

УДК 691.3

UDC 691.3

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ «ТОЩИХ»  
БЕТОНОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ОСНОВАНИЙ  
ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF NANOMODIFIED "POOR" CONCRETE  
ROAD CLOTHING BASE CREATION**

Даваасенгэ Сардана Сурэновна  
м.н.с.

Davaasenge Sardana Surenovna  
junior researcher

Буренина Ольга Николаевна  
к.т.н., с.н.с.  
*Институт проблем нефти и газа СО РАН,  
Якутск, Россия*

Burenina Olga Nikolaevna  
Cand.Tech.Sci., senior researcher  
*Institute of Oil and Gas problem of SB RAS,  
Yakutsk, Russia*

В статье представлены экспериментальные данные по исследованию физико-механических свойств наномодифицированных «тощих» бетонов для устройства оснований дорожной одежды

The experimental data of the study of physical and mechanical properties of nanomodified "poor" concrete for road clothing base creation is presented in this article

Ключевые слова: МОДИФИЦИРОВАННЫЙ «ТОЩИЙ» БЕТОН, НАНОДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ, ШПИНЕЛЬ МАГНИЯ, КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ, ОСНОВАНИЕ ИЗ «ТОЩЕГО» БЕТОНА, УПЛОТНЯЮЩАЯ НАГРУЗКА, ПРОЧНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Keywords: MODIFIED "POOR" CONCRETE, NANOADDITIONS FOR CONCRETE, MAGNESIUM SPINEL, CONSTRUCTION OF ROAD CLOTHING, ROAD BASE FROM "POOR" CONCRETE, SEALING LOAD, COMPRESSIVE STRENGTH OF MATERIALS FOR ROAD CONSTRUCTION

В настоящее время на существующих автомобильных дорогах России и за рубежом преобладают дорожные одежды с асфальтобетонным покрытием и основанием из несвязанных материалов, не отвечающие требованиям по долговечности и несущей способности, а так же ровности дорожного полотна. Следствием сложившегося положения является быстрое разрушение автомобильных дорог и колееобразование, требующие немалых затрат на содержание и ремонт дорожных покрытий [1].

Постоянный рост интенсивности движения и грузонапряженности перевозок требует внедрения новых решений при конструировании дорожных одежд с увеличенными прочностными характеристиками.

В связи с этим необходимо тщательно изучить возможные перспективы и эффективность применения жестких оснований из

«тощего» бетона при строительстве, реконструкции и модернизации магистральных и территориальных автомобильных дорог.

Эффективность применения «тощего» бетона выражается в более низком расходе дорогостоящего связующего – цемента, длительных сроках эксплуатации и низких затратах на содержание дорог, стабильности деформативных свойств при температурных воздействиях, а так же высокого показателя ровности дорожного полотна и, как следствие, низких затратах на содержание дорог.

В России начало исследований по дорожному цементобетону относится к тридцатым годам прошлого века, а применяется он в дорожном строительстве с 1984 - 1985 гг., в основном при возведении оснований. В отечественной практике строительства дорог укатываемый бетон в достаточно больших объемах использовался при реконструкции МКАД, при строительстве Каширского, Митинского, Киевского шоссе, третьего транспортного кольца, Ленинского проспекта, автомобильной дороги М 7 «Волга».

Существующий опыт показал, что дорожные конструкции с основанием из «тощего» бетона необходимы при устройстве магистральных дорог, а так же дорог с повышенной прочностью и сопротивляемостью жестким климатическим условиям, например в условиях холодного климата и вечной мерзлоты [2].

Повышенные требования по технологичности и прочности бетонной смеси для дорожного строительства в современных условиях приводят к необходимости использования модифицирующих добавок для получения композиционных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами.

Анализ технической и патентной литературы показал, что наряду с широким применением суперпластификаторов в производстве бетонов используются тонкомолотые дисперсные наполнители.

