

For citation: Korolev, E.V. Preparation and research of high-strength lightweight concrete by hollow microspheres [Text] / E.V. Korolev, A.S. Inozemtcev // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 746. 2013. P. 285-288.

Строительство и архитектура/4. Современные строительные материалы

Иноземцев А.С., аспирант, инженер-испытатель, Королев Е.В., д.т.н., профессор, директор НОЦ «Нанотехнологии», Луцюк Е.М., студент
ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», Россия

Высокопрочные легкие бетоны конструкционного назначения*

**Печатается при поддержке гранта Президента МД-6090.2012.8*

Легкие бетоны в строительстве известны с давних времен, их применяли еще во времена Римской империи при строительстве Колизея и Пантеона, где использовался легкий заполнитель в виде агрегатов измельченной лавы, боя кирпича и пемзы [1]. Однако низкая плотность, характерная для таких бетонов, имеет наибольший интерес в сочетании с высокой прочностью. Наличие таких характеристик расширяет область применения легких бетонов и позволяет применять их в качестве конструкционного строительного материала для промышленного и гражданского строительства.

Для оценки мирового опыта в направлении разработки легких бетонов с высокой прочностью [2...7] воспользуемся универсальным критерием удельной прочности, характеризующим техническую эффективность материала, который определяется по формуле:

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

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

Результаты работ исследователей из разных стран показывают, 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/м³ не превышает 30 МПа.

Развитие строительства уникальных зданий требует повышения указанного показателя при снижении средней плотности бетона. Создание таких бетонов позволило расширить функциональные возможности бетона, повысить архитектурную выразительность, 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 СЕМІ 42,5, соответствующий EN 197-1. 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 бетона, 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.

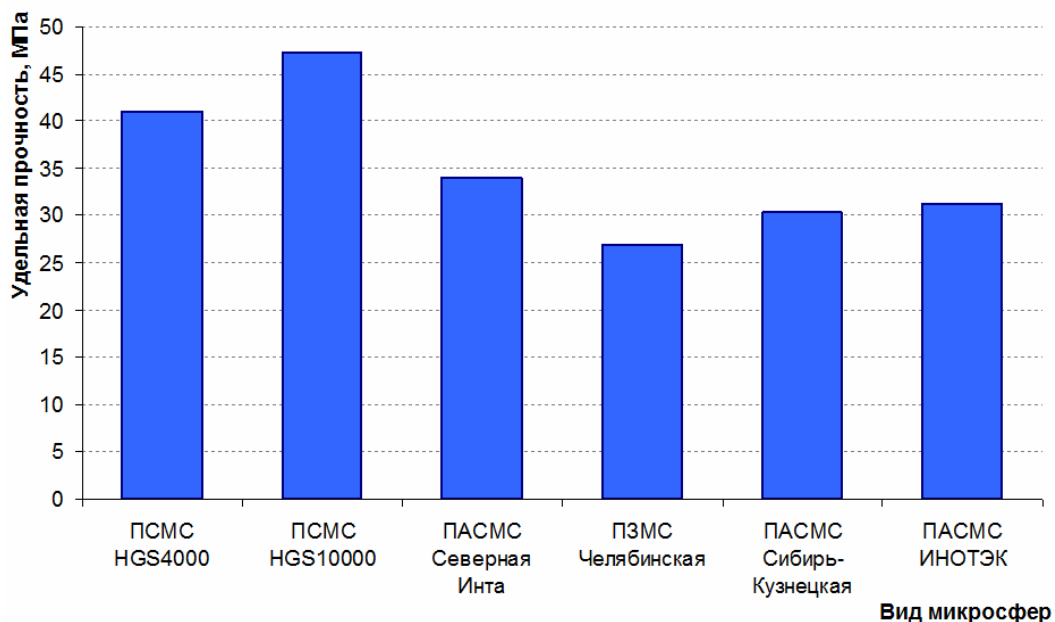


Рис.1. Влияние вида микросфер на удельную прочность высокопрочных легких бетонов.

