

Для цитирования: Иноземцев, А.С. Особенности реологических свойств высокопрочных легких бетонов на полых микросферах [Текст] / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Журнал «Вестник МГСУ». 2013. №6. С.100-108.

УДК 691.327.3

Технологические параметры изготовления высокопрочных легких бетонов и их свойства*

Иноземцев А.С.¹, Королев Е.В.²

В работе представлены результаты исследования технологических параметров изготовления энергоэффективных наномодифицированных высокопрочных легких бетонов, обоснован выбор наполнителя и наноразмерного модификатора. Отражены основные свойства разработанных бетонов и экономическая эффективность их внедрения в производство.

Ключевые слова: высокопрочный легкий бетон, микросферы, наноразмерный модификатор, нанобетон

В настоящее время миграция и повышение плотности населения требует рационального использования территорий, повышения эффективности которого достигается строительством многоэтажных и высотных зданий, сети дорожных развязок, мостов и т.д. Потребность увеличения высоты зданий приводит к повышению требований к строительным материалам по физико-механическим и эксплуатационным свойствам, а также к сохранению размеров сечений конструкций. Исходя из этого, актуальной является задача по разработке технологии производства строительных материалов с универсальным сочетанием конструктивных свойств.

Бетон на цементном вяжущем является одним из распространенных строительных материалов различного назначения, применяемых в промышленном и гражданском строительстве. При этом к бетону предъявляются различные требования по физико-механическим характеристикам. Однако наиболее привлекательным из них является сочетание низкой средней плотности и высокой прочности элементов конструкции.

Исследователи из разных стран осуществляли разработки по созданию легких бетонов с высокой прочностью для использования их в несущих конструкциях. При этом исследования были направлены на создание бетонов различной марки по плотности от D1500 до D1800. Универсальным критерием

* Печатается при поддержке гранта Президента МД-6090.2012.8

для сопоставления и оценки результатов является удельная прочность, характеризующая техническую эффективность материала, которая определяется по формуле:

$$R_{уд} = \frac{R_{сж}}{\rho_{отн}},$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа, $\rho_{отн}$ – относительная плотность.

Для высокопрочных тяжелых бетонов с маркой по прочности более М600 удельная прочность составляет $R_{уд} \geq 25$ МПа, поэтому высокопрочные легкие бетоны должны соответствовать таким же показателям технической эффективности.

Мировой опыт по созданию высокопрочных легких бетонов известен с 1999 года. Первые попытки ученых из Кувейта [2], которые, используя керамзит, бой кирпича и гравий, получили легкий бетон плотностью 1500 кг/м^3 и пределом прочности при сжатии 22 МПа, но показатель удельной прочности для таких бетонов не превышал 15 МПа. С 2003 года [3, 4] использование в качестве наполнителя полых микросфер позволило достичь значений удельной прочности более 20 МПа. Так, исследователи из Турции и Бразилии разработали составы бетона на заполнителях из отходов ТЭЦ, так называемых золосфер, со средней плотностью $1800...1860 \text{ кг/м}^3$ и $1450...1600 \text{ кг/м}^3$ соответственно. В России в 2007 году [5, 6] разработаны составы нанобетона [11, 12], которые успешно апробированы при реконструкционных работах моста через р. Волга в Кимрском районе Тверской области. За счет применения в составе базальтового микроволокна, модифицированного полиэдральными многослойными углеродными наноструктурами фуллероидного типа, удалось получить составы бетона, наполненные полыми алюмосиликатными микросферами, со средней плотностью $1630...1680 \text{ кг/м}^3$ и пределом прочности при сжатии $42,7...46,9$ МПа. При этом удельная прочность таких бетонов составляет $25,4...28,7$ МПа.

Накопленный мировой опыт в области разработки высокопрочных легких бетонов показывает, что значения удельной прочности сопоставимые с тяжелыми высокопрочными бетонами могут быть достигнуты для легких бетонов за счет введения полых микросфер и создания прочного укрепляющего каркаса на цементной основе, обволакивающего наполнитель и заполняющего пустоты прочной и плотной структурой. Однако опубликованные в научной литературе результаты показывают, что удельная прочность высокопрочных легких бетонов с плотностью менее 1800 кг/м^3 не превышает 30 МПа.

