

ЭНЕРГОЕМКОСТЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИННОВАЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Аксёнова Л.Л., канд. техн. наук, доцент,
Лесовик В.С., д-р техн. наук, профессор,
Горин А.И., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и создание необходимых условий для перевода экономики страны на энергосберегающий путь развития – одна из приоритетных задач государственной энергетической политики.

В будущем ожидается непрерывный рост цен на нефть и газ. Путь решения указанной проблемы состоит в проведении жесткой политики энергосбережения.

Главной причиной необходимости коренного пересмотра отношения к энергосбережению в России является чрезмерно высокая энергоемкость ВВП, которая делает национальную экономику неэффективной и ставит под сомнение реализацию высоких темпов роста ВВП, запланированных до 2020 г.

Для обеспечения конкурентоспособности продукции российского производства необходимо снижать энергоемкость. Энергоемкость ВВП развитых стран в 2-3 раза ниже, чем в России (Россия 49, Канада 28, Финляндия 26, США 22, Швеция 21, Япония 16, Германия 16). В списке присутствуют и холодные страны, что не мешает им в разы превосходить показатели России.

В России проводится активная работа по реализации условий поддержания экономического роста при снижении энергоемкости ВВП. При этом запускаются механизмы реализации повышения энергоэффективности современного производства и строительного комплекса в частности.

Таковыми организационными механизмами стали федеральный закон «Об энергосбережении» от 3 апреля 1996 г. № 28-ФЗ, ряд государственных стандартов Российской Федерации об энергосбережении; новые нормы тепловой защиты зданий и сооружений (СНиП 23-02-2003); территориальные строительные нормы (ТСН) по энергетической эффективности жилых и общественных зданий; свод правил «Проектирование тепловой защиты зданий»;

Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», принятая в 2010 году.

Существенную роль в энергопотреблении играет строительная отрасль. Расходы энергоресурсов на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений составляют более 40 % от общего объема энергопотребления в стране. По данным ЕЭК (Европейской Экономической Комиссии) из них большая часть приходится на эксплуатацию зданий и сооружений, при этом процент полезного использования энергоресурсов крайне низок.

Большую роль при этом играют используемые строительные материалы, развитие промышленности которых должно определяться не только функциональной эффективностью, но и параметрами энергоемкости. Системным решением разработки механизма экономического стимулирования этого процесса у нас пока не занимались.

Объемы производства строительных материалов всех видов диктуются требованиями существующего рынка безоотносительно к реальной оценке энергоемкости не только функционирования возведенных строительных объектов, но и без учета энергоемкости непосредственно изготовления строительных материалов, изделий и конструкций.

Доля удельных энергозатрат отнесенных к единице себестоимости готовой продукции составляет в среднем по промышленности 21 % (против 3-10 % в советское время), а на масштабных производствах достигает 50 %.

Тенденции энергосбережения на предприятиях промышленности строительных материалов в настоящее время наибольшим образом связаны с совершенствованием энергопотребления в основном за счет снижения различного рода потерь тепловой энергии, совершенствования процессов тепловой обработки за счет минимизации расхода энергоносителей, модернизации теплового хозяйства, автоматизации производств, совершенствования учета и контроля и на этой основе оптимизации тепловых балансов предприятий и т.д.

Гораздо большего эффекта с учетом вышеназванных мероприятий можно добиться за счет переориентации промышленности на менее энергоемкие виды продукции, использование которых в строящихся зданиях и сооружениях позволит снизить энергозатраты в процессе их эксплуатации и значительно улучшить технико-экономические показатели.

В современных условиях повышение качества технологической структуры промышленности строительных материалов в значительной степени связано с ускоренным замещением энергоемких массовых технологий и массовых ресурсов качественными энергоэффективными производствами.

Именно такие трансформации позволяют отраслям промышленности в современных условиях возникшей “инновационной паузы” достигнуть наибольшего экономического эффекта.

В настоящее время действующие производства перепрофилируются на выпуск новых высококачественных видов продукции, пользующихся спросом на отечественном рынке, создаются новые производства по выпуску современных эффективных стеновых материалов: многпустотного кирпича и керамических камней, изделий из ячеистого бетона.

Качество отечественного цемента, полированного стекла, отдельных видов керамической продукции, асбеста и некоторых других материалов и изделий находится на уровне требований мировых стандартов и могут быть отнесены к качественному энергоэффективному уровню производств.

К этой же категории можно отнести производство многих новых видов строительных материалов, которые раньше не выпускались в России или выпускались в незначительных объемах. Это высокоэффективные теплоизоляционные изделия из стекловолокна и минеральных волокон, пенопластов, широкий ассортимент отделочных материалов из гипса. Интенсивно развивается производство светопрозрачных конструкций широкой номенклатуры, теплоотражающего и теплосберегающего стекла, изделий из автоклавных и безавтоклавных ячеистых бетонов, сухих смесей, высокоэффективных кровельных и гидроизоляционных материалов.

Особое внимание необходимо уделить монолитному и сборно-монолитному домостроению, исключаяющему процессы тепловой обработки конструкций в заводских условиях, и на этой основе снижающему энергоемкость железобетона практически на 50%.

В цементной промышленности серьезное внимание должно быть уделено производству композиционных вяжущих, энергоемкость которых на 40-50% ниже по сравнению с обычным портландцементом.

В промышленности полимерных материалов продолжался процесс наращивания мощностей по производству высококачественных напольных покрытий, слоистых пластиков, стеклопластиков,

представляющих собой достаточно высокий качественный уровень с привлечением высококачественных ресурсов.

Список литературы:

1. Прогноз развития энергетики.– электрон. дан. – 2008 г. – Режим доступа: www.esko.ru.
2. Экономия энергии– новый энергетический источник./ Пер. с немецкого.–М.: Прогресс, 1982.– 368с.
4. Энергоемкость строительных материалов. – электрон. дан. – 2006 г. – Режим доступа: www.rambler.ru.
5. Энергоэффективность наружных конструкций зданий. – электрон. дан. – 2007 г. - Режим доступа: www.abok.ru.
6. Классификация энергетических ресурсов. – 2007 г. – электрон. дан. – Режим доступа: www.ehighenergy.info.ru.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

**Алтынник Н.И., аспирант,
Нелюбова В.В., канд. тех. наук,
Фомина Е.В., канд. тех. наук**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова*

В последние годы в связи с реализацией проекта «Стратегия развития промышленности строительных материалов до 2020 года» все большее распространение для малоэтажного строительства получают блоки из ячеистого бетона, это обусловлено стремлением к внедрению эффективных экономически-выгодных технологий.

По оценке Академии конъюнктуры промышленных рынков объем спроса на газосиликатные блоки с 2009 по 2011 годы увеличился на 50 %, так же планируется повышение потребности блоков к 2015 году на 17,89 млн м³.

Автоклавный ячеистый бетон обладает уникальным сочетанием физико-технических свойств (экологичность, морозостойкость, огнестойкость, сейсмостойкость), что позволяет широко использовать его при возведении жилых зданий. Газосиликат является долговечным материалом, который можно изготавливать как из существующего местного сырья, так и с использованием различных отходов. Основное достоинство бетона заключается в том, что при достаточной плотности он обладает высокой прочностью. Выпуск газобетонных блоков требует высокой культуры производства, что позволяет избежать кустарных подделок.

В целом, по независимым оценкам, применение газобетонных блоков при возведении стены экономичнее на 15–30% по сравнению кирпичной кладкой, при этом трудоемкость кладки блоков ниже. Благодаря структуре с закрытыми порами, газобетон является также эффективным звукоизоляционным материалом.

Универсальность применения позволяет использовать автоклавные газосиликатные блоки при строительстве многоэтажных и малоэтажных построек в качестве несущих конструкций, а также в качестве утеплителя. Наибольшим спросом при возведении зданий получили блоки конструкционно-теплоизоляционного назначения.

По традиционной технологии для производства силикатного автоклавного ячеистого материала используют кварцевый песок, цемент, известь, воду, газообразователь.

В качестве кремнеземистого компонента используются пески, содержащие не менее 90 % кремнезема. Однако технология позволяет использовать пески с меньшим содержанием SiO_2 и применять нетрадиционные виды сырья, такие как зола-унос, металлургические шлаки, отходы глиноземного производства и т.д.

Рассматривая все возможные методы повышения эффективности газосиликата на всех его технологических этапах производства, следует выделить несколько основных (рис.1), где не последнюю роль играет степень дисперсности применяемых компонентов.

Современные методы открывают возможности формирования свойств неорганических композитов за счет использования нанодисперсных материалов. Согласно проведенным ранее исследованиям [2–4], использование наноструктурированного модификатора (НМ), содержащего до 10 % нанодисперсного компонента, при производстве силикатных автоклавных материалов, повышает основные физико-механические характеристики изделия.



Рисунок 1 – Методы повышения эффективности автоклавного газобетона

Анализируя изменение технико-эксплуатационных характеристик полученных ранее прессованных силикатных автоклавных материалов с использованием НМ, следует предположить о положительном влиянии НМ при введении его в формовочную смесь газосиликатных блоков, что по предварительным оценкам повлияет на структурообразование и фазовый состав кристаллической связки.

Таким образом, следует рассматривать принципиальную возможность применения НМ как один из факторов повышения эффективности производства газобетона.

Список литературы:

1. *Воробьев, Х.С.* Важный фактор повышения конкурентоспособности стеновых автоклавных изделий / Х.С. Воробьев, Е.В. Филиппов // Строительные материалы. – 1998. – №2. – С. 6–8.
2. *Нелюбова, В.В.* Повышение эффективности производства силикатных автоклавных материалов с применением нанодисперсного модификатора / В.В. Нелюбова // Строительные материалы. – 2008. – №9 / Наука №11. – С. 2–5.
3. *Строкова, В.В.* Проектирование строительных неокмпозитов путем направленного формирования структуры материалов с использованием нанодисперсных модификаторов / В.В. Строкова, В.В. Нелюбова, А.В. Череватова, А.Б. Бухало // Международный форум по нанотехнологиям: Сб. тез. докл. научно-технологической секции. – Москва, 2008. – Т. 1. – С. 524-526.
4. Пат. 2376258 Российская Федерация МПК С 04 В 28/18, В24В 3/00, С04В 111/20. Известково-кремнеземистое вяжущее, способ получения известково-кремнеземистого вяжущего и способ получения формовочной смеси для прессованных силикатных изделий / Лесовик В.С., Строкова В.В., Череватова А.В., Нелюбова В.В.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. – № 2008115871/03. Заявл. 24.04.2008. Оpubл. 20.12.2009 Бюл. №35. – 15 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ВО ВРЕМЕНИ

**Алфимова Н.И., канд. тех. наук, доцент,
Вишневская Я.Ю., аспирант,
Трунов П.В., аспирант**

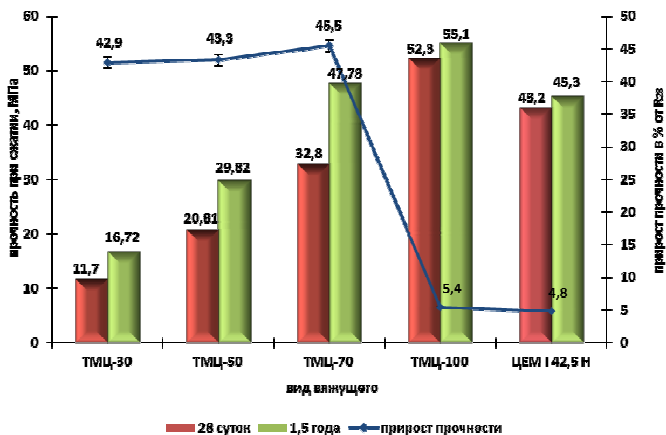
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время наиболее распространенным способом ускорения твердения бетона, позволяющим получать в короткий срок изделия с отпускной прочностью, является тепловая обработка. В заводских условиях она осуществляется путем пропаривания изделий в камерах и автоклавах, обогрева в формующих агрегатах или на стендах. При изготовлении монолитных конструкций – путем электропрогрева, пропаривания и обогрева теплым воздухом [1].

Основным недостатком гидротермальных условий твердения является снижение прочности конечного изделия, обусловленное возникновением внутренних напряжений, вследствие неравномерности протекания усадочных деформаций по объему прогреваемого бетона, расширение паровоздушной фазы, перераспределение влаги (разрыхляющих структуру материала), различие коэффициентов линейного температурного расширения компонентов бетона (в т. ч. мономинералов цементного клинкера и гидратных новообразований) и др., хотя они, бесспорно, имеют большое значение [2].

Многочисленными исследованиями установлено, что ТВО по-разному влияет на интенсивность твердения и конечную прочность различных цементов и композиционных вяжущих на их основе. В большей степени на активность КВ влияет вид и количество кремнеземсодержащего компонента, а так же температура изотермической выдержки [3].

Для детального рассмотрения вопросов связанных с ускорением твердения композиционных вяжущих нами были проанализированы данные о нарастании прочности КВ в течение 1,5 лет. Для этого были заформованы две серии образцов размером 2×2×2 ТМЦ с содержанием кварцевого песка от 70 до 30 %, а так же ЦЕМ I 42,5 Н и ТМЦ-100. Испытания первой серии проводились через сутки и 1,5 года после прохождения ТВО при температуре изотермической выдержки 70 °С (рис. 1, а). Второй – после твердения в нормальных условиях в течение 28 суток и полугода лет (рис. 1, б).



б

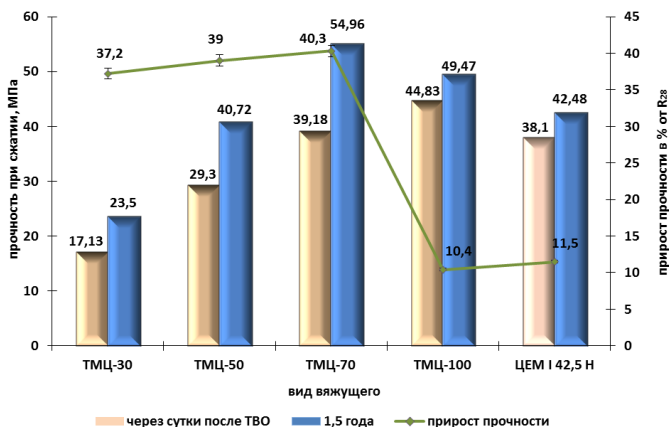


Рисунок 1. Изменение прочности во времени композиционных вяжущих а – твердеющих в нормальных условиях; б – прошедших ТВО

Анализ полученных результатов показал, что образцы ТМЦ прошедшие ТВО после 1,5 лет твердения в нормальных условиях дают меньший прирост прочности, чем те которые не подвергались тепловлажностной обработке. Данный факт может быть обусловлен

тем, что основной набор прочности происходит при активации кремнеземсодержащего компонента в ходе тепловой обработки, в то время как при нормальных условиях твердения этот процесс замедляется во времени.

Стоит так же отметить, что прирост прочности тем меньше, чем больше в вяжущем кремнеземсодержащего компонента, что обусловлено разбавлением цементной системы и снижением роста новообразований.

Используемый ЦЕМ I 42,5 Н Белгородского завода относится к алитовым, которые наиболее интенсивно набирают прочность в начальные сроки твердения, именно поэтому через 1,5 года прирост составил всего 4,8 %. В случае применения тепловой обработки, интенсифицирующей процесс гидратации, возможна перекристаллизация новообразований. При этом возникают внутренние напряжения, способствующие образованию трещин и спаду прочности. Затем вследствие продолжающейся гидратации трещины залечиваются, что обуславливает новое повышение прочности, поэтому прочность образцов прошедшие ТВО через полтора года увеличилась на 11,5 %. Аналогичная картина наблюдается с образцами ТМЦ-100.

Значительную разницу в приросте прочности между композиционными и бездобавочными вяжущими можно объяснить тем, что увеличение удельной поверхности приводит к повышению количества воды затворения, а введение кремнеземсодержащий добавки к разбавлению цементной системы. Это в свою очередь существенно увеличивает сроки схватывания КВ и способствует тому, что основной набор прочность ТМЦ происходит в более поздний период времени, чем у цемента.

Список литературы:

1. *Алфимова, Н.И.,* Вишневская Я.Ю., Трунов П.В. Влияние сырья вулканического происхождения и режимов твердения на активность композиционных вяжущих / *Н.И. Алфимова, Я.Ю. Вишневская, П.В. Трунов // НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».* №1. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. – С. 52–55.
2. *Пшеничный, Г.Н.* Стадийность твердения цементных систем и ее практический аспект / *Г.Н. Пшеничный // – Краснодар: изд-во. КубГТУ, 2009. – 353 с.*
3. *Вишневская, Я.Ю.* Энергоемкость процессов синтеза композиционных вяжущих в зависимости от генезиса кремнеземсодержащего компонента / *Я.Ю. Вишневская, В.С. Лесовик, Н.И. Алфимова // НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова».* №3. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. – С. 53–56.

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕЗИСА КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА НА ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

**Алфимова Н.И., канд. тех. наук, доцент,
Вишневская Я.Ю., аспирант,
Трунов П.В., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Структура бетонов, изготовленных с использованием композиционных вяжущих (КВ) сложна и неоднородна. Взаимодействие твердой кристаллической части вяжущего с его пластичной гелевой частью оказывает определяющее влияние на прочность бетона. Во времени гелевая составляющая уменьшается, а кристаллическая – увеличивается. Характер зародышеобразования и кристаллизации новой фазы при твердении вяжущих определяется величиной площади поверхности раздела фаз, удельной поверхностью материала. Соотношение во времени между двумя составляющими вяжущего в основном зависит от тонкости помола и от вида и количества кремнеземсодержащего компонента КВ. Чем тоньше помол вяжущего, тем быстрее рост твердой кристаллической части.

Последнее объясняется также и тем, что концентрация дефектов на поверхности частичек цемента экспоненциально растет с уменьшением размера кристалла, поэтому высокие скорости гидратации тонких фракций вяжущего связаны не только с их высокой удельной поверхностью, но и с более высокой концентрацией дефектов на поверхности.

Отсюда очевидно, что важнейшей характеристикой вяжущего является величина удельной поверхности, увеличение которой способствует получению изделий повышенной прочности. Однако на разрушение, дробление и измельчение тратится до 10 % всей вырабатываемой человечеством электроэнергии, а энергоемкость сверхтонкого помола составляет почти 3600 Дж/г, что делает размолоспособность компонентов вяжущих определяющей в их себестоимости.

В настоящее время разработана широкая номенклатура композиционных вяжущих, где в качестве кремнеземистого компонента применяется сырье как природного, так и техногенного происхождения [1].

Для выявления степени влияния генезиса исследуемых пород на размолоспособность и как следствие энергоёмкость изготовления композиционных вяжущих на их основе, проводилось изучение изменения удельной поверхности ТМЦ-50 во времени. Помол производился до удельной поверхности 500-550 м²/кг в лабораторной мельнице планетарного типа, имеющей четыре загрузочных емкости. В качестве объектов исследования, как кремнеземсодержащих компонентов КВ были выбраны шесть видов пород, относящихся к различным генетическим группам.

Из полученных результатов (рис. 1) видно, что при использовании в качестве компонента вулканического песка удельная поверхность достигла необходимых показателей через 15 минут в то время как на природном песке и вулканическом пепле за 30 минут. Это объясняется генетическими особенностями вулканического песка. Исходя из того, что мелкодисперсных (пылеватых) частиц на фоне полидисперсного состава песка больше чем в пеплах, а также с учетом возраста данных пород, можно предположить, что частицы песка представляют собой сцементированные агрегаты из частиц мелкодисперсного пепла [2]. Разрушение с меньшими энергозатратами происходит, как известно, по межзерновым границам. В тоже время оба пепла, как и природный песок, представляют собой практически монодисперсное вещество, с близкой твердостью порообразующих минералов, что приводит к идентичной картине кинетики помола.

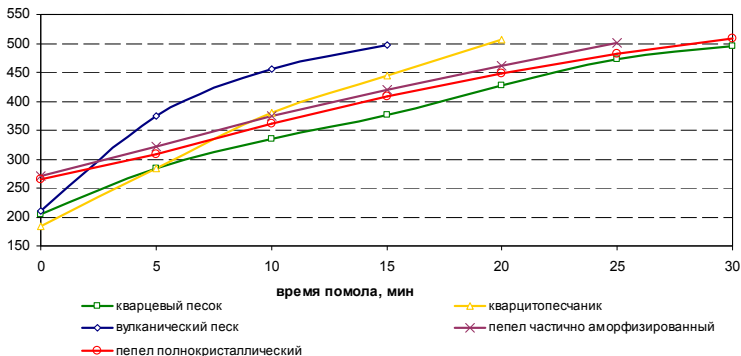


Рисунок 1. Кинетика помола ТМЦ-50 с использованием кварцсодержащих пород различного генезиса

Для помола ТМЦ-50 с использованием кварцитопесчаника до удельной поверхности 500-550 м²/кг потребовалось 20 минут. Это можно объяснить дефектностью его кристаллической решетки в

сравнении с природным песком и большей твердостью породообразующих минералов в сравнении с песком вулканического происхождения.

Проведенные исследования позволили проранжировать исследуемое сырье по степени снижения энергоемкости помола композиционных вяжущих на их основе в следующем порядке «природный кварцевый песок – вулканический пепел полнокристаллически – вулканический пепел частично аморфизированный – кварцитопесчаник зеленосланцевой степени метаморфизма – вулканический песок» (рис. 2).

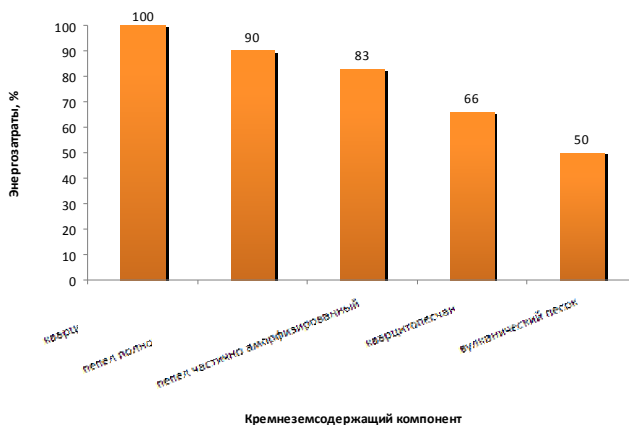


Рисунок 2. Энергоемкость изготовления композиционных вяжущих с использованием кремнеземсодержащего сырья различного генезиса

Таким образом, можно сделать вывод, что генетические особенности кремнеземсодержащих компонентов КВ оказывают значительное влияние на кинетику нарастания удельной поверхности вяжущих и как следствие на энергоемкость их изготовления.

Список литературы:

1. Лесовик, В.С. Проблемы расширения номенклатуры вяжущих веществ / В.С. Лесовик, Н.И.Алфимова, Р.В. Лесовик // Материалы международного конгресса производителей цемента, Белгород, 9–12 октября 2008 г./ Белгор. гос. технол. ун-т.– Белгород, 2008. С. 30–34.
2. Влиянии генезиса минерального наполнителя на свойства композиционных вяжущих / Н. И. Алфимова [и др.] // НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». №1. – Белгород: изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2010. – С.91–94.

ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

**Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доцент,
Соловьева Л.Н., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Гринев А.П., соискатель,
Огурцова Ю.Н., аспирант**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

За последние десятилетия монолитное домостроение резко увеличило свои объемы в России и сейчас занимает лидирующее положение в жилищно-гражданском строительстве за счет некоторых преимуществ. При этом экономически целесообразным считается бетонирование монолитных объектов со скоростью возведения в месяц 2–5 этажей здания при круглогодичном ведении работ с учетом нормативных требований по прочности, долговечности и комфорту [1]. Это приводит к необходимости применения интенсивных методов бетонирования при отрицательных температурах, обеспечивающих бетону благоприятные тепловлажностные условия до момента приобретения им прочности, достаточной для распалубки и частичной или полной загрузки конструкций. Во многих случаях при выборе метода производства бетонных работ при отрицательных температурах необходимо учитывать обеспечение в заданные сроки морозостойкости, водонепроницаемости и других свойств [2]. В строительстве широко применяются несколько традиционных способов бетонирования при отрицательных температурах, обеспечивающих достижение бетоном до замерзания критической прочности, т.е. 30–50 % проектной прочности, позволяющей избежать негативного влияния дальнейшего воздействия низких температур на его физико-механические характеристики. Технологические приемы выбирают в зависимости от экономической эффективности, условий бетонирования, вида конструкций и особенностей используемых бетонов, наличия дешевых источников тепла.

Еще одна проблема заключается в том, что для организации прогрева и разогрева требуется дополнительное специальное оборудование, наличие необходимой электрической или тепловой мощности, а также высокая квалификация специалистов. Не всегда это

экономически оправданно, поэтому прибегают к использованию химических добавок, что менее энергоемко [3].

Применение добавок, даже, несмотря на некоторое в этой связи удорожание стоимости бетона, целесообразно из-за улучшения ряда технологических параметров и повышения эксплуатационных свойств. Высококачественные бетоны, как правило, отличаются большой морозостойкостью, сверхвысокой прочностью и низкой водопроницаемостью.

Для обеспечения возможности монолитного бетонирования при отрицательных температурах в состав мелкозернистого бетона на основе различных вяжущих мы вводили противоморозную и комплексную добавки. При выборе противоморозных компонентов учитывалась возможность бетонирования при температурах до минус 20 °С и сочетание с пластификатором, входящим в состав композиционного вяжущего. В качестве противоморозных добавок в бетон применялись: MC Rapid 025 и MC Rapid 015 производства MC-Bauchemie Russia.

Оптимальные дозировки добавок определяли по показателю эффективности согласно ГОСТ 30459–96. По результатам изменения прочности составов, твердевших в морозильной камере и в нормальных условиях, можно сделать вывод, что при использовании ВНВ оптимальные дозировки добавок могут быть снижены с 6 до 4 % – для противоморозной и с 7 до 5 % для комплексной по сравнению с составами на цементном вяжущем (табл. 1). При этом на 28 суток твердения в морозильной камере прочность составов на основе ВНВ с оптимальной дозировкой противоморозной добавки достигает 80 % от контрольного состава, в то время как на цементном вяжущем лишь 34 %.

Ускоренный набор прочности ВНВ при отрицательных температурах и повышенные прочностные характеристики по сравнению с цементом определяется несколькими факторами. В цементном камне на основе вяжущих низкой водопотребности эффективный радиус пор сдвигается в сторону более мелких пор размером 0,01 мкм, в которых вода замерзает при температуре минус 20 – минус 40 °С, что позволяет бетону твердеть на морозе. Помимо этого, использование пластифицирующих добавок, способствует формированию мелких равномерно распределенные замкнутых пор-сфероидов, которые играют роль буферов, смягчающих отрицательное действие внутреннего давления, развивающегося при образовании в порях льда. Частично сообщающиеся с капиллярами поры-сфероиды

являются запасными емкостями, в которые выдавливается из капилляров вода при расширении ее во время перехода в лед. Введение добавки в таком количестве, при котором объем воздухововлеченных пор составляет от 3 до 4% общего объема бетона, позволяет существенно снизить деструктивные процессы, протекающие при замерзании воды.

Таблица 1

Результаты определения эффективности противоморозных добавок

Вид вяжущего	Вид добавки	Дозировка, %	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток при твердении		Изменение прочности, %
			в нормальных условиях, МПа	в морозильной камере при температуре минус 20 °С, МПа	
ЦЕМ I 42,5 Н	–	0	43,04	8,61	20
	MC Rapid 025	4	45,2	11,75	26
		6	46,3	15,28	33
		8	44,2	15,03	34
	MC Rapid 015	5	54,6	13,65	25
		7	55,2	18,77	34
		9	55,5	19,43	35
ВНВ–50	–	0	38,24	9,94	26
	MC Rapid 025	4	40,2	32,16	80
		6	36,2	28,24	78
		8	34,1	19,78	58
	MC Rapid 015	5	45,4	34,05	75
		7	46,2	33,73	73
		9	46,1	27,66	60
ВНВ–70	–	0	55,31	16,6	30
	MC Rapid 025	4	58,1	46,48	80
		6	54,1	43,28	80
		8	53,1	34,52	65
	MC Rapid 015	5	59,1	46,69	79
		7	60,2	34,31	57
		9	61,4	34,38	56

Анализ микроструктурных особенностей показывает, что в условиях твердения при отрицательных температурах формируется достаточно монолитная матрица из новообразований этtringита и глобулярной массы гидросиликатов кальция (рис. 1 б). При введении в систему пластификатора происходит перераспределение новообразований в системе с созданием плотной и однородной структуры (рис. 1 г), что объясняет высокие прочностные показатели композитов после воздействия низких температур (табл. 1). Без дополнительных внешних факторов появляются уже описанные удлиненные кристаллы этtringита, армирующие цементную матрицу (рис. 1 в), что говорит о положительном действии добавок при различных условиях твердения.

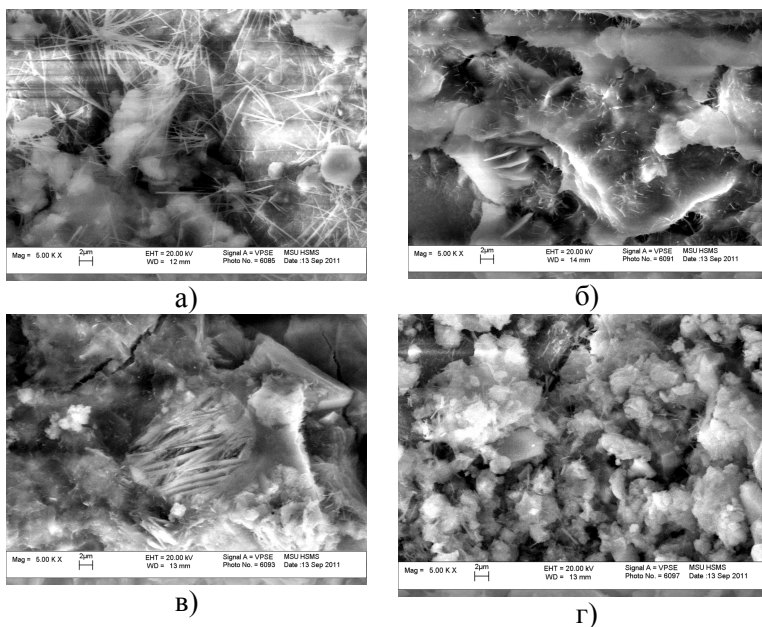


Рис. 1. Микроструктура мелкозернистого бетона в возрасте 28 суток на основе ВНВ-50:
а – с противоморозной добавкой, твердевшего в нормальных условиях; б – с противоморозной добавкой, твердевшего при отрицательной температуре; в – с комплексной добавкой, твердевшего в нормальных условиях; г – с комплексной добавкой, твердевшего при отрицательной температуре

Таким образом, установлены закономерности изменения процессов структурообразования мелкозернистых бетонов в зависимости от вида, количества противоморозной добавки и условий твердения, заключающиеся в том, что при отрицательных температурах максимальные прочностные показатели достигаются на ВНВ, минимальные – на цементе, а также установлены оптимальные дозировки противоморозной и комплексной добавок.

Список литературы:

1. *Штраух, Е.А.* К вопросу о повышении эффективности строительных технологий при возведении многоэтажных монолитных жилых зданий / Штраух Е.А. // Промышленное и гражданское строительство, – М., 2010. – № 2. – С. 43–45.
2. *Трембицкий, С.М.* Условия достижения высоких темпов и качества строительства зданий из монолитного железобетона / Трембицкий С.М., Беккер Л.Н., Кебадзе П.Г. // Бетон и железобетон, – М., 2008. – № 5. – С.8–11.
3. *Тараканов, О.В.* О рациональном применении полифункциональных добавок в технологии зимнего бетонирования / Тараканов О.В., Пронина Т.В. // Строительные материалы. – 2009. –№2. –С.10–13.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доцент,
Черкасов В.С., аспирант,
Шаповалов Н.Н., студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время производством силикатных автоклавных материалов в Российской Федерации занимаются более 100 предприятий. В общей структуре производства стеновых материалов на долю силикатного кирпича приходится около 23 % (рис. 1). Белгородская область является достаточно перспективной с позиции производства данного вида материалов, что обосновывается не только наличием сырьевой базы, но и широкими возможностями реализации.

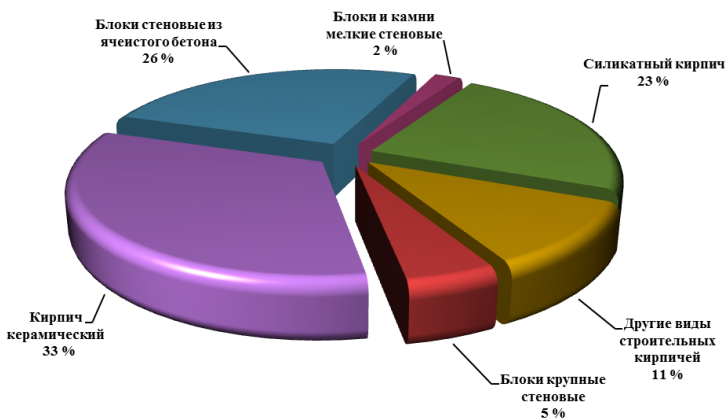


Рисунок 1. – Доли производства различных видов стеновых материалов

В целом рынок силикатных изделий очень насыщен и имеет достаточно высокий уровень конкуренции, подталкивающей предприятия отрасли к постоянному повышению качества выпускаемой и освоению производства новых видов продукции. Это требует от производителей перехода на новые технологии и внедрение различных

решений, способствующих повышению качества выпускаемой продукции.

Как известно в качестве основного кремнеземистого компонента для производства силикатного кирпича используется кварцевый песок. Однако многочисленные исследования подтвердили возможность использования и техногенного сырья, что способствует улучшению физико-механических характеристик изделий и позволяет существенно расширять сырьевую базу строительных материалов.

В связи, с чем была рассмотрена возможность повышение эффективности мелкоштучных прессованных стеновых материалов автоклавного твердения за счет использования отходов производства керамзитового гравия.

В настоящее время общий объем выпускаемого керамзита в РФ составляет 4–4,5 млн. м³/год, большая доля приходится на Центральный и Приволжский Федеральные округа. Утилизация пыли, которая собирается в системах пылеочистки – пылесадительных камерах, циклонах, фильтрах при производстве керамзитового гравия представляет серьезную проблему. На крупных керамзитовых заводах ежедневно может образовываться до 7–8 т керамзитовой пыли. В дальнейшем ее добавляют к сырой глине и возвращают в производство, но чаще вывозят в отвалы.

Ранее была установлена принципиальная возможность использования керамзитовой пыли в качестве сырья для производства силикатных материалов автоклавного твердения [1].

Для разработки рецептурно-технологических параметров производства мелкоштучных силикатных материалов был запланирован эксперимент, где в качестве факторов варьирования выбраны: длительность изотермической выдержки, давление при автоклавировании, процентное содержание керамзитовой пыли и $\text{CaO}_{\text{акт}}$.

После статистической компьютерной обработки экспериментальных данных были получены математические модели изменения физико-механических свойств силикатных образцов. По уравнениям регрессии был проведен анализ влияния исследуемых факторов. Меняя соотношение компонентов силикатных изделий технологические параметры, можно обеспечить требуемую прочность при сжатии.

Уравнение регрессии прочности при сжатии силикатных изделий имеет вид:

$$R_{сж} = 16,05 + 5,7X_1 - 0,01X_2 - 0,14X_3 + 1,43X_4 + 1,12X_1^2 - 5,26X_2^2 - 1,93X_3^2 + \\ + 4,45X_4^2 + 2,05X_1X_2 + 0,13X_1X_3 - 0,07X_1X_4 - 1,88X_2X_3 - 0,41X_2X_4 + 0,30X_3X_4$$

Комплексное представление о влиянии содержания супеси, содержания $CaO_{акт}$, длительности изотермической выдержки и давления автоклавирования на прочность при сжатии силикатных изделий представлено на номограмме (рис. 2) построенной с помощью уравнения регрессии.

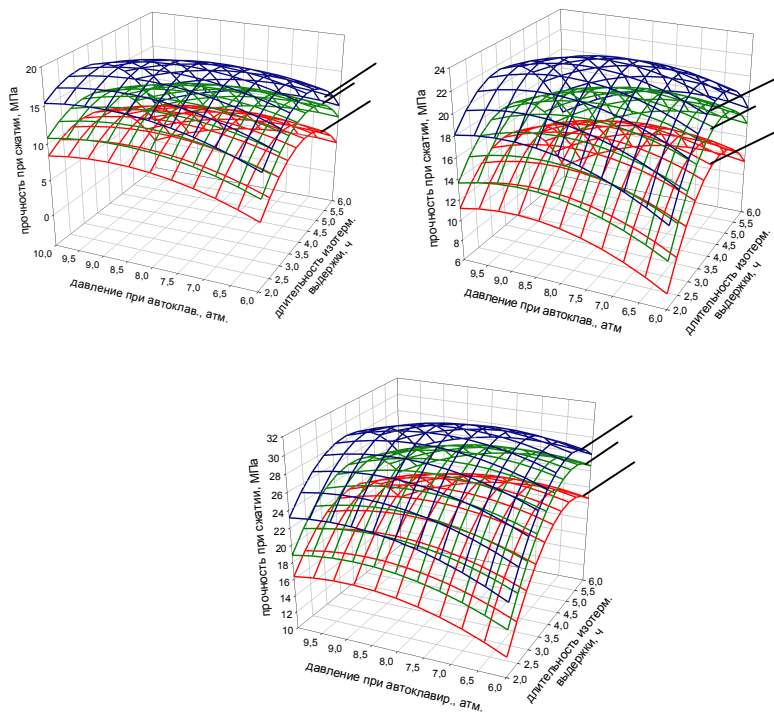


Рисунок 2. – Номограммы зависимости прочности при сжатии силикатных изделий от содержания керамзитовой пыли, $CaO_{акт}$, длительности изотермической выдержки и давления при автоклавировании:
 содержание керамзитовой пыли, % от песка:
 а – 5; б – 15; в – 25;
 содержание $CaO_{акт}$, масс. %: 1 – 8; 2 – 4; 3 – 6

Проанализировав приведенные графики можно сделать вывод, что прочность силикатных изделий с содержанием отходов производства керамзита выше прочности известково-песчаных. С увеличением содержания керамзитовой пыли в составе вяжущего прочность изделий повышается, причем наибольшая интенсивность прироста прочности наблюдается при увеличении содержания керамзитовой пыли до 25 %. Максимальная средняя плотность наблюдается при 15 % и 6 % содержании $\text{CaO}_{\text{акт}}$. При этом оптимальными технологическими условиями, при которых достигаются наилучшие физико-механические характеристики, является давление автоклавирования 7 атм. при длительности изотермической выдержки 4 часов.

Таким образом, введение керамзитовой пыли в состав сырьевой известково-кремнеземистой смеси позволяет получить изделия с повышенной прочностью а так же снизить давление при автоклавировании с 10 атм. до 7 атм. и длительность изотермической с 6 ч до 4 ч, что положительно отразится на себестоимости изделий.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что суммарная эффективность от использования керамзитовой пыли при производстве силикатных материалов автоклавного твердения будет складываться из возможности утилизации отходов производства, что приведет к снижению затрат на наполнитель, а так же существенного улучшения физико-механических характеристик изделий, что в свою очередь положительно отразится на энергетических затратах и приведет к снижению себестоимости изделий.

Список литературы:

1. *Черкасов, В. С.* Повышение эффективности силикатных материалов за счет использования отходов производства керамзита / В. С. Черкасов, Н. Н. Шаповалов // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: материалы II Международной научно-практической конференции 19–20 мая 2011 г. / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2011. – С. 405–408

РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ МИКРОАРМИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА В ДОРОЖНОМ ЦЕМЕНТОБЕТОНЕ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

**Бабаев В.Б., аспирант,
Кнотько А.В., д-р хим. наук,
Гаршев А.В., канд. хим. наук**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова,
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова*

Современные условия дорожного строительства диктуют широкое использование отходов промышленности – шлаки, горелые сланцы отвалов каменноугольных шахт, золы уноса, а так же практически неисчерпаемые ресурсы – меловые залежи и магматические породы (базальты). Учитывая сложившиеся условия и мировой опыт, целесообразно ускорить разработки в области технологии и расчета фибробетонов, более широко применять фибробетонные конструкции при проектировании объектов дорожного строительства, и использовать в качестве фибры, материалы оптимальные по стоимости, а также по объему залежей в РФ.

В России в настоящее время материалы и изделия на основе базальтового волокна выпускаются в недостаточных объемах и находят недостаточное применение. Однако, к настоящему времени выполнены разработки и освоено применение ряда прогрессивных базальтоволкнистых материалов, например, материалов на основе тонких и супертонких базальтовых волокон с применением зарубежной технологии и оборудования.

Волокна, обогащенные кальцием, быстрее реагируют с раствором кислоты в отличие от волокон производителей, состав которых близок к составу природного базальта. Щелочной гидролиз базальтовых волокон происходит за счёт одновременного протекания растворения SiO_2 из силикатной матрицы (что понижает рН раствора) и перехода в раствор ионов Na^+ , повышающего рН на начальной стадии процесса. Термообработка в окислительных условиях существенно изменяет характер взаимодействия базальтовых волокон с щелочным раствором за счёт перераспределения щелочных и щелочноземельных элементов в объеме стекла.

При анализе изменения состава отожженных волокон при различных температурах установлено, что для образца производства Новгородского и Кемеровского завода стекловолкна наблюдается увеличение содержания Na с повышением температуры термообработки при практически постоянной концентрации K, Ca и других элементов. Увеличение щелочестойкости Новгородского волокна с 26% до 6% при отжиге в 600°C, и Кемеровского волокна с 25,3% до 4,8% при отжиге в 400°C позволяют говорить о целесообразности использования данных волокон при определенной температурной модификации в качестве армирующего компонента в цементобетоне.

В данной работе основное внимание уделялось способу получения вяжущих низкой водопотребности путем домола портландцемента, так как на многих дорожно-строительных предприятиях, а так же на мобильных цементных заводах, изначально имеется помольное оборудование, которое может быть переналожено на выпуск вяжущих низкой водопотребности. Выявлена зависимость введения волокна в структуру вяжущего, при добавлении фибры более 3% от массы вяжущего, наблюдается активный рост прочностных показателей, их увеличение при приближении к 5% и замедление активного роста набора прочности к 8%. Из технико-экономических соображений приняли оптимальное количество фибры по массе вяжущего ВНВ-50 5%. Установлено, что на микро- и нано- уровне в процессе травления, поверхность Кемеровского волокна наиболее активно вступает в химическую реакцию со щелочью, при этом подвергаясь незначительным разрушениям, с последующим ростом сетки гидросиликатов кальция, что благоприятно сказывается на структуре и свойствах композита.

В результате расчета дорожной одежды (рисунок 1), для автомобильной дороги II категории, по двум вариантам, было установлено, что использование модифицированного фибробетона, по расчетам позволяет снизить толщину с 24 до 18 см, при этом имея в слое покрытия некоторый завышенный запас прочности, это обусловлено тем, что при введении базальтовых волокон – класс прочности на изгиб изменяется с Btb 4,0 до Btb 6,0 а класс прочности на сжатие с B42,5 до B60. Таким образом экономический эффект при строительстве 1 км а/д II категории, за счет снижения толщины слоя покрытия равен 396525,925 руб. или 12% от стоимости покрытия.

Основным направлением в производстве и применении базальтовых волокон в России следует считать расширение научно-исследовательских работ в области высокопроизводительных

бесфильтрных технологий, что позволит увеличить объем производства и применения материалов на основе базальтовых волокон в различных сферах строительства.

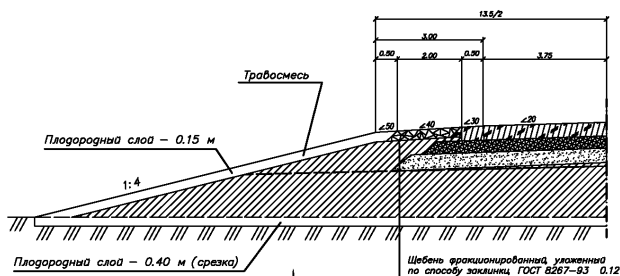


Рис. 1. Поперечный профиль конструкции земляного полотна и дорожной одежды

В условиях дефицита средств назрела необходимость разработать приемлемую с финансовой и технической точек зрения программу строительства в России магистральных дорог с использованием фибробетона в конструктивных слоях дорожных одежд.

Список литературы:

1. *Кнотько, А.В.* Химические процессы при термообработке базальтового волокна / А.В. Кнотько, Гаршев А.В., Давыдова И.Б., Путляев В.И., Иванов В.К., Третьяков Ю.Д. // Коррозия: материалы, защита. – 2007. – №3.
2. ВСН 139-80 Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог. от 30.11.1970. №Л-210.
3. *Батанова, А.М.* / Состав и физико-химические свойства стекловидных волокон на основе базальта / А.М. Батанова, Граменицкий Е.Н., Земцов А.Н., Щекина Т.И., Котельников А.Р., Путляев В.И. // Труды междунар. научно-практ. конф. "Наука и технология силикатных материалов - настоящее и будущее. Т. III. РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2003. С. 243-248.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПОРИСТОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЕНОКЕРАМИКИ

Бакунов В.С., д-р. хим. наук, профессор,
Объединенный институт высоких температур РАН

Шаяхметов У.Ш., д-р. техн. наук, профессор,
*Башкирский государственный педагогический
университет им. М. Акмуллы*

Мурзакова А.Р., канд. техн. наук, доцент
*Башкирский государственный педагогический
университет им. М. Акмуллы*

В производстве строительных материалов наиболее перспективными являются изделия, сочетающие легкость, малую теплопроводность с достаточной конструкционной прочностью. Наиболее полно этим задачам отвечают высокоэффективные пористые силикатные пеноматериалы: пеностекло, пенокерамика, ячеистые бетоны, пенобетоны и материалы на основе пористых заполнителей.

В настоящее время путем комплексного использования достижений в производствах красного кирпича, керамической плитки, черепицы и пеноматериалов разработана новая энерго- и ресурсосберегающая технология получения строительной пенокерамики, основанная на методе вспенивания в обжиге стеклокристаллической матрицы. Большая экономическая эффективность их производства и применения обуславливается малой материалоемкостью, возможностью использования отходов промышленности, дешевых местных легкоплавких глин, меньшими затратами при производстве, снижении затрат при строительстве, а также повышением эксплуатационных характеристик объектов.

Разработка технологии пористых силикатных материалов начата в СССР еще в 80-х годах 20-го столетия. Однако, использованные в этих процессах приемы и операции позволяли получить лишь изделия, структура которых характеризуется наличием двух непрерывных взаимопроникающих кластеров - порового и материального. Следствием этого является низкая прочность изделий (например, на основе минеральной шлаковаты и т.п. вообще не обладают прочностью, легковесные огнеупорные шамотные изделия имеют прочность порядка 2 МПа), что не позволяет использовать их в качестве несущего конструкционного материала, а только лишь в качестве

теплоизоляционного. Другим недостатком таких технологий (методы выгорающих добавок, вспененных суспензий и др.) являются низкие экономические показатели производств и высокая стоимость продукции. Эти основные и ряд других факторов практически исключили использование высокопористых керамических изделий в строительстве, несмотря на насущные потребности в снижении веса и повышении их эксплуатационных характеристик. Паллиативные решения, например, применение щелевого кирпича, не устраняли основной коренной недостаток традиционных материалов, а именно, наличие в структуре непрерывного порового кластера. Это приводит к низким показателям (кроме низкой прочности) по влаго-и морозостойкости, по звуко- и теплоизоляции.

Создание технологии производства высокопористой многофункциональной строительной стеклокерамики, которая осуществляется с применением природных наноматериалов. Суть ее заключается в следующем: наночастицы глинистых минералов, обеспечивая пластичность масс, совместно с наночастицами вспенивателя, в процессе обжига участвуют в образовании закрытых сферических пор. Материал имеет высокую прочность, низкую теплопроводность и водонепроницаемость. Применение нанокompозита эффективно в жилищном строительстве, в судостроении, надводных буровых площадках.

Технология заключается в получении смеси из глины с отходами стекла (стеклобой), введение в нее добавок и вспенивателя, прессовании заготовки. В процессе обжига происходит образование жидкой фазы и формирование сферических закрытых пор.

Предлагаемая технология позволяет получать легкие и теплоизоляционные материалы с высокой строительной прочностью, которые могут быть использованы для гражданского и промышленного строительства, особенно малоэтажного в сельской местности или в условиях Севера и приравненных к ним. Они применяются в качестве стеновых, конструкционных, звуко-, теплоизоляционных, облицовочных, кровельных и других изделий. Преимущество технологии заключается в использовании местного дешевого сырья природного (легкоплавкие глины, перлиты, цеолиты, базальта и т.п.) или техногенного (стеклобой и отходы стеклопроизводств, вскрышные породы, шлаки и т.д.) происхождения.

По методу полусухого прессования подготовленную тонкоизмельченную и высушенную шихту с добавками, включающими в себя корректирующие состав конечного изделия, а

также вспенивающиеся при обжиге тщательно перемешивают и из нее прессуют полуфабрикаты - брикеты. Последние обжигают в форме, в процессе чего они вспениваются, достигая необходимого качества. Наружные поверхности изделия обрабатывают для придания товарного вида и отправляют после затаривания потребителю. Технологическая схема производства изделий из высокопористой многофункциональной строительной стеклокерамики методом полусухого прессования представлена на рисунке 1.

Технические характеристики полученного конструкционно-теплоизоляционного материала следующие:

Кажущаяся плотность – $350-600 \text{ кг/м}^3$

Предел прочности при сжатии – не менее 12 МПа

Теплопроводность – $0,2-0,4 \text{ Вт/(м.к.)}$.

Выпущена партия пенокерамических блоков с использованием глины Алексеевского месторождения (Республика Башкортостан). Экономическая эффективность производства строительного материала – пенокерамики (в частности пенокерамических блоков), обусловлена малой материалоемкостью, меньшими энергозатратами при получении и строительстве, а также повышением эксплуатационных характеристик объектов. Использование блоков позволяет снизить вес стеновых конструкций в 3-4 раза при одновременном увеличении их теплосопrotivления, что является решающим фактором для экономии топлива при эксплуатации зданий и сооружений (особенно в северных условиях и сельской местности). Производительность труда при кладке стен увеличивается в 2-3 раза, расход цемента снижается почти в 3 раза, материалоемкость производства уменьшается в 3-4 раза. При глазуровании лицевой поверхности он может быть использован в качестве долговременного облицовочного материала вместо дорогостоящей фасадной облицовочной плитки или утепленного облегченного кровельного материала вместо керамической черепицы или другого покрытия зданий. Преимуществами также является технологичность производства пенокерамики, возможность в течение смены перейти на выпуск блоков с различной средней плотностью и размерами, а также другого назначения.

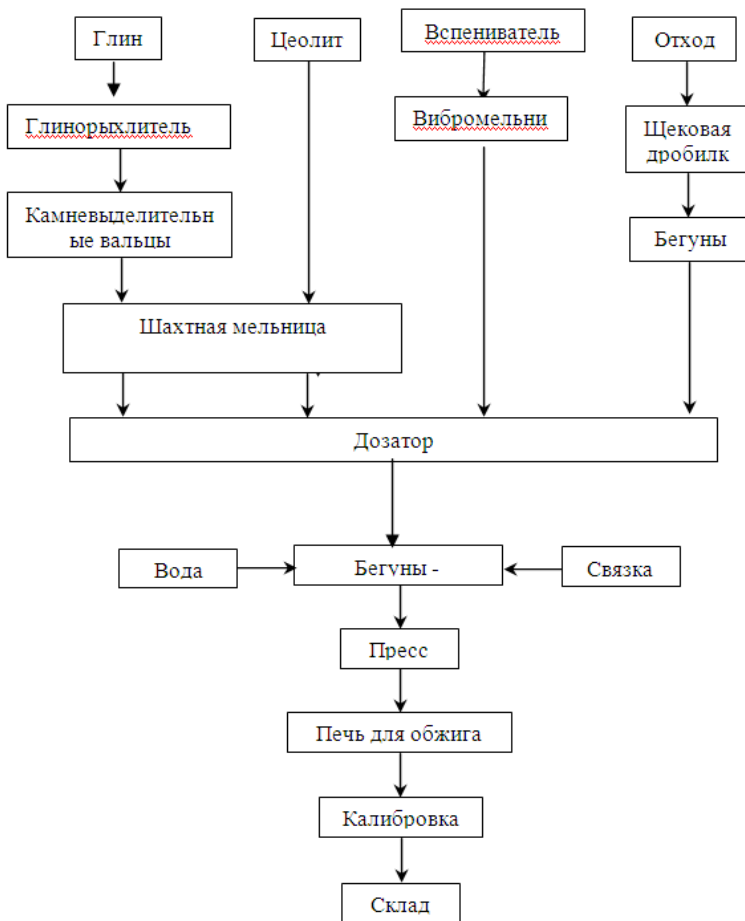


Рис 1. Технологическая схема производства изделий полусухим прессованием

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГИПСА И АНГИДРИТА УЛЬТРА- И НАНОДИСПЕРСНЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Бурьянов А.Ф., канд. техн. наук, доцент

Московский государственный строительный университет

Композиционные гипсовые материалы получают все большее развитие и находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Дальнейшее повышение качества гипсовых композиционных материалов связано с освоением и внедрением новых технологий их производства, отвечающих требованиям повышения производительности с одновременным снижением энергопотребления, повышения экологической безопасности, огнестойкости и эстетичности производимой продукции. Композиционные материалы на основе гипса и ангидрита обладают рядом положительных качеств – невысокие энергозатраты при получении, относительно низкая плотность, огнестойкость, хорошие теплоизоляционные свойства, благоприятное воздействие на микроклимат помещения. Однако они имеют ряд недостатков, сдерживающих их развитие – невысокие физико-механические характеристики и малая долговечность, проявляющаяся в ползучести конструкций при их увлажнении.