ПСМС – полые стеклянные микросферы, ПАСМС – полые алюмосиликатные микросферы, ПЗМС – полые золомикросферы.

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. Однако, как стеклянные, так и алюмосиликатные микросферы обладают хорошей смачиваемостью, что приводит к высокой водопотребности смеси. При этом увеличение В/Ц отношения не допустимо, поскольку это приводит к нарушению однородности и расслоению бетонной смеси. Решением этой проблемы являются полиэфиркарбоксилатные пластификаторы, обладающие высоким редуцирующим эффектом. Применение таких пластификаторов позволяет сократить расход воды и сохранить подвижность бетонной смеси, обеспечивая однородность при виброуплотнении (рис. 2).

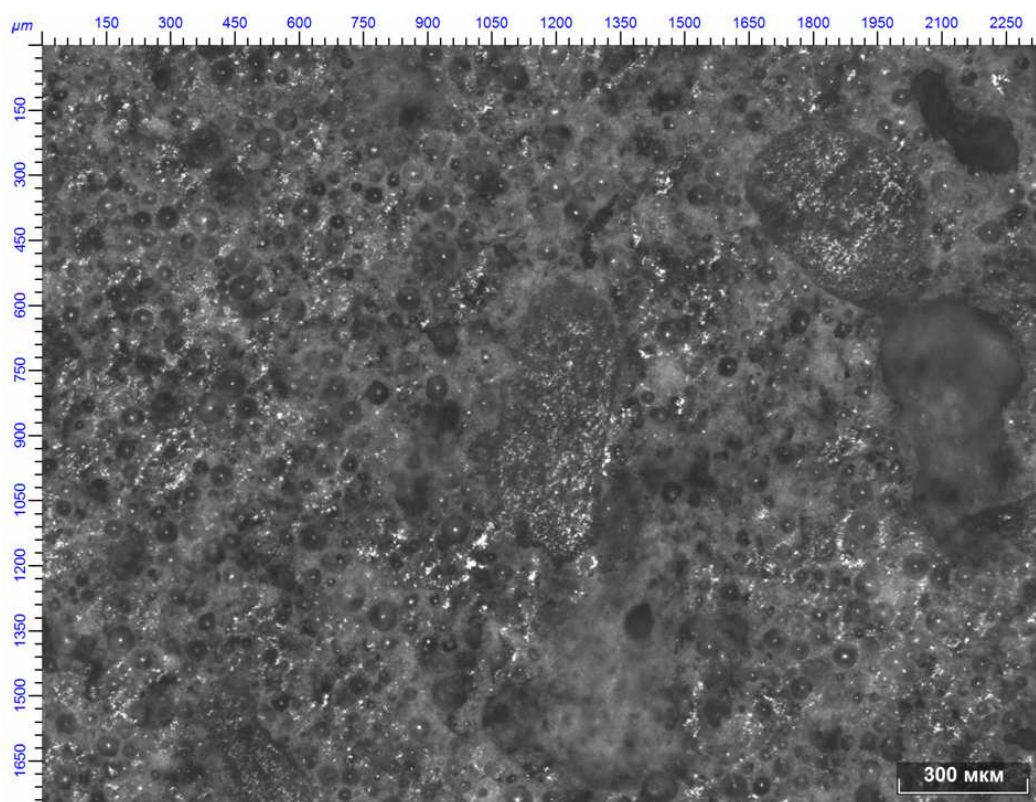


Рис.2. Микрофотография структуры высокопрочного легкого бетона

Анализ кинетики набора прочности (рис. 3) показывает, что на 7 сутки предел прочности при сжатии достигает 40% марочной прочности как для

легких, так и для тяжелых высокопрочных легких бетонов. Что свидетельствует о том, что твердение разработанных составов бетона протекает с той же интенсивностью, что и твердение тяжелых бетонов. Это свидетельствует об оптимальности подобранного В/Ц отношения, равного $0,35 \pm 0,03$, которое обеспечивает равномерность протекания гидратационных процессов.