На основании вышеизложенного следует, что актуальной задачей для современного строительства является разработка составов высокопрочных легких бетонов с удельной прочностью более 30 МПа и средней плотностью менее 1800 кг/м^3 . Создание бетонов, обладающих низкой средней плотностью, например 1500 кг/м^3 , и высокой технической эффективностью ($R_{уд} \geq 30$ МПа), значительно расширило бы область применения легких бетонов и позволило применять их в несущих конструкциях зданий и сооружений, а также сократить расходы на теплоизоляционные работы и уменьшить энергозатраты в процессе эксплуатации здания.

В лабораториях НОЦ «Нанотехнологии» МГСУ разработаны составы энергоэффективных наномодифицированных высокопрочных легких бетонов. Многокомпонентные высокопрочные легкие бетоны состоят из вяжущего, полидисперсной минеральной части, наполнителя, аппретированного комплексным наноразмерным модификатором сложного состава и пластифицирующей добавки на поликарбоксилатной основе. В качестве вяжущего вещества используется бездобавочный портландцемент марки ПЦ500 Д0, соответствующий ГОСТ 30118-2003. Минеральная часть состоит из заполнителей широкого фракционного состава, варьирование содержания которых позволяет регулировать физико-механические свойства бетона и получать бетон удельной прочностью более 40 МПа. Наполнителем, определяющим плотность бетонной смеси, являются полые стеклянные или алюмосиликатные микросферы, поверхность которых модифицирована добавкой, содержащей наноразмерный комплекс. Очевидно, что важнейшим фактором, оказывающим влияние на прочность легких бетонов на полых микросферах, будет прочность оболочки микросфер. Исследования влияния вида и марки микросфер на удельную прочность высокопрочных легких бетонов представлены на рис.1.

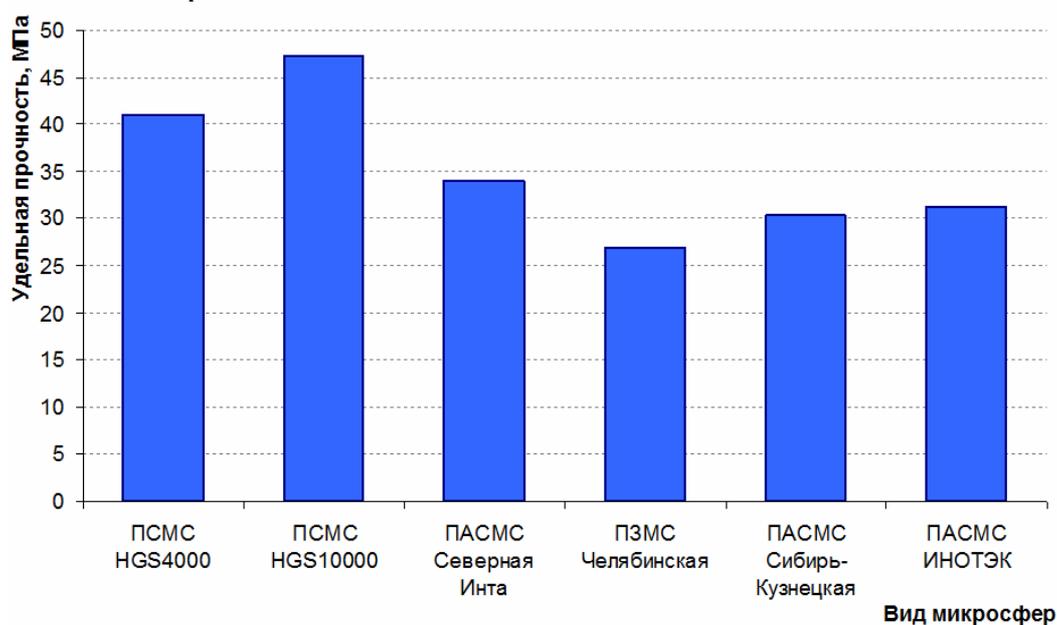


Рис.1. Влияние вида микросфер на удельную прочность высокопрочных легких бетонов: ПСМС – полые стеклянные микросферы; ПАСМС – полые алюмосиликатные микросферы; ПЗМС – полые золотомикросферы.

Из рис. 1 видно, что полые стеклянные микросферы, аморфные по природе, имеют более высокие показатели удельной прочности. Это объясняется более прочной структурой материала оболочки микросфер. Кроме того, более толстая стенка таких микросфер существенно увеличивает плотность наполнителя, что в свою очередь, требует большего их расхода для достижения требуемой средней плотности легкого бетона. При этом большим недостатком является стоимость стеклянных микросфер, которая превышает стоимость керамических аналогов в 8-10 раз. Отсюда технически и экономически наиболее привлекательным является использование полых алюмосиликатных микросфер.