Результаты ранее проведенных исследований по влиянию органических наполнителей (цеолит, сапропель, глина, уголь) на прочностные характеристики цементного камня показали, что мелкодисперсные наполнители обеспечивают получение бетонов с улучшенными свойствами. Это дает основание предположить, что есть принципиальная возможность повышения прочностных характеристик бетона путем введения ультрадисперсных (нано) добавок различных генетических типов, преимущественно алюмосиликатного состава, родственного с цементным вяжущим. Наиболее целесообразным в этом случае является использование модификаторов, 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 [3].

Выдвинута гипотеза, что введение в состав «тощего» бетона модифицирующей добавки нанощпинели магния, имеющей родственную структуру к цементному камню, приведет к повышению эксплуатационных показателей разрабатываемого материала.

Целью данной работы является разработка модифицированных «тощих» бетонов для устройства оснований дорожных конструкций в условиях холодного климата.

В качестве исходного сырья для изготовления образцов «тощего» бетона были выбраны цемент, щебень, песок, вода, нанощпинель магния.

Щебень (20-40 мм) произведен в ОАО Производственное объединение «Якутцемент», свойства щебня представлены в таблице 1.

Содержание фракции менее, мас. %		
10 мм	15 мм	20 мм
50	45	5

Таблица 1 – Свойства щебня

№	Показатель	Значение, %
1.	Зерновой состав щебня – больше 40 мм	3, 2 %
2.	Зерновой состав щебня – больше 30 мм	37, 4 %
3.	Зерновой состав щебня – больше 20 мм	97, 7 %
4.	Содержание зерен пластичной и игловой формы	10, 2 %
5.	Содержание пылевидных, глинистых и илистых частиц	0, 8 %
6.	Содержание зерен слабых пород	3, 4 %
7.	Марка щебня по прочности	600
8.	Щебень соответствует требованиям ГОСТ 8267-93	—
9.	Содержание вредных компонентов и примесей	—

Для изготовления смесей использовали следующий гранулометрический состав щебня (табл. 2).

Таблица 2 – Гранулометрический состав щебня

В качестве наполнителя использовали песок речной, средней крупности, соответствующий требованиям ГОСТ 8736-93.

Предварительную сушку осуществляли при температуре 90° С в течение 24 часов, просеивание - через специальное сито для строительных песков.

В качестве основного связующего сырья для изготовления образцов «тощего» бетона был выбран портландцемент М400-Д20 Мохсоголлохского месторождения Республики Саха (Якутия), производства ОАО ПО «Якутцемент», который обладает 26,5 МПа (кгс-кв.см) активностью при пропаривании (средняя за месяц), 2 группой эффективности при пропаривании, 27 % густотой цементного теста, без признаков ложного схватывания, менее 370 Бк/кг удельной эффективной активностью естественных радионуклидов, согласно ГОСТ 10178-85 [4].

В качестве модификатора использовали порошок наношпинели магния, полученный плазмохимическим синтезом. Характеристика наношпинели магния представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика наношпинели магния

Наименование	Rep, нм	q, м <sup>2</sup> /г	Фазовый состав	Тип кристаллической решетки	P> кг/м <sup>3</sup>	T <sub>пл</sub> , К
Наношпинель магния MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	50-70	160-170	MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	кубическая	3580	2135

Особенностью используемого модификатора являются высокая дисперсность (размер частиц порядка 50-70 нм), развитая удельная поверхность (от 40 до 170 м /г), одинаковое соотношение оксидных фаз.

Основой пространственной решетки является кубическая плотная гранцентрированная упаковка отрицательных кислородных ионов, между которыми образуются два вида промежутков: октаэдрические и тетраэдрические. Катионы располагаются в междуузлиях, заполняя их лишь частично. Заполненные и незаполненные октаэдрические пустоты чередуются через одну, образуя цепочки.