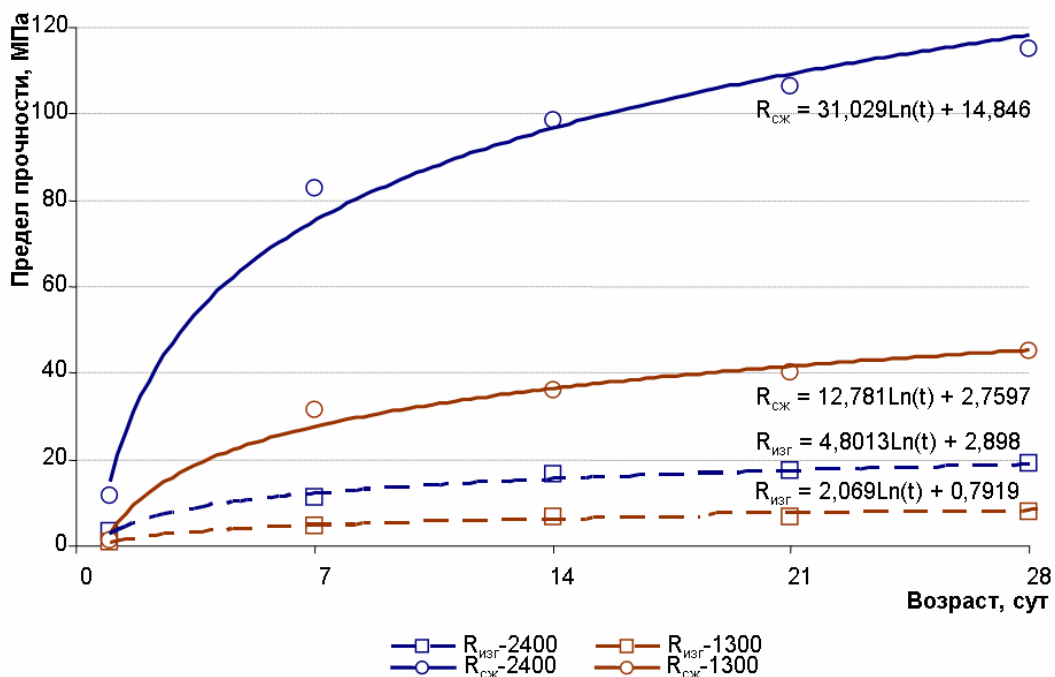


Рис.3. Кинетика набора прочности:

$R_{изг}$ -1300, $R_{изг}$ -2400 – предел прочности при изгибе для высокопрочных бетонов средней плотностью 1300 и 2400 кг/м³, соответственно;
 $R_{сж}$ -1300, $R_{сж}$ -2400 – предел прочности при сжатии для высокопрочных бетонов средней плотностью 1300 и 2400 кг/м³, соответственно

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.

График изменения физико-механических свойств наномодифицированных высокопрочных бетонов от содержания микросфер (рис. 3) 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.

