

Для цитирования: Иноземцев, А.С. Полые микросферы – эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов [Текст] / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №10. С.80-83.

Иноземцев А.С., аспирант ИСА

Научный руководитель –

Королев Е.В., доктор технических наук,

проректор по учебной работе, директор НОЦ «Нанотехнологии»

ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЛЕГКИЙ БЕТОН

Стратегия социально-экономического развития России до 2020 года, подготовленная министерством экономического развития РФ, предполагает достижение к 2020 году амбициозных задач по обеспечению высокого уровня благосостояния населения и укреплению роли страны в глобальной экономике. Строительная отрасль, как неотъемлемая часть промышленного комплекса России, является одним из инструментов для решения поставленных задач и должна ориентироваться на развитие новых инновационных и энергоэффективных технологий. Использование современных конструкторских решений, новейших строительных материалов с применением разработок в области нанотехнологии должны обеспечивать интенсивный переход к высокотехнологичному строительному производству.

Перспективным направлением для строительной индустрии является разработка материалов, обладающих универсальным сочетанием эксплуатационных свойств. Одним из таких направлений является разработка конструкционных материалов с низкой средней плотностью и высокой прочностью.

Мировой опыт [1...8] по созданию легких бетонов с высокой прочностью показывает, что необходимы разработки конструкционных материалов со средней плотностью менее 1600 кг/м^3 и прочностью более 40 МПа. Достигнутые в этом направлении результаты [9, 10] свидетельствуют о том, что наиболее близкие показатели получены на составах бетона, наполненных полыми микросферами. Известно, что полые стеклянные и алюмосиликатные имеют насыпную плотность – от 150 до 500 кг/м^3 , средний размер – от 10 до 500 мкм, и коэффициент теплопроводности – 0,06...0,10 Вт/м·К. Из анализа литературы и патентного поиска [11...16] видно, что потенциал физико-механических свойств полых алюмосиликатных и стеклянных микросфер используется для создания материалов преимущественно теплоизоляционного назначения.

Авторами проекта разработана методика проектирования составов легких бетонов на полых микросферах с заданной плотностью бетона менее 2000 кг/м^3 . Разработаны составы энергоэффективных высокопрочных легких бетонов, содержащие вяжущее, минеральную часть, наполнитель, пластифицирующую добавку и воду. В качестве вяжущего вещества используется портландцемент марки ПЦ500 Д0, соответствующий ГОСТ 30118-2003. Наполнителем, определяющим среднюю плотность бетона, являются полые алюмосиликатные и/или стеклянные микросферы. Минеральная часть состоит из кремнеземистых наполнителей полидисперсного состава, обеспечивающих образование плотного каркаса за счет заполнения пустот между наполнителем. Исследования активности микросфер как наполнителя для цементных систем [17...19]

показали, что полые стеклянные микросферы обладают аморфной по природе оболочкой, незначительно кородирующие в щелочной среде, с высокой прочностью и не большим размером зерен. Однако гладкая и близкая к идеальной сфере форма частиц требует решения задачи по увеличению адгезионной прочности цементно-минеральной матрицы для чего был предложен комплексный наноразмерный модификатор. Алумосиликатные микросферы обладают меньшей прочностью, но за счет неправильной сферической поверхности, обладающей пуццоланической активностью, способствуют упрочнению зоны контакта цементного камня и заполнителя.

Разработан комплексный наноразмерный модификатор на основе золь гидроксида железа и золь кремниевой кислоты, который предлагается использовать для увеличения прочности контакта цементно-минеральной матрицы и оболочки стеклянных микросфер. Приготовление модификатора основывается на новом способе синтеза золя кремниевой кислоты [20], заключающийся в химическом связывании положительно заряженных ионов натрия прекурсора. За счет образования тоберморитопобонных гидросиликатов кальция типа CSH (I) и появления новой фазы, представленной гетитом FeOOH [21] на поверхности микросфер увеличивается адгезия цементно-минеральной матрицы к наполнителю.

На основе проведенных исследований получены составы высокопрочных легких бетонов на полых стеклянных и алумосиликатных микросферах с высоким показателем технической эффективности – $R_{уд} \geq 30$ МПа, 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).