Проблемным вопросом применения наноразмерных частиц в технологии бетона является способ их введения в смесь. Равномерное распределение по объему бетона наночастиц, особенно в порошковом виде, является чрезвычайно сложной задачей. Поэтому для их введения в смесь требуется сначала получить устойчивую слабоконцентрированную водную суспензию из них, а затем эту суспензию вводить в смесь при тщательном перемешивании. Последнее обстоятельство обуславливает количество новообразований в бетонной смеси и, тем самым, характер структурообразования цементного камня и рост прочности бетона. Увеличение количества новообразований усиливает рост прочности бетона [5].

Для проведения исследований были изготовлены цилиндрические образцы методом формования на прессе в формах-цилиндрах высотой и диаметром  $102\pm 2$  мм, состав которых представлен в таблице 4.

Уплотняющая нагрузка составляла 10 МПа, время приложения нагрузки - 3 мин. На каждый вид и срок испытания было изготовлено по 5 образцов.

Таблица 4 – Состав «тощего» бетона

№	Наименование	Содержание в смеси, мас. %
1.	Щебень	53
2.	Песок	30
3.	Цемент	10
4.	Вода	7
5.	Наношпинель магния	0,01 (от веса цемента) 0,05 (от веса цемента) 0,1 (от веса цемента) 0,5 (от веса цемента) 1 (от веса цемента)

Дозирование компонентов проводили согласно данным, представленным в таблице 4., при этом добавки наношпинели магния предварительно вводили в воду.

Способ и режим твердения образцов бетона осуществляли по ГОСТ 10180-90 и ГОСТ 18105-86 в течение 3, 7, 28 суток.

Были определены значения прочности при сжатии исходных образцов в разные сроки твердения, результаты которых представлены на рисунке 1.

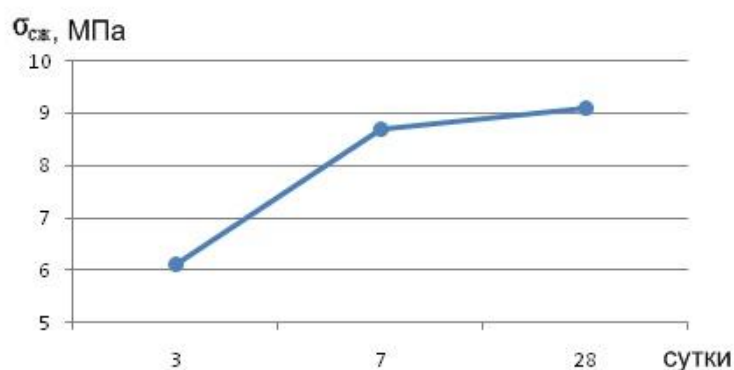


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности при сжатии образцов  $\sigma_{сж}$  от времени твердения

Установлено, что прочность при сжатии исходных образцов повышается с увеличением сроков твердения и составляет 9,1 МПа в 28-суточном возрасте, что на 33 % выше прочности при сжатии образцов в 3-суточном возрасте. Полученные значения прочности при сжатии соответствуют марке М100 «тощего» бетона.

С целью определения оптимальных модифицированных составов было исследовано влияние содержания наношпинели магния на прочность при сжатии образцов. Содержание шпинели магния варьировалось от 0,01 мас.% до 1 мас.%.

Результаты исследований прочности при сжатии образцов в зависимости от состава и времени твердения представлены на рисунке 2.

