежде всего – прочность в связи с пластинчатой, слоевой морфологией кристаллов гидроксида кальция, по которым обычно проходит разлом материалов, и их склонностью к перекристаллизации при изменении влажности окружающей среды.

В малоклинкерных наноцементных, где обеспечивается уровень дисперсий тонко измельченного вместе с цементом кремнезема (от нескольких десятков до сотен *нм*), сопоставимый с размерами частиц цемента, гидроксида кальция практически не обнаруживается, связывание гидроксида кальция в более прочный и долговечный гидросиликат кальция может происходить по прямой реакции высокодисперсных реагентов:



Многолетними исследованиями была реализована новая технология совместного помола портландцемента с кварцевым песком в шаровых мельницах на финишной стадии производства портландцемента – измельчении клинкера, оказавшаяся весьма эффективной. При этом было установлено, что на свойства наномодифицированного портландцемента (наноцемента) гранулометрия, морфология, химический состав песков заметного влияния не оказывают. Лучшее качество наноцементов обнаруживают различные пески, содержащие максимальное количество кварца. Представляло интерес изучение влияния гранулометрии, минералогии, составов различных кварцевых песков на строительные-технические свойства бетонов на наноцементе, выполненное впервые ОАО «Московский ИМЭТ».

Задачи исследований

В настоящей работе была поставлена задача по получению максимально экономичных бетонов на основе малоклинкерных наноцементов с крупным заполнителем: грунт карьера Южный портал, щебень карьера Каменский и пески Волжского, Майкопского (Майского), Выбор-С, Титан, Альфа, Август и Хромцевского карьеров – местное сырье Краснодарского края – в районе Сочи.

Работы по подбору составов бетонных смесей выполнялись с учетом получения на предоставленном заказчиком некондиционном сырье бетонов классов от В 7,5 до В 45 с различными заданными подвижностями смесей, прочностью, водонепроницаемостью и морозостойкостью бетонов при минимальных расходах портландцемента и химических добавок.

Выпуск опытно-промышленных партий наноцементов для проведения испытаний и исследований осуществлялся на шаровой мельнице в экспериментальном цехе ЗАО «ИМЭТСТРОЙ» по ПНСТ 19-2014 «Портландцемент наномодифицированный».

Было получено несколько партий наноцементов на основе портландцемента завода «Пролетарий» ОАО «Новоросцемент» и кварцевого песка Раменского карьера, а также песка Майкопского карьера. Готовый материал затаривался в бумажные мешки. Опытные-промышленные партии наноцементов различного состава были отправлены для испытаний в г. Сочи, на промышленную базу ООО «СЕВЕР-СТРОЙ».

Мелкие заполнители для бетонов на наноцементе

Мелкие заполнители были выбраны с учетом применения прежде всего местного недорогого сырья. Для проведения исследований были представлены пески различных карьеров: Волжский, Раменский, Альфастрой, Август, Выбор-С (два вида) и Хромцевский. Выполненный ситовой анализ мелких заполнителей – в табл. 4.

В качестве общей закономерности можно отметить увеличение содержания кварца в мелких заполнителях по мере снижения размера частиц, и наоборот – увеличение

Таблица 4. Результаты ситового анализа исследованных песков по зерновому составу

Наименование карьеров песка / размер фракции	Зерновой состав песка, остатки на сите, масс. %					Отсев
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Раменский	0,5	13,5	33,0	30,5	20,0	2,5
Титан	24,0	9,5	16,0	31,5	15,0	4,0
Хромцевский	15,5	10,0	31,0	33,5	8,5	1,5
Выбор-С	18,5	10,5	14,5	22,3	25,5	8,7
Август	28,6	6,6	13,2	36,2	15,4	-
Альфа	0,6	1,1	13,1	65,4	15,8	4,0
Волжский	18,5	6,0	12,5	36,5	20,0	6,5

содержания сопутствующих и примесных фаз в более крупных частицах песков.

Таковыми крупными частичками чаще всего бывают различные обломочные и осадочные породы: плагиоклазы, хлориты, слюды, цеолиты и кальцит. Максимальное содержание β -кварца – в строительных песках карьеров Титан и Август.

Крупные заполнители для бетонов на наноцементях

Для проведения работ получено два вида щебня фракции 5-20 мм с Каменского карьера и карьера Южный портал Краснодарского края. Полученные щебни были испытаны по прочности и морозостойкости ускоренным методом. Мелкие заполнители были выбраны с учетом применения местного сырья.

