

УДК 691

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОБЕТОНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### USE OF NANOCONCRETE IN CONSTRUCTION

**Крамаренко Аркадий Викторович**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «ПГСИГХ»,  
Тольяттинский государственный университет  
avk5@bk.ru

**Шафеев Радик Ринатович**

студент,  
Тольяттинский государственный университет

**Аннотация.** В статье проведен анализ инновационных материалов существующих в строительном производстве.

**Ключевые слова:** нанобетоны, экологически чистое, керамзитобетон.

**Kramarenko Arkady Viktorovich**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate professor,  
Associate professor «PGSiGH»,  
Togliatty State University  
avk5@bk.ru

**Shafeev Radik Rinatovich**

Student,  
Togliatty State University

**Annotation.** In article the analysis of the innovative materials existing in construction production is carried out.

**Keywords:** nanobeton, pollution-free, keramzitobeton.

В строительстве существует проблема снижения веса зданий и сооружений, которую можно решить путем замены тяжелых строительных материалов и конструкций на менее плотные. Например, на легкие и ячеистые бетоны, которые существенно уменьшают нагрузку на несущие элементы, обеспечивают хорошую тепло- и звукоизоляцию [1, 2]. Обычно применение легких и ячеистых бетонов из-за невысокой прочности ограничивается строительством самонесущих ограждающих конструкций. Однако сочетание низкой средней плотности, характерной для легких бетонов, и высокой прочности, присущей тяжелым бетонам, позволяет значительно расширить область применения легких бетонов. Применение такого материала обеспечивает здания и сооружения, с одной стороны, требуемыми прочностными свойствами, а с другой, позволяет существенно экономить на общем весе. Такой материал эффективен при строительстве транспортных сооружений: мостов, путепроводов, эстакад и т.д. Разработку состава и технологии получения композиционного облегченного бетона с высокими показателями физико-механических свойств, трещиностойкости и водостойкости для применения в мостостроении в работе [3] осуществляли путем решения комплекса задач, обеспечивающих:

– приготовление удобоукладываемой формовочной смеси с ограниченным количеством воды (до  $V/C = 0,22$ ) за счет введения в состав цементного бетона гиперпластификатора, акрилового полимерного связующего, обладающего пластифицирующими свойствами, и использования практической методики по подбору рациональных составов бетона;

– получение материала с пониженной плотностью за счет воздухововлекающего действия акрилового сополимера, применения в составе бетона тонкомолотого компонента, повышенного содержания рубленого базальтового волокна (до 3% и более) и возможного применения микросферы;

– повышение прочности композитного бетона за счет активации цемента и песка с помощью помольного вихревого комплекса, возможного использования коллоидного кремнегеля и применения специально разработанных смесителей: смесителя-дезинтегратора для дополнительной активации цементно-песчаной смеси с минеральными добавками и смесителя-активатора для интенсивного перемешивания и равномерного распределения по объему смеси дисперсно-армирующих волокон;

– получение требуемых показателей разрабатываемого композита по водопоглощению, водостойкости и морозостойкости за счет применения в качестве полимерного связующего водостойкого акрилового сополимера и формирования структуры материала с закрытой пористостью.

Разрабатываемый высокопрочный легкий бетон для строительства мостов с технологическими и физико-механическими свойствами, приведенными в таблице 1, позволил минимум на треть уменьшить нагрузку на пролетные строения мостов при сохранении их несущих характеристик. Приведенные в работе [3] рецептуры высокопрочных легких бетонов соответствуют поставленным требованиям по плотности и прочности, но имеют максимальную марку смеси по осадке конуса ПЗ. Разработан и испытан легкий наноструктурированный бетон, который был успешно апробирован при реконструкции моста через р. Волга в г. Кимры. Использование в составе алюмосиликатных микросфер, базальтового микроволокна (длина 500 мкм, диаметр 10 мкм), модифицирование полиэдральными многослойными углеродными наноструктурами фуллероидного типа позволило получить составы бетона со средней плотностью 1500–1600 кг/м<sup>3</sup>, пределом прочности при сжатии 45–55 МПа, прочностью на растяжение при изгибе 6–8 МПа, водонепроницаемость не менее W14, морозостойкость не менее F350, марку смеси по осадке конуса П4. Недостатком данной разработки является очень высокая стоимость бетона.