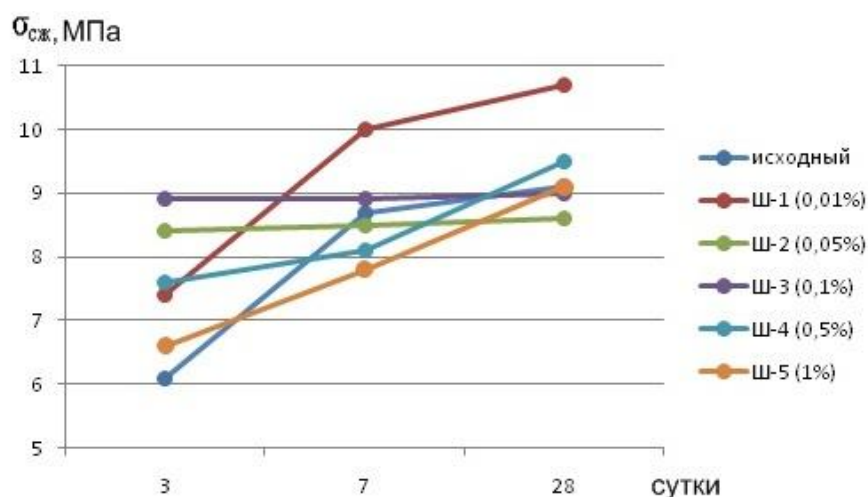


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при сжатии образцов  $\sigma_{сж}$  от времени твердения

Анализ полученных результатов показал, что лучшее значение прочности при сжатии, равное 10,7 МПа, имеет состав с содержанием нанощпинели магния в количестве 0,01 мас.%, это на 15 % больше значения прочности исходных образцов в том же возрасте.

Увеличение количества нанощпинели магния в составе выше 0,01 мас.% приводит к снижению значений прочности при сжатии.

Таким образом, выбрано оптимальные содержания нанощпинели магния в композите, равное 0,01 мас.% от веса цемента.

Исследования влияния содержания нанощпинели магния на водопоглощение проведены в соответствии с ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения» на образцах цилиндрической формы высотой и диаметром  $102 \pm 2$  мм. Для определения остаточной прочности после водопоглощения образцы подвергались испытанию на прочность при сжатии (рис. 3,4).