Композиционные материалы на основе сульфата кальция были разработаны в нашей стране в 20-х годах XX века П.П. Будниковым, которым было установлено, что после введения порошков различной природы в небольших количествах – сульфатов щелочноземельных металлов, доменных шлаков, извести, доломита минеральные порошки на основе сульфата кальция приобретают способность кристаллизоваться. В нашей стране имеются значительные запасы сырья с высоким содержанием сульфата кальция, на основе которого возможно получение эффективных композиционных материалов (Пермский край, Башкирия, Нижегородская область, Архангельская область, месторождения в Сибири, на Кавказе и др.). Положительные свойства материалов на основе гипса и ангидрита целесообразно использовать при производстве сухих смесей для устройства самонивелирующихся полов, при отделке стен и в ограждающих конструкциях в малоэтажном строительстве.

Для развития и внедрения композиционных материалов на основе гипса и ангидрита в отрасли народного хозяйства необходимо

улучшение их физико-механических показателей и повышение долговечности. Одним из наиболее перспективных и эффективных направлений улучшения качества гипсовых композиционных материалов является применение ультра - и нанодисперсных добавок. Свойства композиционных материалов на основе гипса и ангидрита в значительной степени определяются составом и состоянием структуры матрицы. Ультрадисперсные добавки различной природы позволяют изменять условия кристаллизации новообразований с интенсификацией процесса формирования структуры и улучшать свойства композиционного материала. Однако до сих пор недостаточно полно изучены особенности структурообразования материалов на основе сульфата кальция и возможности управления структурой при их модифицировании порошками повышенной дисперсности. Расширение представлений о физико-химических аспектах формирования структуры гипсовых и ангидритовых композиций позволит достичь повышения свойств материала и будет способствовать их дальнейшему развитию.

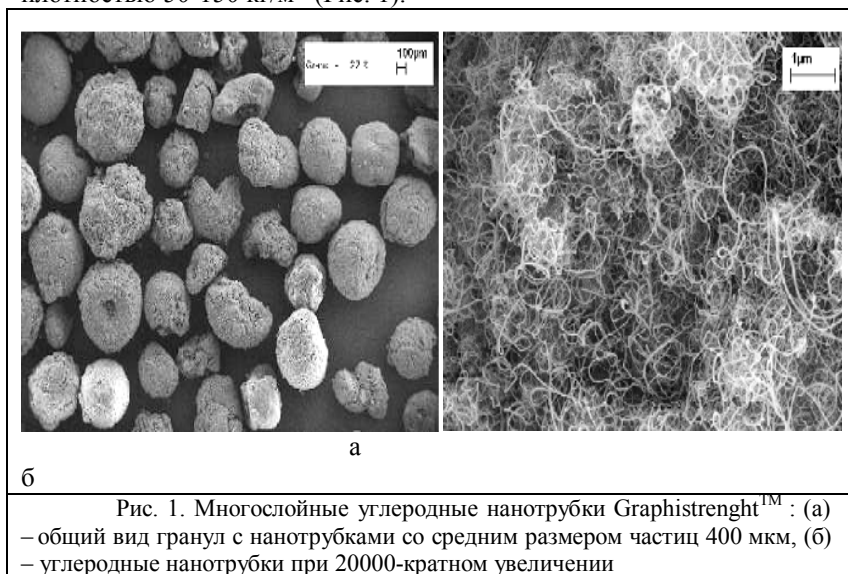
В данной статье основное внимание уделено модификации структуры и улучшению физико-механических свойств композиций на основе ангидрита.

В работе использовались следующие материалы: ангидритовая порода Ергачевского месторождения (Пермский край), ультрадисперсные минеральные добавки различной природы – алюмохромовый катализатор, глиноземистая смесь и ставролит $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{SiO}_5$, (алюмосиликат железа). В качестве наноразмерной добавки использовались многослойные углеродные нанотрубки, в качестве активатора использовался гидросульфит натрия.

В химическом составе ультрадисперсных порошков преобладает оксид алюминия, содержание которого колеблется от 50 до 70 %. Алюмохромовый катализатор (АХК) – ультрадисперсный порошок со средним размером частиц 3-5 мкм, образующийся в качестве отхода в процессе дегидрирования изобутилена на нефтехимическом предприятии. Глиноземистая смесь (СГ) – ультрадисперсный порошок с размером частиц 2-3 мкм, образующийся в качестве отхода на металлургическом предприятии. Ставролит – порода метаморфического происхождения с химической формулой $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{SiO}_5$ и удельным весом 3,70-3,95 г/см³.

В качестве нанодисперсной добавки применялись многослойные углеродные нанотрубки GraphistrengthTM фирмы Arkema, которые состоят из 10- 15 слоев нанотрубок с внешним

диаметром от 10 до 15 нм, длиной от 1 до 15 мкм и средней плотностью 50-150 кг/м³ (Рис. 1).



б

Рис. 1. Многослойные углеродные нанотрубки GraphistrengthTM : (а) – общий вид гранул с нанотрубками со средним размером частиц 400 мкм, (б) – углеродные нанотрубки при 20000-кратном увеличении

Для определения минералогического состава, а также изучения кинетики процессов, происходящих в модифицированной ангидритовой матрице, использовались методы физико-химического анализа: рентгенофазовый, ИК-спектральный и дифференциально-термический анализы. Для изучения структуры новообразований, их размера и морфологии, пористости использовались оптические и растровые электронные микроскопы.

На первом этапе ультрадисперсные добавки вводились в количестве от 0 до 20 %. На рис. 2 представлена зависимость прочности материала на сжатие и изгиб от содержания алюмохромового катализатора и глиноземистой смеси. Из рис. 2 видно, что с увеличением содержания добавок происходит характерное повышение механических характеристик композиционного материала с последующим понижением прочности при повышении концентрации. При переходе оптимальных значений содержания добавок происходит резкое падение прочности. Результаты механических испытаний ангидритовой матрицы с введением ультрадисперсных добавок

объясняются с позиций синергетики дисперсно-наполненных композиций.

При концентрации добавок в интервале 1-5 % (рис. 2) по поверхности частиц ультрадисперсных порошков происходит структурная ориентация ангидритовой матрицы, при этом достигается переход матрицы из объемного состояния в пленочное, которое отличается упорядоченностью структуры и повышенной плотностью и прочностью. Снижение прочности при повышенном содержании добавки объясняется дефицитом связующего для покрытия всей поверхности введенных ультрадисперсных добавок.

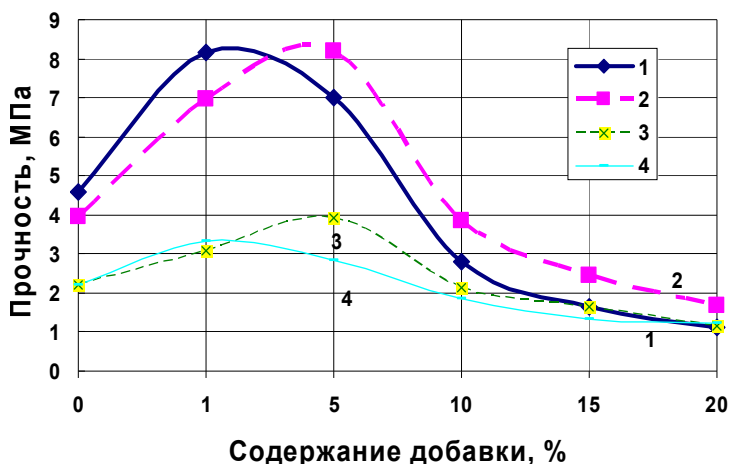


Рис. 2. Влияние ультрадисперсных порошков на прочность ангидритового вяжущего: 1, 4 – прочность на сжатие и изгиб с добавлением глиноземистой смеси (возраст - 28 дней), 2, 3 - прочность на сжатие и изгиб с добавлением алюмохромового катализатора (возраст - 14 дней)

При использовании ультрадисперсных порошков повышается долговечность ангидритового материала, водостойкость увеличивается в зависимости от вида ультрадисперсной добавки на 20 - 60 %, а водопоглощение снижается с 12,70 до 10,40 %.

Введение в ангидритовые композиции углеродных наноструктур, диспергированных в ультразвуковом поле приводило к образованию мелкокристаллической структуры повышенной плотности.

Анализ микроструктуры образцов ангидритовой композиции, модифицированной углеродными нанотрубками (рис.3) показал, что без модифицирующей добавки образуется рыхлая структура гипсовых кристаллов со значительным количеством пор. Введением многослойных углеродных нанотрубок достигается формирование протяженных упорядоченных структур с плотной упаковкой кристаллогидратов, что приводит к существенному повышению прочности ангидритового материала. Нанодисперсные добавки играют роль «центров кристаллизации», по поверхности которых происходит

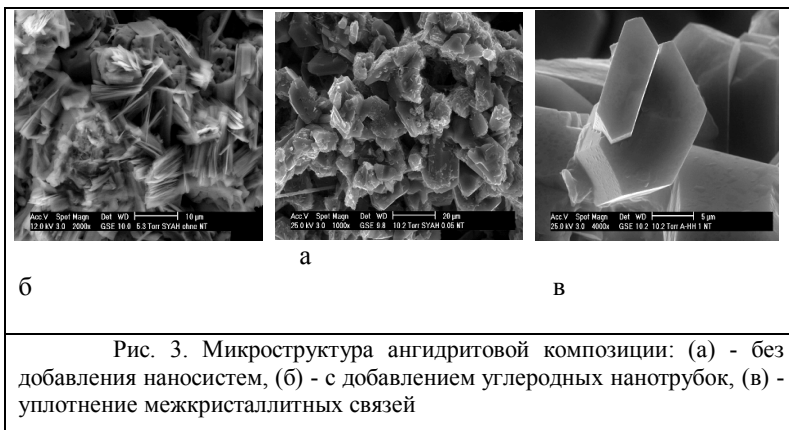


Рис. 3. Микроструктура ангидритовой композиции: (а) - без добавления наносистем, (б) - с добавлением углеродных нанотрубок, (в) - уплотнение межкристаллитных связей

структурирование ангидритовой матрицы с достижением повышения прочностных характеристик ангидритовой композиции.

Кроме того, с введением нанотрубок достигается дисперсное армирование гипсового камня, приводящее к дополнительному усилению гипсовой матрицы.

Таким образом, при дальнейшем уменьшении размера частиц порошков, используемых при модификации ангидритовых матриц, достигается монотонное возрастание прочностных характеристик композиционного материала. При этом введение многослойных углеродных нанотрубок приводит к формированию упорядоченных структур с плотной упаковкой кристаллов двуводного гипса, придающих ангидритовым композициям улучшенные механические свойства, связанные с интенсификацией процессов гидрато- и структурообразования ангидритового вяжущего.

ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОМПОНЕНТА В КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ НА ГИПСОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Войтович Е.В., мл. науч. сотр., аспирант,
Череватова А.В., д-р техн. наук, профессор
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время использование материалов и изделий на основе гипсовых вяжущих находит все большее применение при реконструкции, ремонте и строительстве зданий. Это обусловлено простотой их применения, а так же их высокими санитарно-гигиеническими свойствами.

При этом изделия на основе гипсовых вяжущих обладают достаточной прочностью, низкой тепло- и звукопроводимостью, хорошей паро- и воздухопроницаемостью. Одним из важных параметров является огнестойкость материалов и изделий на основе гипса.

Однако с учетом возрастающих требований к эксплуатационным свойствам современных строительных материалов, возникает потребность в разработке высокоэффективных вяжущих веществ нового поколения с улучшенными, а иногда и с принципиально новыми свойствами и заранее заданной структурой. Применение комбинированного вяжущего позволит повысить эксплуатационные характеристики и расширить область применения материалов на основе гипса.

В качестве исходного сырья в экспериментальной части данного исследования использовались наиболее используемая марка гипсового вяжущего (Г-5). Технология производства композиционного наноструктурированного гипсового вяжущего (КНГВ) предполагает введение в систему наноструктурированного вяжущего на основе кремнеземсодержащего сырья, в виде высокоэффективного компонента, производство которого является экологически чистым.

Наноструктурированные вяжущие являются неорганическими полидисперсными и полиминеральными системами, имеющими преимущественно алюмосиликатный состав, обладающие высокой концентрацией активной твёрдой фазы, содержащей нанодисперсный

компонент в количестве 2–10%, и характеризуемые регулируемыми реотехнологическими свойствами.[1]

При введении в гипсовую систему наноструктурированного вяжущего наблюдалось существенное улучшение физико-механических и технико-эксплуатационных характеристик вяжущего и материалов на его основе.

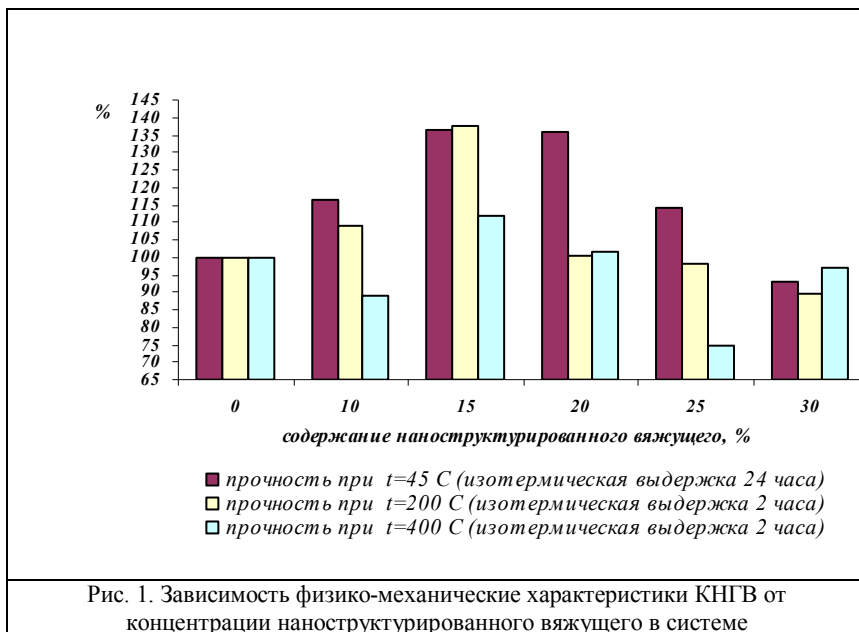


Рис. 1. Зависимость физико-механические характеристики КНГВ от концентрации наноструктурированного вяжущего в системе

По ранее проведенным исследованиям [2] было выявлено влияния концентрации наноструктурированного вяжущего на физико-механические характеристики КНГВ. Исследования материалов проводились по принятым методикам [3], на стандартных образцах-балочках размером 16x4x4 см, при варьировании наноструктурированного компонента в КНГВ от 10 до 30%. Расход воды на 1 м³ отливки регулировался в зависимости от расплыва конуса для нормальной консистенции гипсового теста. Все образцы подвергались изотермической выдержке в течении 24 часов при температуре 45 °С.

Для установления влияния высоких температур на свойства композиционного наноструктурированного вяжущего, образцы

подвергались изотермической выдержке в течении 2 часов при температуре 200°C и 400°C.

Анализ характеристик экспериментальных вяжущих систем показал следующее: при введении наноструктурированного вяжущего от 15-20 % наблюдается максимальное повышение прочности на сжатие (около 40 %), по сравнению с контрольным составом. (рис. 1).

Так как гипсовые изделия прогреваются относительно медленно и разрушаются лишь после 6-8 часов нагрева. [4]. Образцы – балочки были подвергнуты изотермической выдержки в течении 6 часов при температуре 1000°C. (рис.2).

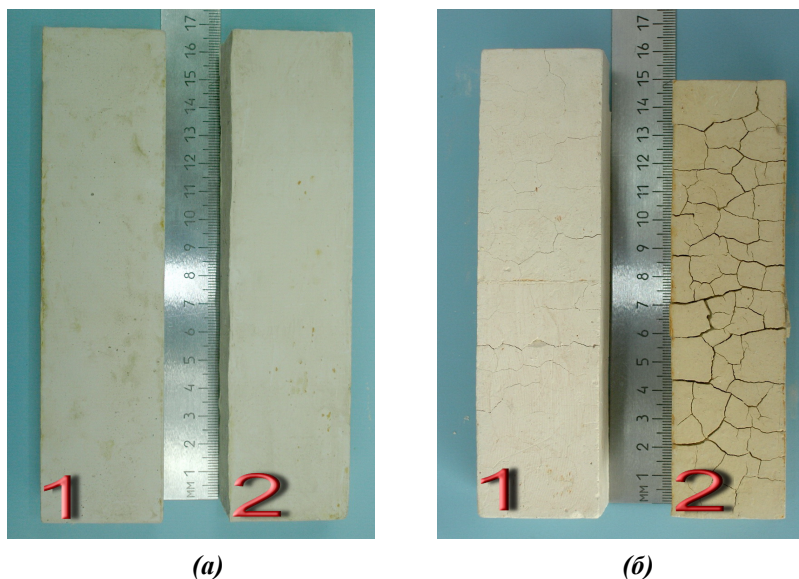


Рис. 2 Влияние высоких температур на гипсовые вяжущие:
(а) – до обжига, (б) – после обжига

1 – композиционное наноструктурированное гипсовое вяжущее,
2 – гипсовое вяжущее

Анализ изменения геометрических размеров показал, что в контрольном образце Δl составляет 28,8%, а в КНГВ – 9,1%. Это можно объяснить наличием в КНГВ наноразмерного кремнеземсодержащего компонента, обладающего повышенной реакционной способностью. Соответственно, на основании полученных результатов следует предположить, что в КНГВ за счет присутствия

наноструктурированного вяжущего при высокотемпературном воздействии может происходить образование сульфидов кремния и силицидов кальция. Более детальное изучение данного вопроса является темой дальнейших исследований.

Учитывая вышеприведенные преимущества разрабатываемого вяжущего, можно сделать следующий вывод: применение наноструктурированного компонента позволяет повысить эксплуатационные характеристики, а так же расширить область применения материалов и изделий на основе гипсовых вяжущих.

Список литературы:

1. *Череватова, А.В.* Строительные композиты на основе высококонцентрированных вяжущих систем [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Череватова А.В.; БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2008. – 43 с.
2. *Войтович, Е.В.* Наноструктурированное композиционное гипсовое вяжущее – вяжущее нового поколения./ Е.В. Войтович, А.В. Череватова// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – №3. – С.32–34
3. ГОСТ 23789-79 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.- М.: ИПК Изд-во стандартов. 1987. - 12 с.
4. *Волженский, А.В.* Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат, 1986, 464 с.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОМПОНЕНТА РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА

Войтович Е.В., магистрант
Черватова А.В., д-р техн. наук, профессор
Кривенцов А., студент
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В условиях сложившихся экономических тенденций определяющих направление современного строительства, и диктующих потребность в высокоэффективных строительных материалах и изделий, с принципиально новыми свойствами. Создание таких вяжущих возможно только на базе современных наукоемких и высоких технологий, основанных на научных методиках. Такие методики должны обеспечивать высокое качество продукции, ее экологическую безопасность, эффективное использование сырья, экономию энергии, возможности применения новых высокодисперсных добавок-наполнителей, улучшающих структуру материала и экономящих самый дорогой компонент строительных смесей – вяжущее, при одновременном улучшении эксплуатационных свойств [1].

Работами, выполненными ранее, [2] была установлена возможность получения композиционного наноструктурированного вяжущего с применением систему наноструктурированного вяжущего на основе кремнеземсодержащего сырья, в виде высокоэффективного компонента, производство которого является экологически чистым.

В данном научном исследовании для получения композиционного гипсового вяжущего использовались, строительный гипс марки Г-5, и в виде наноструктурированного компонента – наноструктурированное перлитовое вяжущее (НПВ). Данное вяжущее получено на основе перлит Мухор-Талинского месторождения (Бурятия), в качестве модельной системы – использовали НВ на основе кварцевого сырья. [3].

Были проведены предварительные исследования влияния концентрации НПВ в виде наноструктурированного компонента на физико-механические характеристики гипсовой вяжущей системы. Исследования материалов проводились по принятым методикам (ГОСТ 23789 - 79 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.), на стандартных образцах – балочках размером 16х4х4 см, путем варьирования соотношения в композиционном вяжущем гипса и НПВ в процентном

соотношении от 5 до 30%. Расход воды на 1 м³ формовочной смеси регулировался в зависимости от стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста.

Анализ характеристик экспериментальных вяжущих систем показал следующее: при введении НПВ в процентном соотношении 20-25 % наблюдается максимальное повышение прочности на сжатие (около 30 %), по сравнению с контрольным составом (рис. 1).

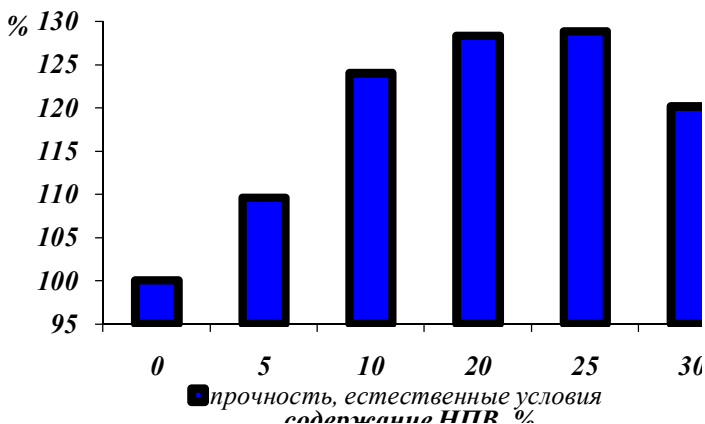


Рис. 1. Зависимость физико-механические характеристики композиционного гипсового вяжущего от концентрации НПВ в системе.

Учитывая вышеприведенные преимущества разрабатываемого вяжущего, можно сделать следующий вывод: применение НПВ позволяет расширить номенклатуру строительных материалов производимых с использованием гипсовых вяжущих; а так же сырьевую базу для получения композиционного гипсового вяжущего, с применением наноструктурированного компонента различного генезиса; получать материалы с улучшенными свойствами и повысить экономическую эффективность и целесообразность получения композиционного наноструктурированного вяжущего и материалов на его основе.

Список литературы:

1. Алтыкис, М. Г. Развитие теоретических основ и создания нового поколения высококачественных, экономичных и экологически чистых материалов [Текст]. / Алтыкис М. Г, Рахимов Р.З; Халиуллин М. И

Казанская государственная архитектурно-строительная академия Мороза
В. П. г. Казань.

2. *Войтович, Е.В.* Наноструктурированное композиционное гипсовое вяжущее – вяжущее нового поколения./ Е.В. Войтович, А.В. Череватова// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – №3. – С.32–34
3. *Мирошников Е.В.* Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе [Текст]: автореф. дис. ... кон-та техн. наук / Мирошников Е.В.; БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2010. – 23 с

БЕЗАВТОКЛАВНЫЕ СИЛИКАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНОГО НАНОРАЗМЕРНОГО СЫРЬЯ

**Володченко А.А., аспирант,
Лесовик В.С., д-р тех. наук, профессор**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время производство силикатных материалов базируется на традиционной технологии, в которой главным сырьевым компонентом является кварцевый песок, запасы которого ограничены.

Исследованиями, проведенными в БГТУ им. В.Г. Шухова было установлено, что в качестве сырья для производства автоклавных материалов пригодны глинистые породы незавершенной фазы глинообразования, десятки млн. т. которых попали в зону горных работ при добыче железистых кварцитов. Спецификой данных пород является наличие термодинамически неустойчивых соединений, таких как смешаннослойные минералы, тонкодисперсный слабоокатанный кварц, несовершенной структуры гидрослюда, Ca^{2+} монтмориллонит и каолинит [1, 2].

Это сырье, обладающее свойствами природных наноразмерных частиц, позволяет изменить морфологию новообразований, что обеспечивает оптимизацию структуры цементирующего соединения и, соответственно, улучшает физико-механические характеристики автоклавных силикатных материалов.

Учитывая, что природные процессы выполнили часть работы по дезинтеграции породы, вероятно, возможен процесс их взаимодействия с вяжущим компонентом не только при высоких температурах и давлении, но и при температуре до 100°C при атмосферном давлении, что и явилось гипотезой наших исследований.

Целью настоящей работы является изучение возможности получения эффективных стеновых строительных материалов по энергосберегающей технологии на основе природного наноразмерного сырья и извести.

Для исследований были использовано природное наноразмерное сырье, представленное песчано-глинистыми породами региона КМА: супесь с числом пластичности (i) 6, суглинков № 1 и № 2 ($i = 7$ и 11,5). Породы содержат преимущественно кварц, а также монтмориллонит,

гидрослою, каолинит, смешаннослойные образования и рентгеноаморфную фазу. Исследования проводились на образцах, полученных методом литьевого формования и полусухого прессования (рис. 1 и 2).

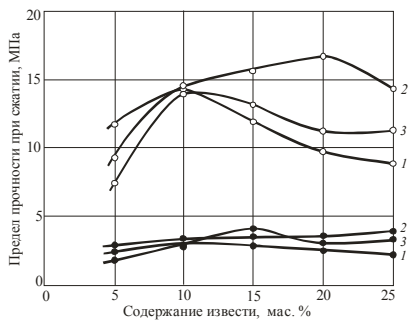


Рис. 1. Предел прочности при сжатии в зависимости от содержания извести:
 ●— образцы литьевого способа формования;
 ○— образцы полусухого формования (давление формования 10 МПа);
 1 — супесь; 2 — суглинок № 1;
 3 — суглинок № 2

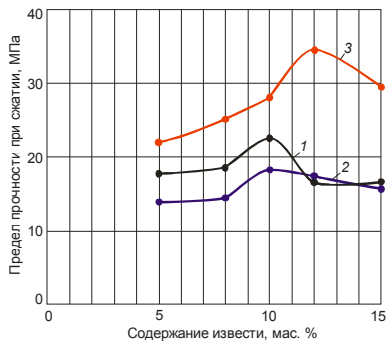


Рис. 2. Предел прочности при сжатии образцов, сформованных при давлении 20 МПа в зависимости от содержания извести:
 1 — образцы после 2-х сут выдержки при комнатной температуре;
 2 — водонасыщенные образцы;
 3 — водонасыщенные образцы после года хранения в воде

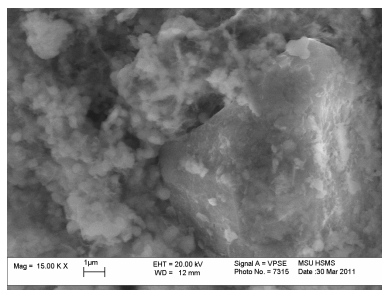
Установлено, что прочность образцов полусухого способа прессования, существенно выше литьевого. Сравнение изменения прочностных показателей для разных глинистых пород показывает, что максимальной прочности, почти во всех случаях, образцы достигают при содержании извести 10–15 мас. %. Причем, при содержании 10 мас. % извести численные значения прочностей практически одинаковые. Это имеет важное практическое значение, так как при колебаниях вещественного состава сырья, которое неизбежно в процессе реального производства, можно получать строительные материалы с заданными физико-механическими свойствами. Для образцов, сформованных при давлении 20 МПа, оптимальное содержание извести также составляет 10 мас. % (см. рис. 2).

Результаты испытаний водонасыщенных образцов, выдержанных 1 год в воде, показали значительное повышение прочности в сравнении с водонасыщенными образцами, которые не подвергались длительному хранению в воде (см. рис. 2, кривая 3). Максимальной прочности

образцы достигают при содержании извести 12 мас. %. При этом прочность, в сравнении с образцами без длительного хранения в воде повысилась в два раза. Это связано с тем, что порообразующие минералы породы и, в частности, ее наноразмерная составляющая обеспечивают синтез цементирующего соединения, обладающего гидравлическими свойствами.

Исследования, проведенные с помощью электронного микроскопа, показали, что в водной среде во времени процесс образования гидросиликатов кальция продолжается, что приводит к формированию более прочной микроструктуры цементирующего соединения (рис. 3). Кроме этого, слабоокристаллизованные гидросиликаты кальция представляют собой нестабильную фазу, способную во времени, и особенно в водной среде, подвергаться перекристаллизации, что также приводит к изменению структуры цементирующего соединения. Вероятно, эти процессы обеспечивают гидравлические свойства полученных силикатных материалов.

a



б

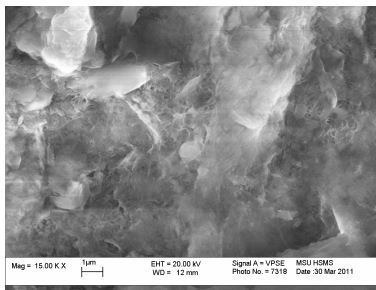


Рис. 3. Микроструктура образцов на основе супеси с содержанием 10 мас. % извести, РЭМ:

a – исходный образец; *б* – после года хранения в воде

В представленных результатах экспериментов в качестве вяжущего использовалась молотая негашеная известь. С целью интенсификации синтеза новообразований часть песчано-глинистой породы подвергалась совместному помолу с известью. Сырьевую смесь готовили путем смешивания полученного известково-песчано-глинистого вяжущего (ИПГВ) с исходной супесью. Общее содержание извести в сырьевой смеси составляло 10 мас. %. В экспериментах использовались составы с ИПГВ, в которых соотношение извести к

супеси составляло 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5. Результаты экспериментов приведены на рис. 4.

Изменение соотношения извести к супеси с 1:1 до 1:2,5 приводит лишь к незначительному повышению прочности образцов с 18,9 до 20,2 МПа (см. рис. 4). Необходимо отметить, что прочность образцов, для которых в качестве вяжущего использовалась только молотая известь, составляет 22,58 МПа (см. рис. 2). Можно сделать вывод, что использование в качестве вяжущего ИПГВ вместо молотой извести не повышает прочности изделий, а даже несколько снижает.



Рис. 4. Предел прочности при сжатии образцов на основе ИПГВ в зависимости от состава вяжущего:

1 – после пропарки; 2 – водонасыщенные; 3 – после 100 циклов попеременного увлажнения и высушивания; 4 – после 100 циклов попеременного увлажнения и высушивания в водонасыщенном состоянии

Можно предположить, что содержание минералов наноразмерного уровня в исходной супеси достаточно для формирования прочной микроструктуры цементирующего вещества и увеличение тонкодисперсной составляющей за счет дополнительного помола части породы приводит к формированию состава новообразований, снижающих прочностные показатели материала. При помоле супеси в сырьевой смеси увеличивается содержание тонкодисперсного кварца, за счет которого в условиях пропарки синтезируется больше слабокристаллизованных гидросиликатов кальция, т.е. увеличивается доля гелевидных новообразований. При этом вероятно, нарушается

оптимальное соотношение между гелевидной и кристаллической составляющей, что и приводит к снижению прочности.

Средняя плотность образцов при изменении соотношения извести к супеси с 1:1 до 1:2 увеличиваться с 1890 до 1910 кг/м³ и далее снижается до 1855 кг/м³. Значения коэффициента размягчения (0,71–0,79) свидетельствуют о хорошей водостойкости полученных образцов. Испытания на морозостойкость показали, что полученные силикатные материалы выдерживают 15 циклов попеременного замораживания-оттаивания. По такому показателю морозостойкости силикатные кирпичи соответствуют рядовым.

После испытания на попеременное увлажнение-высушивание прочность образцов существенно возросла (см. рис. 4). Повышение прочности составило от 49,2 % (для состава ИПГВ 1:1) до 87,7 % (для состава ИПГВ 1:2). Следовательно, оптимальное соотношение извести к супеси в вяжущем составляет 1:2. Коэффициент размягчения образцов после испытания на попеременное увлажнение-высушивание составил 0,73–0,81.

Установлено, что повышение прочности композитов после попеременного увлажнения и высушивания связано с гидравлическими свойствами полученного материала. Очевидно, при нахождении образцов в воде дальнейшая гидратация и перекристаллизация новообразований оказывает большее влияние на повышение прочности материала, чем разрушающее действие при попеременном увлажнении и высушивании.

Таким образом, на основе природного наноразмерного сырья можно получать эффективные стеновые строительные материалы с низкими энергозатратами. Оптимальное содержание извести для всех изучаемых глинистых пород составляет 10 мас. %, причем эта величина не зависит от способа формования образцов – литьевого или полусухого прессования. В процессе эксплуатации прочность таким материалов может повышаться за счет гидравлических свойств цементирующего соединения. Морозостойкость составляет не менее 15 циклов, что соответствует показателям рядового кирпича. При использовании в качестве вяжущего ИПГВ соотношение извести к супеси в вяжущем должно составлять 1:2.

Список литературы:

1. *Лесовик, В.С.* Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород / В.С. Лесовик // – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 526 с.

2. *Лесовик, В.С.* Снижение материалоемкости автоклавных материалов / В.С. Лесовик, А.Н. Володченко // Здоровье населения – стратегия развития среды жизнедеятельности: в 2 т.: сб. ст. к Общему собранию РААСН / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изв-во БГТУ, 2008. – Т. 2. – С. 242–251. – ISBN 978-5-361-00067-8.

К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНОГО СЫРЬЯ

Володченко А.Н., канд. тех. наук, доцент
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Одними из наиболее экономичных и распространенных в стране стеновых материалов являются автоклавные силикатные материалы. По традиционной технологии для их изготовления используется известь и кварцевый песок, который активизируется путем тонкого измельчения хотя бы частичного объема.

В современных условиях на первый план выходят задачи создания новых эффективных композитов, сочетающих в себе высокие конструктивные, декоративные и эксплуатационные качества. Для решения этой задачи необходим новый подход к технологии получения силикатных материалов, который заключается в переходе от традиционного сырья к получению композиционного вяжущего на основе нанодисперсного сырья, способствующие синтезу цементирующих веществ оптимальной микроструктуры.

Анализ данных по исследованию сырьевой базы материалов автоклавного твердения позволил теоретически обосновать и экспериментально подтвердить возможность управления синтезом новообразований для получения материалов с заданными свойствами путем введения в сырьевую массу глинистых пород незавершенной фазы процессов глинообразования [1, 2]. Подобные глинистые породы широко распространены, а также в больших количествах попутно извлекаются при добыче полезных ископаемых. Это сырье, обладающее свойствами природных наноразмерных частиц, позволяет изменить морфологию новообразований и оптимизировать структуру цементирующего соединения.

Глинистые породы имеют весьма разнообразный минералогический состав и свойства. Поэтому для разработки методики расчета состава сырьевой смеси на основе известково-глинистого вяжущего изучена кинетика взаимодействия основных породообразующих глинистых минералов (каолинита и монтмориллонита) с гидроксидом кальция в гидротермальных условиях [3].

Установлено, что оптимальные кинетические параметры реакции и для каолинита и для монтмориллонита обеспечиваются в том случае, если содержание СаО не превышает 30 мэкв/г глины.

Определено, что предельное поглощение оксида кальция каолинитом и монтмориллонитом в условиях автоклавной обработки, которые приняты при производстве традиционного силикатного кирпича, составляет соответственно 28 и 30 мэкв/г глины. Установлено, что наиболее интенсивно процесс поглощения оксида кальция происходит с увеличением содержания СаО до 30 мэкв/г глины.

Продуктами взаимодействия глинистых минералов с известью являются низкоосновные гидросиликаты и гидрогранаты, причем каолинит образует преимущественно гидрогранаты, а монтмориллонит – низкоосновные гидросиликаты кальция.

Исходя из полученных данных, предлагается способ расчета оптимального состава известково-глинистого вяжущего, в основе которого положено условие полного взаимодействия с глинистыми минералами с СаО.

$$C = \frac{2800 \cdot P \cdot H}{28 \cdot P \cdot H + 1000A},$$

где С – содержание СаО в известково-глинистом вяжущем, мас. %; Р – содержание глинистых минералов в глинистой породе, мас. %; Н – предельное поглощение глины известью, 28–30 мэкв/г; А – активность извести, мас. %.

Установлено, что в известково-глино-песчаной смеси цементирующие соединения образуются преимущественно за счет взаимодействия гидроксида кальция с глинистыми минералами и частично с тонкодисперсным кварцем. Крупнодисперсный кварц с известью практически не реагирует.

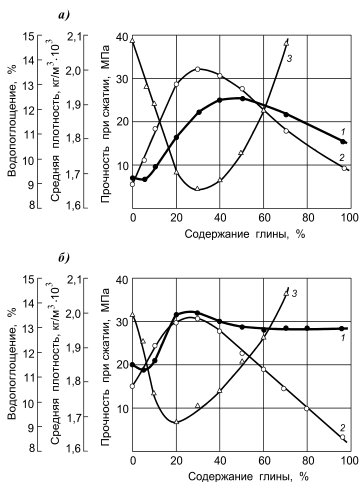
Изучение совместного влияния тонкодисперсного кварца и глинистых минералов на свойства известково-песчаных материалов показало, что наиболее эффективно управлять синтезом новообразований можно за счет введения пород, содержащих наряду с глинистыми минералами 50–70 мас. % тонкодисперсного кварца.

Проверка данной гипотезы проведена путем использования в качестве сырья вскрышных глинистых пород Курской магнитной аномалии, а также ряда других месторождений.

Использование этого сырья позволяет улучшить физико-механические характеристики автоклавных силикатных материалов (рис. 1). За счет

высокой активности сырья возможно сокращение времени гидротермальной обработки силикатных материалов в автоклаве в 2–3 раза.

II



I

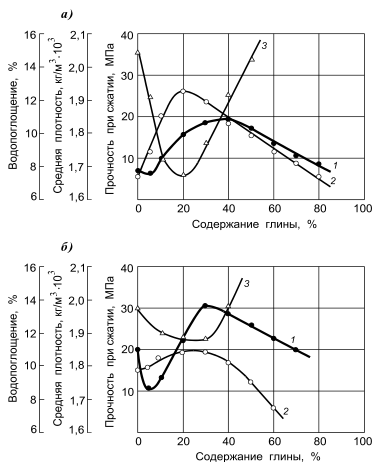


Рис. 1. Свойства образцов в зависимости от содержания суглинка Лебединского месторождения (I) и опоковидной глины (II):

содержание активной CaO: а – 4 мас. %, б – 8 мас. %; 1 – предел прочности при сжатии,

2 – средняя плотность, 3 – водопоглощение

Установлено, что песчано-глинистые породы повышают прочность сырца в 3–4 раза. Это позволит улучшить формуемость сырьевой смеси, снизить брак в процессе формования, а также облегчит выпуск высокопустотных изделий. За счет высокой активности сырья возможно сокращение времени гидротермальной обработки силикатных материалов в автоклаве.

Исследования нанодисперсного сырья других месторождений, в частности вскрышных пород Архангельской алмазонской провинции (ААП) и песчано-глинистых пород ряда месторождений республики Йемен показало, что это сырье также оказывает положительное влияние на свойства силикатных материалов (рис. 2 и 3).

На основе изучаемого природного наноразмерного сырья можно получать эффективные ячеистые бетоны с низкими энергозатратами [4]. За счет высокой дисперсности сырья можно исключить ее

предварительный помол при приготовлении сырьевой смеси. Время изотермической выдержки изделий в автоклаве в 2 раза меньше, чем для изделий на основе традиционного сырья.

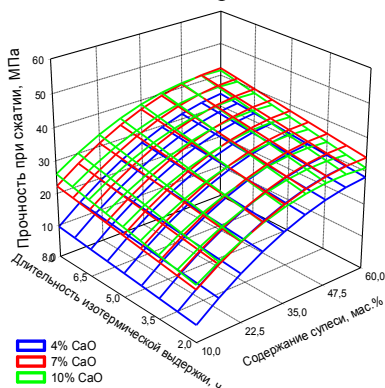


Рис. 2. Прочность при сжатии силикатных материалов в зависимости от содержания супеси ААП, содержания $\text{CaO}_{\text{акт}}$, длительности изотермической выдержки при давлении 1,0 МПа

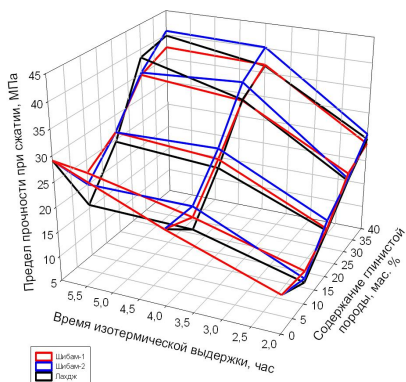


Рис. 3. Прочности при сжатии силикатных материалов в зависимости от длительности изотермической выдержки: 1 – суглинок месторождения Шибам-1; 2 – суглинок месторождения Шибам-2; 3 – суглинок месторождения Лахдж

силикатных смесей, обеспечивающие получение теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона (табл. 1).

Таблица 1

Свойства автоклавного ячеистого бетона на основе рациональных составов

Содержание $\text{CaO}_{\text{акт}}$, мас. %	Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Класс прочности	Водонасыщение $W_{\text{нак}}$ через 72 ч испытаний,	Влажностная усадка, мм/м	Марка по морозостойкости	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)
18	1,5:1	400	2,27	2,0	60,1	0,62	25	0,10
	1,5:1	500	2,91	2,5	55,0	0,53	25	0,12
	1,5:1	700	4,6	3,5	42,9	0,45	25	0,14

Песчано-глинистые породы, в зависимости от их минерального состава, имеют различную окраску, что позволяет использовать их в качестве пигментов для объемного окрашивания строительных материалов [5].

Таким образом, в качестве энергосберегающего сырья для производства автоклавных силикатных материалов можно использовать отложения начальной стадии процессов глинообразования, которые состоят из метастабильных минералов несовершенной структуры нанодисперсного уровня, тонкодисперсного кварца и аморфных минералов, что позволит улучшить физико-механические свойства автоклавных силикатных материалов.

С использованием изучаемого сырья можно получать эффективные окрашенные высокопустотные силикатные кирпичи и камни, а также ячеистые бетоны, удовлетворяющие требованиям теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных. Сокращение энергозатрат на производство силикатного кирпича составит в пределах 20–25 % и ячеистобетонных изделий – 30–35 %.

Список литературы:

1. *Лесовик, В.С.* Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород [Текст] / В.С. Лесовик. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 526 с.
2. *Володченко, А.Н.* Повышение эффективности производства автоклавных материалов [Текст] / А.Н. Володченко, В.С. Лесовик // Известия вузов. Строительство. – 2008. – № 9. – С. 10–16.
3. *Лесовик, В.С.* Кинетические характеристики взаимодействия глинистых минералов с гидроксидом кальция в гидротермальных условиях [Текст] / В.С. Лесовик, А.Н. Володченко // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии: Межвузовский тематический сб. науч. тр. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1995. – Ч. 1. – С. 80–85.
4. *Володченко, А.Н.* Регулирование свойств ячеистых силикатных бетонов на основе песчано-глинистых пород [Текст] / А.Н. Володченко [и др.] / Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2007. – № 10. – С. 4–9.
5. *Лесовик, В.С.* Объемно-окрашенный силикатный кирпич с использованием вскрышных глин КМА [Текст] / В.С. Лесовик, А.Н. Володченко, Г.Г. Голиков // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы шестых академических чтений РААСН. – Иваново: Изд-во Гос. архит.-строит. акад., 2000. – С. 286–290.

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОАКТИВАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Горобец Л.Ж., д-р техн. наук, профессор,
Коваленко В.В., канд. техн. наук, доцент,
Гасвой В.В., канд. техн. наук, доцент

*Государственное высшее учебное заведение
«Национальный горный университет»*

Механоактивация вещества проявляется в изменениях его фазового состава и энергетических свойств в результате динамической перестройки в процессе измельчения.

Эффектам механоактивации материалов путем измельчения отводят на практике важную роль в связи с улучшением их технологических свойств, таких как, повышение скорости образования химических соединений и прочностных параметров конечных продуктов при производстве строительных материалов [1...3]. Изменения технологических свойств оценивают различными параметрами в зависимости от вида измельчения и предназначения структурно-модифицированных материалов: вязущими свойствами, прочностью изделий, скоростью растворения, температурой реакции, расходом реагентов, степенью раскрытия ценных минералов, эффективностью обогащения и др.

Целью данной работы было исследование изменений физико-механических свойств ряда строительных материалов (шлаки, цемент, гипс), а также образуемых многокомпонентных систем, на основе которых получают бетон, в результате их измельчения и механоактивации.

Свежеобразованную поверхность диспергированного вещества характеризуют параметром дисперсности S/V (S – удельная поверхность вещества, V – объем структурных единиц вещества), который используют для прогнозной оценки *механоактивации* измельченного материала. Это обусловлено тем, что величина параметра S/V пропорциональна отношению содержанию активных функциональных групп атомов A на поверхности измельченного материала: $\frac{A}{B} \approx \frac{S}{V} \approx d^{-1}$ (d - характерный размер тонкодисперсных частиц, V , B – соответственно объем и число структурных единиц остова кристаллической решетки вещества частиц) [6].

Степень повышения дисперсности (роста S/V и уменьшения d) задается энергетическими параметрами разрушения частиц: средней W_V и локальной $W_{\Delta V}$ плотностью энергии при разрушении с учетом соотношения:

$$W_V \approx W_{\Delta V} \varepsilon_D \approx \gamma / (d \eta_D),$$

$$\text{где } W_V = \sigma_o \varepsilon_o / 2, \quad W_{\Delta V} = W_V / \varepsilon_D,$$

σ_o, ε_o - предел прочности и деформация на пределе прочности,

γ - удельная поверхностная энергия диспергированных частиц,

η_D - к.п.д. диспергирования,

ε_D - относительная деформация на стадии диспергирования.

Из этого следует, что усиление эффектов механоактивации порошков при измельчении возможно на основе достижения более высоких уровней плотности энергии при разрушении (W_V и $W_{\Delta V}$). В этом плане предпочтительно импульсное нагружение частиц высокоскоростными и высокочастотными ударами с варьированием следующих режимных параметров их обработки: скорости динамической деформации $\dot{\varepsilon} = v/d$ и частоты нагружающих импульсов $\dot{N} = 1/\tilde{T}$ (v - скорость удара, \tilde{T} - период разрушения, d - размер частиц) [2]. Согласно теории в условиях нагружения измельчаемых частиц ударами с частотой, приближающейся к собственной частоте автоколебательного резонанса разрушаемого тела, обеспечивается максимальное значение η_D к.п.д. диспергирования [2].

Высокоскоростные режимы измельчения с высокой плотностью энергии (средней $W_V \cong 10^0 \dots 10^2$ МДж/м³ и локальной $W_{\Delta V} = 10^2 \dots 10^3$ МДж/м³) разрушения частиц реализуются в устройствах газодинамического типа [5, 6]. При измельчении в струях варьирование параметров энергоносителя (давления, температуры, скорости струй) позволяет изменять кинетическую энергию частиц и в результате - режимные параметры нагружения.

Первым этапом исследования физико-механических свойств измельченных строительных материалов являлось исследование влияния на прочность образцов различных видов измельчения: традиционной барабанной мельницы (низкоскоростными ударами шаров), струйной и центробежной мельниц (скорости ударов частиц - сотни метров / сек).

В работах [1...5] приведены опытные данные, раскрывающие положительные аспекты струйной технологии измельчения на примерах различного минерального сырья и концентратов: руды, огнеупорные

материалы, каолин, кварцевый песок, абразивные и алмазные порошки, технический глинозем, муллитокорундовый шамот, цемент, шлак, формовочный гипс.

Тонкое измельчение цементного клинкера делает возможным получение цементов высоких марок для тампонажных растворов. В диапазоне удельной поверхности цемента $S = 0,37-0,69 \text{ м}^2/\text{г}$ уменьшается растекаемость цементного раствора, увеличивается пластическая вязкость, сокращаются в 1,5-2 раза сроки схватывания. Изделия, изготовленные на основе тонкодисперсных порошков струйного помола цемента и гипса, показали на 40% более высокую прочность по сравнению с обработкой в барабанной мельнице. Измельченный в струях гранулированный доменный шлак приобретает повышенную гидравлическую активность и способен частично заменить цемент при достаточной величине его удельной поверхности.

Влияние способа измельчения на дисперсность и свойства цементов показано в таблице 1. При близких значениях удельной поверхности ($S_{\text{уд}} = 0,28 \dots 0,33 \text{ м}^2/\text{г}$) достигается увеличение прочности на сжатие (на 4-7 МПа) образцов из цементов струйного помола по сравнению с измельчением другими способами: струйная – $\sigma = 52,3$ МПа; центробежная – $\sigma = 48,6$ МПа; шаровая мельница – $\sigma = 45,6$ МПа.

Таблица 1

Технологические свойства цементов, измельченных разными методами [6].

№ п/п	Вид мельницы	Остаток на сите, %		$S_{\text{уд}}$, $\text{м}^2/\text{г}$	Прочность σ , МПа	
		80 мкм	40 мкм		на изгиб	на сжатие
1.	струйная	0,4	1,2	0,24	6,5	43,4
2.	струйная	0,2	0,5	0,33	7,0	52,3
3.	струйная	0,0	0,0	0,40	7,3	58,9
4.	шаровая	1,7	9,3	0,25	5,0	34,0
5.	шаровая	0,7	2,5	0,31	5,5	45,6
6.	шаровая	7,0	-	0,29	6,3	44,2
7.	центробежная	0,1	8,8	0,25	6,3	48,4
8.	центробежная	4,7	18,9	0,21	6,1	45,3
9.	центробежная	0	2,2	0,28	5,7	48,6

В данной работе исследованию струйного измельчения подвергался тонкогранулированный шлак – продукт грубого помола в барабанной шаровой мельнице. Крупность исходного шлака составила 0,5-2,0 мм, остаток на сите 0,1 мм – 18,1 %, на сите 0,05 мм – 52,8 %. Испытания проведены на установке лабораторного типоразмера (производительность – 5-30 кг/ч) с получением двух видов продуктов, уловленных в циклоне и тканевом фильтре при соотношении массы, % : (91,9...95,9) : (8,1...4,1). В некоторых опытах измельчали шлак в виде смеси с добавкой гипса (3, 5, 7, 10 %) для оценки влияния активирующей добавки на технологические свойства измельченного шлака.

Производительность струйной установки составила $G = 4,5-5,1$ кг/ч при давлении сжатого воздуха $P = 0,3-0,4$ МПа. Частота вращения ротора отбойно-вихревого классификатора поддерживалась на уровне $n = 2500$ мин⁻¹, удельный расход энергоносителя составил $q = 17,6...20,0$ м³/кг продукта. Прогнозируемая величина удельного расхода энергоносителя q_{2000} для установки производительностью $G = 2000$ кг/ч составит $q_{2000} = 8,4$ м³/кг шлака с удельной поверхностью $S_{ц} \geq 0,6$ м²/г. Дисперсность измельченного шлака (удельная поверхность, средний размер частиц, распределение узких фракций) измерялась на приборе «MALVERN». Установлено, что продукт циклона с удельной поверхностью $S_{уд} = 0,5$ м²/г и средним размером частиц $d_{ср} = 4$ мкм имеет следующий фракционный состав: 100 % класса менее 12 мкм, 99,7 % класса менее 10 мкм, 76,1 % класса менее 5 мкм, 3,1 % класса менее 1 мкм.

В таблице 2 приведены результаты оценки технологических свойств шлака различной дисперсности, измельченного сравнимаемыми способами без активирующих добавок и в составе смесей (гипс, клинкер, шлак).

Таблица 2

Технологические свойства продуктов
струйного и шарового измельчения граншлака и смесей

№ п/п	Способ измельчения	Состав материала	$S_{уд}$, м ² /г (Т-3)	Прочность при сжатии 7сут., МПа	Прочность при сжатии 28сут., МПа
1	струйный	шлак	0,72	15,9	30,0
2	струйный	шлак	0,87	16,4	30,0
3	шаровой	шлак	0,4	6,0	14,3

4	струйный шаровой	шлак – 50 % шлак – 50 %	0,92 0,4	11,6	17,8
5	струйный шаровой	шлак – 75 % клинкер – 25 %	0,87	19,5	40,2
6	струйный шаровой	шлак – 80 % клинкер – 20 %	0,87	20,8	40,0
7	струйный шаровой	шлак – 75 % клинкер – 25 % гипс – 5 %	0,75	21,2	41,5
8	шаровой шаровой	клинкер – 95 % гипс – 5 %	0,24	24,5	41,1
9	струйный шаровой	шлак – 75 % клинкер – 17 % гипс – 8 %	0,75	22,9	39,9
10	струйный	шлак – 93 % гипс – 7 % клинкер – 10 %	0,70	17,8	31,3

В экспериментах максимальная величина удельной поверхности составила: для продукта циклона – $S_{ц} = 0,68...0,92 \text{ м}^2/\text{г}$, для продукта фильтра – $S_{ф} = 1,81...2,18 \text{ м}^2/\text{г}$. Измельченный в струях гранулированный доменный шлак способен частично заменить цемент при удельной поверхности продукта $S_{уд} \geq 0,6-0,9 \text{ м}^2/\text{г}$; при этом прочность на сжатие образцов из шлаков струйного помола без активаторов составляет 30 МПа.