Таблица

Некоторые свойства высокопрочных легких бетонов

Наименование показатель	Значение
Средняя плотность, кг/м ³	1300...1500
Предел прочности при сжатии, МПа	40,0...70,0
Предел прочности при растяжении на изгиб, МПа	5,0...8,5
Коэффициент трещиностойкости	более 0,10
Удельная прочность, МПа	30,0...50,0
Водопоглощение, %	менее 2,0
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
Коэффициент водостойкости	более 0,95
Морозостойкость, цикл	более 100

Исследования реологических свойств показали, что наиболее эффективным пластификатором для бетонных смесей на полых микросферах являются добавки на поликарбоксилатной основе. При этом физико-механические свойства прямо-пропорционально зависят от подвижности бетонной смеси. Увеличение диаметра расплыва конуса обеспечивает уплотнение бетонной смеси при формовании за счет равномерности распределения цементно-минеральной каркасообразующей матрицы по поверхности наполнителя и соответственно более плотной упаковке частиц микросфер. Так, при условии изменение подвижности (D_p) от 130 до 150 мм позволяет получать легкие бетоны с прочностью более 60 МПа. Необходимо отметить, что бетонные смеси на стеклянных микросферах при высокой подвижности склонны к расслоению, что

затрудняет технологическую оптимизацию. Предложенный наноразмерный модификатор позволяет структурировать бетонную смеси, увеличить сцепление на границе раздела фаз и повысить вязкость системы, обеспечивая однородность распределения наполнителя по объему.

В работе установлены закономерности влияния вида и размера частиц полых микросфер на физико-механические свойства высокопрочных легких бетонов, которые показали, что полые стеклянные микросферы, имеют более высокий как предел прочности при сжатии, так и удельную прочность. Это объясняется более прочной структурой материала оболочки микросфер и меньшим размером частиц, средний размер которых 30...35 мкм, что обеспечивает формирование более плотноупакованной структуры. Важно, чтобы объем цементно-минеральной матрицы равномерно распределялся по всей поверхности частиц микросфер, обеспечивая сцепление частиц наполнителя. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что в предлагаемых составах средней плотностью 1300 кг/м³ микросферы с радиусом 21,0±0,5 мкм имеют прослойку 13,5 мкм, т.е. ее толщина вокруг одной частицы составляет 6,75 мкм. Учитывая, что средний диаметр частиц полых алюмосиликатных микросфер равен 70 мкм, а объемное содержание цементно-минеральной матрицы в бетоне составляет 0,455, то равномерное распределение по поверхности всех частиц наполнителя обеспечивается при теоретической толщине 8,71 мкм. Поскольку расчетные и экспериментальные данные сопоставимы, то структуру разработанных составов высокопрочного легкого бетона можно характеризовать высокой равномерностью распределения по объему.

Проведены исследования влияния технологических режимов приготовления бетонной смеси на структуру и свойства высокопрочных легких бетонов. Установлены оптимальные режимы перемешивания (30 с при скорости вращения лопасти 140 об./мин и 210 с при скорости вращения лопасти 285 об./мин) для получения максимальных показателей предела прочности при сжатии до 42 МПа на 1 сутки после ТВО в лабораторных условиях. Рассчитаны параметры выходной мощности смесительного оборудования для промышленного производства высокопрочного легкого бетона с сохранением качества бетонной смеси, приготовленной в лабораторных условиях. Так, для приготовления бетонной смеси надлежащего качества, потребуется производственное смесительное оборудование турбинного типа с шестью лопастями и расчетной мощностью двигателя 39,2 кВт.

Таким образом, разработан высокопрочный легкий бетон конструкционного назначения с высокими физико-механическими, теплофизическими и эксплуатационными характеристиками. Универсальное сочетание свойств позволяет существенно расширить область применения легких бетонов и позволяет использовать их в несущих конструкциях при строительстве многоэтажных и высотных жилых и общественных зданий, устройстве транспортных сооружений и возведении объектов специального назначения.