Щебень из грунта карьера Каменский, по данным рентгенофазового качественного и количественного анализов, оказался известняковым. РКА фракций такого щебня показал, что в более мелких частицах материала содержание примесных фаз возрастает, масс. %:

Минерал	Частички более 5 мм	Частички менее 5 мм
1. Кальцит	96,5	93,0
2. Кварц, β -SiO ₂	1,0	2,5
3. Гидрослоюды	1,5	0,5
4. Гипс двухводный	1,0	-
5. Муллит	1,5	-

Испытания по известной методике в солях, выполненные в ГУП «НИИМ-осстрой», подтвердили низкую морозостойкость обоих видов щебней и весьма небольшую прочность щебня с карьера Каменский (не более М-300) при значительной истираемости.

Методика испытаний и результаты исследований

Проведенные исследования дали возможность определить оптимальные соотношения изученных мелких и крупных заполнителей в бетонных смесях на основе наноцементов. Лабораторные исследования также позволили разработать

составы бетонных смесей и бетонов на некондиционных нерудных материалах с заданными заказчиком (ООО «СЕВЕР-СТРОЙ») строительными-техническими свойствами: бетонов классов от В 7,5 до В 45, с соответствующими удобоукладываемостью смесей, водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Для приготовления бетонных смесей применяли наноцементы с различным содержанием портландцемента Новороссийского цементного завода, а также щебни Каменского карьера, карьера Южный портал и различные пески. Приготовление бетонных смесей осуществлялось в бетономешалке БС-4 с принудительным перемешиванием валом с лопастями механического завода №268, г. Иваново.

При расчете бетонных смесей учитывались требования по регулированию подвижности в значительном диапазоне. Подвижность смеси определялась по стандартному методу по осадке конуса, а прочностные характеристики бетонов – по стандартной методике в соответствии с требованиями технического задания.

Из бетонных смесей оптимальных составов были изготовлены стандартные образцы бетонов для определения строительно-технических свойств бетонов и их последующей сертификации в испытательной лаборатории ГУП «НИИМосстрой».

Расход портландцемента в оптимизированных бетонных смесях варьировался от 80 до 350 кг на кубометр бетона для получения бетонных изделий с вариацией строительно-технических свойств в широком диапазоне, требуемыми водонепроницаемостью и морозостойкостью.

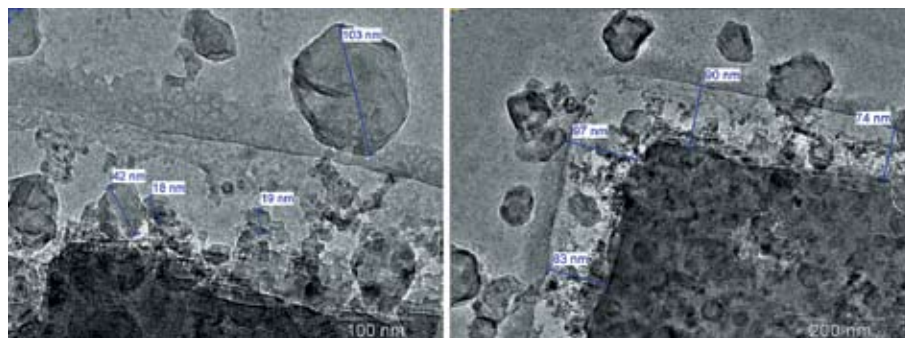


Рис. 5. Электронно-микроскопические снимки наноцемента на просвет. Мелкие частички без нанооболочек – зерна кварцевого песка, измельченные до наноуровня. На фото слева показан диаметр частицы кварца размером 103 нм. Нанооболочки – на более темных зернах портландцемента из структурированного модификатора. Показаны толщины оболочек в нм. Масштаб – на фото

Таблица 5. Изменение количественного соотношения минеральных фаз в зависимости от дисперсности исследованных песков, по данным РКА