Таким образом, вид наполнителя, его дисперсный состав и свойства оказывают влияние на его процентное содержание в составе бетона. Соотношение всех составных частей бетона определяется требуемыми физико-механическими показателями изделия и проектируется для каждой марки по плотности индивидуально. Разработанные методы проектирования наномодифицированных высокопрочных легких бетонов позволяют получать состав любой марки по плотности, получая как облегченный бетон, так и легкий бетон со средней плотностью менее 1800 кг/м³.

Зависимость физико-механических свойств наномодифицированных высокопрочных бетонов от содержания микросфер (рис. 2) показывает, что введение наполнителя низкой плотности способствует закономерному снижению предела прочности при сжатии. Но показатель технической эффективности, характеризуемый удельной прочностью, изменяется менее интенсивно, что объясняется нивелирующим влиянием комплексного наноразмерного модификатора.

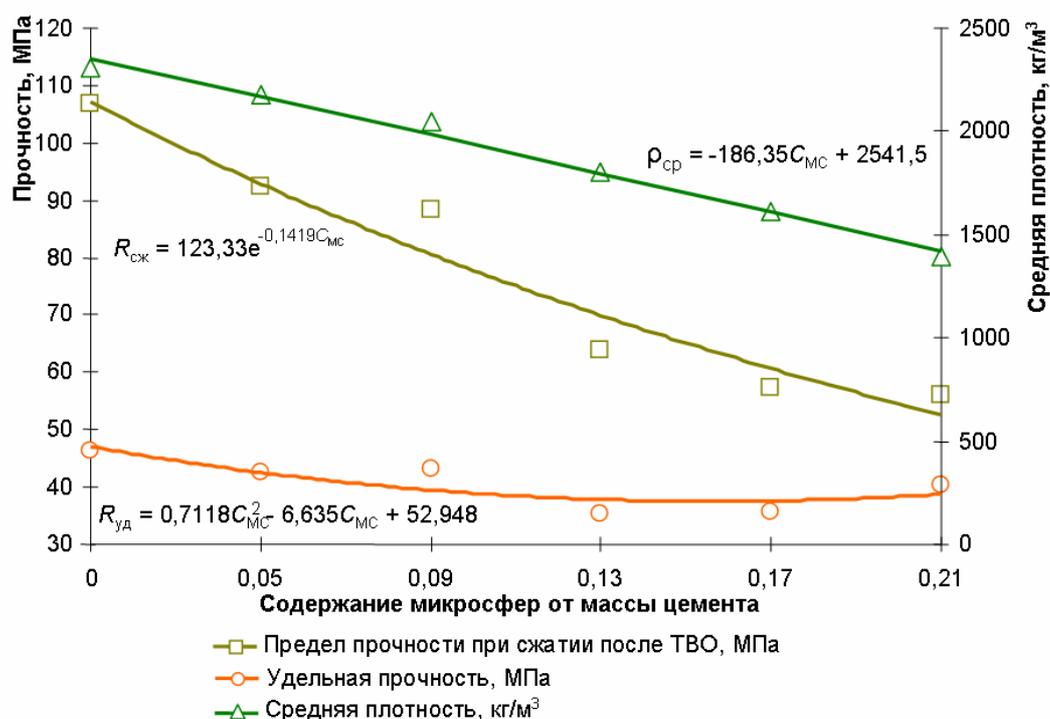


Рис.2. Зависимость физико-механических свойств наномодифицированных высокопрочных легких бетонов от содержания микросфер

Отметим, что график функции $R_{сж}=f(C_{МС})$ имеет экспоненциальный вид, а изменение удельной прочности от содержания микросфер подчиняется квадратичной зависимости. Это может быть связано с тем, что при увеличении объемной степени наполнения микросфер более 17% от массы цемента достигается более плотная упаковка частиц наполнителя сферической формы.

Очевидно, что определяющим фактором для физико-механических свойств бетона является наполнитель (полые микросферы). Их содержание позволяет регулировать плотность бетона, а также его прочность посредством регулирования плотности упаковки каркаса частиц. Прочность бетона будет

зависеть от прочности оболочки микросфер и цементно-минеральной матрицы, обволакивающей частицы наполнителя. Для увеличения прочности оболочки полых микросфер предлагается использовать комплексный наноразмерный модификатор, который синтезируется по трехстадийной технологии. Образуя кремний-кислородный каркас и усиливая адгезию цементно-минеральной матрицы к поверхности микросфер, модификатор образует вторичную укрепляющую оболочку, схожую по составу с материалом носителя.