Химическими анализами продуктов измельчения подтверждается селективность процесса струйного измельчения, состоящая в улучшении качества основного продукта, уловленного в циклоне: содержание серы практически вдвое меньше, чем в продукте фильтра. При этом в области максимума прочности образцов σ на сжатие ($S_{ц} = 0,68-0,92 \text{ м}^2/\text{г}$) наблюдается увеличение содержания (на 0,5...1,0%) основных минералообразующих оксидов (CaO , SiO_2 , Al_2O_3) в измельченном шлаке по сравнению с исходным.

Полагаем, что продукт фильтра с удельной поверхностью порядка $S_{ф} = 1,8-2,2 \text{ м}^2/\text{г}$ может найти широкое применение в качестве

микронаполнителя в технологии низкомарочных бетонов с целью повышения их прочности и стойкости [7].

Испытания граншлаков струйного помола в смеси с клинкером [(75...80): (20...25)] показали достаточно высокую прочность – марку 400, что характерно для измельченной шарами смеси клинкера с гипсом (95:5). При этом тонкость помола цемента шарами контролировалась остатком на сите 80 мкм – не более 8...15 %. Из анализа кривых на рис. 2 следует, что струйная технология измельчения граншлака по физико-механическим параметрам полученных образцов может считаться перспективной для производства из граншлака самостоятельного вяжущего вещества в строительных растворах и изделиях [4]. Для этой цели пригодны также смеси с портландцементным клинкером в соотношении (4...5):1 (соответственно в стандартном цементе содержание клинкера - до 95 %). Исследуя влияние процесса механоактивации на изменение технологических свойств бетонных образцов, полученных на основе строительных материалов с измененной структурой и физико-химическими свойствами можно отметить, что в результате измельчения вяжущего происходит ускорение начальной стадии химического твердения цементных систем с частицами наполнителя, служащими центрами кристаллизации. Наполнитель также необходим для управления коэффициентом раздвижки частиц цемента [8]. В качестве наполнителя в растворных смесях выступают мелкодисперсные фракции кварцевого песка, которые занимают пространство между зёрнами цемента и на базе них формируются кристаллогидратные группы.

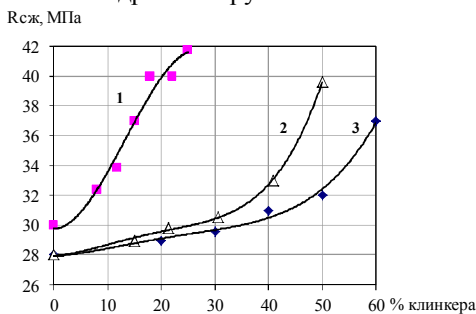


Рис. 1. Зависимость прочности образцов на основе измельченного шлака от массовой доли клинкера в шихте: 1 – граншлак струйного помола, 2 – граншлак шарового помола, 3 – отвальный шлак шарового помола.

Механоактивация наполнителя в значительной степени стимулирует образование кластеров “вяжущее-наполнитель” за счет высокой поверхностной энергии частиц наполнителя. Содержание в бетонной смеси микронаполнителя в количестве до 10...20% значительно повышает прочность бетонных образцов в сравнении с образцами без микронаполнителя (механоактивированного кварцевого песка) (рис. 2). Соотношение компонентов смеси – стандартное для испытаний: Ц/П=1/3.

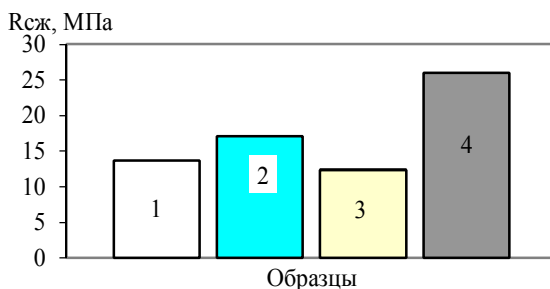


Рис. 2. Диаграмма прочности образцов со стандартными и измельченными компонентами: 1 – стандартный цемент и стандартный песок, 2 – измельченный цемент и стандартный песок, 3 – стандартный цемент и измельченный песок, 4 – измельченный цемент и стандартный песок с микронаполнителем (измельченный песок в количестве 20%).

В случае использования измельченного цемента для приготовления смеси прочность образцов возрастала на 20...24%; при использовании измельченного цемента и добавке наполнителя удалось достичь увеличение прочности более чем в 1,9 раза. Повышенные дозировки ультрадисперсного материала уже приводят к увеличению водопотребности, величина которой зависит от удельной поверхности микронаполнителя и его объемного содержания в системе. Соответственно прочность снижается в сравнении со стандартными образцами на 15%.

При сравнении снимков электронной микроскопии стандартного бетонного образца и образца на основе измельченного цемента с добавкой механоактивированного кварцевого песка в качестве микронаполнителя (рис. 3) можно заметить более пористую структуру на снимке со стандартным образцом при увеличении в 550раз.

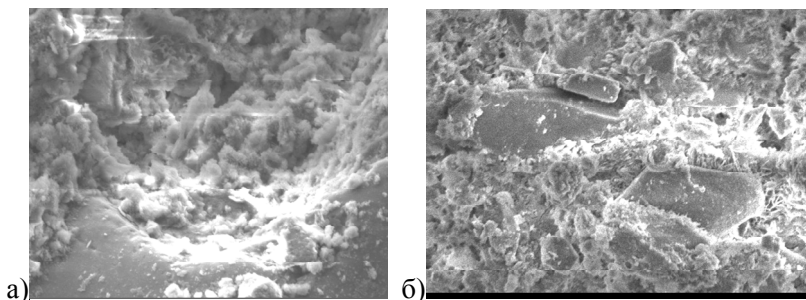


Рис. 3. Электронная микроскопия стандартного образца (а), при $\times 550$, и образца с измельченным цементом и добавкой наполнителя (б), при $\times 6000$.

Структура бетонного тела с измельченным цементом и добавкой наполнителя характеризуется более плотным образованием кристаллогидратной группы даже при 6000-кратном увеличении. Упрочнение бетонов путем снижения дифференциальной пустотности исходной водовяжущей пасты в сторону меньших по размеру пустот при размещении гранул наполнителя между частицами цемента, обуславливает формирование цементного камня с меньшими размерами капиллярных пор.

Таким образом, механоактивация является одним из наиболее простых способов придания строительным материалам высокой активности, увеличения удельной поверхности, а также повышения поверхностной энергии. Использование технических возможностей по повышению химической активности и поверхностной энергии строительных материалов путем измельчения и формирования активных короткоживущих центров в измельчаемых минеральных фазах, наряду с использованием результатов проводимых исследований позволит значительно повысить технологические свойства строительных материалов, как многокомпонентных систем с различным соотношением и степенью измельчения исходных минеральных компонентов.

Улучшение технологических свойств строительных материалов на основе измельчения и механоактивации достигается при использовании для приготовления бетонной смеси измельченного цемента – увеличение прочности образцов равно 20...24%; в случае применения измельченного цемента с добавкой микронаполнителя прочность возрастает более чем в 1,9 раза.

Практическое применение в строительной индустрии струйной технологии измельчения гранулированного доменного шлака позволит уменьшить в 4...5 раз удельный расход дорогостоящего клинкера в производстве цемента. Шлаки струйного помола можно использовать также как бесклинкерное вяжущее вещество в производстве шлакоблоков и легкомарочных бетонов. Продукт фильтра с удельной поверхностью более 1 м²/г может найти применение в качестве микронаполнителя бетонов.

Список литературы:

1. *Пилов, П.И.* Механоактивация при измельчении полезных ископаемых [Текст] / П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, В.В. Гаевой и др. // – Вісник КТУ.- 2007. - №.16. – С.59-65.
2. *Kovalenko, V.* Impact of mechanical activation of binding agent and filler on strength properties of concrete / V. Kovalenko, L. Gorobets. // Scientific Bulletin of the National mining university. – The scientific and technical journal. - Dnipropetrovsk. - № 6, 2008. – P. 27-28.
3. *Пилов, П.И.* Технологические возможности струйных измельчителей [Текст] / П.И. Пилов, Л.Ж. Горобец, И.В. Верхоробина // ГИАБ. - №3.- 2007.- С. 359-367.
4. *Козлов, В.В.* Сухие строительные смеси [Текст] / В.В. Козлов. – М.: Изд-во ассоциации строительных вузов. – 2000. – 158 с.
5. *Калинин, О.А.* Физическая сущность коэффициента раздвижки частиц цемента и уравнений, отражающих закон В/Ц при расчете состава бетона [Текст] / О.А. Калинин // Бетон и железобетон в Украине. 2007. – №4. – С. 2-4

ПЕНОБЕТОН С ЭФФЕКТИВНОЙ ДОБАВКОЙ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПЕРЛИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО

**Дягель И.А., студент,
Бухало А.Б., канд. техн. наук, ст. преподаватель**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Энерго- и ресурсосбережение являются главными направлениями в строительной отрасли России в настоящее время. В связи с этим особенно актуальна разработка материалов с повышенными технико-эксплуатационными характеристиками и низкими стоимостными показателями.

В последнее время в виду развития нанотехнологий и необходимости создания современных модифицированных теплоизоляционных материалов различного состава широкое распространение получило использование наноструктурированных систем для осуществления направленного регулирования физико-механических свойств конечных изделий. Их можно использовать не только как вяжущие системы, но и как эффективный компонент основного вяжущего или добавку.

Цемент является дорогостоящим материалом, и производители пенобетонных блоков заинтересованы в его экономии. Исходя из этого, использование различных минеральных добавок и альтернативных вяжущих систем, в том числе и различных наноструктурированных вяжущих, диктуется следующими обстоятельствами:

- необходимостью придания цементным системам специальных свойств;
- экономией дорогостоящего вяжущего и топливно-энергетических ресурсов;
- улучшением экологического баланса регионов за счет утилизации.

На данный момент существуют две основные задачи, стоящие перед производителями пенобетонных блоков: во-первых, повысить их прочность, не увеличивая значения плотности, во-вторых, снизить себестоимость продукции, не теряя при этом в качестве. Решить эти задачи можно путем добавления в бетонную смесь наноструктурированного вяжущего на основе перлита, системы с уникальными свойствами. Данное вяжущее содержит до 10 % наночастиц, что оказывает положительное влияние на свойства цементной системы и готовых образцов.

Сырьем для производства наноструктурированного вяжущего является перлит — горная порода вулканического происхождения. Порода формируется на краях потоков лавы, в местах первичного соприкосновения магматических расплавов и земной поверхности. В результате быстрого охлаждения (закалки) лавы формируется вулканическое стекло — обсидиан. В дальнейшем подземные воды проникают сквозь обсидиан, происходит его гидратация и образование гидроксида обсидиана — перлита.

В его состав входят: двуокись кремния SiO_2 (65 - 75 %), окись алюминия Al_2O_3 (10 – 16 %), окись калия K_2O (до 5 %), окись натрия Na_2O (до 4 %), окись железа Fe_2O_3 (от долей до 3 %), окись магния MgO (от долей до 1 %), окись кальция CaO (до 2 %), вода H_2O (2 – 6 %), также могут присутствовать другие примеси.

Перлит имеет широкое применение в различных отраслях производства и строительства: как в естественном виде, так и вспученный (рис.1).



Рис.1. Применение перлита в различных отраслях промышленности.

Наноструктурированное вяжущее на основе перлита получают в мельнице шарового типа постадийным мокрым помолом, что позволяет добиться большого значения энергии активации частиц.

Наночастицы, содержащиеся в наноструктурированном вяжущем, оказывают положительное влияние на микроструктуру межпоровых перегородок (рис.2).

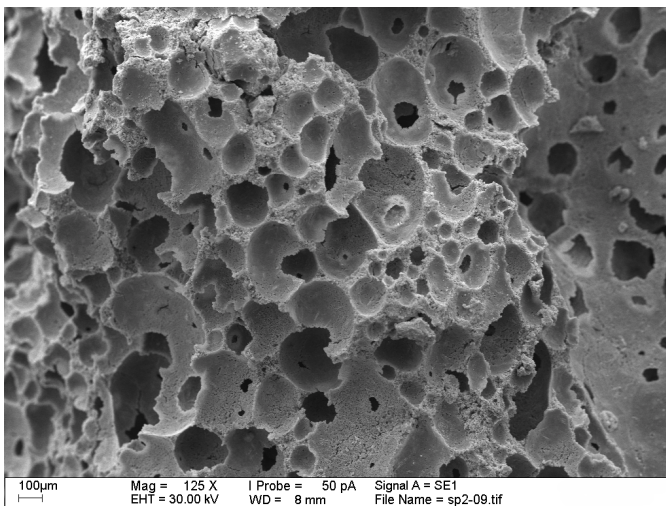


Рис. 2 Микроструктура пенобетона с заменой 10% цемента на наноструктурированное вяжущее на основе перлита.

В результате ряда опытов было установлено, что при замене части цемента на наноструктурированное вяжущее на основе перлита получаем не только существенное уменьшение стоимости пенобетона, но и прирост прочности. Так, при введении перлита в размере до 30 % от объёма формовочной смеси, значительно возрастает прочность на сжатие ввиду наличия наночастиц.

Наноструктурированное вяжущее на основе перлита, заменяя часть цемента, позволяет существенно снизить стоимость материала, в нашем случае - блоков из пенобетона. Во-вторых, наноструктурированное вяжущее, являясь активным компонентом, позволяет стабилизировать систему, снизить усадку и увеличить прочность, в связи с этим технология производства ячеистых бетонов на основе цемента с добавлением этого альтернативного вида вяжущего гораздо эффективнее.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Жерновский И.В., канд. г.–м. наук, доцент,
Жерновой Ф.Е., канд. техн. наук,
Кожухова Н.И., аспирант,
Калашникова В.А., студент
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Сырьевая база алюмосиликатных материалов на современном рынке строительных материалов представлена достаточно широко. Тем не менее, список наиболее востребованной строительной продукции с использованием алюмосиликатов в классическом варианте сохраняется практически неизменным на протяжении уже многих десятилетий. Среди основных представителей следует отметить керамические материалы, включая керамический кирпич, отделочную плитку, а так же шлакоцементы, ГЦПВ, ШЦПВ и т.д.

Сегодня в мировой индустрии потенциально имеет место широкий ассортимент алюмосиликатных сырьевых материалов. Наряду с имеющимся традиционным сырьем стоит отметить увеличивающиеся объемы алюмосиликатов техногенного происхождения, обусловленные ежегодными крупномасштабными выбросами золошлаковых отходов (ЗШО) в результате деятельности тепловых электростанций. Тем не менее утилизация данного вида сырья остается на достаточно низком уровне даже для развитых стран мира (рис. 1)

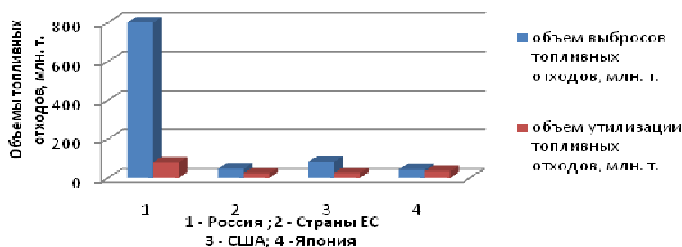


Рисунок 1 – Утилизация отходов промышленности

По проведенным оценкам по состоянию на 1998 г мировое производство ЗШО ТЭЦ составило более 390 млн. т и возросло до 780 млн. т. ежегодных выбросов к 2010 г [1]. К алюмосиликатсодержащим

ЗШО можно отнести доменные гранулированные шлаки, золы-уноса и т.д.

В мировой практике уже существует опыт использования зол и шлаков ТЭЦ а также природных алюмосиликатов в качестве пуццолановой добавки в цемент с целью улучшения эксплуатационных характеристик вяжущего. Кроме того, пуццоланы, обладая вяжущими свойствами, позволяют заменить часть дорогостоящего вяжущего (до 50%). Также, зачастую они выполняют функцию наполнителя. Эти свойства в совокупности позволяют сократить стоимость конечного цементного продукта.

Важно отметить, что алюмосиликаты при определенных условиях обладают вяжущими свойствами: механоактивация, активация щелочными компонентами.

В этой связи уже проведен ряд исследовательских работ, подтверждающих способность алюмосиликатов образовывать твердые. А в некоторых случаях, довольно прочные конгломераты

Твердение данного типа материалов происходит по принципу полимеризации и поликонденсации, таким образом, данные вяжущие координально отличаются от традиционных аналогов по типу твердения, и их можно выделить в отдельную группу вяжущих материалов.

Материалы, получаемые с использованием алюмосиликатной составляющей как в качестве добавки, так и в качестве основного компонента в системе обладают целым рядом положительных эксплуатационных характеристик. В связи с этим они могут найти свою нишу в широком спектре областей применения строительной индустрии.

Немаловажным является тот факт, что процессе твердения алюмосиликатных вяжущих в качестве побочных продуктов реакции выделяется вода. Таким образом, технологию получения и сами материалы можно с уверенностью отнести к экологически безвредным продуктам.

Одним из основных преимуществ данного типа вяжущих является способность твердения при относительно низких температурах (25–200 °С). При этом скорость набора прочности достаточно высока в сравнении с цементными вяжущими.

Благодаря особенностям твердения, и материалы, получаемые с использованием алюмосиликатов или на их основе обладают высокими эксплуатационными характеристиками, позволяющими производить различные виды строительной продукции.

Коррозионная стойкость

Материалы, получаемые с использованием алюмосиликатных компонентов или на их основе обладают высокой плотностью, а также повышенной стойкостью к воздействию агрессивных сред.

Материалы, поглощающие токсические вещества

В результате твердения при повышенных температурах в структуре алюмосиликатных вяжущих формируются цеолитные и полевощпатовые минералы. Цеолиты также носят название «молекулярных сит», что объясняется наномасштабной пористостью этих минералов.

Благодаря этому уникальному свойству цеолитов, материалы, содержащие данный минерал могут быть использованы в качестве сорбентов для иммобилизации радиоактивных элементов, и токсических химических веществ, фильтратов для очищения сточных вод и т.д. [2].

Огнестойкость

С учетом химического и минералогического состава сырьевых материалов, используемых при получении алюмосиликатных композитов, их отчасти можно отнести к керамическим.

И как следствие этого, данный тип материалов обладает свойствами классических керамических аналогов.

Одной из таких характеристик является огнестойкость. Также, данные материалы могут использоваться и в качестве огнеупоров при температурах до 1000–1200 °С [3].

На основании вышеперечисленных особенностей алюмосиликатных вяжущих с уверенностью можно говорить широких перспективах создания и применения нового типа бесцементных вяжущих и материалов на их основе.

Список литературы:

1. *J. Davidovits* Geopolymers. Inorganic polymerie new materials /
2. *J. Davidovits* // Journal ofThamalAnalysis, Vos 37 (1991)1633–1656
3. *Djwantoro Hardjito, Steenie E. Wallah* On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete / Djwantoro Hardjito, Steenie E. Wallah, Dody M. J. Sumajouw, and B.Vijaya Rangan // ACI Materials Journal, V. 101, No. 6, 2004. P 467–472
4. *D. C. Comrie*, Report CANMET Canada, DSS Contract NO 234406 9195/01SQ, Preliminary examination of the potential of geopolymers for use in mine tailings management, D. Connie Consulting Mississauga, Ontario, 1988.

ОСОБЕННОСТИ ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В АВТОКЛАВНЫХ СИЛИКАТНЫХ И АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО МОДИФИКАТОРА

Жерновский И.В., канд. геол.-мин. наук, доцент,
Череватова А.В., д-р техн. наук, профессор,
Нелюбова В.В., канд. техн. наук,
Осадчая М.С., инженер

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Важнейшие физико-механические свойства автоклавных материалов при прочих равных условиях в значительной мере зависят от фазового состава цементирующего вещества.

Автоклавная обработка изделий в данном случае является основным процессом, поскольку только при повышенной температуре и влажности происходит химическое взаимодействие компонентов смеси, в результате которого возникают гидросиликаты кальция различного фазового состава, образуя, таким образом, прочный монолит.

При этом под оптимальными параметрами автоклавной обработки понимаются такие, которые при коротких циклах запаривания обеспечивают получение изделий необходимой прочности.

Вместе с тем, получение в промышленных условиях силикатных строительных материалов с мономинеральной структурой цементирующего вещества практически невозможно. Реальные силикатные системы характеризуются полиминеральными композициями гидросиликатных цементирующих новообразований. В связи с этим заключение о рациональной структуре, как правило, содержит рекомендации по качественному и количественному соотношению гидросиликатных фаз. То есть, имея данные о свойствах гидросиликатов кальция можно установить рациональное соотношение фаз, обеспечивающее получение силикатного камня высокой прочности и эксплуатационной стойкости.

Несмотря на обилие литературных источников, освещающих фазообразование в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, вопрос о концентрационных границах существования устойчивых минеральных парагенезисов гидросиликатов кальция еще далек до своего окончательного решения. Хотя, наметившаяся, в последнее время (в основном, в трудах

зарубежных исследователей) активность в решении этих вопросов, внушает определенный оптимизм.

Основная масса исследований минералообразования в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ проводилась на модельных смесях с целочисленными или стехиометрическими соотношениями компонентов [1]. Используемые в практике производства силикатных автоклавных материалов составы, с изначально более высоким значением CaO/SiO_2 , не вполне соответствуют приводимым в литературе результатам исследований высокотемпературных минеральных равновесий в описываемой системе.

На основе обобщенных экспериментальных данных, приведенных в [2, 3], практически интересной является область в интервале отношения CaO/SiO_2 от 0,8 до 2,5 (рис. 1). Именно она соответствует области существования парагенезисов ленточных силикатов. Уменьшение CaO/SiO_2 до 0,6 приведет к образованию Z-фазы и гиролита – слоистых силикатов с пластинчатой морфологией минеральных индивидов, что вряд ли положительно отразится на повышении прочностных свойств вяжущих на их основе.

В результате гидротермальной обработки прессованного сырца первоначально синтезируются многоосновные гидросиликаты с последующим образованием смеси высокоосновных и низкоосновных гидросиликатов кальция [4]. При этом, при обработке смеси с присутствием в ней тонкодисперсного кварцевого компонента, синтезируются низкоосновные гидросиликаты кальция группы CSH(B) [5].

Кроме того, установлено, что синтез низкоосновных гидросиликатов определяется так же степенью дисперсности кварцевого компонента.

В соответствии с современными представлениями, в производстве автоклавных материалов важная роль отводится тонкомолотому кремнеземистому компоненту, входящему в состав вяжущего. Данный компонент улучшает зерновой состав силикатной смеси, повышает ее формовочные свойства и прочность сырца. Тонкомолотый кремнеземистый компонент интенсифицирует автоклавную обработку, ускоряя образование гидросиликатов кальция.

Для повышения инвестиционной привлекательности силикатных материалов автоклавного твердения необходим переход на высокоэффективные технологии. Данная проблема может быть решена за счет использования наноструктурированного вяжущего (НВ).

Ранее [6] была установлена принципиальная возможность использования НВ в качестве основного связующего компонента при производстве строительных материалов. В данной системе формируется около 10 % частиц наноразмерного уровня, как на стадии механохимической активации исходных материалов, так и при последующей комплексной модификации вяжущей системы.

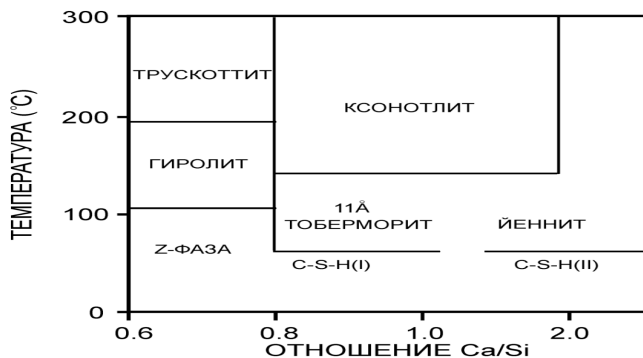


Рис. 1. Схематическая диаграмма устойчивости гидросиликатов кальция, синтезируемых в гидротермальных условиях (по [3]).

Высокая технологичность вяжущего позволила определить рациональные области его использования не только в качестве вяжущего, но и в качестве активного компонента – наноструктурированного модификатора (НМ) [7].

На основании данных о составе и свойствах наноструктурированного вяжущего теоретически была обоснована возможность его использования в качестве активной добавки при производстве силикатных материалов, что позволило бы существенно повысить их прочность, влаго-, морозостойкость и др.

Наноструктурированный модификатор получают мокрым измельчением при температуре 60–80 °С в оптимальной области значений pH (7–8), позволяющей осуществлять процесс в условиях предельной концентрации (максимальном разжижении), с последующей стабилизацией суспензий по реологическому принципу – механическим гравитационным перемешиванием. При этих условиях достигается как полидисперсный зерновой состав, так и низкое содержание жидкости,

что является определяющим в отношении плотности (пористости), прочности и усадки конечного материала.

Известно, что измельчение, связанное с механохимической активацией поверхности твердой фазы системы, безусловно, способствует увеличению ее внутренней энергии и повышению реакционной способности.

Основной задачей настоящего исследования являлось установление влияния кремнеземсодержащей высокоактивной нанодисперсной составляющей (наноструктурированный модификатор) на динамику фазообразования, а также выявления отличий в особенностях процесса гидротермального синтеза и динамики фазообразования силикатных материалов, с применением полученного НМ на основе сырья различного генезиса.

Исходя из поставленной задачи, для эксперимента в настоящем исследовании были выбраны кварцевый песок как наиболее распространенное кристаллическое кремнеземсодержащее сырье в нашем регионе, и аморфизированное алюмосиликатное сырьё - перлит Мухор-Таллинского месторождения.

Объектом исследования являлись две партии образцов: известково-песчаное вяжущее (ИПВ) контрольного заводского состава и ИПВ+НМ. Все образцы подвергались автоклавной обработке при температуре 180 °С и избыточном давлении 10 атмосфер. При этом значение CaO/SiO_2 полностью соответствовало аналогичному соотношению в традиционном известково-песчаном вяжущем. Необходимо отметить, что время изотермической выдержки в первой партии составило 6 часов, тогда как время выдержки второй партии составляло 24 часа. Увеличение времени автоклавирования до 24 часов было вызвано необходимостью получения образцов с кристаллическими формами гидросиликатных новообразований, для минералогической идентификации их парагенезисов. Динамика повышения и снижения температуры проходила одинаково в обеих партиях.

Для установления состава новообразований использовались методы рентгенофазного анализа и сканирующей электронной микроскопии.

Рентгенограммы образцов после 6-часовой выдержки показали идентичность их компонентного состава (рис 2). Кристаллические фазы представлены порландитом, кальцитом и кварцем.

Известно, что достижение равновесных парагенезисов в изучаемой системе происходит в течение продолжительного времени. Поэтому, присутствие в системе остаточных концентраций порландита и кварца

свидетельствует о незавершенной кинетике процессов образования гидросиликатов.

Следует отметить, что полуширина отражений портландита существенно уменьшается с увеличением времени автоклавирования, что свидетельствует о переходе основной массы низкоразмерной фракции портландита в С–S–Н-фазы.

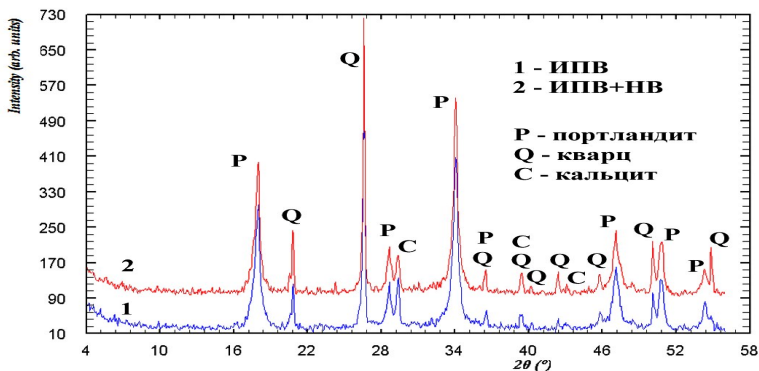


Рис. 2. Влияние состава смеси на фазообразование после 6 ч гидротермальной обработки в автоклаве:

1 – известково-песчаное вяжущее (ИПВ); 2 – ИПВ+НМ; P – портландит; C – кальцит; Q – кварц.

После 24-часовой гидротермальной обработки, рентгенограммы образцов с НВ отличались от контрольного образца ИПВ (без НМ). Так, рентгенограммы контрольного образца после различных выдержек оказались идентичными. При этом, на рентгенограммах с введением наноструктурированного вяжущего, после 24-часовой выдержки проявились отражения гидросиликатных новообразований (рис. 3).

В виду низкой интенсивности дифракционных отражений новообразований, уверенно провести традиционную диагностику минеральных фаз с применением базы дифракционных данных PDF-2 не представляется возможным. Поэтому был проведен полнопрофильный расчет рентгенограмм. Модельная минеральная композиция была составлена, на основе литературных данных, как наиболее соответствующая минеральным парагенезисам системы CaO–SiO₂–H₂O для 180° С. Результаты количественного полнопрофильного РФА кристаллических фаз образца ИПВ+НВ и контрольного образца

ИПВ, автоклавированных в течение 24 часов (программа FullProf) представлены в таблице.

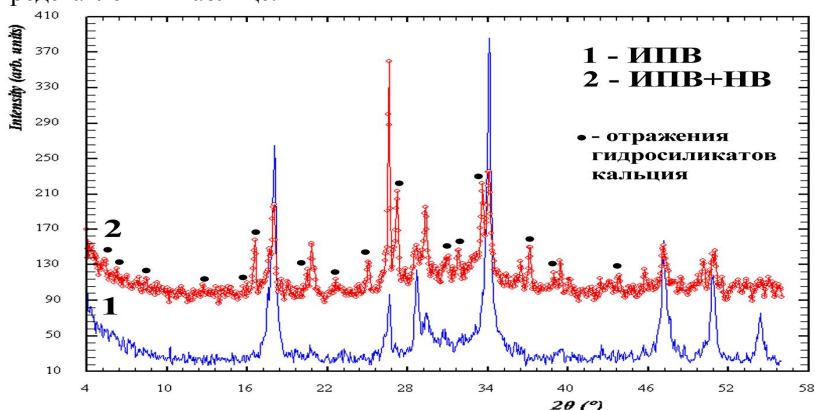


Рис. 3. Влияние состава смеси на фазообразование после 24 ч гидротермальной обработки в автоклаве:

1 – известково-песчаное вяжущее; 2 – ИПВ+НМ; ● – отражения кристаллических новообразованных фаз гидросиликатов кальция

Высокое содержание портландита объясняется тем, что на начальном этапе кристаллизации формируются высокоосновные гидросиликаты кальция. Далее в процессе гидротермального синтеза основность снижается, и, соответственно, увеличивается содержание портландита.

При количественных расчетах относительных концентраций компонентов минеральных композиций, концентрация рентгеноаморфной составляющей не определялась. Существенно различные значения концентраций, в частности, ксоноглита объясняются наличием аморфной фазы и более медленной динамикой кристаллизационных процессов в отсутствие НМ.

Таблица.

Средний состав вяжущих после 24-часового автоклавирования

Вид вяжущего	Состав, вес%					
	Кварц	Портландит	Кальцит	Ксоноглит	Йеннит	11Å-тоберморит
ИПВ+НМ	6	40	2	43	6	8
ИПВ	1	94	1	2	1	1

Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что существенный набор прочностных свойств наноструктурированных силикатных материалов автоклавного твердения обусловлен присутствием в системе наноструктурированного модификатора, который ускоряет процессы фазообразования в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.

Для сравнения фазово-структурных различий вяжущих систем на основе кварца и перлита и установления состава новообразований использовались методы рентгенофазового анализа (РФА) и инфракрасной спектроскопии (ИК).

РФА показал, что при внешнем сходстве концентрационное различие кристаллических компонентов (рис.4, 5).

Разностные кривые экспериментальных и расчетных спектров показали присутствие в образцах скрытокристаллических новообразований.

На кварцевом вяжущем – это гидросиликаты кальция тобермаритовой группы.

В вяжущем на основе перлита совокупность новообразований представлена гидросиликатами и гидроалюмосиликатами кальция, которые по предварительному анализу могут быть отнесены к образованиям группы эпидотона, в частности к циюзиту.

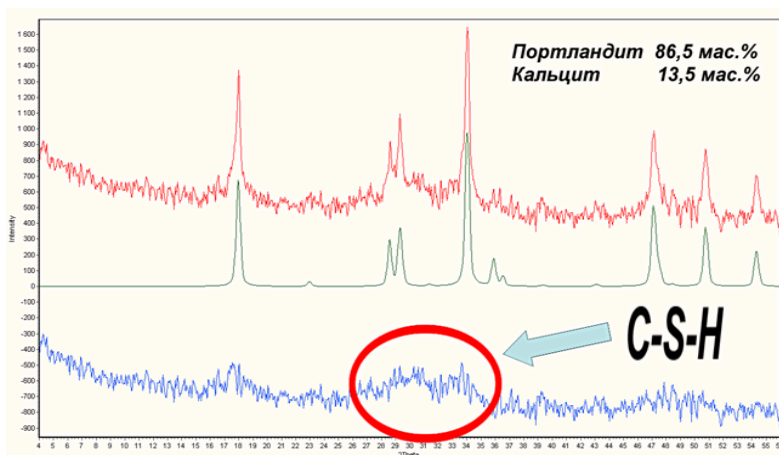


Рис. 4. Фазово-структурные различия вяжущих на основе Si и (Al-Si) НВ.

Для доказательства алюмосиликатной природы вяжущего на основе перлита, снимались ИК-спектры исследуемых вяжущих систем.

На сравнительной диаграмме (рис. 6) выделена общая для двух вяжущих полоса валентных колебаний групп Si-O-Si.

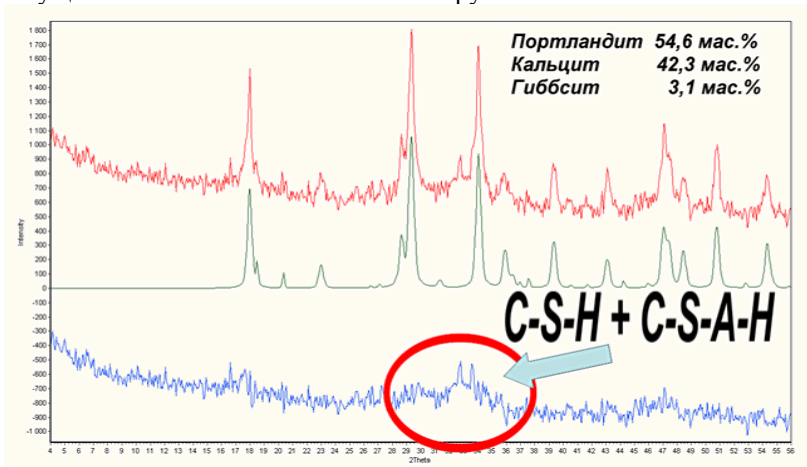


Рис.5. Фазово-структурные различия вяжущих на основе Si и (Al-Si) НВ.

На нормированных спектрах видно, что поглощение у вяжущего на основе песка заметно больше, чем на перлите.

Максимум профиля полосы поглощения для перлитового вяжущего смещен относительно первого в сторону больших длин волн.

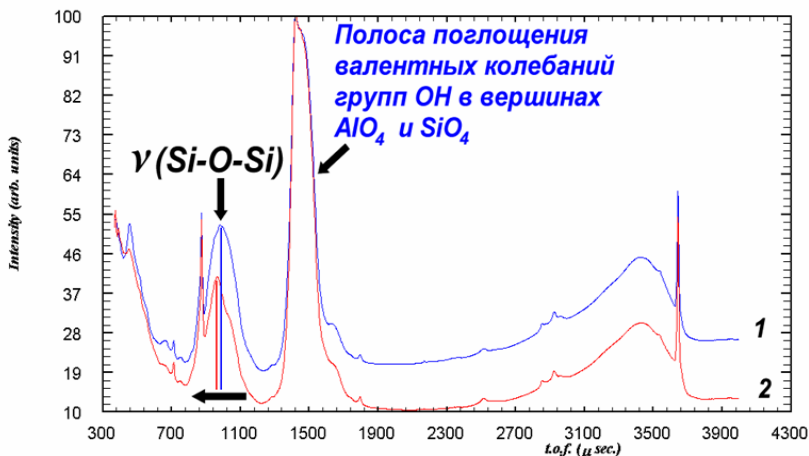


Рис. 6. Сравнение ИК-спектров экспериментальных вяжущих.

Эта особенность является характерным диагностическим признаком для алюмосиликатных систем. Последнее находится в прямом соответствии с РФА исследуемых вяжущих.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований установлена принципиальная возможность использования наноструктурированного вяжущего в силикатных автоклавных материалах в качестве активной кремнеземистой добавки, что позволяет существенно повысить их прочность, влаго- и морозостойкость.

Так же установлено, что наноструктурированный модификатор интенсифицирует фазообразование в системе С–S–Н, способствует снижению концентрации рентгеноаморфной фазы и направленному синтезу гидросиликатов. Следует отметить, что сам процесс синтеза в автоклавных системах имеет существенные отличия при использовании разноформационного сырья для получения нанодисперсного модификатора.

Список литературы:

1. *Строкова, В.В.* Влияние типоморфизма минерального сырья на синтез строительных материалов: монография / В.В. Строкова, А.В. Шамшуров. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. – 211 с.
2. *Адлер, Ю.П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

3. *Налимов, В.В.* Статистические методы при поиске оптимальных решений / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
4. *Вахнин М.П.* Производство силикатного кирпича / М.П. Вахнин, А.А. Анищенко. – М.: Высшая школа, 1977. – 160 с.
5. *Кржеминский С.А.* Автоклавная обработка силикатных изделий / С.А. Кржеминский, Н.К. Судина, В.П. Варламов. – М.: Строиздат, 1974. – 256 с.
6. *Череватова А.В., Гащенко Э.О.* Многослойный строительный материал на основе ВКВС кремнеземсодержащего сырья // Строительные материалы, – М., 2006. – № 4. – С. 22 – 23.
7. *Строкова В.В., Череватова А.В., Нелюбова В.В.* Силикатные автоклавные материалы на основе высококонцентрированной вяжущей суспензии.// «Строительные материалы», 2007. № 10. С. 16 – 17.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА В БЕТОНАХ

Жерновский И.В., канд. геол.-мин. наук, доцент,
Калашникова В.А., студент
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Геополимеры – это многообещающая цементная альтернатива. Геополимеры представляют собой аморфные макромолекулы, образующиеся в результате щелочной активации алюмосиликатов при относительно низких температурах.

Главными причинами введения геополимеров в строительное материаловедение являются их экологичность и экономичность по сравнению со многими другими видами сырья, а также, несомненно, повышенная прочность и долговечность изделий, в которых они были применены.

Существует ряд причин, требующих разработки и внедрения новых высокоэффективных бесцементных материалов

В настоящее время объем выбросов CO_2 в результате деятельности цементных заводов составляет 7 % общемирового объема выбросов в атмосферу. Таким образом, цементная промышленность оставляет существенный отпечаток, пагубно влияющий на экологию в глобальном смысле этого слова составляет.

Кроме того, разрушение бетонов на основе цементного вяжущего в сооружениях (особенно при воздействии агрессивных сред) часто начинается через 20–30 лет их эксплуатации даже в тех случаях, когда проектируемая долговечность сооружений должна была превысить 50 лет.

Одним из основных путей улучшения экологических и эксплуатационных свойств бетона представляется частичная замена портландцемента различными промышленными отходами, и, в том числе, золой-уноса ТЭЦ. К настоящему времени разработан бетон с высоким содержанием золы-уноса, в котором на долю портландцемента приходится всего 40 % и который характеризуется высокими прочностными показателями и повышенной долговечностью.

Также в мировой практике существуют примеры разработки неорганического алюмосиликатного полимера, получившего название геополимер и синтезируемого из материалов геологического происхождения или промышленных отходов, таких как зола-уноса,

содержащая значительные количества алюминия и кремния. Геополимер пригоден в качестве вяжущего в бетоне взамен цемента.

В процессе исследований геополимеров экспертами было установлено, что с ростом температуры увеличивалась их прочность на сжатие геополимеров увеличивается. Увеличение продолжительности твердения образцов также способствует росту их прочности. Следует отметить, что основной набор

прочности геополимера происходит в первые 3–7 суток. В дальнейшем рост прочности замедлялся.

Плотность геополимербетона равнялась 2330–2430 кг/м³.

При приготовлении геополимербетона применялись традиционные методы перемешивания и укладки смесей, аналогичные методам приготовления портландцементного бетона. Необходимая удобоукладываемость и заданная прочность геополимербетона могут быть достигнуты регулированием расхода воды и содержания гидроксида натрия вготавливаемых смесях, что дает возможность получать смеси с осадкой конуса от 100 до 250 мм и геополимербетон с прочностью на сжатие от 30 до 80 МПа.



Рисунок 1 – Образец геополимера

Ведущими мировыми учеными проводились исследования по изучению влияния различных факторов (количество и вид вводимой добавки, содержание воды в системе) на конечные характеристики геополимерного вяжущего и композитов на его основе.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

- Геополимербетон пригоден для производства сборных элементов (армированных и предварительно напряженных).
- Стоимость 1 м³ геополимербетона приблизительно равна стоимости 1 м³ портландцементного бетона.

- Применение геополимербетона дает ряд экономических преимуществ за счет утилизации золы-уноса.

- Дальнейшие исследования геополимербетона должны быть направлены на изучение механизма реакций, протекающих в нем в процессе твердения.

Геополимеры являются современной альтернативой портландцементу, имеющей ряд преимуществ перед последним:

1. Сырьё для производства геополимеров широко распространены и легко доступны (любой состав или источник силикатов или алюмосиликатов)

2. При производстве не требуется большого расхода энергии. Термическая обработка природных алюмосиликатов происходит при относительной низкой температуре (от 600 до 800 °С), которая обеспечивает полимеризацию сырья. При этом выбросы CO₂ в окружающую среду минимальны.

3. В отличие от портландцемента геополимеры отличаются простотой производства. Они могут синтезироваться при простом смешивании материалов и твердеют при комнатной температуре. Прочность набирается в течение короткого периода времени.

4. По сравнению с портландцементом геополимеры имеют устойчивую структуру по всему объему. Геополимеры набирают прочность в течение короткого времени – через 4 часа можно получить до 70 % конечной прочности.

5. Геополимеры обладают высокой долговечностью, огнестойкостью и низкой электропроводностью.

Таким образом, имеет смысл продолжать вести исследования в области применения геополимеров в бетонных изделиях, модифицировать существующие, а также проектировать новые вяжущие на основе алюмосиликатного сырья.

Список литературы:

1. D. M. J. Sumajouw, B. V. Rangan. Fly ash-based geopolymer concrete. Received: 22 August 2005 / Accepted: 6 June 2006 / Published online: 12 December 2006
2. B. Vijaya Rangan. Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. Source: Your Building Type. Published: 17 Mar 2008.
3. Стройнаука / Электронный ресурс – [Режим доступа]://www.stroinauka.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЛИМОРФНЫХ МОДИФИКАЦИЙ C_3S И АЛГОРИТМОВ ПОЛНОПРОФИЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РФА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Жерновский И.В., канд. геол.-мин. наук, доцент,
Строкова В.В., д-р тех. наук, профессор,
Кожухова Н.И., аспирант,
Бондаренко А.И., аспирант,
Сорокина С.С., магистр,
Баскаков П.С. студент

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Традиционно, количественный РФА портландцементного клинкера проводится для минеральной композиции — C_3S (моноклинная или триклинная модификация) + β - C_2S + C_3A (кубическая или ромбическая модификация, или одновременно обе) + C_4AF^*). Количественный РФА клинкера с учетом полиморфных модификаций C_3S не получил распространения. Исключением являются работы австралийской исследовательницы Ванессы Петерсон, в которых приводятся результаты количественного полнопрофильного РФА клинкеров с учетом всех основных модификаций C_3S — тригональной (высокотемпературной), моноклинной (МШ) (среднетемпературной) и триклинной (низкотемпературной) [1].

Целесообразность выполнения количественного РФА клинкера с учетом этих фаз обусловлена появлением дополнительного показателя качества продукции, а также возможностью прогнозирования гидратационной активности C_3S в ранние сроки твердения — активность высокотемпературных полиморфов существенно выше низкотемпературных.

Из многообразия программных продуктов (freeware) для проведения количественного полнопрофильного РФА, была выбрана отечественная разработка — программа DDM [2]. Эта программа позволяет производить вычисления весовых концентраций компонентов полифазных объектов используя два полнопрофильных алгоритма.

^{*}) Анализ на маргинальные фазы — свободную известь, периклаз, ангидрит и др. не является (в зарубежной литературе) общепринятым и выполняется не всегда.

Первый — это классический (ритвельдовский) алгоритм, основанный на минимизации разницы между экспериментальным и рассчитанным дифракционными спектрами (обязательной процедурой этого алгоритма является учет фоновой составляющей дифракционного спектра). Именно этот алгоритм реализован в подавляющем большинстве программных продуктов для полнопрофильных методов рентгеновского дифракционного анализа.

Второй полнопрофильный алгоритм, реализованный в программе DDM, основан на минимизации локальных производных разностной кривой экспериментального и рассчитанного спектров («сглаживания» разностной кривой, уменьшения ее осцилляций). Существенным отличием DDM-алгоритма от ритвельдовского является отсутствие необходимости описания линии фона рентгенограммы.

Благодаря открытому коду программы на Фортране, появилась возможность перекомпилировать ее с учетом количественных требований поставленной задачи — суммарное количество атомов в симметрично-независимых областях элементарных ячеек более 500 и количество перекрывающихся отражений более 7000. При использовании таких возможностей программа перестала «зависать» из-за исчерпания ее вычислительных возможностей.

Модельная композиция компонентов клинкера была выбрана как C_3S (моноклинная + триклинная модификации) + $\beta-C_2S$ + C_3A (кубическая модификация) + C_4AF . Следует отметить, что попытки расчета на полную композицию полиморфов C_3S — тригональная + моноклинная + триклинная модификации не привели к желаемому результату.

В качестве структурных моделей для моноклинной полиморфной модификации C_3S использовались результаты рентгеноструктурных расшифровок: 64759-ICSD [3] и 94742-ICSD [4] (ICSD — Inorganic Crystal Structure Database). Обе структурные модели относятся к суперструктурному типу (первая — модулированная структура) с близкими структурно-геометрическими параметрами (табл. 1).

Таблица 1

Кристаллогеометрические параметры минеральных компонентов клинкера

	ICSD	a (Å)	b (Å)	c (Å)	α	β	γ	Простр. группа	Колич. атомов [*]
C_3S	64759	33.083	7.027	18.499		94.12		C m	226
M	94742	33.108	7.036	18.521		94.137		C m	156

C_3S_T	4331	11.67	14.24	13.72	105.5	94.33	90.0	$P \bar{1}$	83
$\beta-C_2S$	79551	5.501	6.762	9.338		94.144		$P 2_1/n$	7
C_3A	1841	15.263	15.263	15.263				$P a \bar{3}$	16
C_4AF	2841	5.588	14.61	5.380				$I bm2$	7
*) Количество атомов в симметрично-независимой области элементарной ячейки									

Две структурных модели для моноклинной модификации C_3S были выбраны для проверки целесообразности использования их при количественном полнопрофильном РФА клинкера. В зарубежных литературных источниках обычно используется модель по Nishi (64759-ICSD). Структурная модель для триклинной модификации C_3S — обычно используемая 4331-ICSD [5]. В качестве модели для $\beta-C_2S$ выбраны структурные данные 79551-ICSD [6]. Структурные модели для C_3A (кубическая сингония) — 1841-ICSD [7] и C_4AF — 2841-ICSD [8].

Для того чтобы получить представление о соотношении результатов петрохимического пересчета химического состава клинкеров на минералообразующие компоненты по Боггу и количественного полнопрофильного РФА целесообразно привести результаты расчета на тривиальную, как правило, используемую, минеральную композицию: C_3S (трикл.) + $\beta-C_2S$ + C_3A + C_4AF (композиция 1).

Анализ приемлемости применения различных структурных моделей моноклинного C_3S основан на сопоставлении расчетов для двух вариантов модельных композиций: C_3S (моноклинная, 64759-ICSD) + C_3S (триклинная, 4331-ICSD) + $\beta-C_2S$ + C_3A + C_4AF (композиция 2) и C_3S (моноклинная, 94742-ICSD) + C_3S (триклинная, 4331-ICSD) + $\beta-C_2S$ + C_3A + C_4AF (композиция 3) (табл.3).

К основному результату проведенного исследования следует отнести обнаруженный факт устойчивого присутствия во всех образцах клинкеров композиции моноклинной и триклинной полиморфных модификаций C_3S . При этом отношение концентраций моноклиной к триклинной модификациях в различных образцах представительной выборки (около 15) варьирует в интервале $2 \div 5$. Использование различных структурных моделей моноклинной модификации C_3S приводит к относительно близким значениям концентраций. Вопрос о предпочтительности конкретной структурной модели для количественного полнопрофильного РФА клинкеров еще ждет своего окончательного решения.

Результаты расчетов с применением различных полнопрофильных алгоритмов показали небольшое, но устойчивое отличие значений концентраций минеральных компонентов клинкера. Вероятно, что в дальнейших исследованиях целесообразно применять DDM-алгоритм, т.к. при его использовании на результаты расчетов не влияют погрешности аппроксимации линии фона дифракционного спектра.

Полученные значения концентраций полиморфных высокотемпературных модификаций C_3S могут свидетельствовать в высокой технологической культуре производства на ОАО «Осколцемент».

Таблица 3

**Результаты количественного РФА образцов клинкера
цементного завода ОАО «Осколцемент» (вес.%)**

Минеральные компоненты	Расчет по Боггу	Ритвельд			DDM	
		Модельная композиция				
		1	2	3	2	3
Образец 1						
C_3S (М)			40,04	36,18	39,13	37,19
C_3S (Т)			15,64	19,58	19,27	22,33
ΣC_3S	57,31	57,41	55,68	55,76	58,4	59,52
$\beta-C_2S$	18,92	24,51	20,5	19,21	17,2	15,14
C_3A	6,18	4,96	9,48	10,98	6,64	7,48
C_4AF	15,90	13,12	14,35	14,06	17,76	17,87
Образец 2						
C_3S (М)			43,24	38,86	41,89	41,52
C_3S (Т)			15,73	20,36	18,28	22,34
ΣC_3S	48,82	47,08	58,97	59,22	60,17	63,86
$\beta-C_2S$	28,59	38,99	19,05	20,96	19,28	13,51
C_3A	5,42	2,51	11,29	9,47	8,54	9,15
C_4AF	16,56	11,42	10,7	10,34	12,02	13,48
Образец 3						
C_3S (М)			43,24	38,86	41,89	41,52
C_3S (Т)			15,73	20,36	18,28	22,34
ΣC_3S	54,30	60,05	58,97	59,22	60,17	63,86
$\beta-C_2S$	23,11	23,55	19,05	20,96	19,28	13,51

C ₃ A	8,05	5,97	11,29	9,47	8,54	9,15
C ₄ AF	12,32	10,42	10,7	10,34	12,02	13,48

Полученные результаты можно сравнить с результатами количественного полнопрофильного РФА рентгенограммы цемента, произведенного в США, любезно предоставленной К. Соболевым (университет Милуоки, Висконсис). Его состав, в пересчета на клинкер, оказался следующий: C₃S (моноклинный) – 62, C₃S (триклинный) – 4.77, β-C₂S – 17.34, C₃A – 4.37, C₄AF – 11.53! Столь высокая концентрация моноклинного C₃S привела к образованию, за счет гидратации от атмосферной влаги, 14 Å-тоберморита (концентрация в цемента — 1,7 вес.%).

Для окончательного решения вопроса о связи активности клинкера с минеральным составом планируется проведение корреляционного анализа на представительной (~20-30) выборке.

Кроме этого, предварительный анализ параметров фазово-размерной гетерогенности (оценка величины кристаллитов — областей когерентного рассеяния) приводит к выводу о существенном влиянии этой характеристики на активность клинкера.

Список литературы:

1. Peterson V.K., Ray A., and B. Hunter Importance of minor phase inclusion in the Rietveld analysis of cement clinkers. / V.K Peterson., A. Ray, B. Hunter // Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement. — Durban. — 2003. — Pp. 146-150.
2. Solovyov L.A. Full-profile refinement by derivative difference minimization / Journal of Applied Crystallography. — 2004. — 37. — P.743-749.
3. Nishi. F., Takeuchi Y., Maki. I. Tricalcium silicate Ca₃O(SiO₄): The monoclinic superstructure. / Zeitschrift fur Kristallographie. — 1985. — 172. — P. 297-314.)
4. Torre A.G., Bruque S., Campo J., Aranda. M.A.G. The superstructure of C₃S from synchrotron and neutron powder diffraction and its role in quantitative phase analyses. / Cement and Concrete Research. — 2002. — 32. — P. 1347-1356.
5. Головастиков Н.И., Матвеева П.Г., Белов Н.В. Кристаллическая структура трехкальциевого силиката (CaOSiO₂)₃ = C₃S. / Кристаллография. — 1975. — 20. — С. 721-729.
6. Tsurumi T., Hirano Y., Kato H., Kamiya T., Daimon. M. Crystal structure and hydration of belite. / Reference Ceramic Transactions, 13 (Supercond.Ceram.Supercond.). — 1994. — 40. — P. 19-25.
7. Mondal P., Jeffery J.W. The crystal structure of tricalcium aluminate, Ca₃Al₂O₆. / Acta Crystallographica B. — 1975. — 31. — P. 689-697.
8. Colville A.A., Geller S. Crystal structures of Ca₂Fe_{1.43}Al_{0.57}O₅ and Ca₂Fe_{1.28}Al_{0.72}O₅. / Acta Crystallographica B. — 1972. — 28. — P.3196-3200.