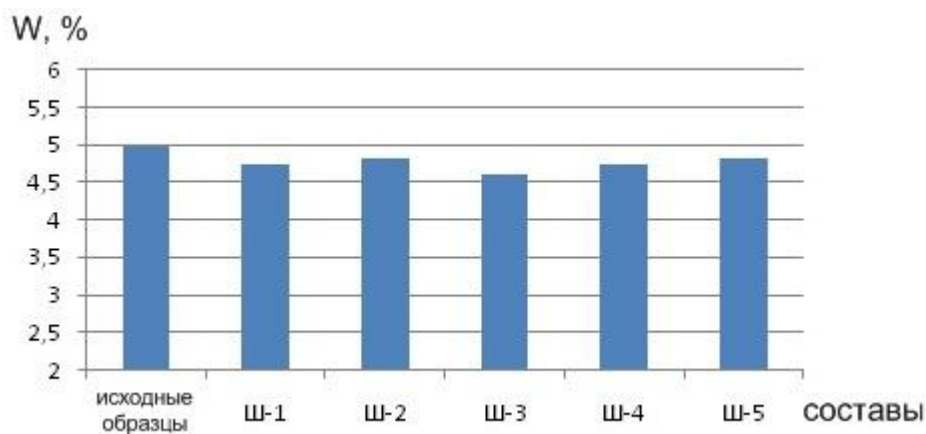


Рисунок 3 – Зависимость водопоглощения от содержания наношпинели магния

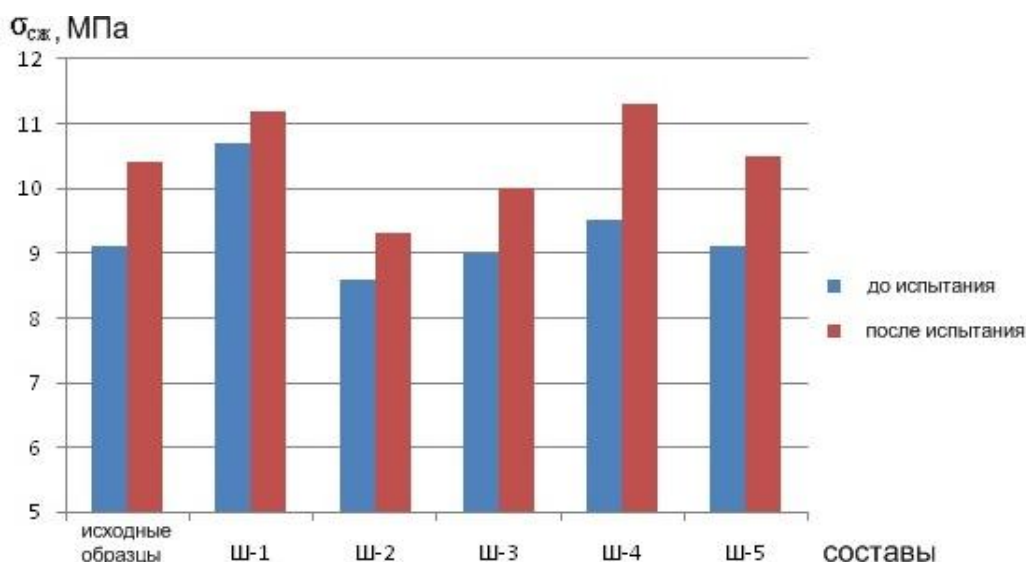


Рисунок 4 – Сравнительная прочность образцов при сжатии до и после испытаний на водопоглощение

Установлено, что время максимального насыщения водой составляет 3 суток, все модифицированные составы имеют значения водопоглощения ниже, чем у исходных образцов в среднем на 5%.

Самыми высокими значениями прочности при сжатии после испытания на водопоглощение обладают составы с содержанием наношпинели магния в количестве 0,01мас.% и 0,5мас.%. Кроме этого, заметен дальнейший рост прочности при сжатии всех модифицированных составов. Возможно, что высокая дисперсность частиц и развитая удельная

поверхность наношпинели магния приводит к образованию более сложной развитой структуры, вызывает направленное твердение цементного камня при созревании бетона, тем самым, повышая прочностные характеристики разрабатываемого материала.

Исследование влияние содержания наношпинели магния на морозостойкость разрабатываемых материалов показали, что образцы всех составов выдержали 5 циклов попеременного замораживания-оттаивания без видимых признаков повреждения и образования трещин на поверхности. Всем составам можно утвердить марку F100 морозостойкости бетонов.

Экспериментальные данные по исследованию зависимости остаточной прочности при сжатии после испытания на морозостойкость от содержания наношпинели магния представлены на рисунке 7.

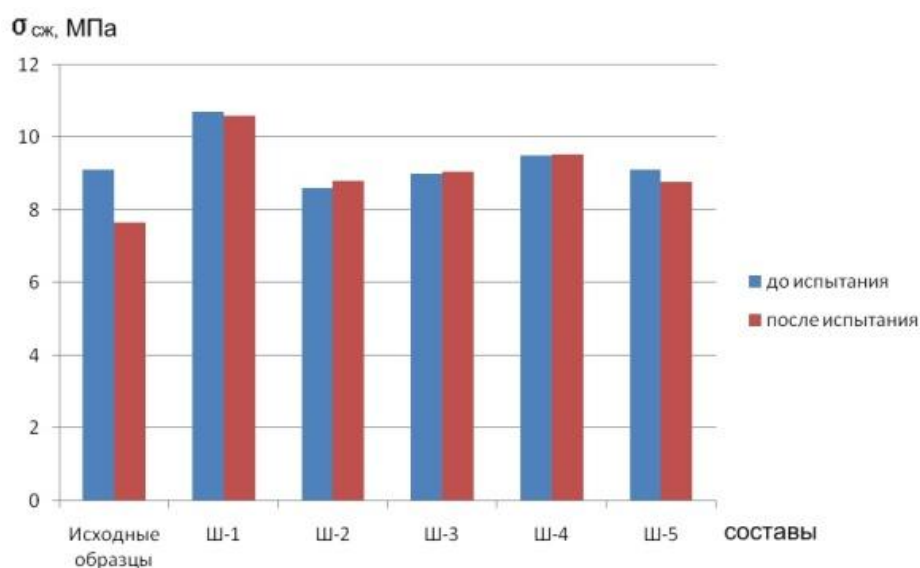


Рисунок 7 – Сравнительная прочность образцов на сжатие до и после испытание на морозостойкость