Наименование карьеров песка	Проба, размер фракций	Фаза					
		Кварц β -SiO ₂ ± 5%	Плагиокл. ± 3%	Хлорит ± 2%	Слюда ± 2%	Цеолит ± 1%	Кальцит ± 3%
Альфастрой	ПАС-1 <1,25 мм	50	13	8	11	>1	7
Альфастрой	ПАС-2 >1,25 <2,5 мм	40	12	11	6	>1	6
Альфастрой	ПАС-3 ≥2,5 мм	36	8	10	5	>1	26
Выбор-С	ПВС-1 <1,25 мм	58	21	7	8	3	-
Выбор-С	ПВС-2 >1,25 >2,50 мм	52	20	9	4	4	-
Выбор-С	ПВС-3 ≥2,5 мм	46	18	10	4	4	-
Август	ПАТ-1 <1,25 мм	80	9	5	4	2	-
Август	ПАТ-2 >1,25 >2,50 мм	68	12	9	4	3	-
Август	ПАТ-3 ≥2,5 мм	65	12	7	2	5	-
Титан	ПТ-1 <1,25 мм	87	14	4	5	>1	-
Титан	ПТ-2 >1,25 <2,5 мм	85	14	6	2	>1	-

Образцы после распалубки испытывались по стандартным методикам и требованиям ГОСТ на современном испытательном оборудовании в ГУП «НИИМосстрой».

Рентгеновский качественный и количественный анализы как наиболее перспективных местных песков, так и широко применяемого строительного песка карьера Титан показали достаточно небольшое изменение количественного соотношения минеральных фаз в различных партиях мелких заполнителей в зависимости от их дисперсности (табл. 3). Это связано с полиминеральностью частичек песков и встречающимися включениями попутных фаз, например, кальцита в более крупных частичках мелкого заполнителя карьера Альфастрой.

Проведенные лабораторные исследования позволили подобрать составы бетонов для их испытаний, приведенные ниже.

Составы, подвижность бетонных смесей на основе наноцементов и результаты испытаний бетонов в ГУП «НИИМосстрой» на некондиционных щебнях и песках различных месторождений

Состав бетонной смеси №1, кг/м³:

Наноцемент 90 Н (на портландцементе ОАО «Новоросцемент») – 395 (355*)

Щебень** карьера Южный портал, М-300, F-25 – 921

Характеристики бетона состава №1

№ п/п	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг	ОК	Прочность бетона нормального твердения, в различные сроки, МПа: в числ. – при сжатии, в знам. – при изгибе			Характеристики бетонов после окончания испытаний		
			3 сут.	7 сут.	28 сут.	D, кг/м ³	W	F
1	Наноцемент 90 Н – 395, в т.ч.: портландцемент – 355 молотый песок – 40 + в бетонной смеси: песок Раменский (Московская обл.), M _{кр.} =2,63 – 920 грунт Южного портала ж/д тоннеля №3, М-300 – 921 вода – 45 (вход. № лаб. 97-1)*	3	$\frac{57,6}{4,3}$	$\frac{64,2}{4,6}$	$\frac{72,4}{7,0}$	2415	16	300

Песок строительный Раменского карьера – 920

Вода – 145

Водотвердое отношение – 0,36

Осадка конуса, см – 3

* – Количество портландцемента; ** – щебень фракции

5-20 из породы тоннельной выработки

Состав бетонной смеси №10, кг/м³:

Наноцемент 90 Н (на портландцементе ОАО «Новоросцемент») – 384 (342*)

Щебень** карьера Южный портал М-300, F-25 – 897

Песок карьера ООО «Волжское ГТП №1» – 897

Вода – 193

Водотвердое отношение – 0,50

Осадка конуса, см – 5

Характеристики бетона состава №10

Вх. № лаб.	Плотность (кг/м ³), прочность при сжатии/изгибе (МПа)						Марка по водонепроницаемости
	3 сут.		7 сут.		28 сут.		
	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	
105-10	2370	$\frac{38,4}{3,7}$	2350	$\frac{47,9}{-}$	2360	$\frac{53,3}{5,9}$	W20

* – Количество портландцемента; ** – щебень фракции

5-20 из породы тоннельной выработки

Состав бетонной смеси №7, кг/м³:

Наноцемент 45 Н (на портландцементе ОАО «Новоросцемент») – 380 (190*)

Щебень** карьера Южный портал, М-300, F-25 – 887

Песок строительный Раменского карьера – 887

Вода – 165

Водотвердое отношение – 0,43

Осадка конуса, см – 7

Характеристики бетона состава №7

Вх. № лаб.	Плотность (кг/м ³), прочность при сжатии/изгибе (МПа)						Марка по водонепроницаемости
	3 сут.		7 сут.		28 сут.		
	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	
99-7	2318	$\frac{35,6}{3,7}$	2345	$\frac{43,0}{4,1}$	2350	$\frac{43,5}{4,6}$	W20