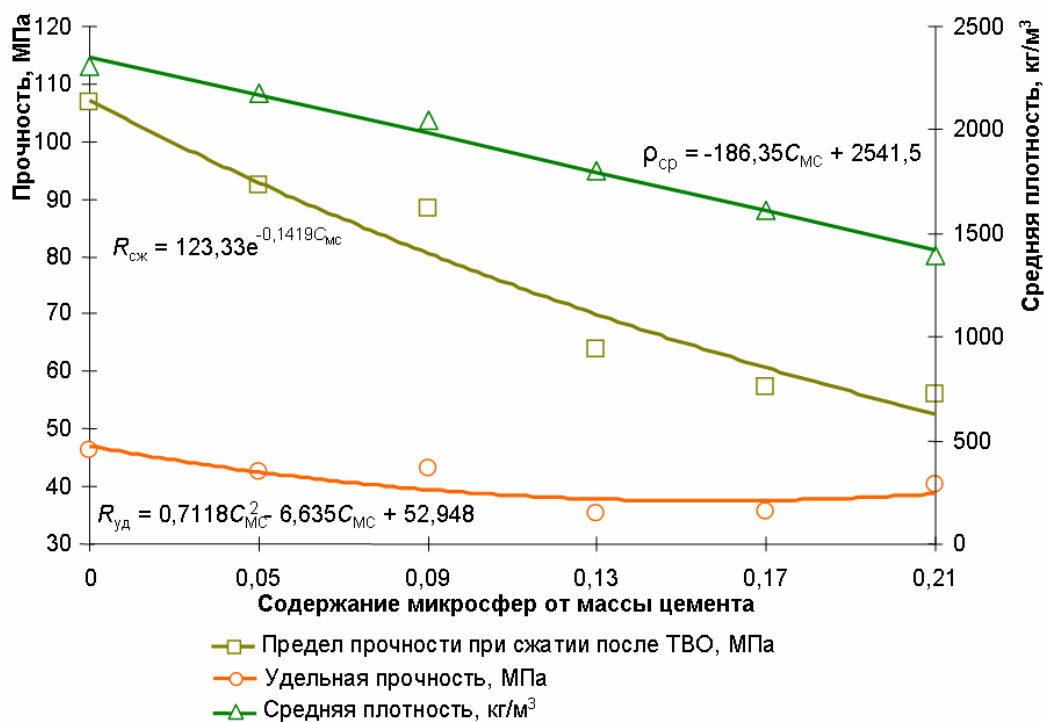


Рис.4. Изменение физико-механических свойств наномодифицированных высокопрочных легких бетонов от содержания микросфер

Отметим, что график функции $R_{сж}=f(C_{MC})$ имеет экспоненциальный вид, а изменение удельной прочности от содержания микросфер подчиняется квадратичной зависимости. Это объясняется тем, что при увеличении объемной степени наполнения микросфер более 17% от массы

цемента (45% по объему) 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. Приготовление модификатора основывается на новом способе синтеза золя кремниевой кислоты [8], который заключается в химическом связывании положительно заряженных ионов натрия, стабилизирующих кремнийкислородный каркас водных растворов гидросиликатов натрия, реализуемое взаимодействием с отрицательно заряженными наноразмерными частицами золя гидроксида железа (III). Выдвинута гипотеза о том, что комплексное воздействие наномодификатора обеспечит повышение гидратационной активности цемента и как следствие повысит прочность цементного камня. За счет образования на поверхности микросфер тоберморитоподобных гидросиликатов типа CSH (I) и появления новой фазы представленной гетитом FeOOH [9] увеличивается адгезия цементно-минеральной матрицы к наполнителю.

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.

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.

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, $\cdot 10^{-7}$ м ² /с	менее 5,00
Удельная теплоемкость (при $T=25^{\circ}\text{C}$), кДж/кг·К	0,80...1,15

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).

Литература:

1. Structural LWAC Specification and guideline for materials and production / The European Union – Brite EuRam III, EuroLightCon Economic Design and Construction with Light Weight Aggregate Concrete, 2000, p. 69.

2. Jamal Alduaij, Khalid Alshaleh, M Naseer Haque, Khalid Ellaithy, Lightweight concrete in hot coastal areas // Cement and Concrete Composites, 1999, Vol. 21, №5–6, P. 453-458.
3. 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.
4. 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.
5. Technical Report Ishikawajimaharima. Evaluation of fatigue durability precast PC slab lightweight high-strength, 2004-3, Vol.44, №.2, P. 83-90.
6. Пат. 2355656 С2 РФ, МПК С04В28/02. Бетонная смесь / Пономарев А.Н., Юдович М.И. - Оpubл. 20.05.2009. – 3 с.
7. 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.
8. Гришина А.Н. Королев Е.В. Синтез и исследование стабильности золя кремниевой кислоты в среде, содержащих наночастицы. // Сборник тезисов «Второй конференции стран СНГ «Золь-гель-2012».– Севастополь, Украина. – 2012. – С. 28.
9. Сватовская Л.Б., Соловьева В.Я., Чернаков В.А., Степанова И.В. Управление свойствами композиционных материалов на неорганическом вяжущем с добавками наноразмера. URL: <http://ntsr.info/science/library/2906.htm> (дата обращения: 01.10.2012).