К ВОПРОСУ СМЕШЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**Загороднюк Л.Х., канд. техн. наук, профессор,
Шкарин А.В., аспирант,
Завгородний А.А., аспирант**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Широкое применение сухих смесей в России началось в начале 90-х годов. За небольшой период времени сухие смеси завоевали высокий авторитет у строителей, значительно потеснили смеси готовые к употреблению при проведении многих видов строительных работ, таких как облицовочные, штукатурные, ремонтные и т.п. Это способствовало бурному развитию отечественного производства сухих смесей. Увеличиваются объемы производства, растет номенклатура смесей, совершенствуется и укрупняется производственная база, растет количество научно-исследовательских работ и т.п. На сегодняшний день можно уверенно утверждать, что в России создана новая отрасль строительной индустрии, которая в настоящее время переживает бурный рост.

Несмотря на положительные моменты, в работе отрасли имеются ряд нерешенных проблем, которые затрудняют развитие отечественного производства сухих строительных смесей, в том числе низкая стабильность качества продукции. Одной из важнейших причин снижения качества готовой продукции является недостаточно эффективное перемешивание компонентов смеси для достижения её высокой однородности. В результате процесса перемешивания в смесителе происходит взаимное перемещение частиц разных компонентов, находящихся до перемешивания отдельно или в неоднородно внедренном состоянии.

Смешение сухих компонентов в ограниченном объеме смесителя – главная технологическая операция, определяющая перераспределение (перенос), диспергирование, гомогенизацию, досушку частиц и создание потенциальных условий, ускоряющих химические превращения в зоне поверхностных, а при затворении водой и дальнейших межфазных контактов при получении однородных порошковых или порошково-зернистых композиций. Смешение твердых сыпучих материалов считалось механическим процессом. Однако в последнее время исследователи выявляют закономерности в

механизме перераспределения частиц, соответствующие гидродинамическим задачам. Особенностью, усложняющей изучение и организацию получения однородных сухих смесей, является образование вторичных агрегатов зерен порошка из-за различия физико-химических и физико-механических свойств компонентов, характеризующихся гранулометрическим составом, насыпной массой, формой частиц, силой сцепления между частицами, текучестью, абразивностью, наличием электростатического заряда, а также углами и коэффициентом трения.

Несмотря на широкое использование процесса смешения сыпучих материалов в различных отраслях промышленности, нет полной ясности работы механизма перемешивания сухих сред. Однако по характеру перемещения зерен при движении смешиваемых зернистых материалов в смесителе выделяют диффузионную и конвективную составляющие процесса распределения.

Диффузионное смешение сыпучих материалов в режиме движения успешно осуществляется лишь в прилегающих зонах слоев порошков или зернистого компонента. В остальной массе этого не происходит. Для обеспечения перемещения компонентов во всем объеме массы сыпучего материала необходимо разрушить ядро потока, приведя в действие другую составляющую механизма смешивания – конвективную, обеспечивающую перенос материала из пограничного слоя в ядро потока.

Для обеспечения конвективной составляющей механизма смешения в смесительных аппаратах создают условия, разрушающие ядро потока, путём установки на пути движения компонентов препятствий (например, перегородок, подвижных лопастей, ножей и т. п. устройств) или пересыпкой материала в смешиваемом объёме (например, смешивание в барабанных или центробежных смесителях). Введение конвективной составляющей для диспергирования зерен до однородной массы по размеру их объединений, соизмеримой с толщиной пограничного слоя, позволяет значительно интенсифицировать распределение компонентов в смешиваемом объёме. Однако высокая эффективность диспергирования достигается лишь в зонах, где градиент скоростей процессов достигает наибольших значений. При смешении порошковых материалов одновременно с распределением компонентов в смешиваемом объёме происходит частичное расслоение (сегрегация) зернистого материала. Степень расслоения зависит от физико-механических свойств зернистых материалов и особенностей смесителя.

Смешивание сыпучих материалов иногда проводят путем последовательного наложения тонких слоев с последующим усреднением. Такое смешивание обычно осуществляется в центробежных смесителях непрерывного действия тарельчатого типа. Отличительной особенностью такого процесса смешивания является быстрое раздробление (расчленение) смешиваемых компонентов до размера групп зерен однородного материала, соизмеримое с толщиной пограничного слоя, высокая интенсивность протекания процесса и возможность регулирования соотношения компонентов в смеси. Процесс миграции компонентов при таком смешивании подчиняется определенным закономерностям.

В идеализированном процессе необходимо получить такую смесь, когда в любой ее точке к каждой частичке одного из компонентов примыкают частицы других компонентов в количествах, определяемых заданным соотношением компонентов. Так, если смешиваются три компонента, массы которых относятся как целые числа $p : q : t$, то в любом малом объеме, взятом в произвольной точке, массы после идеального смешения тоже должны относиться как $p : q : t$.

Однако такое идеализированное расположение частиц в действительности не наблюдается, так как слишком велико число факторов, которые влияют на их взаимные перемещения и от которых в конечном результате зависит степень смешения. Эти факторы можно разделить на три группы: 1) методы смешения (распиливание, пересыпание, перелопачивание, наслаивание компонентов, смешение компонентов в «кипящем» слое и т. д.); 2) конструктивные особенности смесителей и их режимы работы (степень заполнения, скорость и характер циркуляции материала внутри смесителя, конструкция размешивающего органа, скорость вращения этого органа и т. д.); 3) физико-механические характеристики смеси компонентов (соотношение компонентов, их гранулометрический состав, объемные массы, коэффициент внутреннего трения и т. д.) [1].

В настоящее время смешение сыпучих материалов превратилось в особую отрасль технологических знаний, которые основываются на механических процессах, цели которых – обеспечить максимально высокую степень совмещения отдельных компонентов в конечном продукте или смеси. При этом основным критерием, определяющим эффективность смесительного агрегата, помимо показателей однородности смеси, является расход энергии, необходимой для получения продукта требуемого уровня совмещения компонентов. Максимальный экономический эффект от использования

смесительного оборудования достигается только при правильном сочетании таких параметров обработки материалов, как интенсивность воздействия рабочих органов, оптимальной энергонапряженности процесса смешивания и гранулометрического состава используемых компонентов.

Список литературы:

1. *Макаров, Ю. И.* Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров // – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА СМЕШЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**Загороднюк Л.Х., канд. техн. наук, профессор,
Шкарин А.В., аспирант,
Завгородний А.А., аспирант**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Основой требуемого качества сухих строительных смесей является однородность материала. От того, насколько равномерно отдельные компоненты будут распределены в основном объеме смеси, напрямую зависят эксплуатационные характеристики получаемого продукта. Даже небольшое отклонение содержания малых составляющих, вызванное плохим их распределением, может негативно сказаться как на физико-механических, так и на технико-эксплуатационных свойствах. В связи с этим возрастает необходимость в разработке и применении эффективных методов оценки качества перемешивания компонентов смеси в различных смесительных аппаратах.

Все существующие методы количественного анализа проб смеси сыпучих материалов на содержание в них ключевого компонента можно условно разбить на три основных группы.

Методы первой группы разработаны для непосредственного количественного анализа компонентов пробы смеси без предварительного ее растворения. К ним относятся в основном гравиметрические методы (рассев на ситах, разделение в магнитном поле, разделение в воздушных сепараторах), радиометрические (рентгеноскопический метод), фотографические. Используются в основном гравиметрические методы. Радиометрические, фотографические используются редко, т.к. дают большие погрешности.

Методы второй группы, которые требуют предварительного растворения пробы смеси в соответствующей жидкости включают: химические (метод титрования, метод химических реакций), кондуктометрические (кондуктометрический метод определения концентрации растворенного в воде вещества-электролита), потенциометрические, оптические (колориметрические, телевизионный способ непосредственного бесконтактного анализа, рефрактометрические поляриметрические), гравиметрические, седиментационные.

К методам третьей группы можно отнести следующие: метод окрашивания, метод меченых атомов, тепловой метод, методы диэлектрических измерений (электрические, механические, колометрические), методы измерения пластоэластических и реологических свойств невулканизированных композиций и сравнение их свойств с эталонными, метод рентгено-фазового анализа, метод измерения электропроводности материала в процессе смешивания, метод лазерной гранулометрии.

Гравиметрические методы заключаются в разделении пробы смеси сыпучих материалов на составляющие компоненты и последующем их взвешивании. Значительно сложнее разделить на компоненты пробы смеси тонкодисперсных материалов. Из известных способов разделения сыпучих материалов используют: рассев на ситах, разделение в магнитном поле, разделение в воздушных сепараторах. Рассев на ситах применяют тогда, когда частицы ключевого компонента составляют фракцию, в которую не попадают частицы других компонентов. Для анализа проб небольшой массы способ разделения компонентов практически не пригоден.

Разделение в магнитном поле используют когда один из компонентов имеет магнитные свойства. Пробу смеси, содержащую, например, железный и цинковый порошки, помещают на бумажную подложку и вместе с ней взвешивают. Затем прикрывают ее сверху другим тонким листком бумаги. К верхнему листку подносят включенный электромагнит, который вместе с верхним листком производит легкие «размазывающие» пробу движения. После этого электромагнит вместе с верхним листком, приставшим к нему магнитным материалом переворачивают. Электромагнит выключают, снимают с него верхний листок с магнитным материалом и взвешивают нижний листок с цинковым порошком и верхний с железным порошком. По результатам взвешивания рассчитывают содержание компонентов в пробе.

Разделение в воздушных сепараторах используют в том случае, когда один из компонентов состоит из частиц, значительно отличающихся по весу от частиц других компонентов: в основном для зернистого материала. Гравиметрические методы просты в проведении, не требуют дорогого оборудования, однако они возможны лишь для некоторых видов смесей.

Радиометрические методы анализа основаны на количественном определении интенсивности радиоактивного излучения, проходящего от внешнего источника через анализируемую пробу, либо исходящего

от радиоактивных веществ, присутствующих в самой пробе. Рентгеноскопический метод основан на поглощении веществ рентгеновских лучей, при испытании проба пронизывается ядерным излучением. Радиометрические методы не трудоемки в проведении, однако, требуют специального дорогостоящего оборудования и не всегда дают точные результаты.

Методы второй группы заключаются в растворении пробы смеси в соответствующей жидкости и последующем определении веса компонента, перешедшего в раствор, остатка. Методы эти трудоемки, так как включают в себя операции растворения, фильтрации, высушивания, взвешивания и отличаются малой точностью. Среди химических методов анализа растворов наибольшее распространение получил метод титрования. Метод химических реакций основан на том, что вследствие добавления химического реагента исследуемый материал либо теряет, либо приобретает цвет. Часто в данном методе используется реакция нейтрализации в присутствии фенолфталеина. Метод удобен для лабораторных исследований, например при выявлении застойных зон в смесителе, для чего корпус выполняется прозрачным [1].

Кондуктометрический метод определения концентрации растворенного в воде вещества (электролита) основан на способности таких растворов проводить электрический ток. Эта способность характеризуется величиной электропроводности, зависящей от концентрации и природы растворенного вещества. Кондуктометрический метод определения концентрации ключевого компонента в растворе неприемлем, если при растворении в воде исследуемой навески смеси сыпучих материалов и в растворе окажутся вещества с приблизительно одинаковой подвижностью ионов, что бывает не так редко.

Потенциометрические методы контроля концентрации растворов основаны на измерении электродных потенциалов, возникающих при электролизе растворов электролитов.

Метод окрашивания заключается в смешивании краски с одним из компонентов смеси. Определение однородности материала осуществляют различными способами: калориметрическим, химическим, оптическим. Точность оценки однородности смесей по данному способу невелика [2].

Рентгенофазовый анализ (РФА) является одним из направлений рентгенографии. Это один из наиболее универсальных методов исследования кристаллических материалов. Он позволяет определять

минералогический состав природных и искусственных минеральных строительных материалов: глин, известняков, керамики, цементного клинкера, шлаков, цементного камня, и т.п. Этот метод полезен при исследовании процессов структурообразования и разложения минеральных материалов, явлений полиморфизма [3,4].

Лазерная гранулометрия производится с помощью лазерного дифракционного анализатора. Лазерный дифракционный анализатор размера частиц является прибором для определения дисперсности порошковых сред (почв, горных пород, грунтов и т.д.). Лазерный дифракционный анализатор позволяет определять гранулометрический (механический) и микроагрегатный состав, удельную поверхность (расчётный метод), форму частиц (коэффициент удлинения, расчётный метод).

По сравнению с „классическими“ методами измерения – рассевом, седиментацией либо анализом по изображению, – лазерная дифракция обладает рядом важных преимуществ, таких как краткое время анализа, хорошая воспроизводимость и точность, простая калибровка, большой диапазон измерений и высокая универсальность.

В связи с этим, в последнее время она нашла широкое применение во всем мире и пользуется большей популярностью, нежели прежние методы. Путем подбора необходимых компонентов оборудования можно создать измерительную систему, точно соответствующую поставленной задаче.

В анализаторах, определяющих распределение частиц по размерам посредством лазерной дифракции, используется физический принцип рассеяния электромагнитных волн. Конструкция состоит из лазера, через измерительную ячейку направленного на детектор. При помощи диспергирующего устройства частицы подаются в измерительную ячейку и проходят сквозь лазерный луч. Свет, рассеянный пропорционально размеру частиц, посредством линзы фокусируется на детектор. По распределению рассеянного света при помощи комплексной математики рассчитывают распределение частиц по их размерам. В результате получают объемные доли, соответствующие эквивалентным диаметрам при лазерной дифракции.

С целью выбора наиболее приемлемого способа оценки качества смешения компонентов сухих строительных смесей нами были проведены исследования оценки качества смешения смесей различными методами. При выборе методов определяющими критериями были: доступность, точность и оперативность - возможность использования метода в реальном технологическом

процессе. Исследования проводились методами химического анализа, седиментационного анализа, рентгенофазового анализа и методом лазерной гранулометрии.

На основании проведенных анализов и выполненной статистической обработки полученных результатов выявлен наиболее эффективный метод оценки однородности смешения сухой строительной смеси – метод лазерной гранулометрии, отвечающий заданным критериям.

Список литературы:

1. *Макаров, Ю.И.* Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров // - М.: Машиностроение, 1973.-216с.
2. *Телешов, А.В.* Новые заводы по производству сухих смесей. / А.В. Телешов, В.А. Сапожников // Строительные материалы. 2003, №11, с.12-15.
3. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. Учеб. пособие для химико-технологических специальностей вузов. М., «Высшая школа», 1973. 504с.
4. Рентгенофазовый анализ: методические указания по дисциплине «Физико-химические методы исследования»/ Сост. Л.П.Пименова.- Томск: Изд-во Том. архит. - строит. ун-та, 2005.-14с.

СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Загороднюк Л.Х., канд. техн. наук, профессор
Шкарин А.В., аспирант,
Перепечин С., аспирант,
Завгородний А.А., аспирант
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Сегодня получение некоторых видов материалов строительного назначения не возможно без использования смесительного оборудования, способного обеспечить необходимый уровень однородности смеси. В составы сухих строительных смесей входит большой ассортимент компонентов, при этом целый ряд составляющих вводится в малом количестве (0,05 – 0,5%), однако их влияние на формирование свойств растворных смесей и растворов чрезвычайно велико. В то время, когда составы строительных смесей постоянно усложняются, соответственно повышаются и требования, предъявляемые к смесительному оборудованию. Зачастую то, что еще вчера обеспечивало требуемый уровень однородности смеси, сегодня является серьезным препятствием на пути получения конкурентоспособной продукции современного уровня качества.

Зачастую смесительное оборудование, используемое на отечественных заводах по производству сухих строительных смесей, не в полной мере отвечает возрастающим требованиям к однородности получаемого продукта. Недостаточная техническая вооруженность предприятий, малоэффективные и громоздкие технологические схемы производства, часто не позволяют обеспечить современный уровень качества и, что особенно важно, стабильность заданных характеристик строительных смесей сложного состава. Признавая огромное значение наиболее важной технологической операции, а именно, смешению компонентов, необходимо отметить, что оборудование, предназначенное для производства смесей высокого уровня совмещения компонентов, на отечественных предприятиях используется достаточно редко.

Многочисленные лабораторные исследования, а также производственная практика, убедительно доказывают, что основные физико-химические процессы с участием отдельных компонентов, протекают тем интенсивней, чем выше показатели однородности

смеси. Эффект от использования химических добавок в производстве сухих строительных смесей, также напрямую зависит от того, насколько равномерно эти добавки распределены в основном объеме продукта. Учитывая вышесказанное, общее стремление к увеличению степени совмещения отдельных компонентов смеси становится вполне понятно. Однако, получение гомогенных смесей, процесс достаточно дорогой, требующий высоких затрат энергии, поэтому в современных технологиях, зачастую выбирается не оптимальная степень совмещения компонентов, а всего лишь минимально достаточная или практически достижимая при использовании смесительных агрегатов «классической» конструкции. Перспективным направлением рационального решения проблемы интенсификации и ресурсосбережения при производстве сухих строительных смесей с одновременным созданием резерва увеличения прочности строительных растворов за счет потенциальной активности вяжущего является принятие эффективного оборудования для процесса смешения. Центральное место в технологической линии по производству сухих смесей занимает смеситель и вопросу смешения сырьевых компонентов традиционно уделяется самое большое внимание. Получение качественных строительных смесей является одной из актуальнейших задач современных технологий строительства. Для этой цели используются различные смесители. При производстве сухих смесей используется разнообразное оборудование для принудительного смешивания материалов, в котором борьба за качество смешивания и сокращение времени циклов приводит к значительному усложнению конструкции, увеличению массы и установленной мощности привода. В отдельных случаях стоимость смесителя составляет 40% стоимости оборудования всего технологического процесса.

Проведённые исследования, посвященные повышению однородности многокомпонентных смесей, проводившиеся как в нашей стране, так и за рубежом, позволяют составить общее представление о процессах, влияющих на основные физико-химические и технологические свойства смешиваемых материалов. На основании научных работ и многолетней производственной практики, сегодня можно с уверенностью сказать, что увеличение степени совмещения компонентов смеси, повышение однородности, снижение энергетических и эксплуатационных затрат, могут дать лишь способы, обеспечивающие высокую интенсивность энергетических воздействий на смешиваемые компоненты.

В сложившейся ситуации, когда существующее технологическое оборудование, как и сама реализуемая ими модель смешивания, практически полностью исчерпали возможности дальнейшего улучшения, особую опасность представляет распространенное заблуждение, что достигнутый уровень однородности смеси является вполне достаточным и дальнейшее его повышение экономически не целесообразно. При этом забывается тот факт, что производственная практика получения смесей высокого уровня однородности, зачастую останавливается именно на грани экономичности, обусловленной самим типом применяемого смесительного оборудования.

В производстве сухих строительных смесей, возможности получения материалов высокого уровня совмещения компонентов, используются достаточно редко вовсе не из-за того, что они не улучшают свойства конечного продукта, а только потому, что при использовании «классических» схем перемешивания лучшие результаты не покрывают расходов на получение более однородной смеси.

В современных технологиях приготовления сухих строительных смесей используется различные типы смесителей периодического и непрерывного действия: барабанные, червячно-лопастные, гравитационные, центробежного действия, прямочные, каскадные, стержневые, центробежные, вибросмесители и т. д.

Среди разнообразных смесителей непрерывного действия значительными преимуществами обладают лопастные смесители, где вращающиеся аксиальные лопасти осуществляют одновременно достаточно эффективное перемешивание компонентов в поперечном направлении и транспорт смеси в продольном направлении. Как правило, процесс смешения сопровождается измельчением компонентов, что не желательно при производстве смесей с заданным гранулометрическим составом компонентов. Так, например, в некоторых смесях не допустимо разрушение гранул вводимого наполнителя, что отразится на физико-механических и эксплуатационных свойствах конечного материала.

На экспериментальной установке роторно-циркуляционного смесителя, разработанного в БГТУ им. В.Г.Шухова [1] были проведены испытания по смешению сухих строительных смесей с легким наполнителем.

Экспериментальная установка роторно-циркуляционного смесителя (рис. 1) состоит из загрузочной горловины 1, верхнего барабана 2, смотрового люка 3, вала с одетыми на него однозаходными

винтовыми лопастями 4, двух нижних барабанов 11, вала с одетыми на него двухзаходными винтовыми лопастями 10, Верхний и нижние барабаны приводятся во вращение от асинхронных электродвигателей 8 и 15 через клиноременные передачи 7 и 14, редуктора 6 и 13 и упругие муфты 5 и 12. Однозаходные и двухзаходные винтовые лопасти выполнены с прерывистой поверхностью и имеют разное направление винта: для нечетных лопастей со стороны загрузки материала направление винта совпадает с направлением вращения вала, а для четных направление винта противоположно направлению вращения вала. Смеситель работает следующим образом. Исходные сыпучие компоненты, цемент и перлит, через загрузочную горловину 1 загружаются в верхний барабан смесителя 2. В верхнем барабане перемешивание компонентов происходит за счет вращения вала с одетыми на него однозаходными винтовыми лопастями 4. Часть компонентов захватывается нечетной лопастью и подается к четной винтовой лопасти в течение времени, за которое вал смесителя 4 поворачивается на угол от 0° до 180° , а другая часть компонентов за счет подпора материала проходит сквозь разрывы нечетной лопасти и попадает к четной винтовой лопасти. При повороте от 180° до 360° четная винтовая лопасть обеспечивает обратный импульс части компонентов в направлении нечетной лопасти, таким образом смешиваемый материал перемещается к соединительному патрубку 16. За счет различного направления винтовых лопастей достигается внутренняя рециркуляция материала. Далее смешиваемый материал через патрубок 16 разделяется на две части и подается во вторую ступень. Вторая ступень представлена в виде двух нижних барабанов 11. Смешение в нижних барабанах, осуществляется за счет вращения вала с одетыми на него двухзаходными винтовыми лопастями 10, аналогично первой ступени. Готовая смесь выгружается через разгрузочную горловину 9. Двукратный внутренний рецикл в первой ступени и четырехкратный во второй позволяют полностью разрушать застойные зоны в смешиваемой среде.

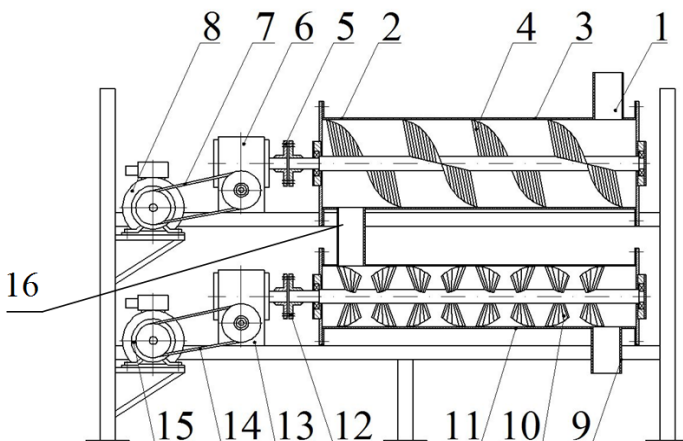


Рис. 1. Экспериментальная установка роторно-циркуляционного смесителя

Проведенные испытания убедительно показали, что данный тип смесителя обеспечивает предъявляемые требования к процессу смешения компонентов легкой сухой строительной смеси, как по однородности полученного материала, так по сохранности легкого наполнителя в смеси. Физико-механические характеристики и эксплуатационные показатели полученного материала свидетельствуют об эффективности использования роторно-циркуляционного смесителя для смешения сухих компонентов, который обеспечивает высокую однородность сухой строительной теплоизоляционной смеси и, как следствие, надежные показатели качества.

Список литературы

1. Патент RU 2302285 С2. Рециркуляционный смеситель. Гридчин А.М., Севостьянов В.С., Лесовик В.С., Герасимов М.Д., Гармаш А.В. Стадольский М.И.

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

**Закревская Л.В., канд. тех. наук, доцент,
Баранова Ю.В., магистр, ст. преподаватель,
Ваганов В.Е., канд. техн. наук,
Петрунин С.Ю., аспирант,
Дживак Р.Н., студент**

*Владимирский государственный
университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых*

Работа посвящена разработке новых классов добавок к бетонам, затрагивающих глубокие механизмы структурообразования, имеющих общий характер для практически всех классов бетонов. Это, так называемые наномодификаторы. В области наноразмерного масштаба частиц имеют место качественные эффекты, определяемые зависимостью химических и физических свойств от соотношения числа атомов в приповерхностных и внутренних объемах частиц. Такие частицы и их ансамбли приобретают иную физико-химическую и механохимическую активность, в силу чего могут принципиальным образом изменять процессы синтеза, структурообразования, менять термодинамическую и энергетическую обстановку в дисперсной системе, какой является бетонная смесь. Эффект от введения наноразмерных частиц принципиально выражается в том, что в системе появляется не только дополнительная граница раздела фаз, но и носитель квантово-механических проявлений. Расчеты показывают, что уже при дозировке наноразмерных частиц 0,001% в системе появляется порядка $100\ 000\ \text{м}^2$ дополнительной активной площади раздела фаз и 2 мДж избыточной поверхностной энергии; при дозировке 2% в системе реализуется до $2 \cdot 10^6\ \text{м}^2$ дополнительной площади раздела фаз, что на порядок превосходит площадь поверхности частиц всех остальных компонентов бетонной смеси, включая цемент. Вследствие этого, присутствие в системе наноразмерных частиц будет существенным образом менять условия гидратации цемента.

К числу наиболее перспективных модификаторов направленного структурообразования строительных материалов на различной основе следует отнести углеродные наноструктуры (УНС) (рис. 1).

В общем случае структурообразующее участие и модифицирующее влияние УНС может быть результатом следующих взаимосвязанных механизмов:

1) механизма, обеспечивающего повышение плотности упаковки системы, уменьшение общей ее пористости, изменение структуры межпорового пространства. Присутствующие в системе наноразмерные частицы способны за счет увеличения объема адсорбционно и (или) хемосорбционно связываемой ими воды уменьшать объем капиллярно-связанной и свободной воды, приводить к изменению реологических свойств цементного теста и бетонной смеси, к повышению их вязкости и пластической прочности;

2) механизма, связанного с каталитической ролью наноразмерных частиц как центров кристаллизации с соответствующим эффектом понижения энергии активации этого процесса и ускорения его;

3) механизма зонирования структуры твердения наноразмерными частицами (микрообъемы структуры твердения будут оказываться в поле энергетического, термодинамического влияния отдельных наноразмерных частиц, что может сопровождаться формированием организованной более дисперсной структуры кристаллитов из гидратных фаз);

4) механизма, связанного с возможностью непосредственного химического участия наноразмерных частиц в гетерогенных процессах фазообразования гидратных соединений. Мера реализации указанных механизмов наномодифицирования структуры цементного камня и их эффективность будут определяться видом, характеристиками, дозировкой и способами введения в систему наноразмерных частиц.

Основными проблемами, стоящими на пути к модифицированию бетона на наноуровне являются сохранение реакционной способности и химических свойств наноразмерных модификаторов и добавок в процессе производства строительного композита, равномерное распределение их по всему объему материала, обеспечение стабильности работы наноразмерного модификатора в столь сложно компонентной системе как бетон.

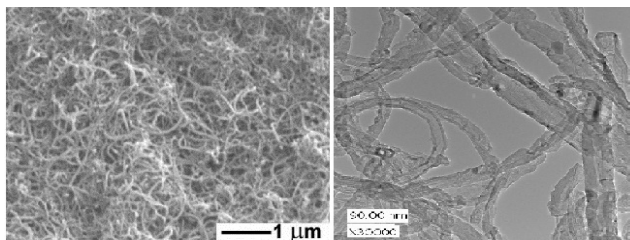


Рис. 1 Углеродные нанотрубки.

Свойства УНС:

- высокая сорбционная способность;
- большая некомпенсированная поверхностная энергия;
- способность к сильным поляризационным взаимодействиям;
- способность к формированию фрактальных структур;
- высокая химическая и термодинамическая устойчивость.

Рассматривая бетоны в качестве композита, сформированного из крупного и мелкого заполнителя, цементного камня, воды и воздушных пор, можно сформулировать основную задачу наномодифицирования как управление формированием структуры материала от наноуровня к макроструктуре бетонной смеси и кинетикой всего спектра химических реакций сопровождающих твердение. Так используя нанодисперсный модификатор в мольных долях близких к 10^{-7} возможно управлять кинетикой взаимодействия цемента с водой затворения и добиваться максимальных положительных эффектов на стадиях растворения цементных зерен, добиваясь необходимой реологии, коллоидации, обеспечивая требуемую сохраняемость подвижности смеси, скорости кристаллизации, усиливая гетерофазные границы контактных зон и, таким образом повышая прочность (рис. 2), морозостойкость, влияя на физические свойства бетона (рис. 3) [1]. Известно, что пластификация бетонных смесей связана с адсорбционным взаимодействием пластификаторов, представляющих собой поверхностно-активные вещества (ПАВ) с продуктами гидратации цемента, в результате чего меняется кинетика взаимодействия цемента с водой и как следствие наблюдается снижение вязкости и увеличение времени схватывания. Наличие частиц наномодификатора в воде позволяет существенно повысить критическую концентрацию мицеллообразования ПАВ, поскольку частицы наномодификатора сами по себе являются для него активными центрами. Это приводит к значительному увеличению эффективной концентрации введенного пластификатора. Кроме того наличие фрактальной перколяционной сетки, которую образуют

частицы наномодификатора и с которой взаимодействуют как цементные зерна так и молекулы ПАВ, приводит к снижению размерности пространства, в котором происходит сорбция молекул ПАВ на цементном зерне, что увеличивает скорость и эффективность его блокировки. В дальнейшем на стадии образования цементного камня фрактальная перколяционная сетка играет роль объемного каркаса, позволяющего упорядочить процесс кристаллизации в пространстве и получить более однородную, а следовательно и более прочную и долговечную структуру цементного камня (рис. 4). Подобный эффект характерен как при кристаллизации металлов, так и органических соединений, что позволяет сделать вывод об универсальном характере образования фрактальных перколяционных сеток из углеродных наночастиц в различных средах и влияние этих сеток на кристаллизацию или затвердевания вещества.

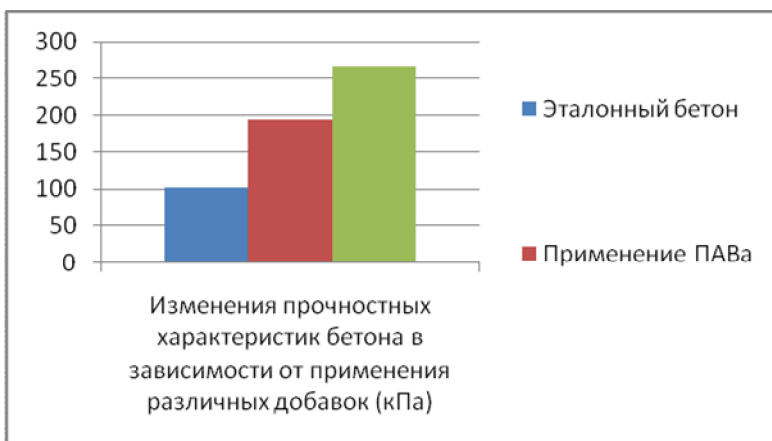


Рис. 2 Диаграмма изменения прочностных характеристик бетона в зависимости от применения различных добавок.

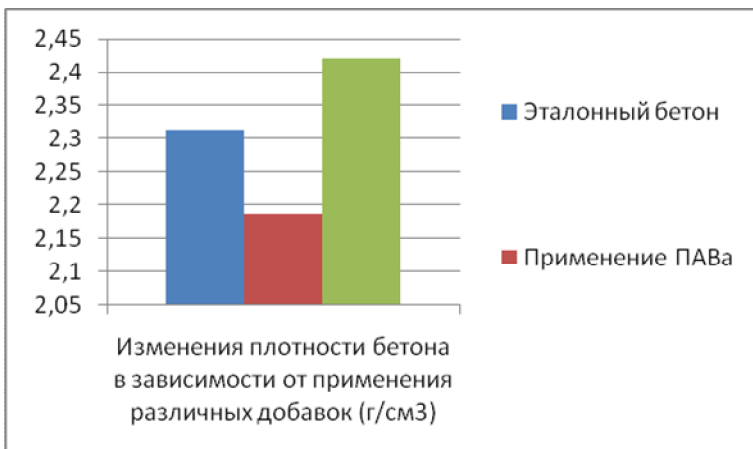


Рис. 3 Диаграмма изменения плотности ячеистого бетона в зависимости от применения различных добавок.

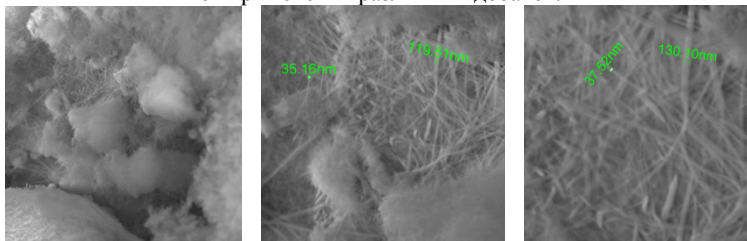


Рис. 4 Электронная микроскопия образца ячеистого бетона модифицированного УНТ.

Список литературы:

1. Ваганов, В.Е. Структура и свойства ячеистого бетона модифицированного углеродными наноструктурами / В.Е. Ваганов, В.Д. Захаров, Л.В. Закревская, Ю.В. Баранова // Строительные материалы

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ МОНОЛИТНОГО ФИБРОБЕТОНА

**Казлитин С.А., аспирант,
Ивашова О.В., аспирант,
Савин А.В., соискатель**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Монолитный бетон в последние годы набирает популярность, как при малоэтажном строительстве, так и при строительстве многоэтажных домов. Благодаря относительно простой технологии строительства и доступности материалов, монолитным домостроением занимается все большее число строительных организаций.

Технология монолитного строительства имеет в своем активе выдающиеся достижения. В результате применения скользящей опалубки в Норвегии при бетонировании кессона нефтедобывающей платформы периметр одновременно бетонируемых стен и диафрагмы суммарно достигал 2 км.

В настоящее время в монолитном строительстве всё большую популярность приобретает бетон с добавлением металлической фибры (особой формы стальная проволока или полимерная нить), которая значительно повышает прочность бетона (особенно верхнего слоя) на сжатие и растяжение. Добавление фибры также уменьшает вероятность образования усадочных деформаций в бетоне.

Фибробетон отличается от традиционного более высокими показателями прочности на растяжение, изгиб, срез, ударной и усталостной прочностью, трещиностойкостью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, жаропрочностью и пожаростойкостью. По показателю работы разрушения фибробетон до 20-ти раз может превосходить обычный бетон. Все это обеспечивает его высокую технико-экономическую эффективность. Дисперсное армирование бетона позволяет полностью или частично сократить объемы традиционных арматурных работ. Экономический эффект применения фибробетона при более высокой стоимости его по сравнению с традиционным обеспечивается за счет уменьшения или полного сокращения применения стержневой и проволочной арматуры, сеток и каркасов из них, а главным образом – за счет более высокой долговечности, эксплуатационной пригодности, увеличения

межремонтного ресурса и повышения безопасности зданий и сооружений при сейсмических воздействиях и пожарах.

На изготовление бетона для монолитного строительства расходуется более половины мирового производства цемента. Также следует отметить, что портландцемент является наиболее энергоемким исходным материалом в бетоне, по энергоемкости доля цемента в бетоне составляет 70%. Одним из основных направлений в решении задачи снижения затрат на производство вяжущих является производство многокомпонентных цементов, при получении которых расход топлива и клинкера сокращается на 25-30% по сравнению с чисто клинкерными цементами.

Таблица 1

Характеристика вяжущих

Наименование вяжущего	Удельная поверхность, м ² /кг	НГ, %	Начало схватывания	Конец схватывания	Предел прочности при сжатии R _{сж,к} , кг/см ² (МПа)
ТМЦ - 70	504	26.25	100	190	45,8
ВНВ-70	520	25.3	90	170	53,8
ЦЕМ I 42,5 Н	320	27.2	60	430	38,0

Как видно из результатов исследований вяжущее ВНВ-70 характеризуется низким водовяжущим отношением и более высокой активностью по сравнению с цементом ЦЕМ I 42.5 Н и ТМЦ-70.

Таблица 2

Составы и свойства мелкозернистых фибробетонов

Наименование состава	Расход материалов на 1м ³ смеси, кг				Предел прочности образцов при сжатии R, МПа
	Вяжущее	Мелкий заполнитель	Вода	Ст. фибра	
ТМЦ-70	424	1840	200	75	40,7
ВНВ-70	424	1840	160	75	46,4
ЦЕМ I 42,5 Н	424	1840	180	75	35,1

Исследования физико-механических характеристик показало, что свойства бетонов изготовленных на композиционных вяжущих во всех случаях превышают характеристики образцов аналогичного состава, изготовленных на портландцементе. Отсюда можно сделать вывод, что применение композиционных вяжущих с добавкой суперпластификатора позволяет существенно увеличить прочностные характеристики фибробетонабетона.

Таким образом, применение композиционных вяжущих позволяет получить технический и экономический эффект практически во всех областях применения цементных вяжущих и практически по всем элементам, составляющим разнообразие технологии бетонных работ. В стране сегодня накоплено достаточно минеральных ресурсов в виде различных отходов промышленности и минеральных шламов, чтобы при эффективном их использовании и рациональном расходе цементных и композиционных вяжущих получать высококачественные фибробетоны.

Список литературы:

1. *Бочарников, А.С.* Дисперсно-армированные композиционные материалы на основе цементных вяжущих для конструкций защитных сооружений: монография / А.С. Бочарников // В надзаг. РААСН, Центральное отделение. -Липецк: ЛГТУ, 2004. - 261 с.
2. *Бочарников, А.С.* Несъемная опалубка из сталефибробетона для ремонта жилых домов / А.С. Бочарников, А.Д. Корнеев, В.Г. Соловьев // Вестник центрального регионального отделения РААСН: периодич. научн. издание. - Тверь: РААСН; ТГТУ, 2007. - 81-84.
3. *Войлоков, И.А.* Расширение применения фибры как армирующего материала в различных видах конструкций / И.А. Войлоков // Популярное бетоноведение. - 2008. - №3. - 27-31.

К ПРОБЛЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ

Ильинская Г.Г., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

В условиях расширения масштабов промышленного и жилищного строительства, требования к технической эксплуатации строительных поверхностей значительно возросли, что на практике реализуется за счёт усовершенствования проектных решений и повышения качества строительства.

Одним из наиболее эффективных методов по улучшению прочностных характеристик бетонов, используемых в строительстве стеновых конструкций, поверхностей промышленных стяжек, кровель, а также различных штукатурных растворов является использование строительного волокна (фибры). Введение в цементные растворы строительного волокна способствует более полной и равномерной гидратации цемента, что в свою очередь снижает интенсивность процессов трещинообразования, повышает прочность готового изделия на растяжение и изгиб, ударную прочность, вязкое разрушение, водонепроницаемость, коррозионную стойкость, а также морозо-, термо-, огнестойкость и сопротивление истиранию, при этом снижается эффект деформации ползучести и усадки.

Перечисленные особенности бетонов, полученных с использованием строительного волокна, способствуют значительному увеличению срока их эксплуатации. Таким образом, использование фибры является предпосылкой долговечности строительных объектов.

При этом снижаются трудозатраты на проведение арматурных работ, а также значительно расширяются возможности применения высокопроизводительных приёмов формирования армированных конструкций, что в итоге снижает экономические затраты в ходе сооружения и эксплуатации как строительных объектов в целом, так и отдельных их конструкционных или отделочных элементов.

На сегодняшний день ассортимент строительных волокон достаточно велик. Применение различных видов минеральных и органических волокон в составах дисперсно-армированных композитов и теплоизоляционных материалов обусловлено хорошими физико-

механическими свойствами данных волокон и теплотехническими показателями, приведенными в таблице 1 [1].

Таблица 1

Свойства различных видов волокон

Вид волокна	Плотность, г/см ³	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа	Удлинение при разрыве, %
Полипропиленовое	0,9	400-800	3500-8000	8-25
Полиэтиленовое	0,95	700	1400-4200	10
Нейлоновое	1,1	770-900	4000	14-19
Акриловое	1,2	210-420	2100	25-45
Полиэфирное	1,4	730-780	8400	11-13
Целлюлозное	1,2	300-500	10000	0,5-4
Асбестовое	2,6	1200-3100	160000	0,5-1
Стеклянное	2,6	1050-3850	7000-8000	1,5-3,5
Стальное	7,8	600-3150	200000	2-4
Углеродное	2,0	2000	245000	1
Карбоновое	1,63	7800	380000	2,1
Полиамидное	0,9	720	1900	24
Вискозное	1,2	660	5600	14
Базальтовое	2,7	1600-3600	80-110	1,4-3,6
Волластонит	2,9	200-400	10000	0,2-0,5
Кевларовое	1,45	3600	150000	2,1-4
Полиакрилонитрил	1,2	900	20000	10

Каждый из указанных видов волокон (таб. 1) имеет свои особенности использования, отличается способом введения в раствор, а также имеет ряд модификаций (структура поверхности, толщина и длина

отдельного волокна и т.д.). В основном волокна используются для дисперсного и линейного армирования композитов.

Нами предлагается использование базальтовых волокон в качестве армирующего компонента для штукатурных растворов. Так как введение данной фибры позволяет изменять в широких пределах технологические свойства растворных смесей и строительно-технические свойства растворов, а также улучшить физико-механические, физико-химические (стойкость в агрессивных средах) характеристики штукатурных растворов.

При проектировании штукатурных растворов следует учитывать коэффициенты линейного и объемного расширения растворов и соответствующей основы – подложки, что требует структурного сродства с основой [2].

Создание и распространение общих и частных принципов при создании материала и выявление закономерностей позволяет проектировать и выпускать штукатурные растворы различного функционального назначения с заданными свойствами.

Список литературы:

1. *Кнотько, А.В.* К вопросу о коррозионной стойкости теплоизоляционных материалов на основе базальтовых волокон / А.В. Кнотько, В.И. Путляев, А.В. Гаршев, Е.А. Пустовгар // Кровельные и изоляционные материалы. – 2007. – № 6. – С. 52–55.
2. *Корнеев, В.И.* Сухие строительные смеси (состав, свойства, применение) / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля, И.Н. Медведева, Г.А. Богоявленская, Н.И. Нуждина // Учебное пособие. – СПб. СПбГИ(ТУ). – 2008. – 319 с.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ КЛАДОЧНЫЙ РАСТВОР С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЕГКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

Клочков А.В., аспирант,
Бондаренко А.И., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Все большее внимание в последнее время уделяется теплоизоляции зданий и сооружений, в связи с повышением требований по теплопроводности. На ряду с этим колоссальными темпами развивается каркасное домостроение, где в качестве ограждающих конструкций применяются ячеистые бетоны как автоклавного, так и неавтоклавного твердения. В настоящее время для кладки таких теплоизоляционных материалов применяются специальные клеевые растворы, а зачастую и традиционные кладочные растворы, что значительно снижает теплоизоляцию ограждающих конструкций по всей площади, за счет, так называемых, «мостиков холода»[1]. Основным минусом растворов является высокая теплопроводность, при довольно высокой стоимости.

Сейчас уже существует ряд кладочных смесей на основе легких заполнителей, таких как керамзитовый песок, перлитовые и вермикулитовые заполнители, опилки и т. д. Для таких растворов отличительной чертой можно считать высокую водопотребность и теплоизоляцию и, как следствие, низкую прочность.

Так же одной из приоритетных задач государственной важности является утилизация отходов производства. А в настоящий момент на всех ТЭС страны наблюдается переизбыток отвалов зол. Теплоизоляция любого материала зависит напрямую от его состава, а именно свойств компонентов материала. Теплоизоляционный раствор обычно состоит из вяжущего, мелкого теплоизоляционного заполнителя, воды и добавок. Золой ТЭС смываются со стенок труб по которым идут отходящие газы от топки[2]. После этого часть золы оседает на дно в специальном бассейне, а часть всплывает на поверхность. Всплывшая часть представляет собой полые микросферы, размером от 20 до 500 мкм. Количество таких отходов составляет более 34 тыс. тонн в год в России. Газовая фаза, законсервированная внутри микросфер, состоит в основном из азота, кислорода и оксида углерода. Совокупность уникальных свойств микросфер: низкая плотность, малые размеры, сферическая форма, высокая твердость и температура

плавления, химическая инертность обуславливают широчайший спектр применений микросфер в современной промышленности.

Насыпная плотность микросфер варьируется в пределах 400- 600 кг/м³ , что позволяет сделать кладочный раствор с теплопроводностью 0,08-0,2 Вт/м*С, при прочности до 10 МПа. В ходе исследований был заформован образец с разным количеством микросфер в составе. Наилучшими показателями по прочности и теплопроводности оказались образцы с содержанием микросфер 40% по объему (Табл. 1).

Таблица 1

№	Количество микросфер, м ³ / м ³	Прочность, МПа	Теплопроводность
1	0,1	10	0,4
2	0,2	8,3	0,34
3	0,3	5,7	0,27
4	0,4	4,6	0,11
5	0,5	3,2	0,1

Анализ полученных данных говорит о том, что возможность применения микросфер в растворе позволит не только улучшить теплофизические свойства раствора, но и значительно снизить себестоимость раствора за счет использования отхода производства.

Список литературы

1. Пашкевич А.А. Сухие строительные смеси как перспективный строительный материал / В сб. международной научно-практической конференции молодых ученых, докторантов и аспирантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности. – М.: МГСУ, 2006. – С. 441 – 443.
2. Орешкин Д.В., Пашкевич А.А., Первушин Е.Г. Формирование структуры цементных систем с полыми стеклянными микросферами / Сб. докл. VIII науч.-техн. конф. – Ухта: УГТУ – 2007. – С. 276 – 279.

ПРИМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ МОДИФИКАТОРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Козеева Е.В., аспирант,
Липич А.С., магистр,
Чернышева Н.В., канд. техн. наук, доцент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В отличие от цементно-песчаной смеси, которую в принципе можно использовать без модификации в качестве кладочной смеси, штукатурки, стяжки и клея для плитки, системы на основе гипсового и композиционного гипсового вяжущего непременно требуют введения модифицирующих добавок.

Также как и для бетонов на цементном вяжущем, добавки для бетонов на гипсовом вяжущем (смешанное вяжущее) имеют свою классификацию:

- замедлитель схватывания
- водоудерживающая и/или реологическая добавка
- гидрофобизатор
- пеногаситель (при необходимости)
- воздухововлекатель (при необходимости)

Как замедлитель схватывания нередко применяются винная, лимонная кислоты, цитрат натрия. Побочный эффект от введения органических кислот – снижение конечной прочности, кроме того, возникает эффект «жесткости» при шлифовании, например, шпатлевки на основе гипса. Эти недостатки исключены при использовании замедлителей на основе солей N-полиоксиметиленаминовых кислот, таких как Retardan P.

Водоудерживающие добавки необходимо рассматривать совместно с реологическими добавками (пластификаторами), поскольку во-первых, водоудерживающие добавки несомненно изменяют реологию системы, а во-вторых, введение пластификатора потребует изменить количество воды затворения и водоудерживающей добавки.

Традиционными водоудерживающими добавками является метилцеллюлоза Vermocolл ССМ879.

Выбор реологической добавки, как и в цементных системах, происходит между сульфонат-меламиновым суперпластификатором Peramin SMF-20 и поликарбоксилатным гиперпластификатором Sika Viscocrete 225VP. Несмотря на более высокую цену по сравнению с

суперпластификаторами, гиперпластификаторы обеспечивают неизменность свойств продукта при снижении себестоимости за счет существенно меньшей дозировки, либо улучшение показателей продукта при неизменной себестоимости. Также нужно упомянуть о гидролизованом желатине – новом сырьевом компоненте, который является дополнительным замедлителем схватывания гипса.

Растворимость сульфата кальция составляет приблизительно 1г на литр воды, что является значительной величиной и существенно сужает область применения гипсового вяжущего только для внутренних работ и только в сухих помещениях. Однако, при использовании гидрофобных добавок, материалам на основе гипсового вяжущего становятся доступны и влажные помещения, при этом материал остается «дышащим». Если говорить о добавках для сухих строительных смесей, то наилучший эффект достигается при использовании комбинированного сухого гидрофобизатора Ligaphob NF50. Для производства гипсокартона и гипсовых плит оптимальным решением будет использование метилсиликоната натрия.

Воздухововлечение и пеногашение – две противоположные и в равной мере важные задачи. Для самовыравнивающихся систем эффективное пеногашение обеспечат Troxykd D-120, Axilat DF770DD и Moussex 3031HPF. Выбор конкретного пеногасителя определяется по максимальной эффективности в каждом конкретном случае. Воздухововлечение – важный метод, позволяющий улучшить тепло- и звукоизоляцию, сократить расход сырья (воздух как наполнитель ничего не стоит), дополнительным эффектом от применения воздухововлекателя Bergmodoll AEA2800 будет пластификация раствора. Для изготовления гипсовых пеноблоков и заливки пеногипсовых перегородок рекомендован жидкий пенообразователь Sulforokanol N232.

Из отечественных добавок наибольший интерес представляют добавки фирмы «Premix». Помимо обычных суперпластификаторов, фирма «Premix» предлагает противоморозную добавку ПМ-1. Добавка является универсальной, и может быть использована как для цементных систем, так и для смешанных вяжущих.

В целом, промышленность предлагает реологические добавки. Многие из них изменяют только лишь одно-два свойства смеси и бетона. Однако существуют добавки полифункционального назначения. К таким добавкам можно отнести добавку «Гипсопласт» отечественного производителя добавок в бетоны ООО «Полипласт». Добавка выпускается трех типов. В зависимости от вида основных компонентов

и их массовой доли в веществе, добавка оказывает пластифицирующее и водоредуцирующее действие.

Не стоит забывать и о пигментах. Цветные гипсовые штукатурки – один из эконом-вариантов для отделки внутренних помещений. К сожалению, очень часто для гипсовых растворов используют пигменты, которые применяют в обычных цементных бетонах. Одной из главных причин является отсутствие рынка пигментов непосредственно для гипсовых композиций. Добросовестные производители используют китайские пигменты, которые как раз и являются красящими веществами для гипсобетонов и растворов. Остальные же предпочитают дешевые и легкодоступные пигменты цементных бетонов.

Обобщая, можно сделать вывод, что специализированный рынок добавок для гипса и гипсобетонных композиций развивается. Однако, на сегодняшний день существует определенное количество узких мест, где еще необходимо более детальное изучение проблемы.

Список литературы:

1. *Волженский, А.В.* Минеральные вяжущие вещества: изд. 4-е переработанное дополненное/А.В. Волженский // – М.: Стройиздат. – 2009 – С. 547.
2. Интернет-ресурс «Новый аналитический портал»
<http://www.newchemistry.ru/>

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ ДОМЕННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА

Лесовик В.С., д-р техн. наук, профессор,

Агеева М.С., канд. техн. наук,

Иванов А.В., аспирант,

Михайлова О.Н., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время актуальным направлением в технологии бетона является применение композиционных вяжущих веществ, многокомпонентность состава которых позволяет не только снизить клинкерную составляющую в смеси, но и эффективно управлять процессом структурообразования, обеспечивая высокое качество получаемых бетонов и изделий на их основе. Существенное их отличие от портландцементов заключается: в высокой дисперсности; в содержании активной минеральной добавки и, как правило, высокоэффективного модификатора, вводимого при совместном помоле всех составляющих; в некоторых особенностях гидратационного твердения; в весьма высокой активности по прочности [1-2].

Поэтому проявляется большой интерес к расширению ассортимента добавок, изысканию возможностей использования промышленных отходов.

Известно, что тонкомолотый доменный гранулированный шлак является эффективным материалом в части экономии цемента. Шлак широко применяется как активная минеральная добавка в цементы, кроме того, данный материал является основным компонентом при получении шлакощелочных вяжущих и изделий на их основе [3]. При этом при использовании шлака решается и экологическая проблема.

В данной работе для получения композиционных вяжущих веществ (КВВ) были использованы следующие материалы: Новолипецкий доменный гранулированный шлак с $M_o = 1,14$ и $M_a = 0,2$ (табл.1), портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108–2003, добавка TRICOSAL 181. Вяжущие получали путем совместного помола компонентов до удельной поверхности $S_{уд} = 550 \text{ м}^2/\text{кг}$ при различном содержании шлаковой составляющей. Добавку вводили в количестве 0,5 % от массы вяжущего.

Таблица 1.

Химический состав Новолипецкого шлака

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO
37,087	7,288	0,646	41,401	9,397	1,835	0,529	0,351	0,287	0,102

Для определения влияния вяжущих на свойства бетонных смесей были рассмотрены сроки схватывания различных их видов (рис.1, табл.2).

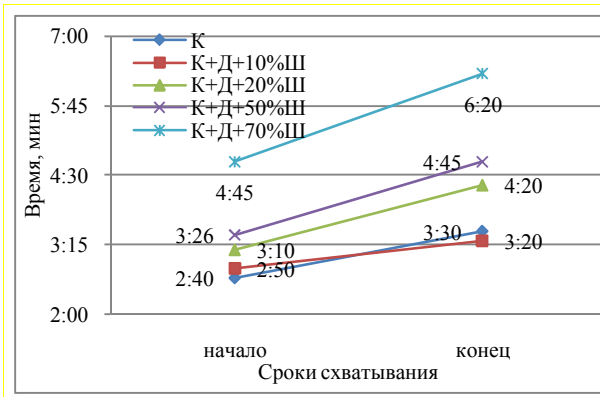


Рис. 1 Сроки схватывания многокомпонентных вяжущих, где К-клинкер, Ш-шлак, Д-добавка TRICOSAL 181.