* – Количество портландцемента; ** – щебень фракции

5-20 из породы тоннельной выработки

Состав бетонной смеси №5, кг/м³:

Наноцемент 75 Н (на портландцементе ОАО «Новоросцемент») – 286 (215*)

Щебень карьера Южный портал, М-300, F-25 – 938

Песок строительный Волжского карьера – 857

Вода – 196

Водотвердое отношение – 0,68

Осадка конуса, см – 8

Характеристики бетона состава №5

Вх. № лаб.	Плотность (кг/м ³) и прочность при сжатии/изгибе (МПа)							
	7 сут.		28 сут.		в насыщенном состоянии		после F200	
	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа
99-5	2276	$\frac{19,8}{2,8}$	2300	$\frac{23,0}{2,7}$	2345	20,5	2300	21,2

* – Количество портландцемента; ** – щебень фракции

5-20 из породы тоннельной выработки

Состав бетонной смеси №17, кг/м³:

Наноцемент 75 Н (на портландцементе ОАО «Новоросцемент») – 393 (298*)

Щебень карьера Южный портал, М-300, F-25 – 917

Песок карьера ООО «Майкопская нерудная компания» – 917

Вода – 184

Водотвердое отношение – 0,46

Осадка конуса, см – 25

* – Количество портландцемента; ** – щебень фракции

5-20 из породы тоннельной выработки

Состав бетонной смеси №16, кг/м³:

Наноцемент 45 Н (на портландцементе ОАО «Новоросцемент») – 394 (197*)

Щебень карьера Каменский, М-600, F-25 – 917

Песок карьера ООО «Майкопская нерудная компания» – 917

Вода – 193

Водотвердое отношение – 0,48

Осадка конуса, см – 9

* – Количество портландцемента

Характеристики бетона состава №17

Вх. № лаб.	Плотность (кг/м ³), прочность при сжатии/изгибе (МПа)										Марка по водонепроницаемости
	3 сут.		7 сут.		28 сут.		в насыщ. сост.	после F, циклов			
	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа		МПа	300	400	
112-17	2410	$\frac{27,4}{3,7}$	2370	$\frac{41,7}{4,4}$	2375	$\frac{50,1}{5,2}$	52,5	55,2 МПа	50,8 МПа	W20	

Характеристики бетона состава №16

Вх. № лаб.	Плотность (кг/м ³), прочность при сжатии/изгибе (МПа)										Марка по водонепроницаемости
	3 сут.		7 сут.		28 сут.		в насыщ. сост.	после F			
	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа		МПа	300	400	
112-16	2420	$\frac{12,2}{2,1}$	2360	$\frac{16,6}{3,2}$	2380	$\frac{21,9}{4,3}$	22,5	22,9 МПа	22,4 МПа	W6	

Состав бетонной смеси №2, кг/м³:

Наноцемент 45 Н (на портландцементе ОАО «Новоросцемент») – 370 (185*)

Щебень карьера Каменский, М-600, F-25 – 864

Песок строительный Волжского карьера – 864

Вода – 135

Водотвердое отношение – 0,36

Осадка конуса, см – 3

* – Количество портландцемента

Характеристики бетона состава №2

Вх. № лаб.	Плотность (кг/м ³) и прочность при сжатии/изгибе (МПа)					
	3 сут.		7 сут.		28 сут.	
	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа	кг/м ³	МПа
97-2	2232	$\frac{32,9}{3,6}$	2208	$\frac{33,8}{4,4}$	2255	$\frac{45,3}{4,6}$

Разработанные составы бетонных смесей №1, №5, №7, №10 и №17 включают в виде крупного заполнителя грунт выработки ж/д тоннеля №3 Южного портала и щебень фракции 5-20 мм, с маркой по дробимости М-300, содержанием зерен пластинчатой и игольчатой формы 17% масс., по остатку на сите 5 – 83,2%, по содержанию пылевидных и глинистых частиц 3,5% масс., по морозостойкости F-25, что делает его несоответствующим требованиям ГОСТ 8267-93, 26633-91 и 8269-97. Проведенные исследования по подбору составов бетонных смесей на наноцементных различных классов позволили подобрать оптимальные составы бетонов заданной прочности, водонепроницаемости и морозостойкости.