Состав предлагаемого бетона включает вяжущее, минеральную часть, наномодифицированный наполнитель, пластифицирующую добавку и воду. В минеральную часть входит: фракционированный кварцевый песок фр. 0,16–0,63 мм, каменная мука (продукт измельчения кварцевого песка или другой горной породы, содержащей кремнезем) с удельной поверхности 700–800 м<sup>2</sup>/кг и микрокремнезем, имеющий средний размер частиц 0,01–1 мкм. Наполнителем, определяющим плотность бетонной смеси, являются полые стеклянные или алюмосиликатные микросферы, поверхность которых модифицирована до- бавкой, содержащей наноразмерный комплекс. Получены составы высокопрочных легких бетонов со средней плотностью 1300–1400 кг/м<sup>3</sup> и определены базовые показатели прочности при сжатии с использованием стеклянных и алюмосиликатных полых микросфер, которые составили значения в диапазоне 40–65 МПа.

Нами была поставлена задача получить легкий бетон с керамзитовым заполнителем со средней плотностью 1500–1600 кг/м<sup>3</sup>, маркой смеси по осадке конуса П4–П5 с использованием недорогого сырья для использования его в строительстве транспортных сооружений.

В таблице 1 приведен состав высокопрочных легких бетонов.

Таблица 1 – Показатели бетонов

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей	
		Легкий бетон	Нанобетон
1	Подвижность бетонной смеси, см	–	10
2	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1300–1500	1450–1600
3	Прочность при сжатии, МПа	40–65	45–60
4	Прочность на растяжение при изгибе, МПа	6–8	–
5	Водопоглощение, %	–	2,5
6	Коэффициент конструктивного качества	0,375	0,433

Тенденции в создании современных высококачественных бетонов опираются на достижения в практике пластифицирования бетонных смесей, на применении дисперсных составляющих, в первую очередь аморфного микрокремнезема и разнообразных минеральных добавок. Использование высокодисперсных компонентов позволяет значительно уменьшить пустотность цементных композиций, что повышает прочность, трещиностойкость, коррозионную стойкость и другие технические параметры бетонов. Следует отметить, что одной высокодисперсности компонентов недостаточно для того, чтобы приготовить высококачественный бетон. Надо подобрать оптимальную упаковку компонентов, добившись минимальной пустотности бетонной смеси. Для получения легкого бетона в качестве вяжущего применяли 3 вида портландцемента: ПЦ 500ДО-Н, ЦЕМ I 52,5Н и ПЦ 600ДО. В качестве мелкого заполнителя взят кварцевый песок с модулем крупности 2,0. В качестве легкого заполнителя – керамзитовый гравий фракции

0–4 мм (рис. 1). В качестве микронаполнителя – микрокремнезем конденсированный. В качестве добавок: суперпластификатор «Линамикс СП-180», гиперпластификатор Pentaflow AC/2. Керамзитовый гравий имел насыпную плотность 500–600 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сдавливании в цилиндре 3,0–3,2 МПа, марку по прочности П125. Микрокремнезем конденсированный имел насыпную плотность 165–175 кг/м<sup>3</sup>, массовая доля диоксида кремния (SiO<sub>2</sub>) не менее 88 %, массовая доля оксида кальция (CaO) не более 1,27 %. «Линамикс СП-180» – суперпластификатор, представляющий собой смесь поверхностноактивных веществ (натриевые соли конденсированных сульфокислот нафталина и лигносульфоновых кислот) с комплексообразователем, повышающим сохранность подвижности бетонной смеси. Pentaflow AC/2 – гиперпластификатор, представляющий собой смесь эфиров поликарбоксилатов.