В результате получено, что минимальные начало и конец схватывания наблюдаются у размолотого чистого клинкера с добавкой гипса. Введение шлака увеличивает время начала и конца схватывания. Максимальное значение достигается при введении 70 % шлака. Это объясняется снижением содержания клинкерной составляющей и при этом низкой активностью шлака в нормальных условиях при более высокой его водопотребности.

При этом, чем больше шлака в вяжущем, тем замедленней рост прочности системы в целом. О чем свидетельствуют результаты испытаний вяжущих на прочность (рис.2. табл.2).

Последнее можно объяснить также снижением доли мельчайших частиц в КВВ, отвечающих за скорость гидратации в ранние сроки твердения, по мере увеличения количества добавки шлака. Это является результатом более низкой размолоспособности шлака по сравнению с клинкером.

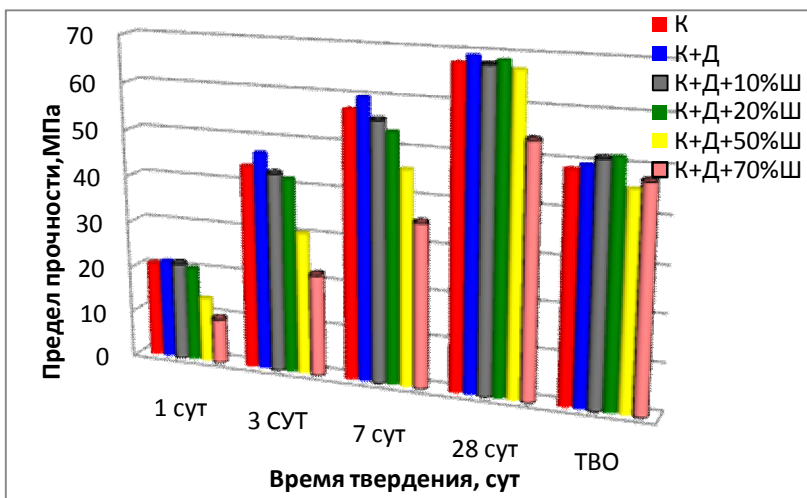


Рис.2. Кинетика набора прочности при сжатии композиционных вяжущих, МПа

Установлено, что добавка 10 и 20 % шлака в 1-е сутки твердения практически не меняет прочностные показатели по сравнению с исходным клинкером. Однако введение добавки шлака свыше этих значений значительно снижает прочность вяжущих в ранние сроки. В 3-х и 7-ми суточном возрастах скорость гидратации композиционных вяжущих снижается, как следствие, прочности всех вяжущих имеют меньшие значения, чем прочности клинкера и клинкера с добавкой. При этом у первых двух составов КВВ все так же разница между этими прочностями минимальна. К 28 суткам скорость гидратации вяжущих повышается и прочности приближаются по значениям друг к другу для всех составов кроме состава с 70% содержанием шлака.

Так снижение прочности составляет 36% для вяжущего с 50 % шлака и 54% для вяжущего с 70 % шлака в 1 сутки; 30% и 50% в 3 сутки; 20% и 38% в 7 сут. и 1,3% и 20,5% в 28 суточном возрасте соответственно.

Таким образом, добавка шлака 10 и 20% практически не снижает прочностных показателей вяжущих по сравнению с исходным клинкером во все сроки твердения. КВВ с 50 % шлака достигает значений прочности молотого клинкера к 28-ми суточному сроку твердения.

Проведение же тепловлажностной обработки (ТВО) позволило значительно повысить активность вяжущих с максимальным

количеством наполнителя за счет увеличения активности самого шлака в его составе. В результате предельно сокращается разница между прочностями вяжущих при сжатии (48,5 МПа для клинкера и 48,4 МПа и 47 МПа для вяжущих с 50 % и 70 % шлаковой добавками соответственно). А КВВ с 10 и 20% шлака даже превзошли по прочности клинкер и клинкер с добавкой на 5,8 % и 6,6 % соответственно.

Таким образом, в условиях нормального твердения добавка шлака в количестве 10 и 20 % позволяет получить вяжущее равнопрочное с исходным клинкером при $S_{уд}=550 \text{ м}^2/\text{кг}$ как в ранние, так и в поздние сроки твердения. При содержании шлака 50 % прочность достигает значений клинкера только в 28 суточном возрасте.

При проведении ТВО прочностные показатели тонкомолотых композиционных вяжущих с добавкой шлака более 50 % в качестве наполнителя практически совпадают с прочностью исходного клинкера, а добавка шлака менее 20 % позволила даже превысить прочности клинкера и клинкера с добавкой TRICOSAL 181.

Список литературы:

1. Юдович, Б.Э. Цементы низкой водопотребности–вяжущие нового поколения / Б.Э. Юдович, А.М.Дмитриев, С.А. Зубехин, Н.Ф. Башлыков и др. // Цемент и его применение. –1997.–№7.– С.15-18.
2. Лесовик, Р.В. Мелкозернистые бетоны для дорожного строительства с использованием отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов./ Р.В. Лесовик -Автореф. дис. ...канд. тех. наук. – Белгород 2002. – 26 с.
3. Мусин, В.Г, Состав и свойства смешанных вяжущих на основе металлургических шлаков и полимерных добавок / В.Г. Мусин // «Строительные материалы».–1991.– № 2.– С.7-8.

К ПРОБЛЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНОВ

**Лесовик В.С., д-р техн. наук, профессор,
Аксёнова Л.Л., канд. техн. наук, доцент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Введение новых строительных норм и правил (утверждение Госстроем РФ СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» и свода правил СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий») коренным образом способствовало преобразованию рынка наружных ограждающих строительных материалов и конструкций. На протяжении последних лет наблюдается интенсивный рост производства эффективных высокопористых строительных материалов с низкими показателями теплопроводности. К ним относятся различного рода ячеистые бетоны, поризованные бетоны на легких заполнителях, крупнопористые бетоны, эффективные керамические материалы, разнообразные утеплители. Присутствие в структуре таких материалов большого количества пор способствует проникновению в них атмосферной и грунтовой влаги. Влага вытесняет воздух из пор материала и заполняет их частично или полностью, при этом поры материала заполняются веществом, теплопроводность которого примерно в 20 раз превышает теплопроводность воздуха, а при замерзании влаги и превращении последней в лед – в 80 раз.

Увлажнение строительных конструкций, как правило, главная причина снижения их долговечности, повышения энергозатрат на отопление, эксплуатационных затрат на ремонт и восстановление зданий и сооружений. Капиллярно-пористая структура материалов часто является причиной их разрушения в условиях попеременного увлажнения и высушивания, замораживания и оттаивания, воздействия агрессивных жидкостей и газов. При исключении капиллярного водопоглощения может быть ликвидировано развитие напряжений от сопутствующих усадочных деформаций и напряжений в структуре материала, диффузионного перемещения агрессивных растворов, его коррозии, растягивающих напряжений от кристаллизации льда в порах.

Защита не может ограничиваться наружной изоляцией. Более эффективной является гидрофобизация пор материала.

Первые гидрофобизаторы нашли применение в промышленности более 40 лет назад. В основном это были кремнийорганические

жидкости на основе полигидросилоксана, этилсиликоната натрия, метилсиликоната натрия. Позднее они практически исчезли с рынка строительных материалов из-за пожароопасности, необходимости использования органических растворителей, ограниченного срока действия.

Среди современных гидрофобных материалов можно выделить различного рода полиорганосилоксаны: полиметил-полиметилгидридсилоксаны, алкилсиликонаты щелочных металлов, полиметилфенил- и полиметилсилоксаны, а также композиции на их основе и эластомеры. Использование современных гидрофобных материалов дает возможность обеспечить надёжную защиту от воздействия агрессивных компонентов окружающей среды, снизить водопоглощение пористыми материалами (примерно в 15-25 раз), улучшить внешний вид конструкций.

Проникая в пористые поверхности, гидрофобные составы создают барьерный слой, который защищает конструкции от воздействия воды и агрессивных сред. В большинстве случаев гидрофобные материалы не закрывают трещин, поэтому гидрофобизация конструкций, в которых под воздействием внешних нагрузок трещины раскрываются и закрываются, может быть нецелесообразной. С течением времени вода может вымывать гидрофобные составы, поэтому с определённым интервалом необходимо восстанавливать водоотталкивающие свойства материала. Исследованию способов повышения долговечности бетонов с помощью различных модификаторов, улучшающих влажностное состояние материалов в эксплуатационных условиях, посвящены работы многих российских и зарубежных ученых.

Такие свойства минеральных строительных материалов, как: водопоглощение, сорбционное увлажнение и разувлажнение, морозостойкость и коррозионная стойкость и т.п. при прочих равных условиях, существенно зависят от степени сродства материала и воды.

Смачиваемость твердых тел жидкостью – результат взаимодействия на границе раздела трех фаз: твердой, жидкой и газообразной.

Гидрофобизация оказывает сильное, а иногда решающее влияние на интенсивность процессов, происходящих при контакте жидкостей с твердыми телами, в частности, на вероятность образования зародышей кристаллов на поверхности твердого тела, тем самым предотвращая возможность достаточно интенсивного капиллярного подсоса.

Гидрофобизацию применяют в следующих целях:

– защита от проникновения влаги внутрь материала;

- повышение теплоизоляционных свойств поверхности;
- защита от образования высолов;
- увеличение морозостойкости и коррозионной стойкости;
- увеличение срока службы красок;
- предотвращение роста микроорганизмов и лишайников на поверхности материала;
- повышение прочности материала (вследствие укрепления структуры).

В зависимости от физического состояния и соответственно технологии их применения методы гидрофобизации бетонов классифицируются следующим образом.

Таблица 3.1 – Методы и степень понижения проницаемости материалов гидратационного твердения

Методы понижения проницаемости материалов гидратационного твердения	Степень понижения проницаемости
Объемная гидрофобизация	
1. Введение при приготовлении бетона	
– органических и гидрофобных добавок	2-10
– неорганических гидрофобных добавок	5-1000
– загустевающих веществ или термопластичных полимеров (в т.ч. битумов)	10-500
2. Пропитка после изготовления специальными растворами по всему объёму	50-1000
Поверхностная гидрофобизация	
3. Гидрофобизация поверхностных слоев бетона	2-10
4. Покрытие специальными пленкообразующими составами	10-100
5. Пропитка мономерами с последующей полимеризацией (Бетонополимеры)	50-100
6. Штукатурки, ССС	

Список литературы:

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны, Москва, 2000.
2. Мисников, О.С. Гидрофобизация сухих строительных смесей добавками из органических биогенных материалов / О.С. Мисников, О.В. Пухова, Д.Ю. Белугин, П.Ф. Ащеульников // Строительные материалы, №10. 2004 г.

АСФАЛЬТОЦЕМЕНТОБЕТОН НА КОМПОЗИЦИОННОМ ГИПСОВОМ ВЯЖУЩЕМ

**Лесовик В.С., д-р техн. наук, профессор,
Чернышева Н.В., канд. техн. наук, доцент,
Кузнецов В.А., аспирант**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

На современном этапе развития промышленности необходимо ориентироваться на современные, энергосберегающие технологии, обеспечивающие снижение трудоемкости строительства, а также повышенную комфортность, долговечность и высокие транспортно-эксплуатационные свойства автомобильных дорог. По данным ряда экспертов и ученых на сегодняшний день большая часть из них нуждается в ремонте. Поэтому в области дорожного строительства необходимо ускоренное развитие промышленности по производству дорожно-строительных материалов и изделий.

В 2011 году в Белгородской области на реализацию программ строительства и реконструкции автодорог выделено около 15 миллиардов рублей, что в 2,3 раза превышает объем освоения средств в 2010 году. Увеличение объемов строительства автомобильных дорог требует широкого применения асфальтобетона, цементобетона, битумоминеральных и других материалов, существенного снижения себестоимости строительства которых возможно достичь благодаря использованию промышленных отходов и местных материалов (отходы Лебединского и Стойленского ГОКов, цементы местных цементных заводов и др.) [1–5]. Обращает внимание тот факт, что в Белгородской области работают два цементных завода, а с использованием цементобетона всего построены 111 км (около 2%) дорог.

В Центральном Черноземье имеется большой дефицит щебня для дорожного строительства, который составляет около 7 млн. тонн в год. Данная проблема решается на 14% за счет известнякового щебня из липецких карьеров, остальной щебень доставляется из карьеров Краснодарского края, Ростовской области, Украины с дальностью перевозки по железной дороге до 1200 км.

Особенно актуально вторичное использование асфальтобетонного лома, что позволит снизить стоимость приготовления дорожного покрытия на 30-40% и даст возможность решения экологических

проблем. Асфальтоцементобетон занимает промежуточное место между асфальтобетоном и дорожным цементобетонном, по стоимости он примерно в 2 раза дороже асфальтобетона и в 1,5 раза дешевле цементобетона.

В дорожном строительстве различают асфальтобетонные и цементобетонные покрытия. Первые относятся к бесшовному изготовлению больших поверхностей с быстрым вводом в эксплуатацию, вторые отличаются прочностью и высокой грузоподъемностью.

Достоинства этих строительных методов объединены в полужестком двухслойном покрытии, при нанесении которого пустоты (или каркас) пористого асфальтового слоя заполняются специально разработанным высокопрочным цементным раствором. Таким образом, создается полужесткое покрытие, сочетающее упруго-пластические свойства асфальтобетона и жесткокристаллические свойства цементобетона.

В мировой практике строительство подобных покрытий ведется с 1970-х г.г. За рубежом есть серьезные разработки по различным вариантам составов как асфальтобетона, так и цементных растворов.

В Европе и в мировой практике строительство полужестких покрытий осуществляется с 70-х годов прошлого века под названиями: Densiphalt® – в Великобритании, США и в Скандинавских странах, Confalt® – в Германии и в странах Восточной Европы, Strabaphalt® – в Австрии. Денсифальт - Densiphalt ®) - композиционный материал, состоящий из асфальта с открытым гранулометрическим составом, полости которого заполнены высокопрочным раствором на основе цемента мелкого помола и пластификаторов. Самое большое количество дорожных объектов находится в Дании и Швеции, где этот материал используют при строительстве и реконструкции городских улиц и проездов.

В Белорусии разработана и изготовлена совместно с участием "Ремавтодора" стационарная установка по приготовлению литого асфальта с использованием асфальтобетонного лома, с применением перегретого пара для ямочного ремонта дорожных покрытий. Отечественный аналог комбинированного асфальтобетонного покрытия впервые был исследован специалистами ЗАО «НП-ЦМИД» и ФГУ ДСТО Санкт-Петербурга. В результате лабораторных исследований и экспериментов была разработана сухая смесь для получения высокопрочного и высокоподвижного раствора ЦМИД-2 «Дорожный»

После устройства такого покрытия движение транспорта возможно уже через сутки.

Принципиально новым решением проблемы сокращения сроков строительства автомобильных дорог является применение для укрепления конструкций дорожных одежд эффективных быстротвердеющих бетонных смесей – асфальтоцементобетон, получаемых из асфальтобетонного лома и ВГВ (тонкомолотой смеси гипсового вяжущего, поргланлцемент, химических и активных минеральных добавок из местного сырья, в том числе отходов производств) Асфальтоцементобетон на ВГВ является комбинацией физико-механических свойств асфальтобетона и гипсобетона, сочетающий в себе упруго-пластические свойства асфальтобетона и жестко-кристаллические свойства гипсобетона – является полужестким покрытием. Каркас из асфальтобетонной смеси заполняется быстротвердеющим высоко-прочным раствором на основе песка, ВГВ и специальных добавок.

Необходимость в использовании дорожных покрытий из асфальтоцементобетона на ВГВ возникает в местах, где асфальтобетон уже исчерпал свои свойства, а цементобетон является слишком трудоемким и дорогостоящим. Технология приготовления смеси не требует специального оборудования. Быстротвердеющая асфальтоцементобетонная смесь может быть приготовлена непосредственно на объекте строительства в бетоносмесителе или растворонасосе, обеспечивающих смешивание сухой смеси с водой, подачу к месту заливки и укладки с помощью обычных асфальто- и бетоноукладчиков. Кроме того, их применение возможно для ямочных ремонтов дорог.

Применение для укрепления конструкций дорожных одежд асфальтоцементобетонной смеси на ВГВ и асфальтобетонного лома позволит снизить расход дорогостоящего щебня, вследствие чего снизятся транспортные затраты при строительстве, материалоемкость дорожных одежд, а также улучшить экологическую обстановку.

Список литературы:

1. *Чернышева, Н.В.* Применение ГЦП вяжущих для укрепления дорожных оснований / Н.В. Чернышева, Р.В. Лесовик, А.Ю. Чернышев // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2004. - №8. – С.314 – 315.
2. *Чернышева, Н.В.* Быстротвердеющие бетонные смеси для дорожного строительства / Н.В. Чернышева, А.Ю. Чернышев, М.Б. Нарышкина (М.Б. Рыбцова) // Строительные материалы. – М., 2007. – № 8. – С.54–55.

К ПРОБЛЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ФИБРОБЕТОНА ДЛЯ САМОВЫРАВНИВАЮЩИХСЯ ПОЛОВ

**Лесовик Р.В., д-р техн. наук, профессор
Казлитин С.А., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Фибробетон является одним из самых распространенных строительных материалов. Это бетон, который армирован дисперсными волокнами (фибрами). Фибробетон обладает более высокой ударной прочностью, прочностью на срез и при растяжении, водонепроницаемостью, морозостойкостью, пожаростойкостью и сопротивлением кавитации. Перечисленные достоинства в совокупности обеспечивают высокую эффективность применения данного материала, поэтому изделия из фибробетона, такие как фибробетонные блоки, панели и плиты используют в строительных конструкциях.

К примеру, фибробетонные полы более устойчивы к повышенным эксплуатационным нагрузкам, нежели обычные бетонные полы.

Технология производства фибробетона является обычной смесью песка, цемента, крупного заполнителя, воды и определенного количества дисперсных волокон (фибры). Фибра, в свою очередь, производится из различных материалов.

С точки зрения экономической эффективности стальная арматура является оптимальным материалом для повышения прочности бетона. Свойства фибробетона как композиционного материала определяются свойствами составляющих его компонентов. В этом плане весьма значительным компонентом является стальная фибра, модуль упругости которой намного (в 5-6 раз) превышает модуль упругости бетона. Поэтому при достаточной анкеровке в бетоне может быть получен наибольший вклад фибры в работу композита и полностью использована прочность.

Для производства фибробетона с наилучшими характеристиками необходимо выполнение следующих условий: добиться технологической совместимости бетона-матрицы и фибры, выбрать наилучшее сочетание вида фибры и бетона матрицы для того, чтобы получить необходимый по эксплуатационным характеристикам материал, для наиболее эффективного использования свойств прочности фибры необходимо максимальное заанкеривание фибры в

бетоне. И необходимо учитывать, что при добавлении в бетон фибра должна быть очень тщательно перемешана, так как категорически не допускается попадание фибры комками.

Стальная фибра, в отличие от арматуры или проволочной сетки, равномерно распределяется по бетонной матрице. Стальная фибра может выполнять множество различных функций в зависимости от её пропорций в фибробетоне (от 15 до 240 кг/м³).

Фибробетон – перспективный строительный материал XXI века. Но сравнительно короткий период практического использования фибробетона в зарубежном и отечественном строительстве не дает ответы на все вопросы инженерной практики, в особенности при введении в бетон различных видов дисперсной арматуры. Состояние исследований и разработок фибробетона, изделий и конструкций из него требует развития научных исследований и расширения опыта практического внедрения фибробетона для конкретных объектов с учетом индивидуальных условий эксплуатации.

Список литературы

1. Войлоков И.А. Расширение применения фибры как армирующего материала в различных видах конструкций / И.А. Войлоков // Популярное бетоноведение. - 2008. - №3. - 27-31.
2. Павленко В.И. Свойства фибробетона и перспективы его применения: аналитический обзор / В.И. Павленко, В.Б. Арончик. - Рига: ЛатНИИН-ТИ, 1978.-52с.
3. Рабинович Н.Ф. Эффективность применения сталефибробетона в промышленном строительстве / Н.Ф. Рабинович, Г.А.Шикунов // Применение фибробетона в строительстве: материалы семинара. - Л.:ЛДНТП. -1985.-С.9-15.

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

**Лютенко А.О., канд. техн. наук, доцент,
Лебедев М.С., аспирант,
Потапова И.Ю., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В современном мире сфера дорожного строительства играет немалую роль в жизни общества, так как обеспечивает решение общегосударственных и региональных социально-экономических задач. Но, к сожалению, на сегодняшний день состояние сети автомобильных дорог в нашей стране не позволяет в полном объеме обеспечивать потребности экономики и конкурентоспособность международных перевозок.

Состояние сырьевой базы дорожно-строительных материалов во многих регионах требует привозных заполнителей и наполнителей. В их числе и Белгородская область. В это же время большое количество минеральных материалов и техногенных грунтов в химически мало измененном состоянии переходят в разряд отходов, занимающих в виде отвалов огромные территории, пригодные для наиболее полезных целей. Качественное сырье, которое можно использовать в естественном виде, истощается достаточно быстрыми темпами, а объемы необходимых строительных материалов стремительно растут. Решение поставленной задачи заключается в применении материалов, которые не всегда отвечают требованиям нормативных документов и зачастую не имеют всех нужных свойств, а так же различных методов их модифицирования с целью получения качественного сырья. Это объясняет необходимость исследования данной проблемы и разработку новых эффективных методов для ее решения.

Целью исследований, проводимых в этом направлении, является разработка принципов проектирования дорожно-строительных материалов на основе техногенных отходов с учетом их состава и свойств.

Известно, что при взаимодействии битума с минеральными материалами (в том числе карбонатными), в состав которых входят оксиды щелочных и тяжелых металлов, на поверхности происходит процесс хемосорбции с образованием на поверхности водонерастворимых мыл [1]. В свою очередь, глинистые фазы

представляют собой алюмосиликатные образования со значительным содержанием оксидов алюминия и железа. Исходя из вышесказанного, битум должен иметь хорошую адгезию с глинистыми материалами. Однако, согласно требованиям нормативного документа, в минеральном порошке содержание этих соединений четко ограничивается [2].

Этот факт можно объяснить следующим. Асфальтовяжущее вещество с применением минерального порошка, содержащего в своем составе глинистые минералы, будет отличаться низкими показателями водостойкости и высокими значениями набухания, а иногда и просто разрушаться при попадании воды в капиллярный «коридор» микрокластера. Формированию таких образований способствуют силы агрегирования [3]. В результате взаимодействия с водой происходит расширение кристаллической решетки минералов и потеря глинистой породой водостойкости.

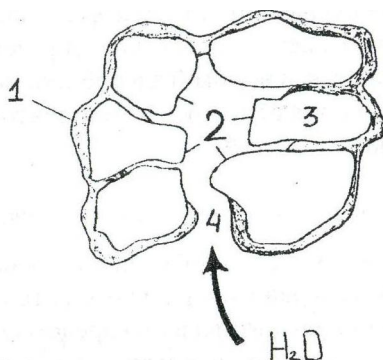


Рисунок 1 – Схема микрокластера в асфальтовяжущем веществе [3]:

1 – «внешняя» пленка битума; 2 – «оголенные» части поверхности зерен минерального порошка (не покрытые пленкой битума); 3 – зерна минерального порошка; 4 – капиллярный «коридор» в микрокластере

Следствием такого неблагоприятного воздействия воды на глинистые минеральные материалы являются невидимые невооруженным глазом микротрещины в структуре асфальтобетона, а затем образование макротрещин и дальнейшее разрушение асфальтобетонного покрытия.

На данном этапе отсутствуют эффективные методы перемешивания смесей, исключаящие образование микрокластеров.

Это объясняется тонкодисперсностью минеральных частиц, имеющих большую свободную поверхностную энергию, накопленную в результате дробления исходного материала. Поэтому не удастся предотвратить агрегирование частиц наполнителя.

Возможность использования описанных некондиционных материалов заключается в их модифицировании, активации или гидрофобизации. Одним из возможных путей в этом направлении так же является высокотемпературная обработка, в результате которой происходит распад глинистой составляющей с образованием аморфных фаз [4]. Существуют и другие пути улучшения качества, такие как обработка минералов известью, небольшим количеством битума с поверхностно-активными веществами, гидрофобизирующими растворами и др.

Таким образом, получить качественные дорожно-строительные материалы можно и на основе некондиционного техногенного сырья, применяя различные способы воздействия на них. Внедрение таких ресурсосберегающих технологий повлечет за собой снижение стоимости строительства автомобильных дорог, а также развитие транспортной инфраструктуры, и в свою очередь, позволит снизить негативное воздействие техногенных отложений на окружающую среду.

Список литературы:

1. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцев, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев; под ред. Л.Б. Гезенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
2. ГОСТ Р 52129–2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия. – Введ. 2004-01-01. – М.: Госстрой России, 2004. – 25 с.
3. Ковалев, Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов: учебно-методическое пособие / Я.Н. Ковалев. – Мн.: БНТУ, 2007. – 265 с.
4. Лебедев, М.С. О возможности использования модифицированных минеральных порошков на основе техногенного сырья / М.С. Лебедев, Е.И. Ходыкин // Создание новых материалов для эксплуатации в экстремальных условиях: сб. тр. междунар. конф. с элементами науч. шк. для молодежи, Якутск, 16-19 ноября 2009 г. – Якутск: ПаблИш Групп, 2009. – С. 80–82.

ПРОНИКАЮЩАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ СЕРЫ

Массалимов И.А., д-р техн. наук, профессор,

Мустафин А.Г., д-р хим. наук, профессор,

Башкирский государственный университет

Чуйкин А.Е., канд. техн. наук, доцент,

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Хусанов А.Н., аспирант,

Янахметов М.Р., аспирант

Научно-исследовательский технологический институт гербицидов

Академии наук Республики Башкортостан

Проблемы долговечности конструкций зданий и сооружений, снижения затрат на их капитальный ремонт всегда являются актуальными. Одной из основных причин разрушения большинства строительных материалов, обладающих высокой пористостью, является их увлажнение. Такие материалы, как бетон, керамический и силикатный кирпич, автоклавный газобетон, асбестоцементный шифер, гипс, насыщаясь водой, увеличиваются в весе до 8-30% и более.

Наличие в структуре бетона разветвленной сети пор, капилляров и микротрещин обусловлено рядом факторов: испарение воды во время схватывания бетона; недостаточное уплотнение бетона при заливке; внутренние напряжения, возникающие из-за усадки бетона в процессе схватывания и пр. Вода, проникая в поры материала, постепенно растворяет кристаллические частицы, вследствие чего сцепление между ними нарушается или ослабевает, что в итоге приводит к понижению прочности. К понижению прочности строительных материалов приводит также расклинивающее действие водных пленок, разъединяющих микроэлементы кристаллической структуры.

Отрицательное воздействие на конструкции оказывает капиллярный подсос при непосредственном контакте строительных материалов минерализованными грунтовыми и сточными водами, которые реагируют с компонентами строительных материалов, или повышают их растворимость.

Процессы разрушения отделочных покрытий фасадов, таких как лицевой кирпич, облицовочная керамическая и бетонная плитка, штукатурка, связаны с воздействиями на них влаги и растворимых солей. Большую опасность, с точки зрения ухудшения

эксплуатационных, архитектурно-художественных качеств сооружения, а также уменьшения их долговечности, представляют растворимые соли, содержащиеся в кирпичной кладке. Их источники очень разнообразны. Прежде всего, это стеновой керамический материал, кладочные растворы, а также грунтовые, технологические воды в условиях промышленных предприятий и атмосферная влага.

В результате миграции растворимых солей в капиллярной системе кирпичной кладки, которая происходит вследствие изменения температурного режима, на фасадах зданий, как правило, появляются кристаллические солевые образования – высолы, которые не только снижают эстетические качества фасадов зданий, но и являются индикаторами возможных разрушительных процессов, как облицовки зданий, так и стенового материала.

Разрушительный характер растворимых солей связан с развитием солевой коррозии соответствующего строительного материала. Процессы солевой коррозии возникают в результате попеременного увлажнения и высыхания строительного материала, при которых происходит кристаллизация солей в его порах. Образование многоводных кристаллогидратов с увеличением объемов, превышающих объем пор материала, приводит к возникновению давления, разрушающего строительный материал. Внешними признаками солевой коррозии являются шелушение и выкрошивание лицевого кирпича, горбление, трещины и отвал облицовочных материалов.

Под воздействием солевой коррозии строительные материалы и конструкции начинают разрушаться через 15 - 20 лет, тогда как сроки их службы рассчитаны на 100 - 150 лет. Наиболее эффективным способом предотвращения увлажнения и разрушения материалов является использование различных гидроизоляционных материалов. По виду основного материала поверхностную гидроизоляцию подразделяют на битумную, минеральную и полимерную; по способу устройства - на окрасочную, оклеечную, штукатурную, литую, пропиточную, инъекционную.

В отличие от битумной и полимерной гидроизоляции наиболее долговечной является минеральная гидроизоляция конструкций. Гидроизоляционные материалы на минеральной основе – Пенетрон, Пенекрит, Ксайпекс, Лахта, Акватрон, Кальматрон, Кристаллизол, ГССС (Гидроизоляционная сухая строительная смесь), как правило, являются обмазочными или инъекционными, что осложняется необходимостью подготовки поверхности и сверлением отверстий для

инъектирования. Действие этих гидроизоляционных материалов заключается в следующем: после нанесения эти составы вступают в реакцию с материалом бетона, в результате в порах бетона нарастают кристаллы. По прошествии определенного времени (несколько месяцев) часть порового пространства заполняется выросшими кристаллами, в результате существенно увеличивается прочность и водонепроницаемость бетона. Но широкое распространение подобных материалов ограничивается их относительно высокой стоимостью, а также возможностью применения только для бетона.

В качестве проникающей гидроизоляции конструкций зданий предлагается способ обработки пористых поверхностей строительных материалов серосодержащим составом АКВАСТАТ [1-3]. Разработанный пропиточный состав на основе серы обеспечивает защиту строительных материалов от атмосферных воздействий и агрессивных сред в течение длительного времени. Технология обработки строительных конструкций и изделий проста и доступна: как и большинство лакокрасочных материалов, он наносится кистью, распылением пульверизатором, погружением в ёмкость.

Новизной предлагаемого решения является использование в качестве пропиточного состава водорастворимой модификации серы - материала неорганической природы. На стадии пропитки состав, содержащий молекулы серы, заполняет поры строительного материала. При последующей сушке раствор распадается и на поверхности пор материала образуется нерастворимый в воде (гидрофобный) слой элементной серы в виде наноразмерных частиц. Наличие серы в порах строительных материалов существенно снижает водопоглощение, придает им гидрофобные свойства на длительное время – в отличие от органических лакокрасочных материалов.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований по определению эффективности обработки строительных материалов составом АКВАСТАТ.

Программа экспериментов включала одно-, двух- и трехкратную пропитку образцов мелкозернистого бетона с сушкой после каждого цикла пропитки и определением привеса, водопоглощения, плотности материала. Испытывалось по 3 образца. Образцы, проходившие одно-, двух- и трехкратную пропитку после завершающего цикла пропитки подвергались трем циклам сушки - водонасыщения. Многократность пропитки должна была усиливать эффект по снижению водопоглощения, а многоцикловая сушка-водонасыщение должна была

выявить вероятность вымывания серы из порового пространства цементного бетона в условиях контакта изделия с грунтовой или дождевой водой.

Эксперименты показали (рисунок 1), что однократная пропитка составом АКВАСТАТ по отношению к контрольным (непропитанным) образцам снижает водопоглощение мелкозернистого бетона по массе на 30-35%. Данные положительные эффекты коррелируют с изменением средней плотности (привесом) материалов составляющим для цементного камня около 4%.

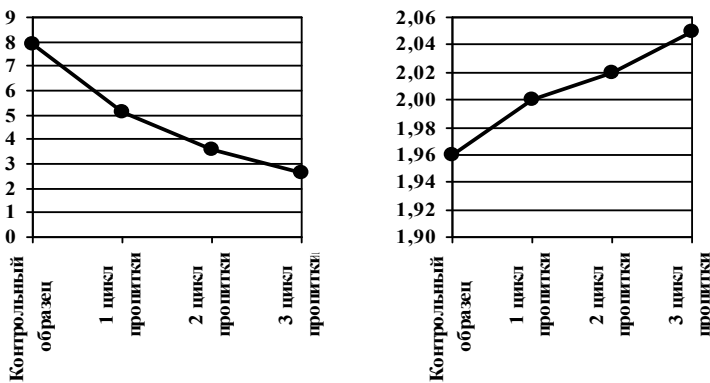


Рисунок 1 – Результаты определения водопоглощения и средней плотности при одно-, двух- и трехкратной пропитке образцов мелкозернистого бетона составом АКВАСТАТ.

Трехкратная сушка-водонасыщение после одного цикла пропитки не привела к увеличению объема порового пространства. Изменения водопоглощения в этом случае не наблюдалось, что свидетельствует о том, что после первого цикла сушки сера закристаллизовывалась и переходила в исходную нерастворимую форму.

Двукратная пропитка обеспечивала снижение водопоглощения бетона по отношению к контрольным образцам в среднем на 50-55%, трехкратная - на 60-65%.

Эксперименты по исследованию водопоглощения образцов автоклавного газобетона были проведены на газобетоне со средней плотностью 500 кг/м^3 . Пропитка газобетонных образцов $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, вырезанных из стандартных стеновых бетонных блоков, производилась в течении 2 часов путем их полного погружения в ванну с АКВАСТАТОМ (рисунок 2).

Эффективность после 1, 2, 3 циклов пропитки по водопоглощению и приросту веса (привеса) иллюстрируются данными водопоглощения газобетона по массе, которое составило после 1, 2, 3 циклов пропитки соответственно 25, 20, 14% соответственно при исходном (до пропитки) показателе 36%.

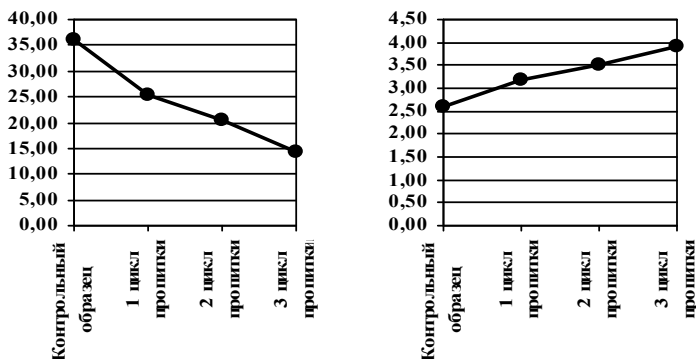


Рисунок 2 – Результаты определения водопоглощения по массе и привеса при одно-, двух- и трехкратной пропитке образцов автоклавного газобетона составом АКВАСТАТ.

Таким образом, проникающая гидроизоляция строительных материалов - АКВАСТАТ является эффективной по отношению ко всему ряду основных стеновых материалов: цементным бетонам и растворам; автоклавным газобетонным блокам.

Список литературы:

1. Пат. 2416589 Российская Федерация Состав для обработки строительных материалов и способ их обработки / Массалимов И.А., Бабков В.В., Мустафин А.Г. РФ – № 2416589 от 23.09.2009 г.
2. Массалимов, И.А. Долговременная защита строительных материалов покрытиями на основе наноразмерной серы / И.А. Массалимов, А.Н. Хусаинов, А.Е. Чуйкин, А.Н. Волгушев, А.Г. Мустафин // «Нанотехнологии в строительстве научный Интернет-журнал» – 2010. – №1(5).–С. 45 - 58.
3. Массалимов, И.А. Долговременная защита строительных материалов покрытиями на основе наноразмерной серы / И.А. Массалимов, А.Н. Хусаинов, А.Е. Чуйкин, А.Н. Волгушев, А.Г. Мустафин // «Нанотехнологии в строительстве научный Интернет-журнал» – 2010. – №1(6).–С. 54 - 61.

ВЛИЯНИЕ НАНОИНИЦИАТОРА НА СВОЙСТВА ПЕНОБЕТОНА

Моргун В.Н., канд. техн. наук, доцент
Южный федеральный университет

Причиной низкой прочности ячеистых бетонов всегда являются разрывы сплошности в структуре твердой фазы, формирующиеся при технологической переработке сырья. В настоящее время практическим решением таких проблем занимаются нанотехнологии. Те технологические процессы, осуществление которых обеспечивает принципиальное изменение свойств известных материалов, по мнению А.И. Гусева [1] относятся к нанотехнологиям.

В большинстве каменных материалов при повышении демпфирующих свойств, прочность при сжатии уменьшается. Если в результате совершенствования технологии в материале растут прочностные и демпфирующие свойства [1, с. 329], то это свидетельствует о появлении нанокристаллов в его структуре. Полагаю, что в технологии пенобетонов слои нанокристаллов, способных обеспечивать одновременное повышение прочности на сжатие и растяжение получают осаждением коллоидных частиц цемента на поверхность дисперсной арматуры. Поэтапное рассмотрение формирования структуры различных видов пенобетонных смесей позволяет сформулировать перечень важнейших факторов, влияющих на меру их дефектности после отвердевания.

Рецептура любой пенобетонной смеси такова, что до момента насыщения газовой фазой она не может быть агрегативно устойчивой. Перемешивание компонентов в пенобетоносмесителе заключается в энергетическом воздействии на высоко обводненную дисперсную систему, которая в результате вовлечения газовой фазы становится агрегативно устойчивой. Сохранение газовой фазы внутри пенобетонной смеси возможно только в том случае, если:

- пленки поверхностно-активных веществ (ПАВ) обладают прочностью, достаточной для удержания газа;
- вязкость цементно-песчаной суспензии в процессе перемешивания возросла до уровня, достаточного для обеспечения агрегативной устойчивости компонентов, плотность которых различается более чем в 100 раз. Рост вязкости при насыщении цементно-песчаных суспензий газовой фазой обусловлен переходом части свободной воды затворения в физически связанное состояние, что подтверждается результатами следующего эксперимента.

Были приготовлены 2, одинаковых по рецептуре суспензии с содержанием ПАВ 1% от количества воды. Перемешивание одной из них осуществлялось осторожно, так, чтобы воздухововлечение было минимально возможным. Перемешивание второй - в турбулентном смесителе при скорости рабочего органа 80 с^{-1} . Пластическая прочность первой после перемешивания составила 22,7 Па, а второй - 36,2 Па. Каждая смесь была уложена в стеклянный цилиндр высотой 600 мм. Расслоение бетонной смеси с низким содержанием газовой фазы произошло в течение 20 минут. Пенобетонная смесь, приготовленная в смесителе, не расслоилась. Таким образом, установлено, что суспензии, в составе которых основная часть ПАВ располагается на поверхности раздела фаз "газ-жидкость", будучи термодинамически неравновесными системами, оказываются способными к достижению седиментационной (агрегативной) устойчивости. Введение в состав таких смесей наноинициаторов в виде дисперсной арматуры, у которой соотношение $l/d \gg 1000$, позволяет им достигать сразу после приготовления пластической прочности 45...58 Па, что указывает на повышение внутренних сил сцепления в 1,5...2,0 раза.

Величина внутренних сил сцепления определяющим образом влияет на траектории перемещения частиц твердой дисперсной фазы после завершения перемешивания. Если силы сцепления меньше гравитационных, то в период перехода смеси из вязко пластичного в упругое состояние, в ней формируется расслоение по высоте уложенного слоя. Расслоение всегда негативно сказывается на механических и стойкостных свойствах материала. Если силы сцепления больше гравитационных, то дисперсные частицы твердой фазы движутся к поверхности, обладающей максимальным энергетическим потенциалом. Учитывая результаты определения пластической прочности свежеприготовленных пенобетонных смесей, такой поверхностью в их составе является дисперсная арматура. Поэтому траектории движения мельчайших частиц при агрегации их в кластеры будут направлены к поверхности фибры, а порядок упаковки - определяться геометрическими размерами зернистых частиц и конфигурацией дисперсной арматуры.

Одновременно с процессом агрегации дисперсных частиц в кластеры в бетонной смеси всегда имеют место химическая (гидролиз) и адсорбционная диспергации клинкерных минералов цементного вяжущего. С течением времени за счет гидратации все вязкие связи между компонентами заменяют упругими, либо упруго пластическими. То есть, рассматриваемая дисперсная система является перколяционной

средой [3] в которой с течением времени растет мера связности между дисперсными частицами. В ходе сборки кластеров энергетический потенциал и форма дисперсных частиц управляют размерами и плотностью новообразований и со временем объединяются в бесконечный кластер [4]. **Характерной особенностью, присущей перколяции, является связность** [3]. Поскольку связность обнаруживает качественное изменение при конкретном значении некоторого параметра, который можно менять непрерывно, переход из состояния, не содержащего соединяющий кластер, в состояние с одним соединяющим кластером представляет собой фазовый переход, т.е. бетонная смесь с течением времени превращается в бетон. Мера дефектности бесконечного кластера, т.е. затвердевшего бетона зависит от большого числа факторов. Поэтому в данной работе рассмотрим лишь те, что способствуют проявлению наноэффектов, т.е. комплексному улучшению прочностных и демпфирующих свойств пенобетонов.

Полагаю, что направленная самосборка гидратных соединений цементного вяжущего на поверхности заполнителя волокнистой формы должна приводить к ускорению перехода дисперсной системы от вязкопластичного состояния к упругому. Экспериментальную проверку данной гипотезы осуществляли по показателям пластической прочности пенобетонных смесей различных видов, прочности на растяжение при изгибе и сжатие затвердевших бетонов. Установлено, что увеличение количества дисперсной арматуры в составе пенобетонной смеси приводит к ускоренному переходу вязкой пенобетонной смеси [5] в упругое состояние. Сформулированная гипотеза подтверждается результатами оценки прочности на сжатие и растяжение при изгибе в различные сроки твердения (рис. 1 и 2).

Анализ представленных результатов показывает, что пенобетоны за пределами 28 дней нормального твердения практически не меняют показателей прочности на сжатие и растяжение при изгибе не смотря на то, что в цементном камне продолжают процессы формирования гидратных новообразований [2]. Полагаю, что причиной стабилизации показателей механических свойств пенобетонов является влияние прочность противоположно направленных процессов контракционной усадки цементного камня и гидратирующих клинкерных минералов. Соотношение между прочностью на растяжение при изгибе и прочностью на сжатие, характеризующее демпфирующие свойства материала, составляет около 0,1.

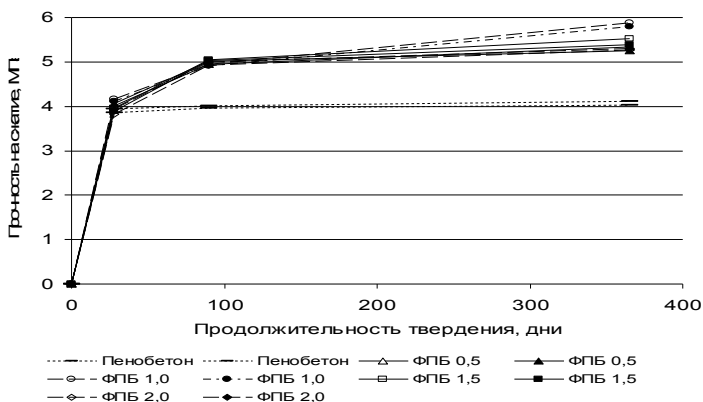


Рис.1. Прочность пенобетонов при сжатии в зависимости от количества дисперсной арматуры и времени твердения

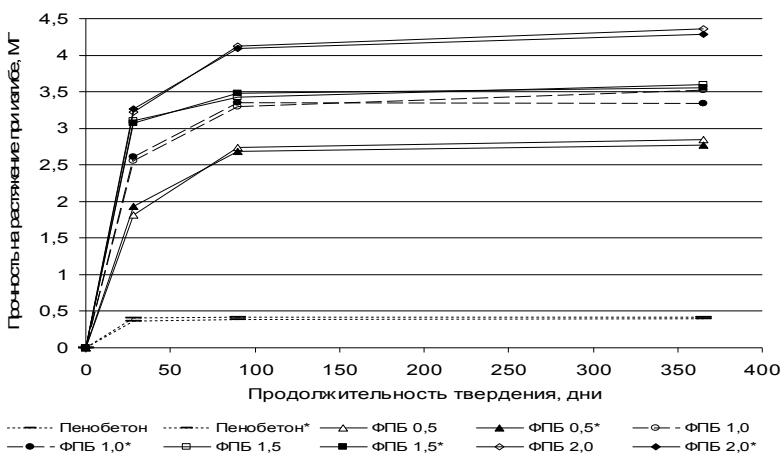


Рис.2. Прочность пенобетонов на растяжение при изгибе в зависимости от количества дисперсной арматуры и времени твердения

У фибропенобетонов прочность растет в течение всего периода наблюдений пропорционально количеству дисперсной арматуры. Превышение прочности на сжатие по отношению к пенобетону, во все контролируемые сроки твердения за исключением марочного возраста, составляло от 20 до 35%. Прочность на растяжение при изгибе

превышала этот показатель у пенобетона в 6...10 раз. Величина демпфирующих свойств фибропенобетонов пропорциональна количеству дисперсной арматуры, и составляла от 0,45 до 0,8.

Опираясь на эти результаты можно утверждать, что фибра, как протяженная поверхность раздела фаз в составе пенобетонной смеси создает комфортные условия для ускоренного формирования кластеров в период начального структурообразования. Она является подложкой, на которой происходит упорядоченное осаждение новообразований цементного камня, в результате чего в структуре пенобетона появляется нанокристаллическая составляющая, обеспечивающая повышение прочностных и демпфирующих свойств этого материала.

Список литературы:

1. *Гусев, А.И.* Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.
2. Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов/ Под ред. Е.М.Чернышева, Е.И. Шмитько: Воронеж ГАСУ, 2002.- 344 с.
3. *Эфрос, А.Л.* Физика и геометрия беспорядка / А.Л. Эфрос // М.: Наука, 1982.
4. *Смирнов, Б.М.* Физика фрактальных кластеров / Б.М.Смирнов // М: Наука, 1991. – 136 с.
5. *Моргун, Л.В.* О жидкокристаллической природе агрегативной устойчивости пенобетонных смесей / Л.В. Моргун, В.Н. Моргун // Строительные материалы, 2006, №6. – С.22, 23.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ БЕСЦЕМЕНТНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРЖДЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГРАНУЛИРОВАННЫХ НАНОМОДИФИЦИРУЮЩИХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Мосьян В.И., канд. техн. наук, доцент,
Воронцов В.М., канд. техн. наук, профессор
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время отмечается высокая потребность строительной отрасли в недорогих конструкционно-теплоизоляционных минеральных строительных материалах для массового жилищного и промышленного строительства. Всесторонний анализ энергозатрат, экологических и потребительских факторов при производстве и эксплуатации стеновых материалов показывает привлекательность бесцементных силикатных бетонов автоклавного твердения на основе известково-песчаного вяжущего в виде плит, панелей и кирпича. Силикатные строительные изделия не требуют высоких энергозатрат при получении по сравнению со строительными материалами на основе цемента, их недостатком является относительно высокая теплопроводность: при плотности 1930 кг/м³, теплопроводность составляет 0,85-0,87 Вт/(м·К). Однако вопросам разработки недорогих искусственных заполнителей, способных существенно снизить теплопроводность силикатных материалов уделяется недостаточно внимания.

Если для строительных материалов на основе цемента создана и применяется весьма обширная номенклатура природных и искусственных заполнителей с широким спектром потребительских свойств по экономичности, прочности, пористости, теплопроводности и др., то для силикатных материалов автоклавного твердения выбор весьма невелик. Ассортимент легких природных заполнителей не отличается изобилием, характеризуется явно выраженной региональной привязкой, неизбежно повышающей транспортную составляющую себестоимости товарного материала для других регионов. Получение же искусственных легких заполнителей, как правило, связано с энергозатратными термическими процессами обжига, вспучивания, либо вспенивания.

Известные легкие заполнители имеют чрезвычайно большое различие по физическим и химическим свойствам от силикатных матриц: коэффициенты термического расширения, водопоглощение и

др. отличаются на порядок и более, что разупрочняет контактную зону «матрица – наполнитель» при эксплуатации и уменьшает атмосферостойкость стеновых изделий в целом. Используемые в настоящее время наполнители для силикатных стеновых материалов не защищают их от насыщения влагой. Сорбционная влажность таких стеновых материалов достигает 8...12 мас.% и существенно ухудшает их теплоизолирующие свойства при эксплуатации [1].

На кафедре «Строительные материалы, изделия и конструкции» БГТУ им. В.Г. Шухова разработаны новые активные гранулированные наномодифицирующие поризаторы (АГНП), взаимодействующие с матрицей силикатного стенового материала при его автоклавной обработке, растворяясь, они поризуют изделие, причем поры имеют замкнутый характер, что наиболее благоприятно сказывается на снижении его теплопроводности и сорбционной влажности [2].

АГНП имеют размер 1,5...10 мм, они состоят из ядра и защитной оболочки. Ядром является совместно молотая, гранулированная смесь из кремнеземистого компонента и гидроксида щелочного металла. В качестве кремнеземистых пород для приготовления ядер активного наполнителя для силикатных изделий можно использовать перлит [3], цеолит, стеклобой, трепел, диатомит и опоку [4]. Защитная оболочка вокруг ядра гранулы, состоящая из молотой извести и кремнефтористого натрия, не позволяет водорастворимому гидроксиду щелочного металла перейти в раствор при приготовлении силикатной смеси, формовании и автоклавной обработке изделий. Кремнефтористый натрий обеспечивает достаточную водостойкость АГНП. Использование полученных гранул при получении силикатных стеновых материалов показывает, что их потребительские характеристики можно изменять в широком диапазоне [2].

Модифицирующее действие АГНП проявляется в том, что после гидротермальной обработки стенового изделия, четкой границы между наполнителем и матрицей изделия не наблюдается, т.к. гидросиликаты натрия по мере образования в ядре гранулы, проникают сквозь защитную оболочку, насыщая ее и пропитывают матричный силикатный материал на глубину 2,0...3,5 мм, омоноличивая, упрочняя и герметизируя формирующиеся при этом поры с небольшими остатками непрореагировавшего материала. Чем больше в исходном сырье ядра гранулы кремнезема в аморфном состоянии, тем полнее протекает процесс растворения ядра и изолированное получают поры и, соответственно, снижается теплопроводность получаемого стенового изделия.

Литературные данные [5] и наши исследования показывают, что процесс взаимодействия между аморфным кремнеземом горных пород, например, опоки [4] и гидроксидом натрия при автоклавной обработке приводит к образованию гидросиликатов натрия с размером частиц 8...65 нм в зависимости от их основности – чем выше основность, тем мельче получаемые гидросиликаты натрия. Основность получаемых гидросиликатов легко регулируется соотношением кремнезема с гидроксидом щелочного металла в составе ядра активной гранулы. Такие нанодисперсные частицы легко проникают в силикатную матрицу окружающую гранулу, взаимодействуют с портландитом, связывают его в нерастворимые малоподвижные комплексные соединения гидросиликатов кальция. При этом фиксируется зональное повышение истинной плотности силикатной матрицы с 2,21 до 2,54 г/см³, зарастание трещин и микропор.

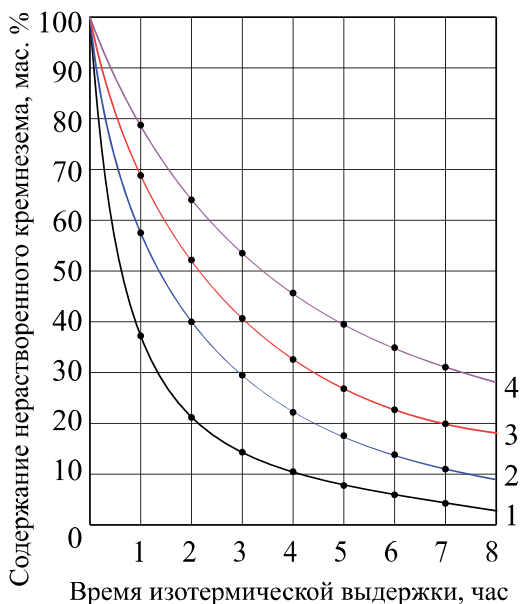


Рис. Кинетика растворения кремнезема в ядрах АГНП при их автоклавной обработке. Ядра изготовлены на основе кварцевого песка, молотого на: 1 - планетарной мельнице, 2 – виброистирателе, 3 – шаровой мельнице; 4 – ядра изготовлены на основе природных материалов с аморфным кремнеземом (перлит, диатомит, трепел)

Исследование кинетики взаимодействия материалов ядра гранул АГНП разного состава (рис.) в процессе автоклавной обработки образцов стеновых изделий при изотермической выдержке при давлении 1 МПа и температуре 178 °С показывает, что предварительная механоактивация материала ядра гранул эффективна при использовании только кристаллических компонентов – песка (рис., кривые 1-3), при использовании же аморфных кремнеземов – перлита, опоки, трепела и др. механоактивация не приносит существенного ускорения процессов образования гидросиликатов натрия и зависит в основном от дисперсности частиц аморфного кремнезема (рис., кривая 4). Следует отметить, что резкое ускорение процесса растворения кремнезема отмечается лишь в первые два часа автоклавирования, при этом реакция идет за счет наличия частиц с поврежденной кристаллической структурой, что подтверждают кривые РФА, либо при наличии особо тонкодисперсных частиц. С течением времени характер взаимодействия кремнезема со щелочными гидроксидами приобретает монотонный характер (рис., кривые 1-3 и 4).