Разработаны составы высокопрочных легких бетонов со средней плотностью 1300...1500 кг/м³ и определены базовые показатели прочности при сжатии с использованием стеклянных и алюмосиликатных полых микросфер, которые составили значения в диапазоне 40,0...65,0 МПа. Удельная прочность таких составов варьируется от 25,0 до 45,0 МПа.

Таблица

Некоторые свойства энергоэффективного наномодифицированного высокопрочного легкого бетона

Наименование показатель	Значение
Средняя плотность, кг/м ³	1300...1500
Предел прочности при сжатии, МПа	40,0...65,0
Удельная прочность, МПа	30,0...55,0
Водопоглощение, %	менее 2,5
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	менее 0,60
Коэффициент температуропроводности, ·10 ⁻⁷ м ² /с	менее 5,00
Удельная теплоемкость (при T=25°С), кДж/кг·К	0,80...1,15

Применение разработанного наномодификатора для поверхностной обработки полых стеклянных или алюмосиликатных микросфер в составах высокопрочных легких бетонов приводит к увеличению прочности не менее чем на 25%, что позволяет увеличить удельную прочность композита до 30,0...55,0 МПа.

Экономическая обоснованность, определяющая перспективы внедрения разработанных составов, строится на расчете эффективности применения бетона в конструкции. Так, примем для расчета экономической эффективности модель, где на участке в 1000 м² с заданными условиями грунтов и оснований, имеется возможность возведения жилого здания каркасного типа с ограждающими конструкциями из стеновых панелей. Пусть строительство такого объекта с применением тяжелого бетона позволит возвести 16-этажное здание на имеющейся площади. Тогда, используя наномодифицированный высокопрочный легкий бетон средней плотностью 1400 кг/м³, на этом же участке при прочих равных условиях можно построить здание с аналогичной массой высотой в 27 этажей. В таком случае экономическая выгода от продажи построенной недвижимости будет выше на 25% по сравнению с объектом из тяжелого бетона. При этом меньшая теплопроводность предлагаемого бетона обеспечит экономию на теплоизоляционных работах на единицу площади более 90%. А в дальнейшем позволит сократить расходы на отопление помещений в процессе эксплуатации.

Таким образом, получены составы энергоэффективных наномодифицированных высокопрочных легких бетонов с высоким показателем технической эффективности, что позволяет существенно расширить область применения легких бетонов. Такие бетоны позволяют более чем на 40% уменьшить нагрузку на конструкционные элементы здания, сохранить несущие характеристики и улучшить теплофизические свойства (таблица).

Библиографический список:

1. Jamal Alduaij, Khalid Alshaleh, M Naseer Haque, Khalid Ellaihy, Lightweight concrete in hot coastal areas // Cement and Concrete Composites, 1999, Vol. 21, №5–6, P. 453-458.
2. Rossignolo JA, Agnesini MVC, Morais JA. Properties of highperformance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates // Cement and Concrete Composites, 2003, №25, P. 77-82.
3. Ergul Yasar, Cengiz Duran Atis, Alaettin Kilic, Hasan Gulsen, Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash// Materials Letters, 57, 2003, P. 2267-2270.
4. Technical Report Ishikawajimiharima. Evaluation of fatigue durability precast PC slab lightweight high-strength, 2004-3, Vol.44, №.2, P. 83-90.
5. Пат. 2355656 С2 РФ, МПК С04В28/02. Бетонная смесь / Пономарев А.Н., Юдович М.И. - Оpubл. 20.05.2009. – 3 с.
6. Фиговский О.Л., Бейлин Д. А., Пономарев А.Н. Успехи применения нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2012. № 3. С. 6–22.

¹ **Иноземцев Александр Сергеевич** – аспирант кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов» института строительной архитектуры ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», инженер-испытатель научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии».

Область научных интересов: высокопрочные легкие бетоны, нанотехнологии в строительном материаловедении.

Адрес: г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, НОЦ НТ, 111 КМК

Телефон: 8-499-188-04-00

e-mail: InozemcevAS@mgsu.ru

сайт: www.nocnt.ru



² **Королев Евгений Валерьевич** – д.т.н., профессор, директор научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии» ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет»

Область научных интересов: строительное материаловедение, нанотехнологии в строительном материаловедении.

Адрес: г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, НОЦ НТ, 111 КМК

Телефон: 8-499-188-04-00

e-mail: Korolev@nocnt.ru

сайт: www.nocnt.ru