Для оценки экономической эффективности применения высокопрочных легких бетонов при строительстве многоэтажных и высотных зданий предложена методика комплексного расчета экономической обоснованности внедрения предлагаемых бетонов, учитывающая положительные качества и преимущества материала. В [22] сформулированы экономические предпосылки применения высокопрочных легких бетонов, основанные на уменьшении общего веса конструкции здания, экономии на теплоизоляционных работах и сокращения материалоемкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Альдуаиш Дж., Альшале Х., Акуэ М. Н., Эллаити Х.* Легкий бетон в жарких прибрежных районах // *Cement and Concrete Composites*, Т. 21, №5–6, 1999, С. 453-458.
2. *Прошин А.П., Еремкин А.И., Береговой В.А., Королев Е.В., Береговой А.М., Краснощеков А.А., Соболев С.В., Лямов А.А.* Ячеистые бетоны для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и инженерных коммуникаций // *Журнал «Строительные материалы»*, №3, 2002, С. 14-15.
3. *Бедов А.И., Бабков В.В., Габитов А.И.* Использование бетонов и арматуры повышенной прочности в проектировании сборных и монолитных железобетонных конструкций // *Научно-технический журнал «Вестник МГСУ»*, №8, 2012, С. 76-84.
4. *Брайд С.П., Шукла А., Бозе А.* Производство и характеристики легких бетонов с использованием ценосфер // *Journal of materials science*, Т. 37, 2002, С 4217-4225.
5. *Россигноло Д., Агнесини М., Мораис Д.* Свойства высокопрочных легких бетонов для сборных конструкций с Бразильским легким заполнителем // *Cement and Concrete Composites*, Т. 25, 2003, С. 77-82.
6. *Ясар Э, Атис Ц.Д., Килис А., Гульсен Х.* Прочностные свойства легких бетонов, изготовленных из базальтовой пемзы и золы-уноса // *Materials Letters*, Т. 57, 2003, С. 2267-2270.
7. Технический отчет *Ishikawajimaharima* // Оценка усталостной долговечности сборных плит из легкого высокопрочного бетона, Т.44, №.2, 2004, С 83-90.
8. *Андрианов А.А.* Состав, ползучесть высокопрочного легкого бетона из смесей высокоподвижной и литой консистенции с модификаторами на органоминеральной основе / Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: ФГУП НИЦ «Строительство», 2007, 15 с.
9. Патент 2355656 РФ, МПК С04В28/02. Бетонная смесь / *Пономарев А.Н., Юдович М.И.* – Оpubл. 20.05.2009. – 3 с.
10. *Фиговский О.Л., Бейлин Д. А., Пономарев А.Н.* Успехи применения нанотехнологий в строительстве // «Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал». Москва: ЦНТ «НаноСтроительство», №3, 2012, С. 6–22. URL: <http://www.nanobuild.ru> (дата обращения: 22.03.2013).
11. *Орешкин Д.В., Сугкоев А.И.* Теплоизоляционный материал с полыми микросферами для условий ММП / Сб. докл.: Долговечность и защита конструкций от коррозии. – М.: НИИЖБ, 1999, С. 601-608.
12. *Кротова У.В.* Эффективные теплоизоляционные цементные растворы с алюмосиликатными полыми микросферами / Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Москва: ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2012, 22 с.
13. Патент 2154619 РФ, МПК С04В38/00. Легкий бетон / *Котляр В.Д., Шуйский А.И., Козлов А.В., Мальцев Е.В.* – Оpubл. 20.08.2000. – 6 с.
14. Патент 2329998 РФ, МПК С04В38/08. Сырьевая смесь для огнеупорного теплоизоляционного бетона / *Сычев С.Н., Кащеев И.Д.* – Оpubл. 27.07.2008. – 5 с.
15. Патент 2455253 РФ, МПК С04В28/26. Способ получения конструкционно-теплоизоляционного строительного материала на основе алюмосиликатных микросфер / *Бессонов И.В., Сапелин А.Н., Кордюков Н.П.* – Оpubл. 01.03.2011. – 5 с.
16. Патент 2251563 РФ, МПК С09D5/02. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер / *Беляев В.С.* – Оpubл. 10.05.2005. – 11 с.

17. *Орешкин Д.В., Сугкоев А.И.* Теплоизоляционный материал с полыми микросферами для условий ММП / Сб. докл.: Долговечность и защита конструкций от коррозии. – М.: НИИЖБ, 1999, С 601-608.
18. *Сагрядян А.А., Зимакова Г.А.* Исследование пуццоланической активности зольных микросфер // Известия. Высших учебных заведений. Строительство, №2, 2012, С. 43-47.
19. *Кротова У.В.* Эффективные теплоизоляционные цементные растворы с алюмосиликатными полыми микросферами / Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Москва: ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2012. – 22 с.
20. *Королев Е.В., Гришина А.Н.* Синтез и исследование наноразмерной добавки для повышения устойчивости пен на синтетических пенообразователях для пенобетонов // Строительные материалы №2. – 2013. – С. 30-33.
21. 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: 22.03.2013).
22. *Иноземцев А.С., Королев Е.В.* Экономические предпосылки применения высокопрочных легких бетонов // Научный журнал «Научно-технический вестник Поволжья», №5, 2012, С. 198-206.