Анализ изменений прочностных показателей бездобавочного силикатного материала и при содержании в нем 55...60 мас.% АГНП, показывает, что снижение прочности при сжатии силикатного композита происходит на 22...25%, при этом водопоглощение уменьшается в 3 раза (с 24,1 до 7,6 мас.%), плотность снижается с 1590 до 980 кг/м³, теплопроводность снижается в 7 раз. Повышение коэффициента водостойкости силикатных изделий с активными гранулами достигает величины 0,85 за счет снижения водопоглощения, что сопоставимо с подобной характеристикой керамических строительных материалов (0,88).

Широкое использование АГНП при производстве строительных силикатных изделий позволит в широком диапазоне регулировать потребительские характеристики строительных материалов на основе известково-песчаного вяжущего, их можно использовать в комбинации с уже используемыми легкими заполнителями.

Анализируя физико-механические свойства полученных силикатных материалов, можно предположить, что получен новый конструкционно-теплоизоляционный силикатный материал автоклавного твердения, который по своим прочностным и теплоизолирующим свойствам может расширить номенклатуру силикатных стеновых материалов автоклавного твердения и занять место между силикатным кирпичом и газосиликатом, составить

достоиную конкуренцию керамическим строительным материалам по экономическим показателям.

По результатам работы по формированию систем закрытой пористости в силикатных материалах автоклавного твердения получено 6 патентов РФ.

Список литературы.

1. *Юрков, О.И.* О теплотехнических характеристиках ячеистого газосиликата автоклавного твердения / О.И. Юрков, О.О. Кудревич, В.Н. Гончарик и др. // *Строительные материалы.* – 2004. – № 3. – С. 42-43.
2. *Строкова, В.В.* Конструкционные ячеистые стеновые материалы с пониженной теплопроводностью на основе активных гранулированных заполнителей / В.В. Строкова, Л.Н. Соловьева, А.В. Мосьпан и др. // *Вестник БГТУ.* – 2010. – № 1. – С. 42–46.
3. Пат. № 2365556 РФ, МПК⁷ С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе перлита, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Гридчин А.М., Строкова В.В., Лесовик Р.В., Мосьпан А.В., Воронцов В.М.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. –№ 2007142316/03; заявл. 15.11.2007г.; опубл. 27.08.2009г., Бюл. № 24. – 7 с.
4. Пат. № 2365555 РФ, МПК⁷ С 04 В 28/18. Гранулированный композиционный заполнитель для силикатных стеновых изделий на основе трепела, диатомита и опоки, состав сырьевой смеси для изготовления силикатных стеновых изделий, способ получения силикатных стеновых изделий и силикатное стеновое изделие / Лесовик В.С., Мосьпан А.В., Строкова В.В., Воронцов В.М., Лесовик Р.В., Ходыкин Е.И.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. –№ 2007142319/03; заявл. 15.11.2007г.; опубл. 27.08.2009г., Бюл. № 24. – 12 с.
5. *Корнеев, В.И.* Жидкое и растворимое стекло / В.И. Корнеев, В.В. Данилов. – СПб.: Стройиздат, 1996. – 216 с. – ISBN.

СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ И СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

**Муртазаев С-А.Ю., д-р техн. наук, профессор,
Аласханов А.Х., аспирант,**

*Грозненский государственный нефтяной институт
им. академика М.Д. Миллионщикова*

Чернышева Н.В., канд. техн. наук, доцент
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Перед строительной отраслью Чеченской республики лежат большие перспективы. Государственная Программа восстановления ее экономики и социальной сферы, рассчитанная на ближайшие годы, предусматривает значительную часть капитальных вложений направить на строительство новых объектов и восстановление сохранившихся зданий и сооружений. Планируется строительство свыше 10 млн. квадратных метров жилья.

В Чеченской Республике для развития строительной индустрии. имеются большие запасы природного сырья, в том числе огромные залежи гипсов. При рациональном использовании имеющейся минерально-сырьевой базы на основе передовых технологий можно получить конкурентоспособную гипсовую продукцию, не уступающую зарубежным аналогам. При этом следует учесть, что в мировой практике особенно широко используются и ценятся натуральные гипсовые вяжущие материалы и натуральные наполнители в производстве гипсовых изделий.

В настоящее время Республика ощущает потребность во многих строительных материалах, особенно стеновых.

В БГТУ им. В.Г. Шухова совместно с ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова проводятся исследования по изысканию новых видов минерального сырья, которое можно эффективно использовать в качестве наполнителя и заполнителя при производстве стеновых материалов на основе гипсовых вяжущих различного назначения.

Особенно эффективно производство стеновых камней и блоков из мелкозернистого бетона на композиционном гипсовом вяжущем с использованием золы-унос – продукта многолетнего функционирования ТЭЦ г. Грозного. Это способствует снижению дефицита стеновых

материалов и значительному (не менее, чем в 2 раза) сокращению сроков возведения зданий.

Быстрое (но регулируемое) схватывание и твердение формовочных смесей на КГВ позволяет осуществлять изготовление стеновых изделий без тепловой обработки с одновременным ускорением оборота форм.

В первую очередь была рассмотрена возможность использования золы-унос, после механохимической активации, в качестве активной минеральной добавки в составе композиционного гипсового вяжущего.

При разработке составов КГВ применялся портландцемент ОАО «Белгородский цемент», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31108-2003.

Возможность применения золы-унос в качестве активной минеральной добавки устанавливалась по показателю концентрации оксида кальция в водных суспензиях специально приготовленных препаратов по методике, изложенной в приложении ТУ 21-31-62-89. Удельная поверхность минеральной добавки находилась в пределах 550...650 м²/кг (табл.1)

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств затвердевшего ГВ и КГВ

Минеральная добавка	НГ	Средняя плотность, кг/м ³ 28 сут	Прочность на сжатие, МПа			
			Коэфф размягчения, К _р ,			
			2 ч.	7 сут.	28 сут.	сухие
Г-5	0,55	1350(сухие)	4,8	7,8	-	14,6
Г-5м с С-3 – 0,5 %	0,5	1500(сухие)	5,2	10,3	-	18,6
КГВ с золой-унос (на Г-5)	0,40	1690	5,0	10,5	<u>18,0</u> 0,79	<u>22,0</u> 0,81
КГВ с золой-унос (на Г-12)	0,3	1710	10,8	21,4	34,8	<u>40,6</u> 0,81

Подвижность – 175...180 мм

В результате проведенных исследований установлено необходимое количество золы-унос в качестве активной минеральной добавки (при соотношении Ц:Д=1:1,5) и подобран оптимальный состав КГВ, % по масс.: гипс Г-5–60, портландцемент–16, зола-унос–24, что позволило получить КГВ с прочностью в возрасте 28 сут. до 18 МПа (при распыле теста, равном 180 мм)

Коэффициент размягчения (Кр) КГВ равен 0,81. Применение высокопрочного ГВ в КГВ позволяет повысить прочность затвердевшего КГВ до 40,6 МПа. Коэффициенты размягчения при этом не изменились.

В работе рассматривается возможность получения стеновых камней из мелкозернистого бетона на КГВ. В качестве заполнителя применялся природный кварцевый песок Нижнеольшанского месторождения с Мкр.=1,5.

Испытания проводили на образцах – кубах 7,07x7,07x7,07 см. Составы и результаты испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства мелкозернистого бетона

№ п/п	Соотношение вяж.:песок	В/В	РК. мм	ρ , кг/м ³	R _{сж} (МПа) в сроки		
					7 сут.	14 сут.	28 сут.
1.	1:1	0,4	190	2140	6,8	7,5	8,2
2.	1:2	0,52	175	2100	6,6	7,1	7,4
3.	1:3	0,71	190	2170	4,2	4,8	5,1

На основе разработанного КГВ с использованием золы-унос в качестве активной минеральной добавки и природного кварцевого песка получены мелкозернистые бетоны класса В5-В-7,5.

Список литературы:

1. *Коровяков, В.Ф.* Повышение водостойкости гипсовых вяжущих веществ и расширение областей их применения / В.Ф.Коровяков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005 – №3
2. Lessowik W.S Zusammengesetzte Gipsbindemittel unter Anwendung vom technogenen Rohstoff / Lessowik W.S , Tschernysheva N.W. 1.WEIMARER GIPSTAGUNG, Weimar Gypsum Conference 30-31 Marz 2011. S.407-416.

К ВОПРОСУ АНАЛИЗА АТМОСФЕРОСТОЙКОСТИ СИЛИКАТНЫХ ОКРАШЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО МОДИФИКАТОРА

**Нелюбова В.В., канд. техн. наук,
Гончарова Т.Ю., магистрант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова*

В настоящее время получение автоклавных силикатных материалов базируется на традиционной технологии, в которой главным сырьевым компонентом является кварцевый песок. Особую сложность при использовании традиционного сырья вызывает получение высококачественных прочных и долговечных материалов. Для решения этой проблемы необходимы новые технологические приемы, заключающиеся в переходе от традиционных сырьевых составов к использованию составов на основе нанодисперсного сырья.

Решить эту проблему можно введением в формовочную смесь определенного количества молотых кремнеземистых добавок (обычно 5–18 %), например, наноструктурированных модификаторов, полученных методом мокрого помола.

Ранее было установлено, что замена части кварцевого песка в сырьевой смеси равным количеством НМ позволяет повысить прочность, плотность и долговечность силикатных автоклавных материалов [1].

В настоящее время получение автоклавных силикатных материалов базируется на традиционной технологии. Технология изготовления цветного силикатного кирпича отличается от производства обычного только тем, что в силикатную смесь вносят необходимые красящие пигменты. Пигменты, которые добавляют к силикатной смеси должны быть устойчивыми к действию высоких температур и влажности, возможно меньше реагировать с компонентами смеси при автоклавной обработке быть щелочустойчивыми, свето- и атмосферостойкими.

При выборе пигментов для окрашивания силикатного кирпича необходимо в первую очередь обращать внимание на показатель pH водной суспензии пигмента. Величина pH используется как мера контроля среды: кислотности, нейтральности или основности. Кислая среда отвечает $\text{pH} < 7$, нейтральная среда отвечает $\text{pH} = 7$, а щелочная среда отвечает $\text{pH} > 7$.

Практически все железоокисные пигменты получают осаждением солей железа. Реакция идет в кислой среде при показателе pH равном 3,5–4. Качественные пигменты в процессе производства проходят многоступенчатую отмывку водой от остатков кислоты, при этом конечный продукт имеет слабокислую или нейтральную реакцию среды (pH=6–7). Только такие пигменты можно использовать при производстве силикатного окрашенного кирпича. При меньшем значении pH пигмент будет вступать в реакцию кислотно-основного взаимодействия с известью. Это приведет в результате к полному обесцвечиванию смеси.

В производстве силикатного кирпича используют лишь молотую известь и природный немолотый песок, в реакцию вступает не весь гидрат окиси кальция – часть его остается в кирпиче после автоклавной обработки в свободном виде. Попадающая в наружный лицевой слой стены влага растворяет часть свободной извести, содержащейся в кирпиче. При последующем воздействии на стену солнца и ветра, влага с растворенной в ней известью поступает за счет капиллярного подсоса к наружной поверхности, где вода испаряется, а известь остается на стене в виде тончайшей пленки. Эта пленка в последствии заглушает частично или полностью первоначальный цвет кирпича. Во избежание высаливания свободной извести на поверхности кирпича при объемном окрашивании ее необходимо практически полностью связать с кремнеземом в гидросиликаты кальция.

Ранее было установлено, что предварительная гомогенизация пигмента с НМ увеличивает интенсивность окраски смеси и способствует однородному распределению пигмента по объему. При этом наблюдается повышение технико-эксплуатационных характеристик готовых изделий. Так, предел прочности при сжатии возрастает на 25 % по сравнению с образцами контрольного состава. При этом плотность и водопоглощение материалов изменяется незначительно [2].

В связи с вышеизложенным было сделано предположение о возможности повышения атмосферостойкости силикатных окрашенных материалов за счет использования наноструктурированного модификатора.

Под атмосферостойкостью обычно понимают изменение свойств материала в результате воздействия на него комплекса факторов: переменного увлажнения и высушивания, карбонизации, замораживания и оттаивания.

Ввиду длительности натуральных испытаний материалов, в работе был предложен метод определения атмосферостойкости материалов, основанный на установлении критериев оценки воздействия на них ультрафиолетового излучения, величины и перепадов температур, изменения влажности, отрицательной температуры, а также совокупность этих и других эксплуатационных факторов.

Исследование и анализ этих факторов позволили создать модель погодных условий г. Белгорода в климатических камерах, где имитируется естественное старение образцов при необратимом изменении физико-механических свойств материалов.

Циклы испытания рассчитываются на основании усредненных климатических факторов, воздействующих на силикатные автоклавные отделочные материалы в натуральных условиях, и с учетом времени перехода от одного цикла к другому.

Температурный режим выбирали согласно СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» (с изменениями от 24 декабря 2002 г.).

Цикл режима испытания на долговечность для г. Белгорода следующий:

первая половина цикла – 4 ч:

водонасыщение – высушивание:

– повышение температуры до $50^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха до $100\% \pm 3\%$ в течении 4 ч.

вторая половина цикла – 4 ч:

замораживание – оттаивание:

– облучение образцов ультрафиолетовыми и инфракрасными лучами с максимальной освещенностью при температуре $-25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха $75\% \pm 3\%$ в течении 4 ч.

Испытания проводились не до разрушения образцов, а до определенного количества циклов, устанавливающих долговечность, равную заданному количеству лет.

После определенного количества циклов испытаний в климатической камере производился осмотр внешнего вида каждого образца и его сравнение с контрольным.

Образцы подвергались исследованию в климатической камере в течение 80 циклов. При сравнении их внешнего вида с контрольными образцами нами не было обнаружено никаких изъянов.

Проведенные испытания позволяют также рассчитать долговечность силикатных материалов.

Используем формулу:

$$Д = \frac{M \cdot П \cdot К}{12}$$

где М – среднее количество месяцев, соответствующее одному циклу испытаний (Одному циклу соответствует 12 месяцев);

П – количество циклов при испытании в климатической камере (40 циклов);

К – коэффициент стабильности и надежности работы камеры (0,85)
12 – количество месяцев в году.

Коэффициент стабильности и надежности работы камеры К = 0,85 – 1,0. Если камера работает без перерыва, а также включается и выключается в соответствии с заданными условиями испытания, то К = 1,0; при нарушении включения и выключения – К = 0,95. В случае, если камера работает по различным причинам с перерывами и с нарушением включения и выключения, то К = 0,85.

Подставляя все значения в формулу мы получили результат 68 лет.

Таким образом, применение наноструктурированного модификатора существенно повышает атмосферостойкость и, следовательно, долговечность автоклавных материалов на его основе за счет направленного синтеза высокопрочных новообразований различного состава.

Список литературы:

1. *Нелюбова, В.В.* Повышение эффективности производства силикатных автоклавных материалов с применением нанодисперсного модификатора / В.В. Нелюбова // Строительные материалы. – 2008. – №9 / Наука №11. – С. 2–5.
2. *Нелюбова, В.В.* Особенности структурообразования окрашенных силикатных материалов в присутствии наноструктурированного вяжущего / В.В. Нелюбова, В.В. Строкова, А.В. Череватова, Т.Ю. Гончарова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – №3. – С. 28–32.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ

Орлов В.Ю., д-р хим. наук,
Ярославский государственный университет им. Демидова

Ваганов В.Е., канд. техн. наук,

Баранова Ю.В., магистр ст. преподаватель,

Закревская Л.В., канд. техн. наук, доцент,

Решетняк В.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель,

Захаров В.Д., доцент,

Дживак Р.Н., студент,

*Владимирский государственный
университет им А.Г. и Н. Г. Столетовых*

Быков А.Н., ген. директор,

ООО «Владполитекс»

Ломакин С.М. канд. хим. наук

Институт биохимической физики им Эмануэля

Несмотря на то, что в настоящее время разработаны и активно применяются в строительстве значительное количество типов теплоизоляционных материалов на различной основе каждый из них обладает определенными недостатками. Например, первоначально считавшийся удобным и очень экономичным утеплитель из полистирола, в настоящее время запрещен при строительстве жилых зданий и помещений.

Чрезвычайно интересным видом современных утеплителей, которые могут помочь в решении проблемы строительства экологически безопасного жилья, без существенного удорожания, являются полиэфирные утеплители, в первую очередь это относится к полиэтилентерефталату. Очень важно, что исходным сырьем при производстве такого материала может являться как первичный пластик, так и переработанные отходы в виде пластиковых бугылок и прочих упаковочных материалов на его основе. При этом решаются две принципиально важные проблемы - экологическая, поскольку этот материал в обычных условиях не разлагается сотни лет и вторая обусловленная созданием более комфортных и безопасных условий жизни человека.

Наиболее характерной особенностью такого рода материалов, является малый коэффициент теплопроводности, среднее значение которого составляет, приблизительно 0,03 Вт/м сек, что почти в два раза

лучше, чем у стеклянных и базальтовых утеплителей. В утеплителях из полиэтилентерефталата отсутствует гигроскопичность, влагопоглощение практически равно нулю, они не крошатся, не дают усадки, легко крепятся, обладают хорошей паропроницаемостью. Кроме того, теплоизоляционные материалы при идентичных габаритах имеют значительно более низкий вес, большую механическую прочность и на изгиб и на скручивание, высокую упругость.

Пожарная опасность материалов, в том числе на основе полимеров определяется комплексом факторов, а именно:

1. Горючестью, т.е. способностью материала загораться, поддерживать и распространять процесс горения;
2. Дымовыделением при горении и воздействии пламени;
3. Токсичностью продуктов горения и пиролиза;
4. Огнестойкостью конструкции, т.е. способностью сохранять физико-механические характеристики под действием пламени.

В разработке полимерных негорючих материалов существует три основных направления – синтез малогорючих базовых полимеров, химическая и физическая модификация, и применение замедлителей горения (антипиренов). При горении полимерных материалов внутри и на поверхности конденсированной фазы имеют место сложные физико-химические процессы, фазовые переходы термо и термоокислительного разложения, образование новых фаз. Таким образом, горение полимеров включает совокупность различных физико-химических процессов, в результате которых исходное вещество превращается в нагретые до высокой температуры продукты сгорания.

В качестве антипиренов применяются различные вещества, механизм действия которых сильно отличается. Галогеносодержащие антипирены позволяют значительно уменьшить горючесть разных полимерных материалов, однако при деструкции полимерных композитов на основе таких добавок выделяются ядовитые газы, что, в свою очередь, не способствует снижению пожарной опасности, даже при снижении горючести.

На смену галогеносодержащим антипиренам приходят фосфоросодержащие добавки, а так же оксиды и гидроксиды металлов. Механизм действия таких добавок связан с усилением карбонизации в конденсированной фазе, образованием барьерного поверхностного стеклообразного или вязкого расплавленного слоя полиметафосфорной кислоты препятствующим переносу тепла от пламени к полимеру и как следствие диффузии реагентов в сторону пламени, ингибированием радикальных реакций окисления в пламени влиянием на гетерогенное

окисление карбонизированного продукта пиролиза полимеров. Однако, использование этих добавок становится эффективным при концентрациях 20-30 и более процентов, что как правило, ведет к снижению прочностных характеристик полимерного композита.

В последнее время все большее внимание уделяется вопросу создания полимерных нанокомпозитов, использующих в качестве наполнителя наночастицы слоистых силикатов, углеродные нановолокна и нанотрубки, а так же комбинации наночастиц [1-3]. По мнению авторов [4], наиболее перспективны разработки нанокомпозитов, максимально использующих эффект интумесценции – коксования и вспучивания поверхности горящего полимера и образование защитного слоя. Из работ разных авторов следует, что в ряде случаев при создании полимерных нанокомпозитов удастся существенно повысить пожарную безопасность полимера, а именно, снизить каплеобразование, замедлить деградацию материала и, следовательно, образование молекул горючих веществ, повысить огнестойкость материала. При этом механические свойства полимерного нанокомпозита даже при незначительных концентрациях модифицирующих добавок (менее 1%), обычно превышают соответствующие значения для исходного материала.

Процесс термоокислительной деструкции полиэтилентерефталата (ПЭТФ) имеет свои характерные особенности. Согласно данным работы [5], ПЭТФ, содержащий в своей структуре ароматические циклы, может быть отнесен к условно карбонизирующимся полимерам. В условиях пиролитического процесса в макромолекулах образуются участки с сопряженными кратными связями, происходит переход от линейной структуры к пространственно-сетчатой. Это приводит к формированию нелетучего карбонизированного остатка. Поэтому, для снижения горючести ПЭТФ необходимо создать условия, которые бы способствовали замедлению процесса пиролиза и образованию защитного карбонизированного слоя. При термодеструкции ПЭТФ первоначально происходит разрыв молекулярной цепи. Затем идут вторичные реакции, приводящие к выходу летучих низкомолекулярных фрагментов, и/или нелетучего остатка при температуре 500 °С. Общую скорость пиролиза лимитирует начальный разрыв молекулярной цепи, тогда как последующие реакции происходят значительно быстрее. Поэтому по мнению авторов [6], только ингибирование первой стадии может остановить образование летучих фрагментов.

Таким образом, вопрос механизма влияния антипиренов на процесс горения полимеров остается открытым и нуждается в дальнейших

исследованиях. В связи с этим, особенно интересными представляются теоретические и экспериментальные исследования процессов термической и термоокислительной деструкции полимеров, которые могли бы углубить понимание процессов горения и помогли бы сформулировать научно обоснованные рекомендации для создания высокоэффективных антипиренов. Особый интерес представляет подбор компонентов интумесцентной системы с применением УНТ.

Исследование термических свойств нанокompозитов на основе ПЭТФ и тубулярных углеродных наноматериалов различной морфологии.

В качестве модификаторов ПЭТФ были выбраны углеродные материалы в виде малослойных углеродных трубок; многослойных углеродных трубок и углеродных нановолокон с различной организацией стенок. Основные параметры используемых материалов и их микрофотографии представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры используемых углеродных структур

наименование	характеристики
Многослойные углеродные нанотрубки.	структура стенок близкая к коаксильным; -количество слоев от 10 до 100 -диаметр от 10 до 30 нм., с максимумом распределения в области 15 нм. - длина не более 10 мкм. -количество примесей (окислы; остаточный катализатор и пр.) не более 2-3%. -удельная поверхность менее 200 м ² /гр.
Малослойные углеродные нанотрубки. (полученные в ИК СО РАН)	-структура стенок близкая к коаксильным; -количество слоев от 10 до 100 -диаметр от 10 до 30 нм., с максимумом распределения в области 15 нм. - длина не более 10 мкм. -количество примесей (окислы; остаточный катализатор и пр.) не более 2-3%. -удельная поверхность менее 200 м ² /гр.
Перистые нановолокна. (полученные в ИК СО РАН)	-структура стенок - диаметр от 50-100 нм; -длина -наличие примесей не более 5%

	- удельная поверхность не менее 300 м ² /гр.
Графитоподобные нановолокна.	-структура стенок - диаметр от 70 до 120 нм. -длина от -наличие примесей от 2 до 5%

В лабораторных условиях были изготовлены образцы полимерных нанокомпозитов ПЭТФ с выше представленными наноматериалами. Углеродный депозит полученный в результате каталитического пиролиза предварительно очищался от остаточного катализатора и аморфного углерода. Затем полученный материал обрабатывался в специально подобранных химических составах с целью прививки к поверхности функциональных групп. Исследования, проведенные на электронном и атомно- силовом микроскопах показали, что в результате такой обработки исходные клубки плотно переплетенных нанотрубок и нановолокон распадаются на отдельные единицы. С целью последующего их применения полученные УНМ были диспергированы ультразвуком в растворах, в том числе воде до получения устойчивых коллоидных дисперсий. В результате термической обработки (выпаривания) полученный сухой остаток смешивался с полимером в атриторе и сплавлялся в таблетки при температурах 270-274 С.

По снимкам поверхности образца таблетки выполненный на АСМ можно предположить, что в объеме полимерного материала отсутствуют грубые образования УНМ, а наиболее вероятно, что трубки или волокна равномерно распределяются в объеме материала.

Данные исследования позволяют предположить возможность введения УНМ в состав полимера в технологической цепи производства через технологию расплава либо путем прямого введения УНМ в объем флоккул подвергаемых сушке или через вторичную переработку волокна, с образованием концентрированных гранул содержащих УНМ в необходимой концентрации. Табл.2. По нашему мнению второй вариант является более перспективным.

Таблица 2

№ п/п	Образец	m чистого	m с унт	% унт	Добавка унт
1	Полимер + слабомодифицированные унт	6,2025	6,6199	6,4	0,6
2	Полимер + щелочная среда + сильно модифицированные унт	9,4581	10,68	12,9	0,5

3	Полимер + необработанные унт	3,0224	3,2	5,9	0,3
4	Полимер + слабомодифицированные унт	2,802	2,99	6,4	0,3
5	Полимер + сильномодифицированные унт	3,0648	3,11	1,3	0,3
6	Полимер + перистые унт	2,6188	2,72	3,8	0,3
7	Полимер без УНТ	3,0592	xxx	xxx	xxx

Термогравиметрические исследования ряда образцов ПЭТФ показали, что в отличие от линейных полиолефинов (ПП, ПЭ), а также (возможно) органических полимеров термически разлагающихся по “закону случая”, углеродные добавки нанотрубок различных морфологий не влияют на первую (основную) стадию термодеструкции. На первой стадии термодеструкции ПЭТФ (400 – 450°C) в присутствии кислорода воздуха происходит преимущественно внутримолекулярный разрыв сложноэфирных связей, приводящий к образованию кислотных фрагментов фталиевой кислоты и набора углеводородов различной химической природы (Рис. 1)

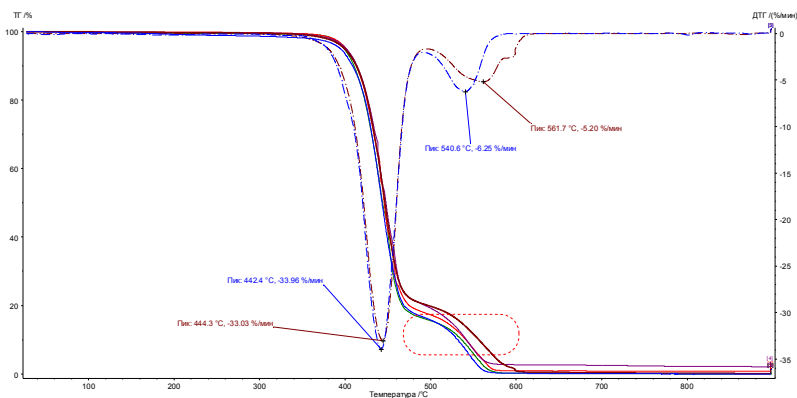


Рис. 1 Термогравиметрические исследования полимера (ПЭТ) в исходном и наполненных различными углеродными наноматериалами.

Основной интерес представляет вторая стадия термодеструкции (450 – 550°C), где деструкция происходит по радикальному механизму. На этой стадии наблюдается стабилизирующий эффект углеродных добавок. Максимальный стабилизирующий эффект (20°) наблюдался

для образца ПЭТФ – УНТ “перистые” – 0,3%. Природа стабилизирующего эффекта может иметь как химический (реакции сшивания, коксообразование), так и физический характер (образование защитного барьерного слоя на поверхности деструктирующего полимера, затрудняющего диффузию летучих продуктов).

Поскольку температура на поверхности горящего полимера может достигать 400 - 450°C, данный эффект может способствовать понижению горючести материалов на основе ПЭТФ.

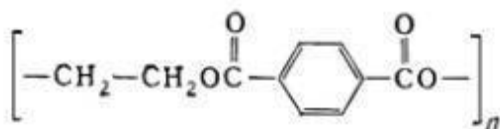
Анализ возможных технологических решений по производству нанокompозитов на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и углеродных наноматериалов

Существующая технологическая схема производства волокон ПЭТФ позволяет предложить три наиболее оптимальных точки внедрения углеродных наноматериалов в структуру пластика.

- а) внесение совместно с вторичным пластиком в зону плавления.
- б) в процессе крейзинга волокна;
- в) механическое введение в расплав через смешение в процессе сушки

Подготовка УНТ к введению в гранулы вторичного пластика.

Весьма существенным для формирования характеристик является степень взаимодействия углеродных нанообъектов (для нашего случая - УНТ) с полимерным материалом. В качестве полимерной составляющей композита в рамках настоящего исследования является полиэтилентерефталат, структурную формулу полимерного звена можно представить в следующем виде:



Наличие полярных функциональных групп позволяет предположить, что усиление взаимодействия с углеродными нанообъектами следует ожидать при дополнительной поляризации фрагментов последних. Одним из способов управляемой регулировки структуры (а соответственно и тонкого варьирования свойств) является их химическая модификация как за счет создания дополнительных ковалентных связей (формирование на поверхности объекта гетероатомных функциональных групп, например, атомов галогена, карбоксильной группы и др.) [6-7] (Рис.2), так и нековалентных (π - π) взаимодействий [8-9] (Рис.3).

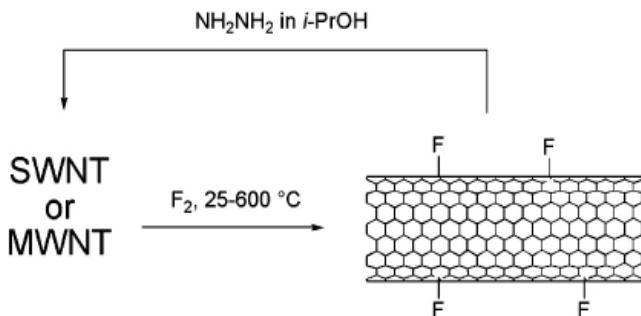


Рис.2 Схема формирования на поверхности УНТ гетероатомных функциональных групп.

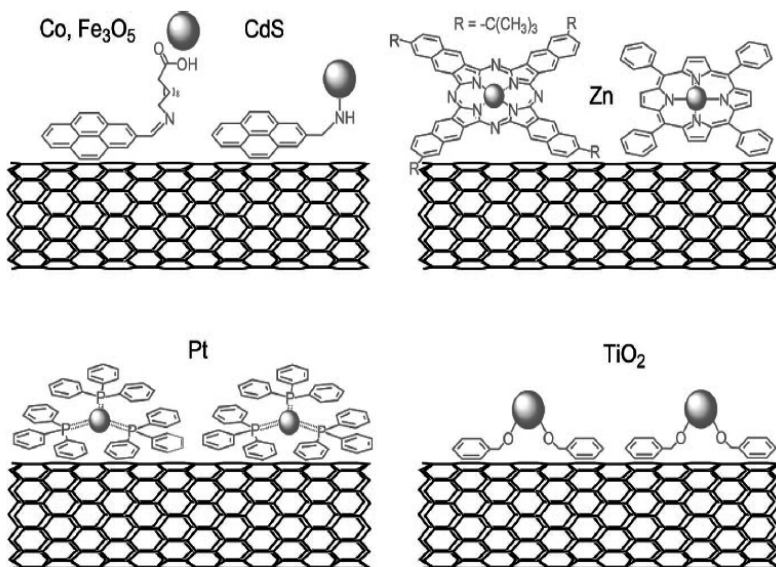


Рис.3 Схема нековалентных (π - π) взаимодействий.

По сравнению с исходными структурами, модифицированные разнообразными функциональными группами углеродные нанотрубки проявляют особые физические и физико-химические свойства, появляется возможность плотной сборки трубок в один упорядоченный массив со строго определёнными характеристиками или равномерность распределения в полимерной матрице при достаточно сильном

взаимодействии с макромолекулами полимера. Однако, во многих случаях для функционализации требуются либо весьма дорогие (боргидриды, нитриды и др.) либо весьма высокотоксичные (галогены) агенты, что делает их применение при даже малотоннажном производстве композитов весьма затруднительным и затратным. Наиболее перспективным представляется подход, основанный на окислительных процессах и ведущий к карбоксилизации УНТ.

Общая схема химической модификации ковалентно связанными функциональными группами углеродных нанотрубок представлена на Рис.5

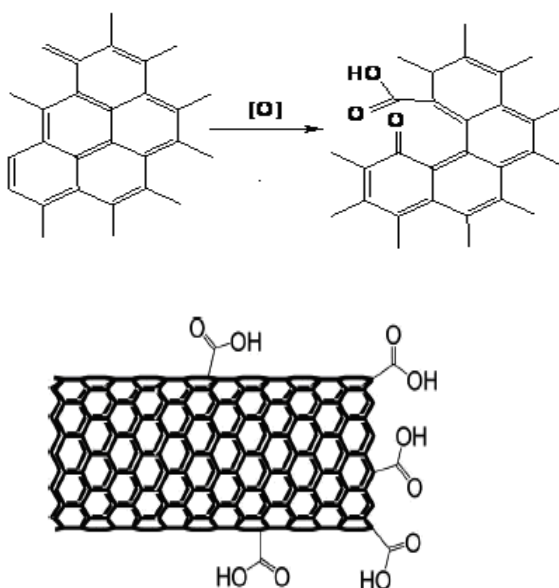


Рис.4 Схема химической модификации ковалентно связанными функциональными группами.

Исходным этапом модификации нами выбрано окисление до образования карбоксильных групп (рис.4 этап 1). В качестве сопутствующих при этом образуются также карбонильные и, в некоторых количествах, гидроксильные фрагменты. Преимуществом этого подхода является введение в структуру нанобъекта химически

высоколабильных групп. Карбоксилирование многостенных углеродных нанотрубок осуществлялось путем взаимодействия последних с различными окислительными агентами (азотная кислота в различных средах, соли хрома, марганца в высших степенях окисления, пероксид водорода). Нами выбраны весьма мягкие условия проведения процесса при использовании в качестве окислителя водный раствор азотной кислоты, что позволило рассчитывать на проведение процесса только по реакционноспособным фрагментам нанотрубок.

Нековалентное взаимодействие (которое также может регулироваться за счет предварительной модификации с образованием новых ковалентных связей), кроме вышеуказанного, позволяет более эффективно проявлять нанобъектам структуроорганизующие свойства, например, для полимерных и биологических макромолекул. Существенной проблемой химической функционализации является то, что углеродные нанотрубки весьма химически инертны, условия проведения процессов далеки от оптимальных, а вопросы местоположения реакционных центров, конкурирующие процессы, способы очистки продуктов обсуждаются достаточно редко и носят в основном констатирующий характер.

Оценивая общую реакционную способность и положение потенциальных центров превращений для ковалентной модификации в углеродных нанотрубках следует отметить что они, как правило связаны с более высокими значениями угла пирамидализации по сравнению с подобным показателем для боковой поверхностью, составленной из шестичленных циклов атомов углерода. Это касается дефектов, наличие которых в углеродных нанотрубках приводит к искажению их структуры. Так, при внедрении пятичленного цикла образуется выпуклый изгиб, а при внедрении семичленного – вогнутый. Кроме того, угол пирамидализации у «шапочек» углеродных нанотрубок (закрытый торец, по форме напоминающий половину молекулы фуллерена) всегда больше, чем у боковых стенок, поэтому атомы углерода на «шапочках» проявляют большую реакционную способность, чем атомы боковых поверхностей (рис. 5). Поскольку значительный интерес представляют функционализированные объекты с незначительно нарушенной морфологией (как сохраняющие базовые свойства углеродных нанотрубок), то подразумевается введение сравнительно небольшого числа функциональных групп. Это ограничение необходимо для исключения значительных изменений структуры трубки, появления большого числа разрывов стенок, полного освобождения от «шапочек» и др.. В рамках подобных задач химия

исследуемых нанобъектов ограничивается проведением реакции по элементам структуры с повышенной пирамидизацией без затрагивания ненарушенных боковых стенок.

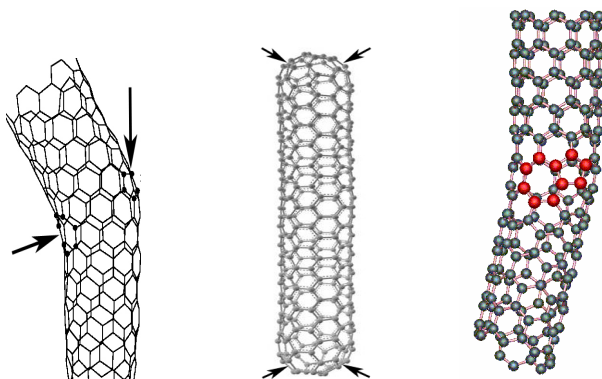


Рис. 5. Реакционные центры ковалентной модификации углеродных нанотрубок.

С помощью нековалентных взаимодействий, поверхностно-активных веществ, ароматических соединений и биомолекул, наночастицы могут быть присоединены одинаково к обоим концам трубок и к их боковым стенкам. Таким образом, этот способ идеально подходит для нанесения однородного равномерного и полного покрытия (рис. 6).

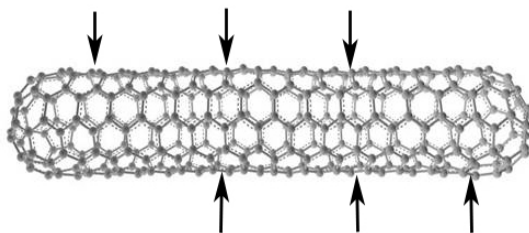


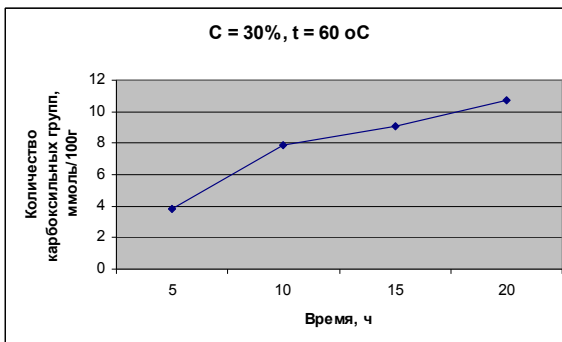
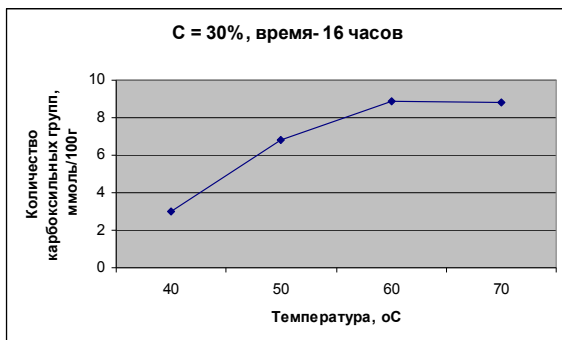
Рис. 6. Центры нековалентной модификации углеродных нанотрубок.

В указанном диапазоне условий (таблица 3) отмечается варьирование степени функционализации по карбоксильной группе в диапазоне от 3,03 ммоль до 13,85 ммоль кислотного фрагмента на 100 г

полученного продукта. Следует отметить, что при высших значениях изменяемых условий степени функционализации меняются незначительно, что может свидетельствовать об участии в процессе подавляющего большинства реакционных центров (рис. 7).

Таблица 3. Степень функционализации углеродных нанотрубок при окислении водным раствором азотной кислоты в зависимости от условий проведения процесса.

t = 60 °С, время- 16 часов				
С, %	30	40	50	55
Количество карбоксильных групп, ммоль/100г	8,87	11,87	13,75	13,85
С = 30%, время- 16 часов				
t, °С	40	50	60	70
Количество карбоксильных групп, ммоль/100г	3,03	6,82	8,87	8,79
С = 30%, t = 60 °С				
Время, ч.	5	10	15	20
Количество карбоксильных групп, ммоль/100г	3,85	7,87	9,08	10,76



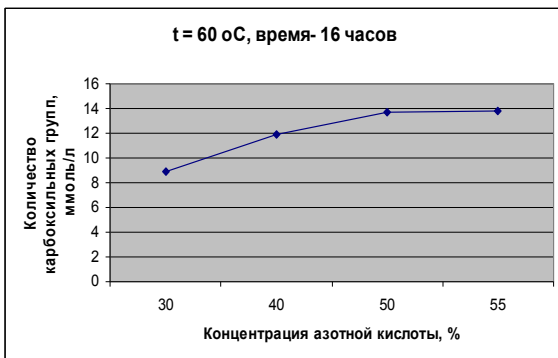
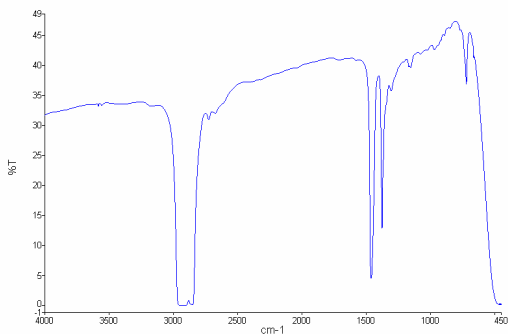


Рис. 7. Степень функционализации многостенных углеродных нанотрубок при окислении водным раствором азотной кислоты в зависимости от условий проведения процесса.

Образование указанных на рис.8 структур подтверждено данными физико-химических методов анализа (потенциометрическое титрование, ИК-спектроскопия). На спектре видно появление полосы поглощения с волновым числом 1640 см^{-1} , соответствующей валентным колебаниям карбонильной группы, а также полосы с волновым числом 3410 см^{-1} , которую можно отнести к валентным колебаниям гидроксильной группы (рис. 8).



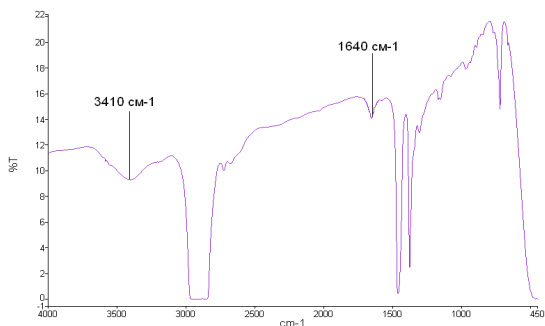


Рис. 8. Инфракрасные спектры исходных и окисленных нанотрубок.

Также установлено (по отсутствию окраски промывных вод – как визуально, так и по анализу электронного спектра поглощения), что остатки катализатора полностью выводятся из образцов УНТ при введении азотной кислоты более 5 % масс. от количества углеродных нанообъектов. Обработка УНТ азотной кислотой в количествах от 8 % масс. и более приводит к уменьшению количества аморфного углерода до следовых количеств.

Анализ результатов с точки зрения минимизации расхода реагентов, остаточных количеств аморфного углерода, катализатора и степени «спутанности» УНТ позволил предложить следующую методику функционализации и последующей подготовки к внесению в полиэтилентерефталат:

Углеродные нанотрубки с примесью частиц катализатора и аморфного углерода просеивают через сито с диаметром ячеек 0,4- 0,6 мм для отделения крупных частиц примесей.

К 250 г просеянных УНТ добавляют 20 мл концентрированной HNO_3 и 400 мл концентрированной H_2SO_4 смесь нагревают в колбе объемом 2 л при постоянном перемешивании до температуры 60 градусов по Цельсию в течение одного часа. За это время происходит окисление частиц металлического катализатора до соли с выделением газа и появлением зеленого окрашивания раствора, характерного для катиона никеля. Спустя один час смесь охлаждают, выливают в стакан с дистиллированной водой и фильтруют под вакуумом, промывая осадок НТ дистиллированной водой до обесцвечивания и нейтральной реакции промывных вод.

Дальнейшую дезинтеграцию наночастицы и обеспечение устойчивости суспензии осуществляли с помощью поверхностно-активного вещества. Для преодоления седиментации наночастиц использована жидкая среда. Кроме того, эффективным и доступным методом преодоления седиментации углеродных наночастиц является ультразвуковое воздействие (УЗИ). Одновременно достигается дезинтеграция наноматериала. Дозу УЗИ нужно регламентировать, чтобы не допустить механодеструкции. Введение гидроксильной группы происходило путем взаимодействия порошка нанотрубок с расплавом гидроксида калия. (температура плавления 280 град.). На ИК- спектре присутствует полоса поглощения гидроксильной группы при волновом числе 3392,66 см⁻¹, а также, полосы деформационных колебаний при волновом числе 800-1300 см⁻¹ (рис. 9). Количество щелочного остатка по оценке методом прямого титрования соляной кислотой составляет 12,47 ммоль на 100 г продукта.

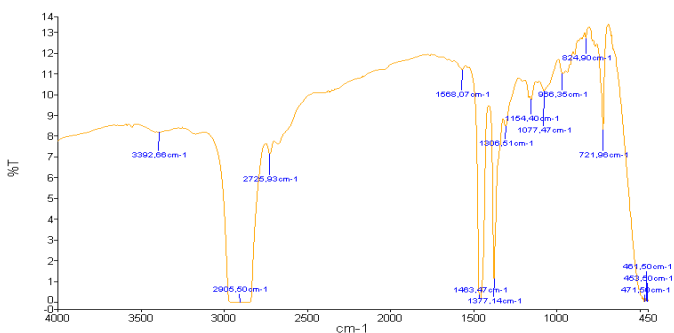


Рис. 9. Инфракрасный спектр углеродных нанотрубок с введенными гидроксильными группами.

Применение процедуры крейзинга для введения УНТ требует создания устойчивой системы суспензия-раствор в водноорганических средах. Однако отсутствие растворимости и трудности с манипуляцией в любых растворителях накладывают большие ограничения на использование УНТ. Реакции УНТ с различными классами соединений могут сделать их более "растворимыми" для интегрирования в структуру волокна при его протяжке.

В качестве подхода к решению проблемы повышения растворимости функционализированных МУНТ нами выбрано повышение степени карбоксилизации. Оно осуществляется в достаточно жестких условиях (смесь азотной и серной кислот, повышенная температура) и при этом предположительно наблюдается освобождение от «шапочек», реакции по стенкам УНТ.

Глубокая модификация осуществлялась по следующей методике: к 5 г УНТ добавляют 10 мл HNO_3 концентрацией 56% и 30 мл H_2SO_4 концентрацией 92% при постоянном перемешивании смесь нагревают до температуры 90 градусов по Цельсию. Через 3 часа смесь охлаждают, выливают в стакан, помещенный в емкость со льдом и осторожно обрабатывают раствором кислоты, понижая pH до 3-4. После этого, смесь ставят в холодильник на сутки, за это время происходит осаждение функционализированных УНТ, которые выделяют, фильтруя через складчатый фильтр, промывая дистиллированной водой до нейтральной реакции промывных вод.

В целях приготовления системы раствор-дисперсия в ультразвуковую ванну помещали порцию очищенных функционализированных нанотрубок, добавляли нужный объем «замазливателя» и доводили pH до 9-10, а также вводили необходимое количество полифосфатов (до 6 %). Озвучивание проводят в течение 15-20 минут, при этом желателен нагрев до 40-45 градусов для лучшего растворения полифосфатов. После озвучивания дисперсию немедленно сливают в приготовленную емкость.

Подобная система устойчива (практическое отсутствие седиментации) в течение до 10 суток. И легко распределяется в растворе для внесения в структуру волокна при его протяжке

На основе разработанных методик проведена наработка образцов функционализированных и очищенных УНТ в количестве 3 кг для внесения совместно с вторичным пластиком в зону плавления и 1,0 кг для внесения в структуру волокна при его протяжке.

В дальнейшем будут представлены результаты исследований структуры и термических свойств полученных волокон и утеплительных матов выполненных методами ТГА и КОН калориметрии, а также разработаны подходы по математическому моделированию горения полимерных материалов и нанокompозитов.

Предполагается:

-выполнить расчет и анализ молекулярной структуры защитного слоя в зависимости от химического состава привитых на поверхность УНТ функциональных групп.

-провести оценку выделения энергии при термоокислительной деструкции полученного полимерного нанокомпозита. Сравнить расчетные данные для исходного материала с данными для нанокомпозитов, полученных с использованием различных способов функционализации.

Список литературы:

1. *Lomakin S.M. et al.* The effect of multi-walled carbon nanotubes addition on the thermo-oxidative decomposition and flammability of PP/MWCNT nanocomposites // *J. Mater. Sci.* – 2009.
2. *Kashiwagi T. et al.* Flammability properties of polymer nanocomposites with single-walled carbon nanotubes: effect of nanotube dispersion and concentration // *Polymer.* – 2005. – 46. – P. 471 – 481.
3. *Stoliarov S.I., Nyden M.R.* Molecular mechanics calculations of the thermodynamic stabilities of polymer-carbon nanotube composites, in: *A.B. Morgan, C.A. Wilkie. Flame retardant polymer nanocomposites.* – 2007. – P. 89 – 106.
4. *Serge Bourbigot, Sophie Ducuesne.* Intumescence and nanocomposites: a novel route for flame-retarding polymeric materials, in: *A.B. Morgan, C.A. Wilkie. Flame retardant polymer nanocomposites.* – 2007. – P. 131 – 162.
5. J.-H. Chang, S.J. Kim, Y.L. Joo. *Polymer*, 2004,45, 919-926.
6. M. Holzinger, J. Abraham, P. Whelan, R. Graupner, L. Ley, F. Hennrich, M. Kappes, A. Hirsch. *J. Am. Chem. Soc.* 2003, 125, 8566–8580.
7. Булушева Л.Г., Гевко П.Н., Юданов Н.Ф. и др. *Росс. хим. журн.* 2006, № 1, с. 106-109;
8. Chen, R. J.; Zhang, Y.; Wang, D.; Dai, H. *J. Am. Chem. Soc.* 2001, 123, 3838–3839.
9. Guldi, D. M.; Rahman, G. M. A.; Zerbetto, F.; Prato, M. *Acc. Chem. Res.* 2005, 38, 871–878.

МИКРОАРМИРОВАННЫЕ ЯЧЕЙСТЫЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО

**Павленко Н.В., канд. техн. наук,
Бухало А.Б., канд. техн. наук,
Капуста М.Н., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В связи с высокой энергоемкостью и негативным влиянием производства цемента на экологию, возросшими требованиями к теплоизоляции зданий и сооружений и к физико-техническим свойствам материалов возникает потребность в разработке материалов на основе новых безклинкерных вяжущих. К ним относятся наноструктурированные вяжущие (НВ) негидратационного типа твердения, обладающие высокими эксплуатационными характеристиками.

Использование наноструктурированного вяжущего, благодаря своей подвижности, в сравнении с цементом уменьшает вязкость системы, что способствует повышению эффективности минерализации пены.

Применение НВ в качестве вяжущего при производстве фибропенобетона способствует формированию однородной поровой структуры, уменьшению пористости межпоровой перегородки, за счет наличия нанодисперсных частиц в НВ и формовочных системах на его основе. От параметров пористости межпоровой перегородки зависят прочностные характеристики композитов, особенно при формировании ячеистой структуры у теплоизоляционных легковесных материалов.

При использовании НВ частицы модификатора минимальных размеров располагаются в зазорах между относительно крупными частицами матричной системы, что способствует созданию тонкой пленки минерализатора на поверхности воздушного пузырька пены. При отсутствии в системе нанодисперсных частиц, выступающих в качестве нанодисперсного микронаполнителя, в зазорах между относительно крупными частицами находится избыточный объем жидкости, а в пеносистемах – поры с большими размерами, что способствует потере устойчивости массы [1].

Для улучшения свойств и характеристик пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего возможно введение различных добавок, в частности обеспечивающих микроармирование ячеистой

структуры. Микроармирование, осуществляемое введение фибры, является весьма эффективным при получении композитов на основе НВ. Наличие частиц наноразмерного уровня в вяжущем обеспечивает формирование плотной межпоровой перегородки, а микроармирование нейтрализует явление усадки пенобетонной смеси в процессе структурообразования.

Сегодня фибра широко применяется при армировании плотных и ячеистых цементных композитов. Фибропенобетон определяется как композиционный строительный материал, представляющий собой затвердевший цементный бетон ячеистой структуры, хаотично армированный отрезками волокон. Применение фибры позволяет повысить прочностные характеристики материалов. У фибропенобетона прочность на растяжение при изгибе составляет 35–60 % от прочности на сжатие, поэтому строительные конструкции из него обладают улучшенными технико-экономическими свойствами и большей долговечностью, чем конструкции из традиционных материалов. Применение фибропенобетонов в ограждающих строительных конструкциях позволяет существенно снизить расходы на устройство фундаментов и повысить устойчивость зданий к воздействию вибрационных, сейсмических и взрывных нагрузок.

Применение армирующего волокна при получении ячеистых композитов на основе НВ позволяет создавать эффективные теплоизоляционные материалы, эксплуатация которых позволяет снизить расходы на отопление на 20–30 %. Стена из фибропеноблока толщиной 40 см по теплосбережению эквивалентна кирпичной кладке толщиной 2 метра [2]. Фибропенобетон обладает не только тепловой, но и звуковой изоляцией.

Одним из приоритетных направлений строительной отрасли является реализация экологически чистых технологий. К ним можно отнести и представленный ячеистый композит, отличающейся заменой цемента в составе пенобетонных смесей на экологически чистое сырье и использование безопасных для здоровья человека микроармирующих добавок.