Для выполнения поставленной задачи был проведен ряд экспериментов, где варьировались вид цемента, его количество, содержание микрокремнезема и добавок. Определяющим фактором, влияющим на среднюю плотность легкого бетона, является количество керамзитового гравия, которое варьировали от 300 до 400 кг на 1 м<sup>3</sup>. С увеличением содержания керамзита средняя плотность уменьшается. Для увеличения прочности легкого бетона в него вводили микрокремнезем от 5 до 15 % и водоредуцирующие добавки в количестве от 0,3 до 0,6 %. Наибольший водоредуцирующий эффект обеспечивает гиперпластификатор Pentaflow AC/2 на основе эфиров поликарбоксилатов в количестве 0,4 %. При этом В/Ц-отношение составило 0,35. Дальнейшее увеличение расхода гиперпластификатора не оказывает существенное влияние на прочность бетона. Оптимальное количество микрокремнезема составило 10 %. Прочность бетона в возрасте 7 и 28 суток с применением суперпластификатора «Линамикс СП-180» в количестве 0,4 % несколько ниже по сравнению с Pentaflow AC/2, а средняя плотность выше. График набора прочности керамзитобетона представлен на рисунке 1. Набор прочности осуществлялся достаточно быстро. Через 7 суток прочность на сжатие достигала около 85 % от прочности в возрасте 28 суток. На сколе образца керамзитобетона видно, что керамзит распределен достаточно однородно. Всплытия на поверхность при перемешивании керамзитобетона не наблюдалось.

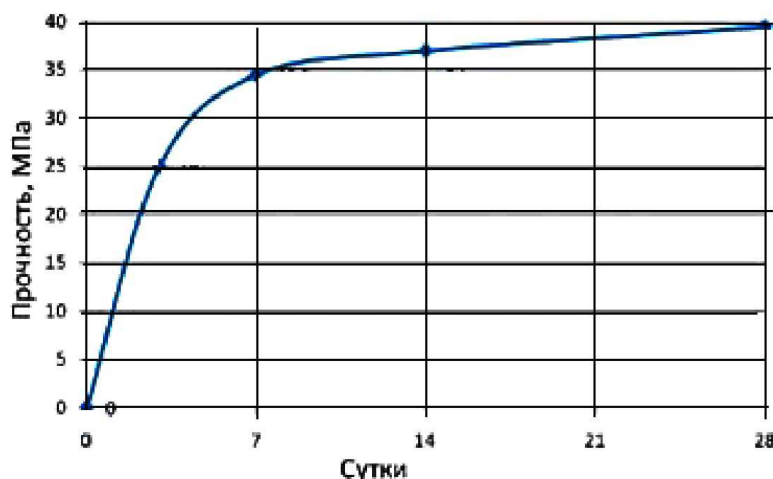


Рисунок 1 – График набора прочности керамзитобетона марки по плотности D1500, класса по прочности B30

Таким образом, разработаны составы керамзитобетона для транспортного строительства со средней плотностью 1408–1644 кг/м<sup>3</sup>, прочностью на сжатие 36,4–42,1 МПа, что соответствует марке по плотности D1500–D1700, классу по прочности B25–B30. С использованием недорогого сырья получены легкие бетоны, изготовленные из высокоподвижных смесей с маркой по осадке конуса П4–П5, которые эффективно применять в строительстве транспортных сооружений. Такие бетоны позволяют более чем на 30 % уменьшить нагрузку на конструкционные элементы сооружения, сохранить несущие характеристики, уменьшить стоимость строительства и улучшить теплофизические свойства конструкции.

**Литература:**

1. Горячев Д.Е., Крамаренко А.В. Керамзитобетон с добавкой гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе магнезиального цемента // Инновационная наука. – 2017. – № 5. – С. 61–63.
2. Горячев Д.Е., Крамаренко А.В. Керамзитобетон с добавкой гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе магнезиального цемента // Международный научный журнал «Инновационная наука». – Уфа : Аэтерна, 2017. – № 5. – С. 50–52.
3. Крамаренко А.В., Путилова М.Н. Керамзитобетон с добавкой фосфорного шлака автоклавного закаливания // Международный научный журнал «Символ науки». – Уфа : Омега сайнс, 2017. – № 5. – С. 203–206.

**References:**

1. Goryachev D.E., Kramarenko A.V. Keramzitobeton with additive gipsotsementno-puzzolanew knitting on the basis of magnesian cement // Innovative science. – 2017. – No. 5. – P. 61–63.
2. Goryachev D.E., Kramarenko A.V. Keramzitobeton with additive gipsotsementno-puzzolanew knitting on the basis of magnesian cement // the International scientific magazine «Innovatsionnaya Nauka». – Ufa : Aeterna, 2017. – No. 5. – P. 50–52.
3. Kramarenko A.V., Putilova M.N. Keramzitobeton with additive of phosphoric slag of autoclave hardening // the International scientific magazine «nauki Simvol». – Ufa : Omega sayns, 2017. – No. 5. – P. 203–206.