В процессе выполненных работ и испытаний удалось не только применить некондиционный крупный заполнитель для получения высокопрочных и качественных бетонов, но и значительно уменьшить удельный расход портландцемента для различных классов бетонов до рекордно низких значений – от 355 до 145 кг на кубометр бетонной смеси.

Полученные впервые в мировой практике производства бетона высокие результаты с применением некондиционного крупного заполнителя и различных песков связаны с высокой гидравлической активностью наноцементов, образованием плотного контакта цементно-песчаного камня даже на слабых зернах щебня и формированием высокопрочной непроницаемой микроструктуры цементного камня, что подтверждается интенсивным набором прочности образцов бетона уже в первые сроки твердения, необычайно высокими показателями прочности, водонепроницаемости и морозостойкости новых бетонов на некондиционном нерудном сырье.

Всего 335 кг портландцемента, превращенного в наноцемент, даже с таким, непригодным по основным показателям крупным заполнителем, оказалось достаточно, чтобы произвести без введения дорогостоящих химических добавок в бетонную смесь быстротвердеющий (80% прочности в первые трое суток твердения) бетон класса В 55 с водонепроницаемостью W 16 и морозостойкостью более 300 циклов (состав №1, лаб. вх. ГУП «НИИМосстрой» 97-1).

Наблюдение сколов образцов бетона практически всех исследованных составов показало весьма плотную структуру цементного камня, с хорошей контактной зоной на границе с зернами крупного заполнителя, формирующейся уже в начальные сроки твердения бетонов. На рис. 3 приведена типичная фотография микроструктуры поверхности скола образца бетона после механических испытаний с рекордными показателями.

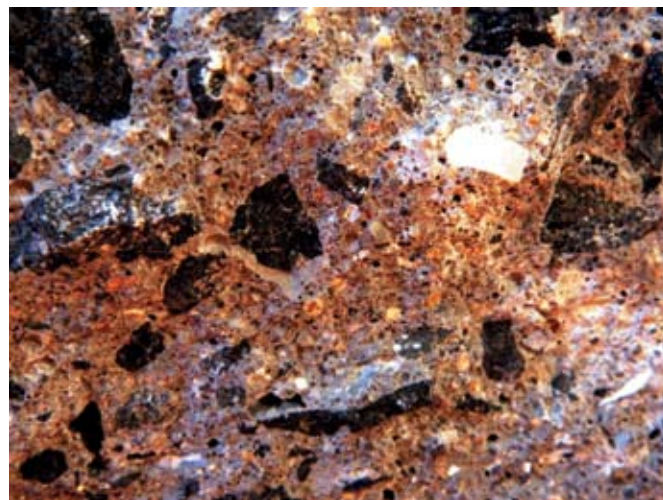
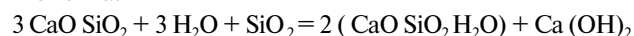


Рис. 6. Фотография скола образца бетона состава №1, класса В 55 на некондиционном щебне карьера Южный портал (М-300, F-25) после механических испытаний. Наблюдается разрушение материала непосредственно по зернам щебня. 28 суток нормального твердения

Результаты исследований и испытаний показали, что наноцементы позволяют получить качественный цементный камень и бетоны практически на любом строительном кварцевом песке даже со слабыми, неморозостойкими щебнями за счет интенсивной реакции взаимодействия материала наноцемента и присутствующего в нем молотого до уровня дисперсий цемента кремнеземистого компонента:

**Выводы:**

В исследованных бетонах на наноцементных, быстро набирающих прочность уже в начальные сроки твердения, намного быстрее, чем в обычных бетонных смесях на портландцементе, формируется высокопрочная матрица, состоящая из наноцемента – тонкомолотого (до уровня наноразмеров) кварцевого песка и воды. Это способствует получению плотной, высокопрочной, непроницаемой для воздуха и воды микроструктуры цементного камня и бетона, что весьма положительно влияет на все строительные свойства, обеспечивая высокую водонепроницаемость, прочность и долговечность цементного камня и бетона на основе наноцементов.

Установленная возможность применения слабых и недостаточно морозостойких щебней, продуктов переработки горных пород, вскрышных пород и местного нерудного сырья является ключевым направлением снижения затрат на перевозку значительных объемов нерудных и, соответственно, затрат на строительство жилья, объектов соцкультбыта и инженерных сооружений.