Для получения качественного пенобетона одним из необходимых условий является предотвращение образования усадочных микротрещин на начальной стадии твердения бетона. Решением этой проблемы может служить использование различных видов фиброволокон: стальных, базальтовых, стекловолоконных, полиамидных, полипропиленовых. Микроармирование при получении ячеистых бетонов на основе НВ реализовано за счет введения

полипропиленовой фибры. В 1 м³ бетона при дозировке фибры 0,6–0,9 кг/м³ содержатся сотни миллионов волокон, которые, армируя твердеющий пенобетон во всех направлениях, эффективно предотвращают усадку. Кроме того, полипропиленовые волокна препятствуют водоотделению свежесушеного пенобетона, а в затвердевшем ячеистом композите эффективно блокируют капилляры, что приводит к заметному увеличению водостойкости. Применение фибры также способствует вовлечению в пенобетонную массу на основе НВ мельчайших пузырьков воздуха, что сравнимо с использованием воздухововлекающих добавок типа СДО, СНВ, благодаря этому морозостойкость бетона существенно улучшается.

Микроармирование ячеистых композитов на основе НВ за счет введения фиброволокон позволяет значительно сократить усадку пенобетона и наличие микротрещин, в результате прочность пеноблоков возрастает, благодаря чему резко уменьшается процент брака, повышается качество поверхности бетона.

Продолженные научные исследования по применению микроармирующих добавок в пенобетоне на основе НВ, в частности полипропиленовой фибры, позволяют сделать вывод о том, что применение фиброволокон является целесообразным. Введение фибры в пеномассу, позволяет получить устойчивую структуру композита, сократить период набора прочности, что позволяет интенсифицировать цикл.

Одной из немаловажных характеристик стеновых материалов является их огнестойкость, поскольку она определяет безопасность эксплуатации жилых и общественных зданий. Испытания на огнестойкость пенобетона на основе НВ были проведены в соответствии с температурным режимом ГОСТ 30247.0–94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость [3]. Чем продолжительней выдержка при высокой температуре, тем более высокую прочность приобретает изделие. При воздействии на материал температуры выше 1000°С происходит рост прочности, что обусловлено протеканием кристаллизационных процессов с участием кремнеземистых и алюмосиликатных составляющих, упрочняющих межпоровые перегородки. В свою очередь использование фиброволокна оказывает положительное влияние на пожаробезопасность материала. Полипропиленовая фибра при нагреве до высоких температур сначала плавится, а затем разлагается, образуя полые каналы в структуре композита, что снижает высокое давление в нем. Данное явление позволяет избежать взрывного откалывания пенобетона.

Микроармированные ячеистые композиты на основе НВ являются эффективными теплоизоляционными материалами, применение которых целесообразно с экономической точки зрения. Использование этих материалов в строительстве позволяет возводить облегченные, с улучшенной теплоизоляцией стеновые конструкции.

Список литературы:

1. *Мелихов, И.В.* Физикохимия наносистем; успехи и проблемы / И.В. Мелихов // Вестник Российской академии наук. – 2002. – Т. 72. – № 10.
2. Фибропенобетон – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://nnnst.ru/fibropenobeton>
3. ГОСТ 30247.0–94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. – Введ. 1996–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 11с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЯЖУЩИХ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ

**Павленко Н.В., канд. техн. наук,
Мирошников Е.В., канд. техн. наук,
Любимов Д. Н., магистрант,
Кириченко А.Р., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова*

Решение проблем энергосбережения, возникших при строительстве современных зданий, стали мощным импульсом к изучению проблем микроклимата и климатизации здания. Этим и объясняется широкая номенклатура зданий, при возведении которых используются различные концепции энергетически эффективных и экологически чистых технологий, которые предусматривают применение новых строительных композитов с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками.

Производство строительных материалов - это процесс накопления энергии в сырье и его преобразование. Эволюция горных пород в геологических условиях и их преобразование человеком при производстве строительных материалов, эксплуатации зданий и сооружений - это цепь превращений, претерпеваемых горными породами и строительными материалами как элементами неорганического мира, в процессе приспособления к изменившимся условиям. В связи с этим, поиск оптимальных решений при проектировании, производстве и эксплуатации строительных материалов следует рассматривать в единой концепции развития неорганического мира от генезиса сырья - его природных постгенетических изменений, техногенных превращений в процессе синтеза материалов - изменений при эксплуатации, разрушении и повторном использовании.

В базовой для строительства отрасли - цементной промышленности объем инвестиций на 1 тонну цемента возрастет от 5-6 долларов на тонну мощности в год при поддержании и ремонте существующих мощностей до 250-300 долларов на тонну при строительстве новых заводов. Степень износа технологического оборудования цементной промышленности составляет 70 %. Вследствие этого, мощность 45 действующих цементных заводов официально оценивается в 71,2 млн.

тонн, но фактически - по независимым оценкам - заводы в их нынешнем состоянии могут произвести максимум 65 млн. тонн цемента в год.

Чтобы обеспечить строительный комплекс цементом, достаточным для ввода 80 млн. кв. м. жилья в год, промышленность должна выйти в 2012 г. на уровень 90 млн. тонн цемента в год, что потребует ввода дополнительных производственных мощностей. Крупные единовременные капиталовложения суммарно по отрасли оцениваются в 5,1–6,3 млрд. долларов. Цементная промышленность является одной из наиболее топливно- и энергоемких отраслей. Удельный вес топлива и энергии в структуре затрат на производство и реализацию продукции доходит до 41 %. При сохранении нынешней ситуации в отрасли уже в скором времени на рынке возникнет устойчивый дефицит цемента, особенно по его высшим маркам. В связи с этим перспективным является создание альтернативных вяжущих, на основе энергосберегающего сырья.

Производство строительных материалов - это процесс накопления энергии в сырье и его преобразование. Эволюция горных пород в геологических условиях и их преобразование человеком при производстве строительных материалов, эксплуатация зданий и сооружений - это цепь превращений, претерпеваемых горными породами и строительными материалами как элементами неорганического мира, в процессе приспособления к изменившимся условиям. В связи с этим, поиск оптимальных решений при проектировании, производстве и эксплуатации строительных материалов следует рассматривать в единой концепции развития неорганического мира от генезиса сырья - его природных постгенетических изменений, техногенных превращений в процессе синтеза материалов - изменений при эксплуатации, разрушении и повторном использовании.

На сегодняшний момент возможно осуществить ранжирование пород, выделить энергосберегающее сырье с учетом информации о физико-химических процессах синтеза пород и материалов на их основе, данных строительного материаловедения, петрографии, кристаллохимии. Весьма перспективным является применение перлита.

Перлит - магматическая горная порода, являющаяся продуктом вулканического извержения.

В настоящее время перлит применяется в различных областях (рис. 1). Используют его как в естественном виде, т.е. при механогенной обработке, так и в виде вспученного материала, т.е. при пирогенном воздействии на исходное сырье.

Природный перлит используют в качестве крупного и мелкого заполнителей, как компонент вяжущих, при получении пеностекла и т.д. Вспученный перлит применяют в качестве теплоизоляционного материала, как самостоятельно, так и в составе различных растворов, бетонов и др. материалов. В химической, пищевой промышленности и в медицине - используют его сорбционные свойства.



Рис. 1 Области применения перлита

Особенно перспективно применение теплых перлитовых штукатурок в сельском и индивидуальном строительстве. Широкое распространение получили тепло-звукоизоляционные штукатурные растворы на основе вспученного перлитового песка, вяжущего и различных добавок (минеральных, асбестовых, целлюлозных, отходов из натурального шелка и хлопка), легкие строительные растворы на основе вспученного перлита. Широкое применение нашел перлитовый песок в теплоизоляционных засыпках стен, полов, потолков зданий. Использование перлитового песка позволяет уменьшить толщину теплоизоляционной засыпки по сравнению с широко применяемым в России керамзитом в 2-3 раза.

Перспективным направлением применения перлита, является получение нанодисперсного модификатора и композиционного вяжущего с его использованием. Эффективность данного направления

работ очевидна как в плане реализации цементосберегающих и цементозаменяющих технологий, так и поиска путей повышения качества вяжущих и технологичности их производства. В связи с этим можно предположить, что получение вяжущего на основе эффузивных кремнесодержащих перлитовых пород будет весьма эффективным.

В настоящее время в рамках Белгородского технологического университета разработаны эффективные составы вяжущих на основе перлитовых пород, получаемых по технологии ВКВС и технологические режимы. Структурные особенности полностью согласуются с вулканогенно-осадочным происхождением перлита в виде скрытокристаллических минеральных образований, что является причиной высокоэнергетического состояния материала, и позволяет интенсифицировать процесс получения наноструктурированного вяжущего. Предварительные исследования подтверждают принципиальную возможность и целесообразность применения наноструктурированного перлитового вяжущего при получении эффективных теплоизоляционных композитов. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения пено- и газобетона на основе наноструктурированного вяжущего. Эффективность процесса структурообразования ячеистых композитов на основе наноструктурированного вяжущего, объяснима формированием пленочной кремниевой кислоты на поверхности частиц вяжущего, в процессе механоактивации (помол по мокрому способу) в условиях высокой концентрации и повышенной температуры (до 70–80 °С). Раствор кремнекислоты при структурировании способен полимеризоваться и создавать на контактах частиц устойчивые кристаллизационные связи.

Наноструктурированное вяжущее (НВ) является перспективным, эффективным видом бесцементного вяжущего негидратационного твердения. НВ – это вяжущее нового поколения для получения строительных материалов.

К ним относятся: кварцевые пески, кварцитопесчанники, кварциты, перлиты. Каждый из перечисленных сырьевых материалов может быть применим для получения вяжущих в зависимости от геологических особенностей конкретных регионов РФ. Применение перлитового вяжущего при производстве строительных материалов с улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками, позволит полностью отказаться от использования цемента, что позволит снизить себестоимость материалов и решить проблему сильнейшего техногенного прессинга на окружающую среду при производстве

цемента. Это особенно актуально в связи с постоянным ростом цен на цемент, что особенно зависит от географической привязки предприятий по его производству.

Список литературы:

1. *Лесовик, В.С.* Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород: Научное издание / В.С. Лесовик. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 526 с.
2. *Урханова, Л.А.* Вяжущие и бетоны на основе вулканических шлаков/ Л.А. Урханова, М.Е. Заяханов//Строительные материалы. - 2006. - №7. - С. 22-24.
3. *Жерновой, Ф.Е.* Природный перлит как компонент вяжущих / Ф.Е. Жерновой, Е.В. Мирошников // XIII Международный научный симпозиум им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр», Томск, 6-11 апреля, 2009. Научное направление - Комплексное использование минерального сырья, секция 16. - С. 840-841
4. *Мирошников, Е.В.* Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе / Е.В. Мирошников, В.В. Строкова, А.В. Череватова, Н.В. Павленко // Строительные материалы. – 2010. – №9. – С. 105–106.
5. *Пивинский Ю.Е.* Высококонцентрированные керамические вяжущие суспензии. Исходные материалы свойства и классификация / Ю.Е. Пивинский // Огнеупоры. – 1987. – № 4. – С. 8–20.

ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЯЧЕИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Пальшина Ю., магистрант

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова*

На фоне увеличения объёмов производства строительных материалов, растёт рынок строительных материалов ячеистой структуры. Это объясняется тем, что ячеистые материалы обладают достаточной прочностью и морозостойкостью, высокими теплозащитными свойствами, высокой огнестойкостью и долговечностью, экологической безопасностью.

Бетоны, содержащие по своему объёму поры легко отличить по структуре. Газо- и пенобетоны визуально отличаются по цвету и технологии изготовления. Газобетон входит в группу ячеистых бетонов, включающую в себя строительные материалы, которые получают путем вспучивания с помощью порообразователя смеси вяжущего, кремнеземистого заполнителя и воды, с образованием в процессе твердения ячеистой структуры с воздушными порами [1].

Газобетон изготавливается только в заводских условиях, поэтому исключена некачественная подделка этих изделий. Производство газобетона сопряжено с высоким расходом энергии, необходимой для работы автоклавов, шаровых мельниц, ударных площадок и смесителей.

В основном задача снижения расхода энергии на производствах строительных изделия решается за счет модернизации производства и лишь в малых случаях за счет управления процессами гидратации и твердения вяжущего.

Основным сырьём для производства газобетона являются следующие компоненты: песок с повышенным содержанием кремнезёма, известь молотая, цемент, вода, газообразователь-алюминиевая паста, гипс [2]. В данной работе рассматривается возможность замены части вяжущего в смеси на алюмосиликатный туф. Алюмосиликатный туф обладает повышенным запасом энергии, наличие которой позволит активизировать гидратацию вяжущего и сократить при этом время выдержки сырца до автоклавной обработки, интенсифицировать процессы гидротермального синтеза и сократить время выдержки изделий в автоклаве, помол алюмосиликатного туфа идет значительно быстрее, чем помол кварцевого песка, что в комплексе

значительно снижает энергозатраты и себестоимость готовой продукции.

Российская Федерация обладает богатой сырьевой базой алюмосиликатных пород, отличающихся различным химическим составом. К алюмосиликатным породам относят цеолит, перлит, пемза, туф и др. В связи с этим для каждого региона требуется оптимизация производства автоклавных изделий с учетом специфики местного запаса сырья [3].

Технология производства при этом не претерпевает существенных изменений.

Значительными энергозатратами обладает этап автоклавной обработки, где происходит их запаривание при давлении 12 атмосфер и температуре 180–190°C. Здесь образуется кристаллическая структура ячеистого бетона, которая несет на себе комплекс эксплуатационных характеристик готового изделия [4].

Вследствие введения в систему алюмосиликатных компонентов на фоне общего образования гидросиликатов кальция образуются новые соединения, такие как гидрогранаты, которые передают материалу большую прочность и морозостойкость. Использование более активной формы природных сырьевых компонентов в виде алюмосиликатных туфов позволяет сократить время автоклавной обработки в среднем на 30 минут при сохранении технико-эксплуатационных характеристик присутствующих бездобавочному газобетону.

Активизация процессов гидратации изделий на начальном этапе твердения позволяет избежать такого негативного момента производства ячеистых изделий как усадка бетона и сохранить заданные геометрические размеры блоков. Еще одно преимущество газобетона состоит в том, что его не заливают в отдельные формы, а струнами разрезают массив на блоки, следовательно, ребра газобетона – пористые, поэтому на него легче ложится штукатурка.

Автоклавный газобетон не только создает максимум удобств, он еще и абсолютно экологичен, не выделяет никаких токсичных соединений. Коэффициент экологичности газобетона составляет -2,0 и уступает только необработанной древесине (коэффициент -1,0), но так как практически все конструкции из дерева поддаются химической обработке (лак, клей, пропитки и т. д.), то изделия из газобетона автоматически выходят в лидеры по экологии среди строительных материалов [5].

Небольшой вес газобетонных блоков (500–700 кг/куб. м) позволяет снизить транспортные и монтажные затраты, расходы на устройство

фундаментов. Стандартный мелкий блок размером 20 x 25 x 60 см марки D 600 имеет вес 18 кг и может заменить в ограждающей стене 15-20 кирпичей весом до 80 кг [6].

Материал обладает превосходными теплофизическими качествами: его коэффициент теплопроводности – 0,12 Вт/м °С позволяет домам хорошо удерживать тепло. Кроме того, газобетон морозостоек. Это объясняется резервной пористостью материала. Паропроницаемость обеспечивает быстрое удаление построчной влаги из материала и поддержание нормального режима воздуха в помещениях, воздухопроницаемость способствует сохранению в помещениях свежего воздуха. По многим своим характеристикам газобетоны приравниваются к дереву.

Газобетон успешно используют и в коттеджном строительстве, и в монолитно-каркасном. Его применяют для несущих нагрузку внутренних и внешних стен, для внутренних делительных стен и перегородок, а также в качестве наполнителя для каркасной конструкции. Специалисты отмечают, что наружные стены жилых и промышленных зданий, выполненные из ячеистых бетонов, на 20–40 % легче стен из легкобетонных и железобетонных панелей, в 3-5 раз легче кирпичных, а их стоимость на 10–40 % ниже.

Как конструкционный материал с плотностью от 500 до 1200 кг/куб. м газобетон применяют в строительстве коттеджей высотой до трех этажей, где не предусмотрено применение армированного пояса. Хотя, по утверждению строителей, армированный пояс необходим для более равномерного распределения нагрузки плит перекрытия. Газобетон с плотностью до 500 кг/куб. м используют в качестве теплоизоляционного материала в монолитных высотных зданиях. Благодаря небольшому весу газобетон очень популярен при реконструкции жилья [7].

Материал хорошо обрабатывается простейшими инструментами, пилится, сверлится, в него легко забиваются гвозди. При отделке готовой стены из газобетона не требуется использование выравнивающих штукатурок. Стены шпаклюются сухими смесями в один слой толщиной 3 мм.

Автоклавный газобетон как материал для широкого класса ограждающих конструкций имеет в отечественном строительстве большие перспективы. Применение газобетона в строительстве обеспечит появление в населенных пунктах нашей страны современных, комфортабельных и долговечных зданий.

Список литературы:

1. *Сажнев, Н.П.* Производство ячеистых изделий. Теория и практика. / В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич, Л.В. Соколовский. - 2-е изд., доп. - Минск: Стринко. - 2004. - 384 с.
2. *Соколовский, Л.В.* Производство, свойства и применение ячеистого бетона автоклавного твердения / Н.П. Сажнев, Н.К. Шелег, Н.Н. Сажнев // Строительные материалы. - 2004. - №3. - С.2-6.
3. *Шагора, А.С.* Природные цеолиты – ценное сырье для производства строительных материалов / А.С. Шагора, Н.М. Влодарчик, // Современные проблемы строительного материаловедения: Тез. докл. Межд. науч.-техн. конф., Самара, 1995. С. 60–61.
4. *Соколовский, Л.В.* Энергосбережение в строительстве. – Минск: Сринко, 2000. – 46с.
5. *Рудченко, Д.В.* Автоклавная обработка изделий из ячеистого бетона. Теория и практика от «Aegoc International»/. //Научно-технический журнал о бетонных технологиях и строительстве /Популярное бетоноведение/ - Санкт-Петербург, 2007. - №3{17}2007. – С. 86 – 91.
6. Технологический регламент на изготовление блоков из ячеистого автоклавного газобетона стеновых мелких ООО «Аерок СПб»
7. А.с. СССР №453382, Кл С 04 В 21/02. Ячеистобетонная смесь// Безверхий А.А., Дуболазов Н.М. (СССР). - №1879426/29-33; Заявл. 05.02.73., Оpubл. 15.12.74., Бюл. №46.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ПЕНОСТЕКЛА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОСТРУКТУРАМИ

**Попов М.Ю., аспирант,
Закревская Л.В., канд. техн. наук,
Ваганов В.Е., канд. техн. наук,
*Владимирский государственный
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых*
Лазарев Е.В., канд. техн. наук
*ОАО «СТЭС - Владимир»***

Целью настоящей работы является определение способности калиброванного гранулированного пеностекла к щелочно-силикатному взаимодействию в цементном бетоне и нейтрализации разрушающего взаимодействия кремнезема со щелочами цемента за счет введения углеродных наноструктур в состав, как через воду затворения, так и за счет стойких суспензий УНГ и ПАВ.

Изделия на основе стеклопенобетона в последние годы все более широко применяется в современном строительстве. Однако, производство эффективного по теплотехническим характеристикам бетона является проблемным ввиду сложности обеспечения стабильной тонкодисперсной ячеистой структуры и высокой прочности, зависящих от рецептур технологических факторов.

Введение в состав бетона наноразмерных частиц углеводорода позволяет принципиально изменить процессы синтеза и получить материалы с заранее заданными свойствами и расширить номенклатуру строительных материалов, обладающих при высоких конструкционных показателях повышенными теплофизическими свойствами.

Эта важная экономическая задача национальной экономики, её успешное решение зависит от наличия в стране современных технологических решений тепловой защиты. Потребность в тепловой энергии любого здания или сооружения в период эксплуатации определяется уровнем его тепловых потерь, т.е. тепловая эффективность определяется тепловыми потерями, максимально снизить которые можно исключительно с помощью надежного теплоизоляционного материала и современных технологий его применения.

Для решения поставленных руководством страны задач по преодолению отсталости в тепловой эффективности зданий и

сооружений необходимо на новом уровне возрождать утраченные технологии производства уникального теплоизоляционного материала – пеностекла, это важная техническая и технологическая задача, без которой просто невозможно в стране технически решить задачу, поставленную Президентом РФ в этом направлении.

В регионах России существует острая необходимость создания промышленных производств эффективной теплоизоляционной продукции на основе пеностекла, что послужит технической и технологической основой для возможностей энергоэффективного строительства нового поколения.

Независимые аналитические исследования прогнозируют минимальный объем потребности в высококачественной теплоизоляционной продукции из пеностекла в стране в объеме не менее 2,0 – 3,0 миллионов кубических метров в год.

Влияния наноразмерности реализуется в производстве пеностекла при модификации микрочастиц стекла. Суть процесса заключается в воздействии специального модифицирующего раствора на микрочастицы стекла и создании на их поверхности функциональных нанопленок заданного размера. Модификация поверхности микрочастиц стекла происходит при изготовлении технологической сырьевой смеси двух компонентов - тонкомолотого стекла и модифицирующего раствора способного к химическому взаимодействию со стеклом. В ходе модификации на поверхности микрочастиц стекла происходит формирование модифицирующих пленок, целенаправленно меняющих химический состав поверхности микрочастиц. Воздействие раствора модифицирующих веществ на поверхность микрочастиц тонкомолотого стекла в ходе перемешивания и химического взаимодействия приводит к образованию на поверхности каждой микрочастицы наноразмерного модифицирующего слоя специального состава. Совокупность микрочастиц модифицированных наноразмерным слоем специального состава образует наноструктурную систему, состоящую из сравнительно крупных (2-5 мкм) частиц стекла и покрывающих их наноразмерных пленок толщиной до 60 нм. Образование наноструктурной системы заданного химического состава делает тонкомолотое стекло пригодным для вспенивания с образованием высококачественной пены. Модифицирующий раствор является сложной композиционной системой на основе водного раствора силиката натрия. Готовый к применению модификатор представляет собой истинный либо коллоидный водный раствор. Равномерность обволакивания поверхности частиц молотого стекла модифицирующим

раствором регулируется его вязкостью. Активное перемешивание на воздухе смеси молотого стекла и раствора модификатора помимо усреднения и гомогенизации смеси, приводит к протеканию реакций между содержащимися в растворе силикатами и углекислым газом воздуха. В ходе такого взаимодействия происходит вытеснение слабой кремниевой кислоты из ее солей (силикатов) более сильной угольной кислотой. Описанные процессы постепенно тормозятся в связи с нарастанием вязкости раствора за счет повышения концентрации в нем малорастворимой кремниевой кислоты, склонной к гелеобразованию. Адгезионно-когезионные свойства кремниевой кислоты и гидросиликатов натрия приводят к образованию пленок на поверхности стеклянных микрочастиц. Указанные пленки, помимо продуктов приведенных химических реакций, содержат компоненты, изначально входившие в состав раствора но не участвовавшие в химическом взаимодействии. Этими компонентами являются органический газообразователь и технологические добавки, необходимые для протекании реакций газообразования при вспенивании в ходе дальнейшей термообработки.

Наиболее близким аналогом материала является неопормбетон компании «СТЭС – Владимир». Легкие бетоны с пористыми заполнителями являются, несомненно, более эффективными, чем ячеистые бетоны. Это обусловлено тем, что сам заполнитель в виде гранул пеностекла обладает достаточной механической прочностью при малой плотности. Поэтому Неопормбетон обладает небольшой массой и высокой прочностью (см. табл 1):

Таблица 1

Соотношение марочной средней плотности, предела прочности при сжатии и коэффициента теплопроводности стеклопенобетона, выпускаемого компанией «СТЭС».

Марочная средняя плотность, кг/м ³	350	400	450	500
Предел прочности при сжатии, кгс/см ²	20	25	27	30
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м•К)	0,08	0,09	0,10	0,11

Основная задача настоящей работы заключается в модификации наноструктуры и вяжущего (цемента), и заполнителя (гранулированного пеностекла).

Твердение и кристаллизация пленок позволяет интегрировать углеродный газообразователь в силикатную систему стеклофазы, пассивировав его вплоть до этапа газообразования (окисления

компонентами шихты) при вспенивании. Весь процесс, в конечном итоге, можно свести к химическому осаждению силиката натрия из водного раствора на высокоразвитую поверхность совокупности микрочастиц стекла, с образованием функциональных пленок наноразмерной величины, т.е. речь, идет о так называемой нанотехнологии «снизу вверх».

Рентгено-фазовый анализ (см. рис. 1) и электронная микроскопия (см. рис 2)исследуемых образцов показали, что в результате удается получить материал обладающих комплексом свойств радикально отличающимся от традиционно получаемого газобетона автоклавного и неавтоклавного твердения. Применение наномодифицирующих добавок приводит к дополнительному повышению механических свойств пеностеклобетона (см. табл. 2), и соответственно открывает перспективы экономии цемента и его долговечности.

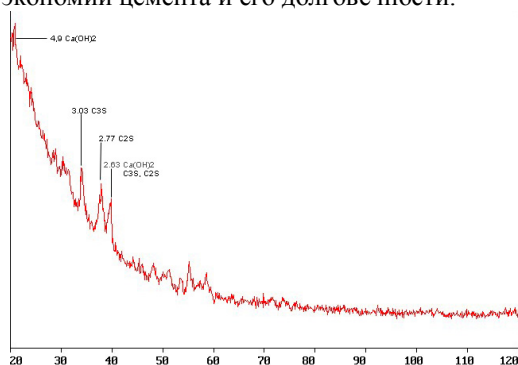
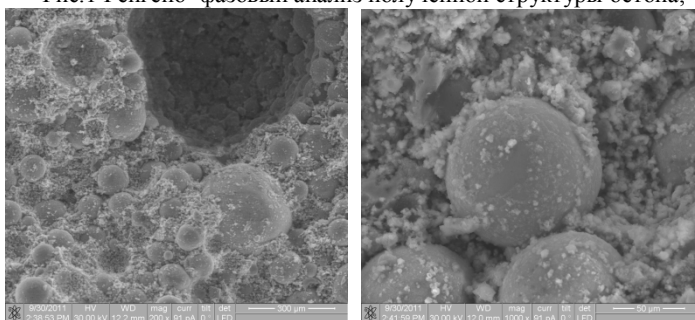


Рис.1 Рентгено-фазовый анализ полученной структуры бетона;



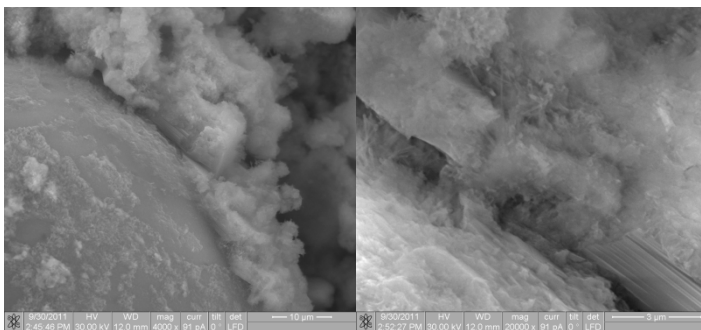


Рис.2 Электронная микроскопия

Таблица 2

Физико-механические и теплотехнических свойства
модифицированного бетона:

Средняя плотность	$\gamma = 500 \pm 20 \text{ кг/м}^3$
Коэффициент теплопроводности	$\lambda = 0,11 \text{ Вт/(м·К)}$
Предел прочности при сжатии	$\sigma = 40 \text{ кгс/см}^2$

Разработка составов новых стеклопенобетонов позволит сократить затраты на стеновые материалы до 50% за счет улучшения конструкционных и теплоизоляционных качеств.

ФУРАНО-ЭПОКСИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ С АКТИВИРОВАННЫМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Рассоха А.Н., канд. техн. наук, доцент
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

Фурано-эпоксидные композиционные материалы (ПКМ), обладая комплексом ценных деформационно-прочностных, технологических и эксплуатационных свойств, находят широкое применение в различных отраслях строительной индустрии, в качестве полимермастик, полимербетонов, адгезивов, герметиков, компаундов, защитных антикоррозионных покрытий поверхности бетонных и металлических изделий и конструкций и др.

Представляло интерес исследовать деформационно-прочностные свойства фурано-эпоксидных ПКМ с дисперсным наполнителем, механохимически активированным функциональными модификаторами (катализаторами структурирования фурурилиденацетонов по катионному механизму).

Данный подход позволяет в рамках концепции «поверхностных нанореакторов» целенаправленно регулировать процессы структурирования связующего не только в межфазном слое ПКМ, но и в объеме полимерной матрицы. В поверхностном нанореакторе осуществляются химические реакции структурирования связующего в ограниченном объеме, размер которого не превышает 100 нм хотя бы по одному из измерений. При этом роль поверхностного нанореактора сводится к чисто геометрическому сужению реакционного пространства. Для каждой конкретной реакции или реакционной серии реакций структурирования связующего можно «сконструировать» определенный тип нанореактора. Основное назначение поверхностного нанореактора в данном случае способствовать формированию «переходного состояния» (активированного комплекса), преобразующегося олигомер (связующее) в элемент структуры наномасштабного уровня без существенных затрат на энергию

В качестве объектов исследования использовали фурано-эпоксидный (ФАЭД) реакционноспособный олигомер (РСО), представляющий собой продукт термомеханического совмещения фуруролацетонового мономера марки ФАМ и эпоксидианового олигомера марки ЭД-20 при различном массовом соотношении компонентов (20, 50, 80 масс. %), структурированный аминифенольным

отвердителем марки Агидол АФ-2. Выбранная концентрация отвердителя обеспечивает максимальную прочность ПКМ. Дисперсным наполнителем служил кварцевый песок (КП) Новоселовского ГОК (Харьковская область).

Функциональными модификаторами поверхности КП выбраны хлориды алюминия, железа (III), кобальта, некоторые свойства которых (молекулярная масса M , плотность ρ , температура плавления $T_{пл}$, энтальпия ΔH , поверхностная энергия σ и давление паров P ,) приведены в табл.1. Функциональная модификация поверхности КП выбранными агентами осуществлялась механохимическим способом по двум специально разработанным технологиям – совместным помолом в шаровой мельнице систем: «КП – модификатор» («сухая» технология) и «КП – модификатор – растворитель» («мокрая» технология).

Таблица 1 – Свойства исследованных модификаторов

Модификатор	M , моль/г	ρ , кг/м ³	$T_{пл}$, °С	ΔH , кДж/моль	σ , 10 ⁻³ , Н/м	P , (Т,°С) Па
$AlCl_3$	133,34	2440	192,6*	35,3	21,81	1 (99)
$FeCl_3$	162,21	2900	307,5	37,9	81,18	1 (203)
$CoCl_2$	129,84	3360	724	31,0	139,30	1 (660)

Примечание: * - при давлении 0,229 МПа, температура возгонки при нормальных условиях 180 °С.

Структурирование фурано-эпоксидного РСО проводили по режиму: 20 °С – 24 час, 60 °С – 2 час, 80 °С – 5 час. Скорость охлаждения образцов составляла в среднем 1 – 2 °С/мин.

Определение физико-механических свойств фурано-эпоксидных композитов (разрушающее напряжение при сжатии σ_c , изгибе σ_u , ударная вязкость a , угол прогиба φ , относительная деформация сжатия при разрушении ε_c) осуществлялось в соответствии со стандартными лабораторными методиками. Количество параллельных опытов на одну экспериментальную точку составляло 10 -13. Коэффициент однородности K_o определяли по результатам полного статистического анализа испытаний образцов фурано-эпоксидных композитов на изгиб.

Структурные превращения, обусловленные механической обработкой наполнителей, можно разделить на механохимические (атермические процессы, вызванные непосредственно действием

механических сил) и механически активированные (термические превращения, ускоренные действием механических сил или инициированные структурными дефектами, созданными в результате механической обработки). При совместном помолу КП и функциональных модификаторов, как правило, реализуется второй тип превращений

В соответствии с методикой проф. Харахардина А.Н. [1] при известных диаметре D_m , и плотности упаковки молекул модификаторов в наночастице η проведена оценка критического размера наночастиц D_{max} , исследованных модификаторов, свыше которых свойства нивелируются и приближаются к объемным, а также определены верхняя граница среднего диаметра $D_{max.cp}$ и максимальная граница наночастиц D анализируемых систем (табл. 2).

Таблица 2 - Геометрические параметры наночастиц исследованных модификаторов при различных схемах упаковки молекул.

Модификатор	D_m , нм	D_{max} , нм при плотности упаковки молекул η				$D_{max.cp}$, нм	D , нм
		0,740	0,726	0,665	0,545		
$AlCl_3$	0,504	<u>12,36</u>	<u>25,13</u>	<u>19,34</u>	<u>10,62</u>	122,18	<u>48,87</u>
		35,90	71,70	50,50	22,71		142,03
$FeCl_3$	0,508	<u>12,45</u>	<u>25,33</u>	<u>19,49</u>	<u>10,71</u>	<u>42,39</u>	<u>49,27</u>
		36,18	72,17	50,90	22,89	123,15	143,15
$CoCl_2$	0,449	<u>11,01</u>	<u>22,39</u>	<u>17,23</u>	<u>9,46</u>	<u>37,47</u>	<u>43,56</u>
		31,98	63,80	45,00	20,24	108,87	126,55

Примечание: в числителе значение параметра при $n = 3$, в знаменателе при $n = 4$.

Знание геометрических параметров наночастиц исследованных модификаторов-катализаторов и средние значения объемов РСО (связывающего) в реакционной зоне («поверхностном нанореакторе») позволяют с достаточной степенью точности и достоверности оценить структурно-геометрические характеристики межфазного слоя фурано-эпоксидных ПКМ.

При диспергировании наполнителя (КП) и модификаторов-катализаторов при совместном помолу существенно увеличивается роль поверхностных явлений, так как по мере роста степени дисперсности при неизменном суммарном объеме и массе увеличивается удельная поверхность системы, а следовательно, возрастает удельная

реакционная способность (активность) вещества - модификатора и наполнителя.

Особый интерес представляет оценка состояния (физико-химические и химические параметры) фурано-эпоксидного РСО в зоне «поверхностного нанореактора»

Давление над сферической поверхностью жидкого фурано-эпоксидного связующего увеличивается из-за наличия искривленной поверхности частиц дисперсного наполнителя [2]. Это приводит к росту химического потенциала жидкого олигомера $\Delta\mu$, в областях, прилегающих к границе раздела фаз, а, следовательно, и реакционной способности связующего в межфазном слое. Давление насыщенного пара над искривленной поверхностью P_d возрастает по сравнению с давлением насыщенного пара над плоской поверхностью P_s (табл.3).

Таблица 3 – Влияние дисперсности на анализируемые параметры

Олигомер (PCO)	Значение параметра при диаметре частиц, нм							
	10	30	50	70	100	150	500	1000
ФАМ	<u>2205</u> 2,44	<u>735</u> 1,35	<u>441</u> 1,19	<u>315</u> 1,13	<u>220</u> 1,09	<u>147</u> 1,06	<u>44</u> 1,02	<u>22</u> 1,01
ФАЭД-20	<u>2652</u> 2,92	<u>884</u> 1,43	<u>530</u> 1,24	<u>379</u> 1,16	<u>265</u> 1,11	<u>177</u> 1,07	<u>53</u> 1,02	<u>26</u> 1,01
ФАЭД-50	<u>2910</u> 3,24	<u>970</u> 1,48	<u>582</u> 1,26	<u>416</u> 1,18	<u>290</u> 1,12	<u>194</u> 1,08	<u>58</u> 1,02	<u>29</u> 1,01
ФАЭД-80	<u>3272</u> 3,81	<u>1091</u> 1,55	<u>654</u> 1,30	<u>468</u> 1,20	<u>327</u> 1,14	<u>218</u> 1,09	<u>65</u> 1,03	<u>33</u> 1,01
ЭД-20	<u>3501</u> 4,11	<u>1167</u> 1,60	<u>700</u> 1,33	<u>500</u> 1,22	<u>350</u> 1,15	<u>233</u> 1,10	<u>70</u> 1,03	<u>35</u> 1,01

Примечание: числитель – $\Delta\mu$, Дж/моль; знаменатель – P_d/P_s

Как видно из расчетно-теоретических данных, представленных в табл. 3, химический потенциал фурано-эпоксидного РСО (а, следовательно, и его удельная реакционная способность) чрезвычайно высок на границе раздела фаз с дисперсной фазой (наполнитель, модификатор), имеющей диаметр до 150 нм.

Использование в качестве дисперсных наполнителей кварцевого песка, модифицированного хлоридами алюминия (КПА), железа трехвалентного (КПЖ) и кобальта (КПК) приводит к определенному повышению комплекса деформационно-прочностных свойств фурано-эпоксидных композитов (табл.4), по-видимому, в результате более

полного прохождения реакций структурирования фурановой и эпоксидной составляющей РСО.

Таблица 4 – Деформационно-прочностные свойства композитов

Композит	σ_c , МПа	σ_u , МПа	a , кДж/м ²	φ , град	ε_c , %	K_o
ФАЭД-50 + АФ-2+ КП	<u>109,5</u>	<u>65,8</u>	<u>5,6</u>	<u>12,5</u>	<u>1,5</u>	<u>0,73</u>
	115,2	69,5	4,2	10,5	1,1	0,65
ФАЭД-50 + АФ-2+ КПА	<u>115,8</u>	<u>77,5</u>	<u>6,9</u>	<u>11,8</u>	<u>1,4</u>	<u>0,85</u>
	118,5	85,5	5,5	10,0	1,0	0,75
ФАЭД-50 + АФ-2+ КПЖ	<u>113,7</u>	<u>74,3</u>	<u>6,5</u>	<u>11,7</u>	<u>1,5</u>	<u>0,82</u>
	115,5	78,3	5,3	10,5	1,0	0,71
ФАЭД-50 + АФ-2+ КПК	<u>114,2</u>	<u>72,5</u>	<u>6,7</u>	<u>11,5</u>	<u>1,3</u>	<u>0,80</u>
	116,3	75,9	5,2	10,5	1,1	0,68

Примечание: содержание наполнителя – числитель 50 масс. %, знаменатель 80 масс. %.

Установлено, что в случае мокрого помола в результате дезагригирующего действия жидкой среды порошки измельчатся достаточно эффективно. Например, содержание наночастиц модификаторов диаметром менее 0,1 мкм достигает 3 – 5 %.

Направленное формирование рациональной структуры фурано-эпоксидных композиционных материалов строительного назначения на основе нанотехнологического подхода, оптимизация физико-химических основ технологии получения композитов, технологических аспектов производства материалов требует системного изучения закономерностей процессов структурообразования как в объеме полимерного связующего, так и границе раздела фаз «наполнитель – матрица», проходящих на стадии создания материалов. При этом приходится учитывать тот факт, что использование нанообъектов в существующих технологических процессах создания строительных полимерных композитов сопряжено с рядом технологических трудностей

Список литературы:

1. Хархардин, А.Н. Структурная топология безлигандных микро- и наночастиц / Хархардин, А.Н. // Известия вузов. Строительство.- 2007.- №1.- С. 130 – 138.
2. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы): учебник для вузов.- М.: Химия, 1982. – 400 с.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК–ПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ВНУТРЕННЮЮ КОРРОЗИЮ БЕТОНА

**Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, профессор,
Толыпина Н.М., канд. техн. наук, доцент,
Балес А.А., магистр**

*Белгородский государственный технологический
университет им.В.Г.Шухова*

Значительное снижение срока службы бетонных сооружений может быть вызвано реакцией между щелочами цемента и кремнеземом заполнителя, при этом реагировать со щелочами может не только аморфный кремнезем, но и некоторые полиморфные разновидности кристаллического SiO_2 , что сопровождается увеличением объема твердой фазы с образованием точечных дефектов или сети трещин [1]. Традиционно применяемые пески и песчано-гравийные смеси для приготовления бетонов могут содержать реакционно-способный кремнезем в количестве, превышающем допустимое по ГОСТ 8267–93 [2, 3]. В то же время добавки–модификаторы могут оказывать различное влияние на внутреннюю коррозию: быть как источниками поступления щелочей, так и оказывать замедляющее влияние на расширение. Так, например, на основе стандартных испытаний (по ГОСТ 8269.0-97) [2] установлен ряд добавок, замедляющих коррозию расширения: Лигнопан Б-4, УПД-1, МЛ-2 и наиболее эффективная добавка С-3. Это подтверждает необходимость подвергать проверке применяемые добавки, однако проведение подобных исследований достаточно трудоемко.

Авторы предлагают на основе разработанной ускоренной методики [4] исследовать влияние органических добавок на коррозию между щелочами и заполнителем.

Для проведения эксперимента использовали следующие материалы: ПЦ 500 Д 0 (ЗАО «Белгородский цемент») с содержанием щелочей 0,73 %, дробленый природный перлит Мухор-Талинского месторождения (фракция 0,63–,25 мм), суперпластификатор С-3, органические добавки: ОД1 и ОД2. Наличие реакционноспособного кремнезема в перлите составляет 134 ммоль/л [4].

Для измерений деформаций расширения образцов было использовано стандартное кольцо Ле Шателье, применяемое для измерения изменения объема цемента по ГОСТ 30744–2001. Для

ускорения реакций расширения в смесь дополнительно вводили 3 % гидроксида натрия от массы вяжущего с водой затворения.

Результаты испытаний приведены на рис. 1.

Исследования показали, что образцы с добавкой С-3 практически не расширялись в наблюдаемый период времени, что подтверждает литературные данные [2, 3] о «подавлении» добавкой С-3 реакций кремнезема заполнителя со щелочами.

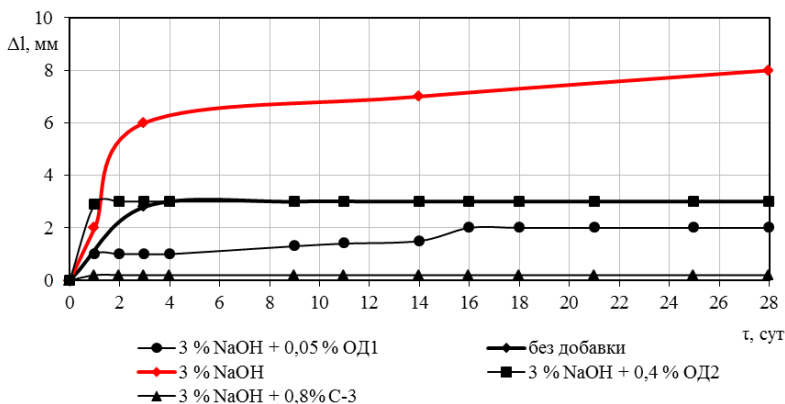


Рис. 1. Изменение расстояния между концами стержней кольца Ле Шателье при расширении образцов из смеси цемента и перлита (1:2)

Результаты эксперимента показали, что органические добавки уменьшают деформации расширения цементно-перлитовой смеси, затворенной 3%-ным раствором гидроксида натрия. Введение добавки ОД1 дало положительный результат: в течение первых 2 недель расширение между стержнями было незначительным (около 1 мм). К 28 суткам расширение этих образцов было в 2 раза меньше, чем у бездобавочных составов и в 4 раза меньше, чем у образцов, затворенных гидроксидом натрия. Более слабое влияние на снижение расширения образцов оказывает добавка ОД2: расстояние между стержнями через сутки достигло 3 мм, и оставалось таким же в течение 28 сут до конца испытаний, что практически в 2 раза меньше, чем у образцов, затворенных только 3%-ным раствором гидроксида натрия.

Выводы:

Показана возможность подбирать добавки ингибиторы внутренней коррозии по разработанной ускоренной методике. Установлена сходимость результатов, полученных по стандартной и разработанной методикам (на примере суперпластификатора С-3).

Установлена возможность существенного расширения ассортимента добавок, позволяющих бороться с коррозией, вызванной реакцией щелочей и заполнителей, за счет использования более дешевых и доступных соединений, чем соли лития, С-3 и Лигнопан.

Список литературы:

1. Блэнкс, Р.Ф., Кеннеди, Г.Л. Технология цемента и бетона / пер. с англ. – М.: Промстройиздат, 1957. – 327 с.
2. *Морозова, Н.Н.* Проблема щелочной коррозии бетонов в республике Татарстан и пути ее решения/ Н.Н. Морозова, В.Г. Хозин, А.И. Матеюнас, и др.//Известия КГАСУ, 2005. -№2.–С.58-63.
3. *Морозова, Н.Н.* Внутренняя коррозия бетона на заполнителях речных месторождений Татарстана /Н.Н. Морозова, А.И. Матеюнас, В.Г. Хозин и др.//Строительные материалы, 2005.– №11.–С.27–28.
4. *Рахимбаев, Ш.М.* Способ определения реакций между щелочами и заполнителем/Ш.М.Рахимбаев, Н.М.Толыпина//Вестник БГТ, 2011.–№2.– С.79-81.
5. *Иванов, Ф.М.* Взаимодействие заполнителей бетона с щелочами цемента и добавок/Ф.М.Иванов, Г.В.Любарская, Н.К.Розенталь//Бетон и железобетон, 1995.– №1.–С.15–18.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЖИЖЕНИЯ СУПЕР– И ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

**Рахимбаев Ш.М., д-р техн. наук, профессор,
Тольпина Н.М., канд. техн. наук, доцент,
Карпачева Е.Н., канд. техн. наук, ст. преподаватель**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова*

В настоящее время на смену суперпластификаторам (СП), представляющим собой полианионные поверхностно-активные вещества (ЛСТ, С-3, Melment F10), с линейной формой молекулы, приходят пластификаторы нового поколения – гиперпластификаторы (ГП) (поликарбоксилатные эфиры). Макромолекулы поликарбоксилатных олигомеров содержат длинные боковые олигоалкиленоксидные цепи, содержащие несколько десятков оксидных звеньев (обычно это оксиэтиленовые или оксипропиленовые фрагменты), что дало им название «гребнеобразные» олиголимеры. Подробно исследовано влияние минерального состава вяжущего, содержания щелочей и других факторов на эффективность гиперпластификаторов, влияние же состава и свойств заполнителя на разжижающую способность гиперпластификаторов мало изучено [1].

Целью исследований данной работы явилось определить влияние мелкого заполнителя на разжижающую способность суперпластификаторов различных типов.

В качестве объекта исследования были использованы цемент типа ПЦ 500 Д0 (ЗАО «Белгородский цемент»), суперпластификатор С-3, гиперпластификатор Melflux 5561. В качестве мелких заполнителей использовали материалы с различным зарядом поверхности: отсеб дробления известняка Коломенского месторождения Московской области ($M_{кр}=1,1$), песок из дробленого мрамора Еленинского месторождения ($M_{кр}=2,5$), кварцевый песок Нижнеольшанского месторождения ($M_{кр}=1,5$), дробленый перлит Мухор-Талинского месторождения ($M_{кр}=2,5$), Новолипецкий доменный гранулированный шлак ($M_{кр}=2,8$).

Измерения электрокинетического потенциала поверхности частиц заполнителя проводили на оборудовании Zetasizer Nano ZS при помощи методики МЗ-PALS, запатентованной компанией Malvern. Результаты измерений показали, что преобладающий заряд поверхности кварцевого

песка соответствует $-31,6$ mV, у известняка $+38,8$ mV, у мрамора $+19,3$ mV, перлита $+4,17$, шлака $+38,0$. В небольших количествах встречаются активные центры противоположного знака: у кварцевого песка $+3,13$ mV (7,9 %), у известняка $-4,13$ mV (11,0 %), у мрамора $-85,6$ mV (5,1 %), перлита $-82,3$ (3,1 %), шлака $-55,1$ (10,3 %).

Исследования проводили при соотношении мелкий заполнитель: цемент 2:1, 3:1, 4:1. Разжижающую способность цементно-песчаных смесей определяли по расплыву конуса (РК) в соответствии с ГОСТ 310.4-81. Расход добавки С-3 в цементно-песчаной смеси был постоянным (1,2 г С-3 на 720 г смеси, т.е. 0,16 % от массы всей смеси), дозировка добавки Melflux 5561 в 2 раза меньше, чем С-3 (0,6 г на 720 г смеси, т.е. 0,08 % от массы всей смеси).

Влияние вида заполнителя и состава смеси на разжижающую способность супер- и гиперпластификаторов приведены на рисунках 1-5.

Установлено, что разжижающая способность С-3 и Melflux зависит от вида применяемого заполнителя, а именно, знака заряда поверхности, наличия пористости и его химического состава.

На обычном кварцевом песке (с отрицательным зарядом поверхности) пластифицирующий эффект добавки С-3 был ниже, но меньше зависел от доли цемента в смеси, чем у Melflux (рис. 1). Melflux более чувствителен к составу цементно-песчаной смеси, при этом разжижающая способность резко снижается по мере отощения смеси.

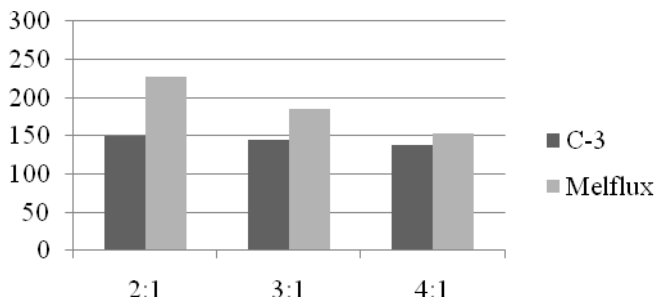


Рис. 1. Разжижающая способность СП и ГП в смесях на кварцевом песке
Снижение пластифицирующего эффекта добавок С-3 и Melflux по мере уменьшения доли цемента в смесях на кварцевом песке обусловлено их незначительной адсорбцией на заполнителе в силу его отрицательного заряда поверхности. В результате этого добавка

практически разжижает лишь цементную составляющую бетонной смеси, почти не влияя на реологические свойства заполнителя.

В смесях с положительно заряженным заполнителем из мрамора эффективность действия добавок была наибольшей, по сравнению со смесями на других заполнителях (рис. 2), так как в данном случае суперпластификаторы и гиперпластификаторы разжижают не только цементное тесто, но и заполнитель. С добавкой Melflux разжижение было максимальным, мало зависело от разбавления смеси мраморным заполнителем.

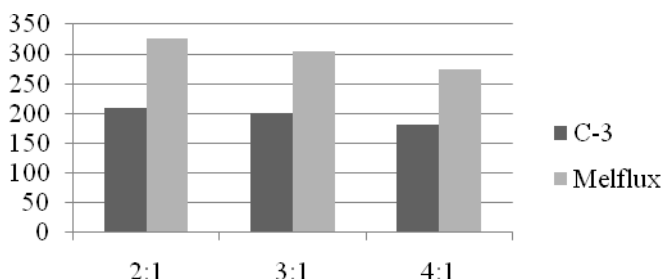


Рис. 2. Разжижающая способность СП и ГП в смесях на мраморе

В смесях на известняке и шлаке разжижающее действие добавок было слабым и мало зависело от заполнителя, что обусловлено поглощением суперпластификатора и гиперпластификатора зернами заполнителя (рис. 3, 4). Так как поверхностный заряд у зерен известняка в основном положительный, а у шлака – знакопеременный, разжижение на известняке немного выше, чем на шлаковом заполнителе.

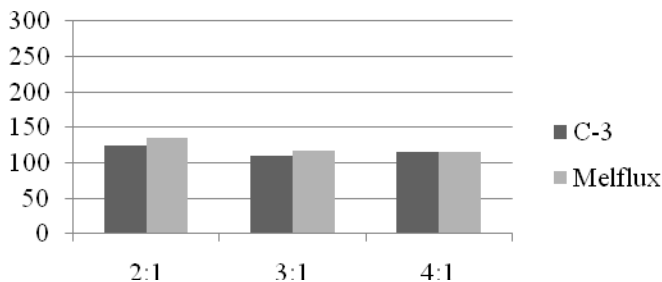


Рис. 3. Разжижающая способность СП и ГП в смесях на известняке

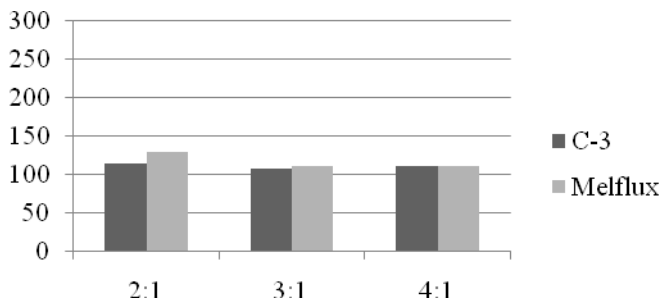


Рис. 4. Разжижающая способность СП и ГП в смесях на шлаке

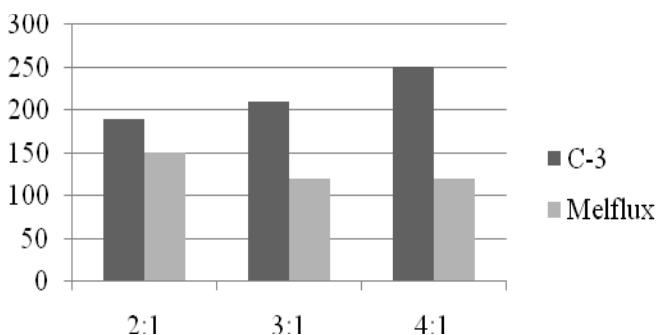
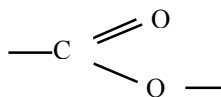


Рис. 5. Разжижающая способность СП и ГП в смесях на перлите

У смесей на перлитовом заполнителе при использовании добавки С-3 расплыв конуса был больше, чем с добавкой Melflux. По мере разбавления смеси перлитовым песком эта разница возрастала. Так как у перлита имеется довольно много положительно заряженных центров, что вызывает адсорбцию на них молекул С-3, то при использовании перлита суперпластификатор С-3 анионного типа разжижает не только цементную фазу, но и заполнитель. Однако на перлитовом песке действие Melflux 5561 практически не вызывало разжижения, так как электростатический фактор стабилизации у Melflux обусловлен карбоксилатными группами,



которые более активно взаимодействуют с положительно заряженными центрами перлита, содержащими ионы алюминия, которые обладают повышенной коагуляционной способностью по отношению к этой группе. Кроме того, малогидрофильные эфирные функциональные группы Melflux, как это показано в работе [2], устойчивы против ионов Ca^{2+} и других поливалентных катионов, но коагулируют в присутствии ионов K^+ и Na^+ . Эти два фактора могут вызывать наблюдаемое снижение эффективности Melfluxа при его использовании.