Установлено, что остаточная прочность исходных образцов снизилась на 16%, а остаточная прочность наномодифицированных образцов остается на исходном уровне, при этом образцы содержанием наношпинели магния 0,05 – 0,5мас.% имеет тенденцию к нарастанию

прочности при сжатии. Лучшим показателем значения остаточной прочности на сжатие обладает состав с содержанием нанощпинели магния в количестве 0,01мас.%.

Сравнительные данные физико-механических свойств исходных и наномодифицированных образцов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Физико-механические свойства материалов

Состав	$\rho$ , (кг/м <sup>3</sup> )	$\sigma_{сж}$ , (МПа)	W, (%)	$\sigma_{ост}$ , (МПа) после водопогло- щения	$\sigma_{ост}$ , (МПа) после промора- живания
Исходный	2243	7,97	4,99	10,4	7,65
Модифицированный (0,01мас.%)	2240	9,37	4,73	11,2	10,59

Анализ представленных данных показал, что разработанные материалы обладают улучшенными физико-механическими свойствами и могут быть использованы для устройства оснований дорожной одежды.

Прочность при сжатии наномодифицированных образцов на 17% выше показателя прочности при сжатии исходных образцов, водопоглощение - ниже на 5%, остаточная прочность после испытания на водопоглощение - выше на 8%, остаточная прочность после испытания на морозостойкость - выше на 38%.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Установлено, что предел прочности при сжатии образцов из «тощего» бетона зависит от времени твердения и достигает максимального значения в возрасте 28 суток, лучшее значение прочности на сжатие имеет состав с содержанием нанощпинели магния в количестве 0,01мас.%.

2) Максимальное время водонасыщения образцов составляет 3 суток, водопоглощение образцов с наношпинелью магния ниже, чем у исходных в среднем на 5%, прочность на сжатии всех образцов продолжает нарастать после испытания на водопоглощение.

3) Все образцы прошли испытание на морозостойкость и соответствуют марке F100 по морозостойкости бетонов для дорожных и аэродромных покрытий, введение модифицирующей добавки наношпинели магния позволяет значительно снизить потерю прочности при сжатии после испытания на морозостойкость, повышая эксплуатационные качества модифицированных «тощих» бетонов для устройства основания автомобильных дорог в условиях холодного климата.

4) Разработан оптимальный состав образцов наномодифицированного «тощего» бетона: щебень – 53 мас.% (не менее 10мм – 50 мас.%, не менее 15 мм – 45 мас.%, не менее 20 мм – 5 мас.%), цемент – 10 мас.%, песок – 30 мас.%, вода – 7 мас.%, наношпинель магния – 0,01мас.% (от веса цемента).

#### Литература

1. Конструкции и типы дорожных одежд: [Электронный ресурс].
2. Петрович П. П., Дмитриев А. В. Современное состояние и перспективы применения технологии укатываемого бетона – М.: МАДИ-ГТУ, 2004. С.78-81.
3. Николаевич П. А. Нанобетон – концепция и проблемы. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и армирующей фибры. – Санкт-Петербург: ООО «Научно-технический центр прикладных нанотехнологий». – 2005. С.134-136.
4. Методические рекомендации по устройству оснований дорожных одежд из «тощего» бетона – М.: РОСАВТОДОР, 2003. С. 52-55.
5. Ушаков В. В. Перспективы и эффективность применения цементобетона в дорожном строительстве // Наука и техника в дорожной отрасли. – М.: Дороги. – 2002 – № 4 – С. 3.