В результате проведенных исследований было установлено:

- если преобладающий знак заряда поверхности частиц заполнителя и функциональной группы суперпластификатора совпадают, то отношение бетонной смеси приводит к ослаблению действия суперпластификатора;
- цементно-песчаные растворы на основе мелкого заполнителя с положительно заряженными центрами (мрамора) отличаются наиболее сильной способностью разжижаться под действием анионных суперпластификаторов С-3 и Melflux 5561;
- на перлитовом заполнителе эффективность Melflux ниже, чем на С-3, что обусловлено повышенным содержанием в этом заполнителе соединений алюминия в активной форме, а также щелочей (7 и более %), которые вызывают высаживание Melflux;
- у смесей на пористых заполнителях разжижающая способность минимальна из-за высокой поглотительной способности их зерен;
- сравнение данных на кварцевом песке дает основание предполагать, что стерический фактор стабилизации гиперпластификаторов играет ограниченную роль, а высокая эффективность обусловлена наличием у ГП карбоксилатной анионной группы.

Список литературы:

1. *Uchikawa H.* The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixture // H. Uchikawa, S. Hanehara and D. Sawaki // Cement and Concrete Research. – 1997. – Vol. 27, No. 1. – p. 37-50.
2. *Рахимбаев, Ш. М.* Регулирование технических свойств тампонажных растворов / Ш.М. Рахимбаев. – Ташкент: Изд-во «Фан» УзССР, 1976. – 159 с.

БЕЗЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ХОНГУРИНА

**Рожин В.Н., аспирант,
Филиппова К.Е., студент,
Егорова А.Д., канд. техн. наук, доцент**
*Северо-Восточный федеральный университет
им. М.К. Аммосова*

Выбор эффективных строительных материалов для жилищного строительства обусловлен новыми экономическими условиями в стране. Резкое возрастание цен на топливо, минеральные и органические сырьевые материалы, высокая стоимость транспорта отражаются, прежде всего, на самом объемном и крупнотоннажном строительном материале – стеновых изделиях и конструкциях. Введение в стране региональных энергосберегающих строительных норм делает многие традиционные стеновые материалы технически и экономически неприемлемыми

В последнее время все большее значение приобретают легкие бетоны на основе вяжущих веществ, получаемых смешением различных чистых вяжущих друг с другом и с некоторыми добавками. Это позволяет получать композиции, характеризующиеся специальными свойствами или свойствами, присущими каждому компоненту. К таким материалам относятся композиционные гипсовые вяжущие (КГВ).

Одним из традиционных способов повышения водостойкости гипсового камня является введение в него веществ, образующих водостойкие и твердеющие в воде новообразования. Такими веществами являются портландцемент и пуццолановые гидравлические добавки, содержащие кремнезем в активной форме.

Другим путем повышения водостойкости гипсового вяжущего вещества (ГВВ) является введение в него извести, а еще эффективнее – извести совместно с активной минеральной добавкой (АМД).

Описанные выше способы повышения водостойкости ГВВ позволили значительно расширить области применения материалов на его основе в строительстве за счет использования их в наружных конструкциях и в зданиях с относительной влажностью воздуха более 60 %.

Разработаны составы безцементных КГВ с применением цеолитсодержащих пород Сунтарского месторождения Хонгуруу, которые в наибольшей степени отвечают поставленной задаче и могут

быть использованы в бетонах для стеновых материалов, эксплуатируемых в суровом климате, в том числе и РС(Я).

При выборе материалов для безцементных КГВ исследовались следующие материалы: ГВВ, цеолитсодержащая порода месторождения Хонгуруу (хонгурин), комовая известь (гашеная и негашеная), суперпластификатор С-3. Исследовались следующие виды вяжущих веществ:

- ГВВ без добавок;
- водостойкое гипсоцементноцеолитовое вяжущее (ВГЦЦВ);
- водостойкое гипсоизвестковоцеолитовое вяжущее с гашеной известью (ВГИЦВ, ги);
- водостойкое гипсоизвестковоцеолитовое вяжущее с негашеной известью (ВГИЦВ, н/ги).

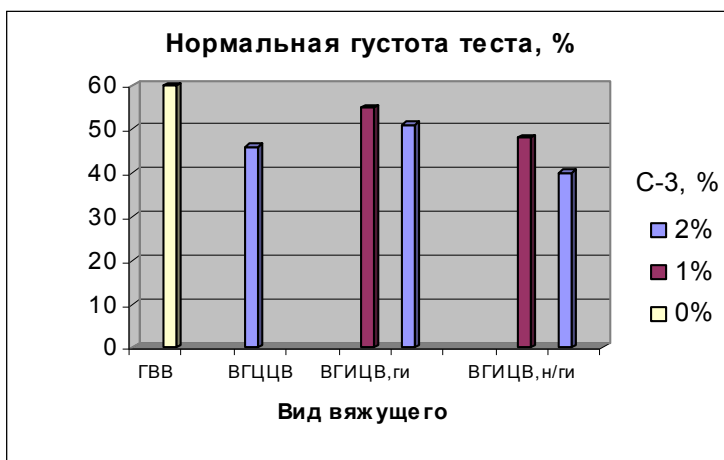


Рис. 1 – Изменение водопотребности композиционного гипсового вяжущего при изменении его состава.

Из рис.1 видно, что водопотребность КГВ меньше водопотребности чистого ГВВ, что в большей степени зависит от состава комплексной добавки. Наименьшую водопотребность 40 % имеет ВГИЦВ с негашеной известью с добавкой С-3 в количестве 2 %. Использование гашеной извести увеличивает водопотребность КГВ на 10 %.

Анализ рис. 2 показывает, что максимальную прочность в марочном возрасте набирает ВГЦЦВ 17 МПа и марка вяжущего

составляет М150. Т.е. при введении гидравлической добавки на основе портландцемента происходит увеличение прочности гипсового камня на 50 %. При использовании в качестве гидравлического компонента извести происходит снижение марочной прочности вяжущего в 2 раза, за исключением ВГИЦВ с негашеной известью и суперпластификатором С-3 в количестве 2 %. Данный состав не снижает прочность гипсового камня и имеет марку М100.

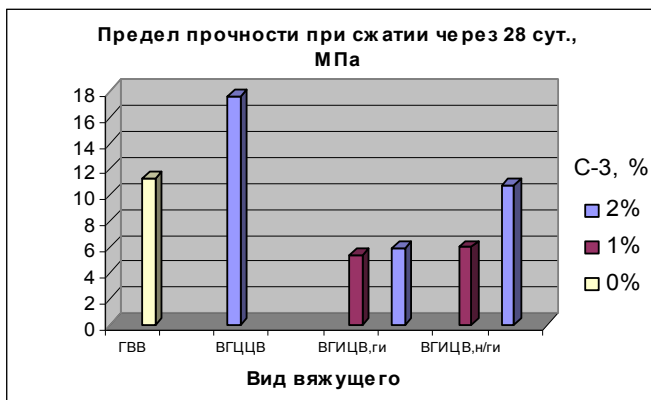


Рис. 2 – Изменение прочностных показателей камня на основе композиционного гипсового вяжущего при изменении состава вяжущего.

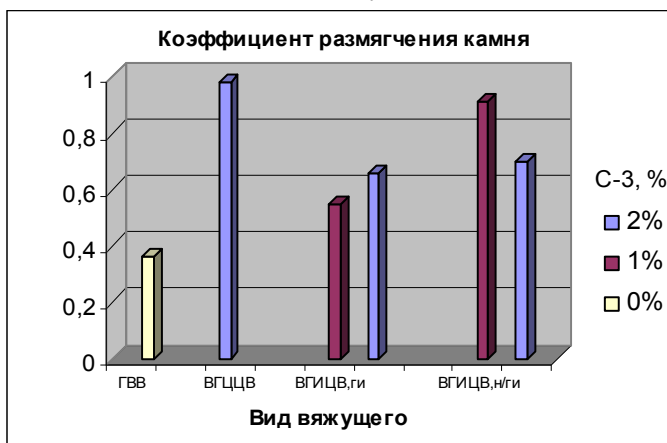


Рис. 3 – Изменение коэффициента размягчения камня при изменении состава вяжущего.

На рис.3 приведены результаты определения коэффициента размягчения K_p образцов изготовленных из теста нормальной густоты на основе КГВ разного состава. При рассмотрении полученных результатов видно, что наибольшую водостойкость 0,98 имеет ВГЦВ. При сравнении показателей K_p ВГИЦВ, можно заключить, что негашеная известь, имея бóльшую активность, обуславливает лучшие показатели водостойкости, чем гашеная известь. При этом влияние суперпластификатора С-3 на водостойкость ВГИЦВ не однозначное, K_p равный 0,91 имеет ВГИЦВ с негашеной известью с добавкой С-3 в количестве 1 % от массы вяжущего, при увеличении расхода С-3 K_p уменьшается до 0,7. Это, скорее всего, объясняется уменьшением реакционной способности негашеной извести за счет образования на поверхности зерен вяжущего оболочки из суперпластификатора.

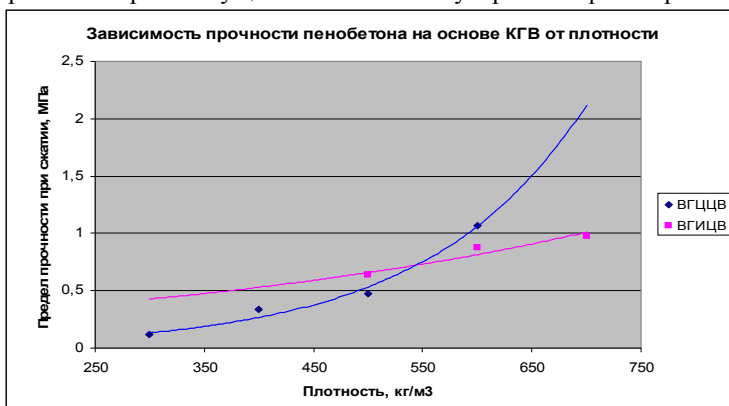


Рис. 4 – Зависимость прочности пенобетонных образцов на основе КГВ от их плотности.

На основе разработанных КГВ были изготовлены пенобетонные образцы разной плотности. Результаты эксперимента представлены на рис.4. Анализируя полученные зависимости, можно заключить, что на основе ВГЦВ целесообразно получать теплоизоляционно-конструкционные бетоны, а на основе ВГИЦВ теплоизоляционные бетоны.

Изделия из них наилучшим образом адаптированы к сложным климатическим и экономическим условиям России и имеют ряд важных достоинств: невысокая средняя плотность, низкая теплопроводность, стойкость при пожаре.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ВЯЖУЩИЕ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Савин А.В., соискатель

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

Современные бетоны и растворы являются сложными рецептурными системами, оптимизированными по многим параметрам. Заданный технологическими и эксплуатационными условиями уровень требований обеспечивается различными рецептурными и технологическими приёмами, в том числе путём направленного формирования структуры на всех иерархических уровнях в сложно-структурированных системах, к которым относятся бетоны и растворы, для получения композиционных материалов с показателями, превосходящими свойства исходных компонентов.

Нерациональное использование сырьевых компонентов и структурных элементов в бетонах и растворах формирует дефектную структуру с низким качеством, что приводит к перерасходу сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов, ухудшает экологическую обстановку.

В последние годы в России разработаны принципиально новые виды малоклинкерных вяжущих, основанные на тонком измельчении товарных портландцементов с дополнительным вводом минеральных добавок и суперпластификаторов. Анализ работ В.Г. Батракова, Ш.Т. Бабаева, Н.Ф. Башлыкова, Ю.М. Баженова, В.С. Лесовика, Л.А. Малининой, М. Кокубу, В.М. Мальхотры и других, показывают, что применение композиционных вяжущих, типа ВНВ, ТМЦ позволяет радикально снизить расход цементного клинкера при сохранении его активности либо значительно улучшить свойства бетона при сохранении расхода вяжущего.

Исходя из современных представлений физики и химии поверхностных явлений и теории контактных взаимодействий, в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г.Шухова разработаны основы направленного регулирования параметров цементных систем на стадиях взаимодействия цемента, минеральных и химических добавок, воды, что является обязательным моментом в создании бетонов с заданными строительно-техническими характеристиками.

Процессы, определяющие характер взаимодействия, обуславливаются, в основном, свойствами развитых поверхностей

молекулярными силами, действующими на границе раздела фаз. Возможность управления этими процессами лежит в основе направленного регулирования таких важных технологических свойств бетонной смеси, как подвижность и её сохранность во времени, стойкость к расслоению и водоотделению. Это также оказывает существенное влияние на последующее структурообразование цементной системы и формирование физико-технических и строительно-эксплуатационных свойств бетонов.

На кафедре строительного материаловедения изделий и конструкций разработаны теоретические принципы повышения эффективности производства композиционных анизотропных материалов с учётом состава, морфологии и дефектов структурных элементов, заключающиеся в анализе и моделировании структурообразования и дефектности структуры.

В нашей работе предполагается продолжить эти работы в направлении изучения физико-механических свойств и долговечности бетонов на композиционных вяжущих с использованием в качестве минеральной добавки выветреловых кварцитопесчанников, разработкой теоретических аспектов повышения долговечности бетонов за счёт применения композиционных вяжущих и мер по повышению защитных свойств композиционного вяжущего на защитные свойства по отношению к стальной арматуре.

Выветреловые кварцитопесчанники вскрыты на всех железорудных месторождениях КМА. Кварц метаморфических пород формируется в условиях высоких температур и давлений, имеет ряд своих особенностей, отличающих его от кварца других генетических типов. Развитая поверхность кварца кварцитопесчанника и повышенное содержание мелкой фракции увеличивает его равновесную растворимость по сравнению с образцами других генетических типов.

Для определения влияния выветреловых кварцитопесчанников на свойства композиционных вяжущих и бетонов на их основе в работе предполагается изучить следующие вопросы:

- исследовать особенности гидратации композиционного вяжущего и его свойства;
- изучить микроструктуру и состав цементного камня оптимального состава;
- оценить влияние композиционных вяжущих на свойства бетонной смеси и бетона;
- определить влияние композиционного вяжущего на прочностные и деформативные свойства бетона;

- исследовать долговечность бетонов на композиционном вяжущем;
- определить защитные свойства бетонов по отношению к стальной арматуре.

Для решения поставленных задач в лаборатории помольного оборудования были изготовлены две серии композиционных вяжущих. Вяжущие готовились в вибромельнице марки ВМ-20 (объем 20 л.). Время помола композиционных вяжущих с добавкой СП-1 11 минут, без добавления суперпластификатора СП-1 15 мин. Материалы в вибромельницу загружались одновременно.

Первая серия вяжущих была изготовлена на портландцементе М-500, изготовитель ООО «Трио» и состояла из 4-х партий:

- портландцемент М-500 (эталон), маркировка Э-1;
- молотый портландцемент, маркировка МЦ-1;
- портландцемент молотый совместно с песком (соотношение Ц/П – 1:1 по массе), маркировка ЦП-1;
- портландцемент молотый с отсевом кварцитопесчанника (соотношение Ц/КВ- 1:1 по массе), маркировка ЦКВ-1.

Вторая серия вяжущих была изготовлена на Белгородском портландцементе ПЦ 500 ДО и состояла из 7-ми партий:

- портландцемент (эталон), маркировка Э-2;
- молотый портландцемент, маркировка МЦ-2;
- портландцемент молотый совместно с песком (соотношение Ц/П – 1:1 по массе), маркировка ЦП-2;
- портландцемент молотый совместно с песком (соотношение Ц/П – 1:1 по массе) + суперпластификатор СП-1 (0,7% от массы цемента), маркировка ЦП-2С;
- портландцемент молотый совместно с суперпластификатором СП-1 (0,7% от массы цемента), маркировка МЦ-2С;
- портландцемент молотый совместно с отсевом кварцитопесчанника (соотношение Ц/КВ – 1:1 по массе), маркировка ЦКВ-2;
- портландцемент молотый совместно с отсевом кварцитопесчанника (соотношение Ц/КВ – 1:1 по массе) + суперпластификатор СП-1 (0,7% от массы цемента), маркировка ЦКВ-2С.

Вяжущие первой серии испытаны по ГОСТ 310.1-76, ГОСТ 310.3-76 и ГОСТ 310.4-81 на соответствие требованиям ГОСТ 10178-85. Вяжущие 2-ой серии испытаны по ГОСТ 30744-2001 на соответствие

требованиям ГОСТ 31108-2003. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Удельная поверхность молотого цемента МЦ-1 на 87 м²/кг больше, по сравнению с немолотым цементом Э-1, однако он характеризуется незначительным приростом прочности (на 3,5%). Удельная поверхность цемента ЦКВ-1 на 57 м²/кг больше по сравнению с эталоном Э-1, при этом наблюдается падение активности на 34%. Поскольку процент введения кварцитопесчанника в цемент (50%) превышает процент снижения активности, можно сделать вывод об эффективности использования кварцитопесчанника в качестве компонента вяжущего, что не скажешь о плотном песке ЦП-1, где процент падения активности составил 46%.

Анализ результатов испытаний 2-ой серии вяжущих будет дан позже, после получения результатов испытаний образцов в 28 суточном возрасте.

Также будут представлены позднее данные о результатах подбора составов бетонов, на основе исследованных вяжущих.

Таблица 1

Физико-механические характеристики композиционных вяжущих

Маркировка (шифр) состава	«Истинная» плотность, ρ_0 , г/см ³	Тонкость помола S_y (песч) м ² /кг	Нормальная густота, НГ, %	Сроки схватывания, Час-мин		Равномерность объема (расширение), мм	Прочность, МПа (при изгибе-над чертой, на сжатие-под чертой) Нормальное твердение	
				начало	конец			
1-ая серия								
Э-1	3,21	323	26,0	2-35	4-50	Выд.	4,2/20,2	8,6/49,2
МЦ-1	3,19	410	24,5	2-30	3-40	Выд.	5,7/24,4	9,7/50,9
ЦП-1	2,89	350	23,5	3-00	5-15	Выд.	1,7/9,1	4,7/26,3
ЦКВ-1	2,92	380	25,8	2-40	4-00	Выд.	2,7/12,6	7,1/32,6
2-ая серия								
Э-2	3,15	356	25,5	2-20	3-20	1,0	5,2/32,2	-
МЦ-2	3,21	494	26,4	3-35	4-05	0,5	6,4/37,4	-
МЦ-2С	3,09	589	24,8	3-45	4-25	1,0	6,2/33,5	-
ЦП-2	2,94	497	25,0	2-50	3-45	0,7	2,8/13,6	-

ЦП-2С	2,83	561	23,8	2-35	3-30	0,4	2,6/13,2	-
ЦКВ-2	3,11	578	26,8	3-50	4-50	0,9	3,7/18,5	-
ЦКВ-2С	3,01	518	26,2	4-00	4-45	0,7	3,5/19,8	-

Некоторые данные по подбору составов бетонов на композиционных вяжущих 1-ой серии представлены в таблице 2.

Таблица 2

Данные по подбору составов бетона на композиционных вяжущих
(первая серия)

№ п/п	Вид вяжущего	Расход, кг/м ³		В/Ц	О.К., см	Прочность, МПа	
		вяжущего	Клинкерной составляющей			7 сут.	28 сут.
1.	Цемент (эталон)	365	365	0,5	1-2	32,8	43,5
		320	320	0,6	7-9	21,2	30,6
		305	305	0,7	10-12	12,4	20,2
2.	Цемент молотый	370	370	0,5	3-4	31,3	46,0
		310	310	0,6	6-8	21,5	30,3
		315	315	0,7	20-22	15,0	23,4
3.	Цемент + Кварцито-песчанник молотые	365	182	0,5	3-4	12,8	23,4
		320	160	0,6	6-8	9,3	13,4
		305	152	0,7	20-21	5,6	8,7
		315	158	0,6	8-9	9,7	16,4
		315	158	0,7	19-20	6,9	11,8
4.	Цемент + Песок молотые	310	155	0,6	10-12	7,5	12,7
		320	160	0,7	19-21	5,3	9,4

Предварительный анализ результатов подбора составов бетона на композитных вяжущих свидетельствует о том, что прочность бетона при разной активности вяжущих хорошо вписывается в общий вид зависимости прочности бетона от Ц/В и активности вяжущего:

$$R_b = AR_u(C/B - 0,5)$$

Полученная зависимость будет являться основной для выбора составов бетонов для дальнейших исследований.

МОДИФИКАЦИЯ ЛЕГКОПЛАВКИХ ГЛИН ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ

**Салахов А.М., канд. техн. наук,
Тагиров Л.Р., д-р физ. – м. наук,
Морозов В.П., д-р геол. – мин. наук,
Салахова Р.А., канд. техн. наук**
*Казанский федеральный университет
НПП Клинкерная керамика КФУ*

На XIX научных чтениях мы докладывали о результатах исследований структуры и свойств керамических материалов из легкоплавких глин, модифицированных диатомитом. Отмечалось, что добавки диатомита повышают тугоплавкость сырьевой смеси, что позволило повысить температуру обжига до 1100°C и получить изделия прочностью свыше 50 МПа. Однако механизм этого процесса оставался не совсем понятным. Известно, что диатомит представляет собой достаточно сложное образование, но какая его составляющая играет в процессе повышения тугоплавкости и набора прочности при обжиге решающую роль, необходимо было выяснить. Таким образом, была сформулирована задача исследований. Для ее решения была проведена серия **модельных** экспериментов. Учитывая, что диатомит в значительной степени представлен аморфным кремнеземом, нами в качестве модификатора легкоплавких глин был использован высокодисперсный аморфный кремнезем. В качестве легкоплавких глин исследовались глины Алексеевского и Ключищенского месторождений РТ, а также глина Салмановского месторождения с повышенным содержанием карбонатов.

На первом этапе были исследованы продукты обжига самого высокодисперсного кремнезема. Образцы формовались при давлении 50 МПа и обжигались при температуре 1150°C. В структуре обожженного образца выделяются различные образования, отличающиеся как по морфологии, так и по составу, прежде всего по содержанию атомов алюминия (от 0,2 до 0,7 %).

Весьма примечательно, что отдельные фрагменты (рис. 2) представляют собой своеобразные губчатые образования. Мы полагаем, что высокодисперсный кремнезем адсорбирует из воздуха воду, которая в процессе обжига испаряется и формирует поры. Действительно, в результате прокаливания кремнезема наблюдается потеря веса 5 %. Подобные структуры обладают высокой удельной поверхностью и,

естественно, повышенной реакционной способностью, Мы решили использовать этот факт для модификации легкоплавких глин.

Установлено, что с увеличением доли кремнезема в композиции с глиной плотность образцов после обжига снижалась, соответственно возрастала потеря массы (табл. 1).

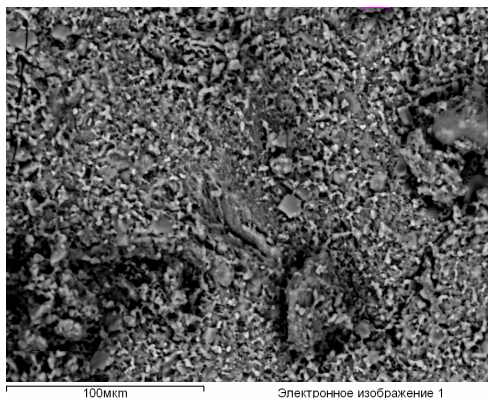


Рис.1. РЭМ-фото керамики из высокодисперсного кремнезема. В среднем по площадке атомарный состав: **O – 65,6, Al – 0,3, Si – 34,1 %**

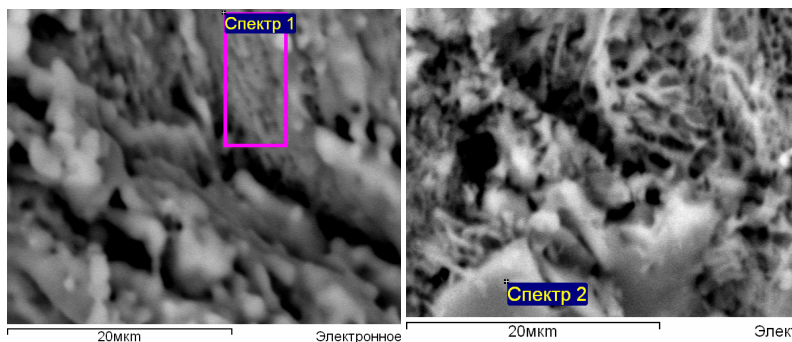


Рис.2. РЭМ-фото керамики из высокодисперсного кремнезема. Атомарный состав спектра 1: **O – 72,4, Al – 0,2, Si – 27,4 %**,
спектра 2: **O – 73,5, Al – 0,2, Si – 26,3 %**

Таблица 1. Изменение характеристик материала в зависимости от добавок высокодисперсного кремнезема

Добавка кремнезема, масс. %	Потеря веса %	Плотность, г/см ³	Твердость по Виккерсу
0	7,9	1,9	620
5	8,2	1,94	742
10	8,6	1,78	774
20	9,2	1,72	600

Образцы формовались под давлением 50 МПа, обжигались при температуре 1100°C. Отметим, что далеко не все легкоплавкие глины сохраняют форму при обжиге 1100°C., модификация их высокодисперсным кремнеземом позволят им сохранять форму при обжиге до 1150°C.

В результате обжига композиции глины с высокодисперсным кремнеземом формируется структура с достаточно равномерным распределением чрезвычайно мелких пор (рис.3).

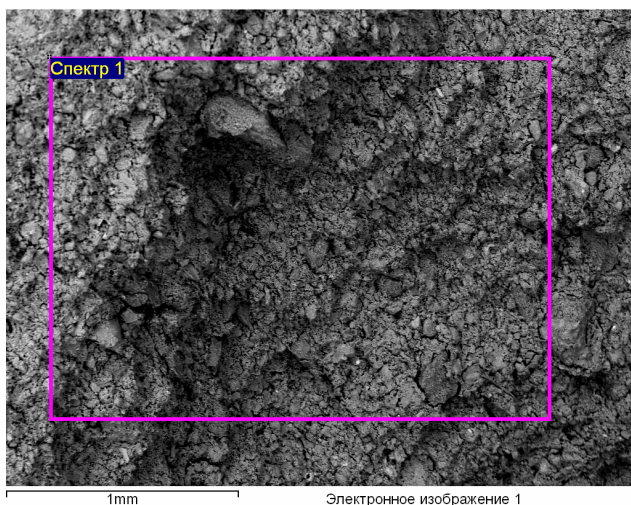


Рис 3. РЭМ-фото керамики. Содержание элементов по площадке: O – 69,8, Mg – 0,7, Al – 2,6, Si – 24,4, K – 0,6, Ca – 0,1, Fe – 1,0

Зерна размером до 30 мкм представлены кварцем или алюмосиликатами например, следующего атомарного состава: **O – 72,0, Na – 1,7, Al – 5,4, Si – 17,7, K – 3,0, Ca – 0,2, Ti – 0,1 %**

Характерно, что между зернами реликтовых минералов (рис.4) располагаются зоны с губчатой структурой (рис.5), точно такой, как представлена на рис.2. На отдельных фрагментах исследуемого образца отмечаются элементы с аморфной структурой (рис.6), на фоне которых выделяются светлые пятна с повышенным содержанием атомов железа.

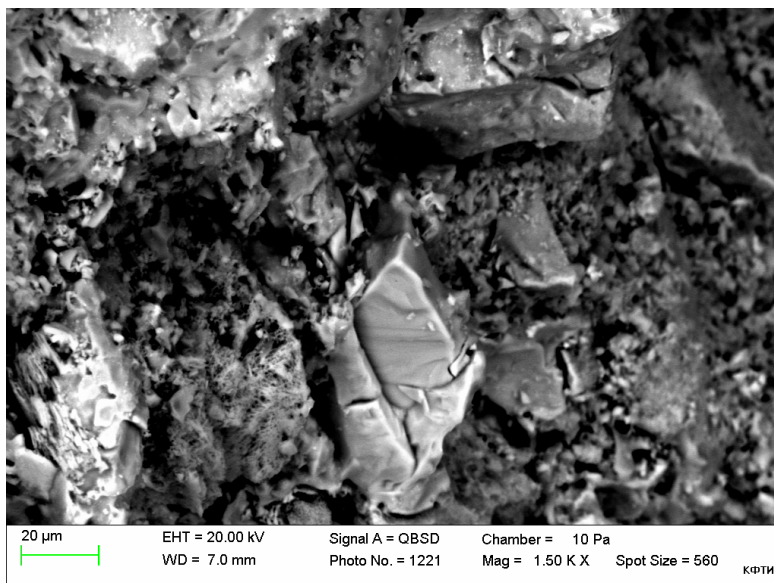


Рис.4. РЭМ-фото керамики. Зерна и губчатая структура

Распльчатые очертания (рис.6) мы связываем с повышенным содержанием щелочных металлов, что способствует формированию легкоплавких эвтектик. Однако такие участки встречаются достаточно редко и не сообщаются между собой.

Высокая дисперсность в сочетании с соответствующей температурой обжига обеспечивают активизацию диффузионных процессов, что и объясняет повышение прочностных характеристик. Одновременно высокодисперсный аморфный кремнезем препятствует

формированию легкоплавких эвтектик, т.е. повышает тугоплавкость керамических масс.

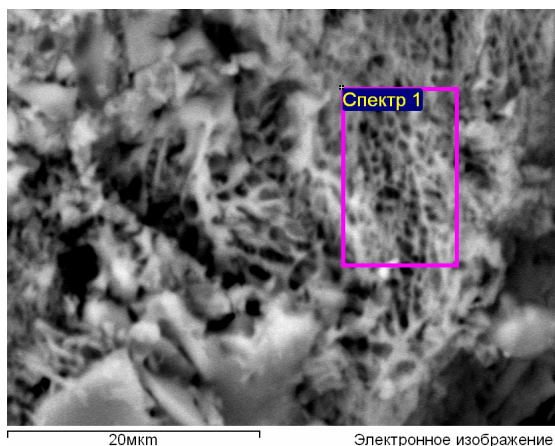


Рис 5. РЭМ-фото керамики. Губчатая структура.
Содержание элементов **O – 68,6, Al – 0,3, Si – 31,0, Ca – 0,1%**

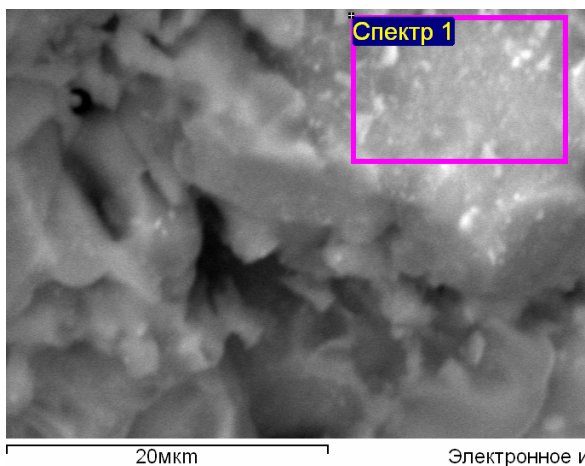


Рис 6. РЭМ-фото керамики. Содержание элементов: **O – 64,3, Na – 0,8, Mg – 1,1, Al – 5,3, Si – 24,4, K – 0,9, Ca – 1,1, Fe – 2,2 %**
В случае использования глин с повышенным содержанием карбонатов структура обожженных образцов несколько иная.

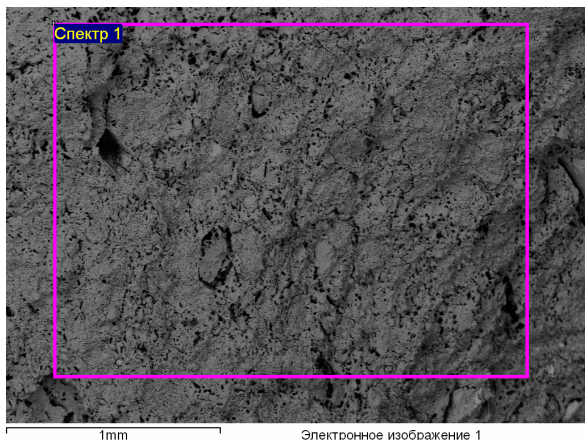


Рис 7. РЭМ-фото керамики. Содержание элементов по площадке:
O – 70,6, Mg – 0,7, Al – 3,8, Si – 17,3, K – 0,9, Ca – 5,6, Fe – 1,0 %

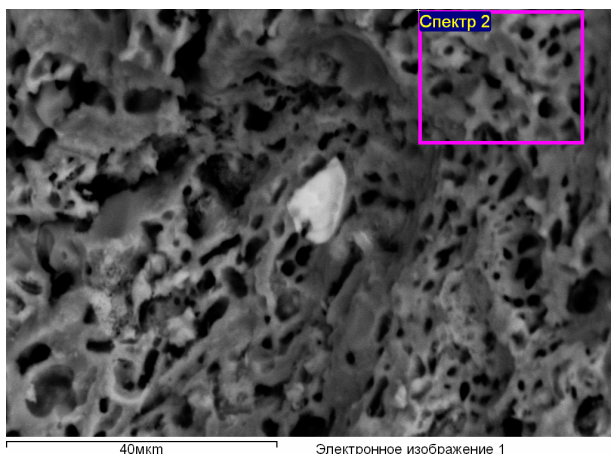


Рис 8. РЭМ-фото керамики. Содержание элементов в спектре 2:
**O – 68,2, Na – 0,4, Mg – 1,0, Al – 5,7, Si – 15,8, K – 0,8, Ca – 6,3,
 Ti – 0,5, Fe – 1,3 %**

Диссоциация карбонатов формирует пористую структуру, однако размеры пор (рис. 9) другие: 2 – 5 мкм. Рентгенографические исследования доказывают, что в процессе обжига формируются кристаллические новообразований в виде волластонита, что вполне

ожидаемо при наличии дисперсного оксида кальция и аморфного кремнезема.

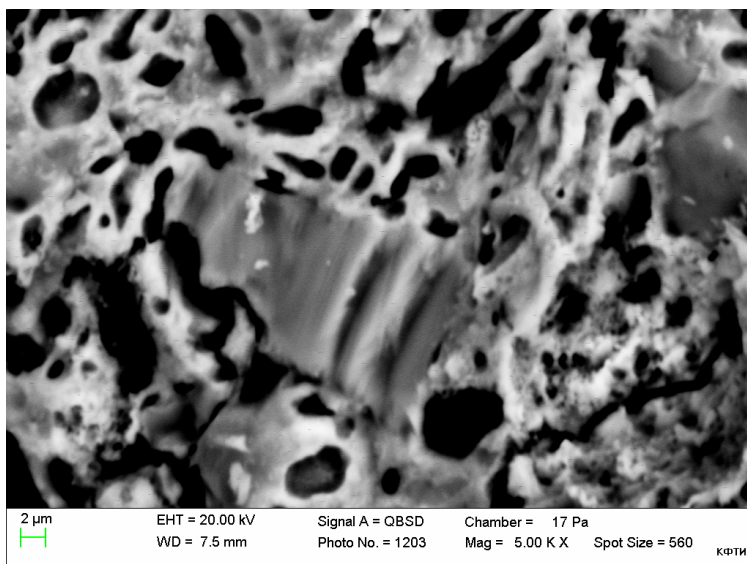


Рис 9. РЭМ-фото керамики. Поры размером 2 – 5 мкм.

Для изучения пор нанометрового диапазона в Институте Физики Казанского федерального университета был применен метод ядерного магнитного резонанса на протонах, использование которого наряду с электронно-микроскопическими исследованиями и рентгено - флуоресцентным изучением состава микрообъемов образца позволило проследить динамику изменения структуры наноразмерных пор. В результате исследований появилась возможность управления структурой пор, а значит, и характеристиками материалов.

Модификация легкоплавких глин высокодисперсным кремнеземом позволила решить следующие задачи.

1. Повысить тугоплавкость керамических масс.
2. В результате обжига в интервале температур 1100 - 1150°C получить изделия с высокой прочностью и твердостью.
3. В результате обжига в интервале температур 1000 - 1050°получать изделия, сочетающие в себе высокие прочностные и теплоизоляционные характеристики.

4. Использовать для производства широкой гаммы керамических материалов широко распространенные легкоплавкие глины, которые раньше считались малоценными.

Изучено модифицирующее влияние высокодисперсного кремнезема на легкоплавкие глины. Сканирующей электронной микроскопией исследована структура различных керамических материалов. Показана возможность управления структурой пор. Получены материалы с высокими прочностными характеристиками.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Соловьева Л.Н., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Гашенко Э.О., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Боцман А.Н., студент**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Белгородская государственная сельскохозяйственная академия

Одной из проблем современного строительства является резко возросшая потребность в малотеплопроводных материалах при остром энергетическом дефиците. При этом экономия топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является стратегической задачей государства.

Анализ мирового опыта показывает, что одним из наиболее эффективных путей в решении проблемы энергосбережения является сокращение потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции зданий, сооружений, промышленного оборудования и тепловых сетей. Очевидно, что повышение энергоэффективности строительного комплекса в целом возможно только при обеспечении энергоэффективности как зданий и сооружений, так и систем их теплоснабжения [1]. Важную ролью в решении проблемы энергосбережения и экономии тепловой энергии является создание новых эффективных теплоизоляционных материалов.

Одним из рациональных способов повышения теплозащиты эксплуатируемых зданий относится дополнительное наружное утепление их ограждающих конструкций. В современной практике наибольшее применение получили:

- конструкции наружного утепления стен со штукатурным покрытием;
- конструкции наружного утепления стен с вентилируемым зазором и облегченной защитно-декоративной облицовкой;
- трехслойные стены с утеплителем в качестве среднего слоя и наружной облицовкой из кирпича.

Ограждающие конструкции, как правило, полифункциональны, в связи с этим естественны противоречия при выборе материалов для реализации таких конструкций, поскольку универсального материала нет. Следует отметить о целесообразности использования в зависимости от климатических условий слоистые конструкции с разделением

функциональных «обязанностей» каждого слоя и применением для него наиболее эффективного материала.

Теплоизоляционные материалы широко применяются в конструкциях покрытий и перекрытий зданий. В перегородках и внутренних стенах зданий эти материалы используются для звукоизоляции и звукопоглощения.

Основным фактором повышения эффективности строительства является снижение материалоемкости, уменьшение массы и теплопроводности строительных конструкций без потери их несущей способности и других эксплуатационных свойств [2]. Современным требованиям теплоизоляции в полной мере отвечает легкий бетон – композиционный материал, близкий по своему функциональному значению к ячеистым бетонам [3].

Легкий бетон является самым распространенным материалом в строительстве. В состав легкого бетона обычно входит вода, цемент и заполнитель – песок, щебень или комбинация этих материалов. Для достижения определенных свойств к этой смеси могут добавляться различные добавки или дополнительные материалы.

Применение конструкционных легких бетонов дает широкий диапазон свойств, обеспечивающих общее снижение массы конструкций. Известно, что именно сочетание легкого бетона различной средней плотности в конструкциях зданий дает максимальный эффект по всем показателям [4].

Существенно, что использование легких бетонов снижают теплоотдачу здания и повышают уровень его теплозащиты менее чем на 20 %, соответственно снижая электропотребление при эксплуатации зданий и повышая пожаростойкость здания. Комфортность проживания в домах из легкого бетона вследствие пониженной теплопроводности и повышенной паропроницаемости также относится к преимуществам применения этого материала

Следует акцентировать внимание на теплотехническом аспекте комплексного применения легких бетонов: использование их не только в ограждающих, но и в несущих конструкциях зданий должно способствовать снижению теплоотдачи здания в целом, т. к. ликвидируются так называемые “мосты холода” – теплопроводные включения элементов несущего каркаса зданий из тяжелого бетона. В результате уровень тепловой защиты здания повышается.

Кроме того, комплексное применение легких бетонов существенно упрощает технологию производства конструкций и изделий на предприятиях стройиндустрии при использовании одного

вида заполнителя, приводит к снижению трудозатрат, транспортных расходов, стоимости строительства в целом [5].

В целях наиболее рационального комплексного применения легких бетонов при строительстве жилых и общественных зданий в России следует дифференцированно использовать легкие бетоны различных видов в зависимости от их основных строительно-технических свойств (в т. ч. возможно в одной слоистой конструкции). Так, для сборных слоистых ограждающих конструкций (наружные стеновые панели, панели покрытий, чердачных перекрытий, перекрытий над проездами, холодными подвалами) целесообразно использовать:

– для наружных слоев – конструкционные или конструкционно-теплоизоляционные (в зависимости от типа конструкции, нагрузки и этажности здания) легкие бетоны на пористых заполнителях;

– для внутреннего (среднего) теплоизоляционного слоя – особо легкие бетоны по средней плотности не выше марки D 400.

Подводя итоги вышеизложенному, следует отметить, что легкие бетоны представляют собой универсальный строительный материал (конструкционного, конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного назначения), позволяющий при его рациональном использовании решать многие актуальнейшие задачи современного строительства и одновременно – экологические, ресурсосберегающие и экономические проблемы за счет утилизации техногенных отходов при изготовлении пористых заполнителей и композиционных вяжущих.

Список литературы:

1. Юдин, И.В. Инновационные технологии в индустриальном домостроении с использованием конструкционных легких бетонов / И.В. Юдин, В.Н. Ярмаковский // Строительные материалы, 2010. – № 1. – С. 15–17.
2. Баженов, Ю.М. Новому веку – новые бетоны / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. – № 2. – С. 10–11.
3. Киселев, Д.П. Поризованные легкие бетоны / Д.П. Киселев, А.А. Кудрявцев. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. – 82 с.
4. Горин, В.М. Перспектива применения керамзитобетона на современном этапе жилищного строительства / В.М. Горин, С.А. Токарева, М.К. Кабанова, А.М. Кривопапов, Ю.С. Вытчиков // Строительные материалы – 2004. – № 12 – С. 22–23.
5. Блещик, Н.П. Технология производства изделий из крупнопористого легкого бетона / Н.П. Блещик, М.Г. Лазарашвили // Строительные материалы – 2004. – № 11 – С. 35–37.

ОСОБЕННОСТИ ДЕКОРАТИВНЫХ БЕТОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛОРИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА

**Стрельцова Т.П., канд. техн. наук,
Соловьева Л.Н., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Максакова Е.С., магистрант,
Никулина М.В., студент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Современные строительные материалы – это материалы полифункционального назначения, то есть объединяющие в себе конструкционные, теплоизоляционные и эстетические функции. Однако архитекторы и проектировщики ввиду необходимости наиболее рационального использования средств вынуждены выбирать традиционные решения, отвечающие требованиям функциональности в ущерб эстетичности.

В настоящее время в нашей стране большими темпами возрастает индивидуальное и каркасное домостроение. Для данных видов строительства активно используют мелкоштучные стеновые блоки, на основе различных видов бетона.

Применение мелкоштучных стеновых блоков позволяет ускорить сроки строительства и снизить затраты при эксплуатации готовых зданий и сооружений, но помимо плюсов, у блоков есть недостатки – они требуют дополнительной наружной отделки, что представляет собой весьма трудоёмкий процесс.

Данную проблему можно решить путем получения декоративных бетонов на основе специальных систем, таких как коллорирующий гранулированный наноструктурирующий запонитель (ГНЗ) или с использованием пигментов из отходов (шламов) скважинной гидродобычи железных руд [1], что может стать альтернативой традиционно используемым материалам.

Гранулированный наноструктурирующий заполнитель, способный к активному взаимодействию с цементной матрицей позволяет получить композит, на качественно новом уровне отвечающий требованиям по прочности и теплопроводности. Так же такой заполнитель расширяет пространство для разработки новых архитектурных эффектов: окрашивания и создания особой фактуры. Так, например, бетон на этом заполнителе можно подвергнуть как внешнему окрашиванию, так и применить окрашивание изнутри по всему объёму. Это связано с одной из особенностей заполнителя –

продолжительным действием. Изготовление бетонных конструкций на его основе идёт в две стадии. На начальной стадии гранулированный заполнитель выполняет функцию «инертного» заполнителя, то есть не взаимодействует с цементной матрицей, в результате чего образуется композит с плотной не пористой структурой. Далее при тепло-влажностной обработке изделий оболочка заполнителя пропускает содержащиеся в грануле вещества в результате их взаимодействия. Именно вторая стадия даёт возможность внедрения процесса окрашивания к уже существующим процессам упрочнения цементного камня и формирования микропор. Кроме того, такая технология окрашивания позволяет цвету сохраняться дольше, нежели при поверхностном окрашивании [2].

Пигменты, используемые в цветных декоративных бетонах, должны обладать высокой свето-атмосферо- и щелочестойкостью. Пигменты и красители позволяют получить широкую гамму цветов, но они активно вступают в реакции твердения цементной матрицы, ухудшая свойства готового бетона, за исключением пигментов из отходов (шламов) скважинной гидродобычи железных руд.

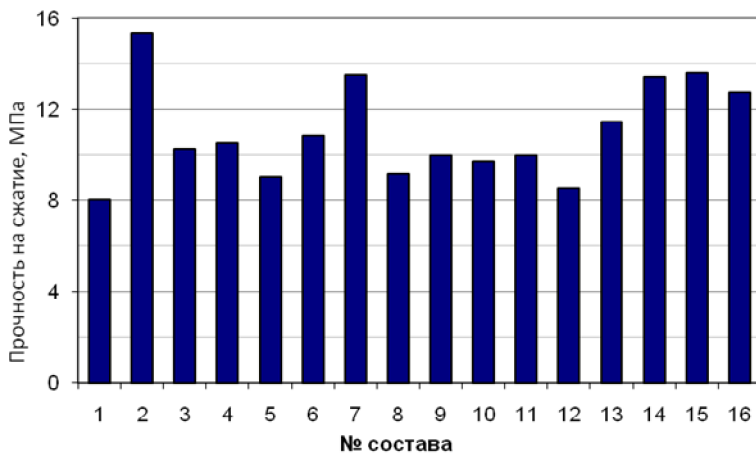


Рис. 1. Зависимости прочности на сжатие декоративного бетона в зависимости от состава.

Для исследования свойств декоративных бетонов были взяты различные колорирующие компоненты, которые вводились в разном

количестве как непосредственно в бетонную смесь (состав 1–6), так и при получении ГНЗ (состав 7–15). Затем были определены физико-механические свойства полученных образцов. Анализ прочностных характеристик (рис. 1) показал, что наибольшие прочности наблюдались у образцов № 2 (пигмент из отходов (шламов) скважинной гидродобычи железных руд), №7 (ГНЗ с добавкой красителя пуансо), №14 (ГНЗ с добавкой тетрабром-м-крезолсульфоталеина), №15 (ГНЗ с добавкой метилрота), их прочности были выше контрольного образца № 16.

Таким образом, были получены декоративные бетоны с использованием различных колорирующих компонентов, которые позволят расширить рынок существующих на данный момент декоративных материалов.

Список литературы:

1. *Лесовик, В.С.* Природные железистые пигменты КМА / В.С. Лесовик, Т.П. Стрельцова // Здоровье населения – стратегия развития среды жизнедеятельности: в 2 т.: сб. ст. к Общему собранию РААСН / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Москва–Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – Т. 2. – С. 251–256.
2. *Максаков, А.В.* Современные строительные теплоэффективные материалы / Максаков А.В., Соловьева Л.Н. // Создание новых материалов для эксплуатации в экстремальных условиях: сб. тр. – Якутск: ПаблИш Групп, 2009. – С. 85–87с.

ДОРОЖНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАБИЛИЗАТОРА ГРУНТА

**Строкова В.В., д-р техн. наук, профессор,
Дмитриева Т.В., аспирант**

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В настоящее время во многих регионах России намечена тенденция роста объемов строительства объектов транспортной сферы, в том числе в соответствии с Национальной программой «Модернизация и развитие автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года». Однако на данных территориях наблюдается дефицит традиционных каменных материалов, что определяет их высокую стоимость и вызывает увеличение себестоимости объектов строительства. В связи с этим перспективным направлением является разработка составов грунтобетона на основе местных глинистых пород с учетом их генетических особенностей. Данное направление особенно актуально для районов с овражно-балочной системой, так как позволяет уменьшить объем земляных работ при строительстве автомобильных дорог. А также для районов, на территории которых находятся отвалы неселективных глинистых пород, образованных при добыче полезных ископаемых.

К числу таких территорий относится регион КМА, на основе сырьевых материалов которого велась апробация данной работы.

Разработкой составов грунтобетонов занимались множество научных школ. Так, использованием неорганических вяжущих в их составе занимался Безрук В.М. [1]. Под руководством Бируля А.К. выполнялся комплекс исследований по укреплению грунтов органическими вяжущими [2].

Анализ результатов их работ показал, что составы на основе неорганических вяжущих отличаются высокой жесткостью, обладают низким показателем предельного относительного удлинения и, соответственно, высоким трещинообразованием. Органическое вяжущее способствует развитию колеообразования, а также пластических деформаций слоя основания. Однако характер влияния минерального состава глинистых пород на технико-эксплуатационные показатели грунтобетона был рассмотрен весьма поверхностно.

Использование цемента при производстве грунтобетона сопряжено с низкой водостойкостью глинистых пород, что вызывает перерасход

вяжущего компонента [3]. Одним из путей решения является комплексное укрепление, предполагающее использование цемента и стабилизатора [4].

В качестве сырьевых компонентов грунтобетонной смеси для изучения возможности влияния стабилизатора на свойства системы «глинистые породы – стабилизатор – цемент – вода» были использованы глинистые породы региона КМА эоцен-четвертичного и среднеюрского возраста, стабилизатор грунта «Дорзин» и цемент марки ЦЕМ I 42,5 Н, произведенный на Белгородском цементном заводе.

В соответствии с результатами лабораторных исследований глинистые породы согласно ГОСТ 25100–95 по содержанию песчаных зерен и числу пластичности относятся к следующим видам: пробы №№ 4, 5 – суглинок легкой пылеватый, №№ 1, 6 – суглинок тяжелый пылеватый, а №№ 2, 3 – глина легкая пылеватая.

Количественный минеральный анализ пород, проводимый прямым методом рентгеновской дифрактометрии (табл. 1), показал, что они являются полиминеральными системами с преобладанием частиц кварца (в образцах среднеюрского периода №№ 4, 6 – более 50 %). Из слоистых силикатов, высокое содержание смектита отмечено в пробах № 3 – 65 % и № 2 – 25%.

Таблица 1

Минеральный анализ глинистых пород КМА

№ образца	Кварц	Плагиоклаз	КШШ	Карбонаты	Слюда	Амфиболы	Гипс	Иллит	Гидрослюда	Каолинит	Хлорит	Смектит	RAS
1	51	5	7	5	–	1	–	5	1	4	2	5	14
2	38	–	1	–	–	–	–	–	1	2	–	25	33
3	34	–	–	–	–	–	–	–	–	1	–	65	–
4	79	–	3	–	–	–	2	3	1	3	2	2	5
5	38	–	6	–	2	–	3	12	6	9	6	6	12
6	52	–	9	–	–	–	3	8	2	10	5	4	7

Таким образом, грунты, имеющие одинаковые значения числа пластичности и содержания песчаных зерен и, как следствие, относящиеся к одному виду грунтов, могут отличаться по минеральному составу. Данное обстоятельство вызывает различие физико-механических характеристик, как исходного сырья, так и материалов на его основе, что не учитывается при разработке составов грунтобетонов.

Для апробации теоретических исследований, определения оптимальных составов и эффективных областей использования глинистых пород КМА было опробовано введение компонентов смеси с определенным шагом варьирования. Диапазон содержания цемента принят от 0 до 10%, шаг варьирования – 2%, содержание «Дорзина» – 0,002% от массы смеси. Содержание добавки идентично во всех составах и соответствует верхней границе диапазона разработчиков [5], а также коррелирует с результатами исследований по определению оптимального значения данной величины.

Анализ прочностных характеристик грунтобетона (табл. 2) показал, что оптимальное количество вводимого цемента составляет 6–8%, что позволяет получить прочностные показатели для исследуемых глинистых грунтов, соответствующие маркам по прочности М40–М60 и морозостойкости F15–F20, определяемые в соответствии с ГОСТ 23558–94. Введение 10% цемента позволяет использовать грунтобетон при устройстве дорожной одежды капитального типа, соответствующего марке по прочности М60 и морозостойкости F25.

Для уточнения правильности принятого решения о применении «Дорзина» для производства грунтобетонов в лабораторных условиях были заформованы образцы дорожно-строительного материала аналогичные выше рассмотренным составам, но без дополнительного введения стабилизатора.

Анализ результатов исследования (табл. 2) показал, что введение добавки позволяет сократить количество вяжущего в составе композита на 30–40% без изменения его прочностных характеристик. Также отмечены низкие показатели морозостойкости грунтобетона без добавки, особенно при малом содержании вяжущего.

Объясняется это тем, что алюмосиликатная составляющая грунтобетонов в бездобавочных образцах интеркалирует и адсорбирует воду в межпакетных и межслоевых промежутках, а также аккумулирует ионы Ca^{2+} , формирующиеся в процессе гидратации, что в большей степени приводит к накоплению остаточных деформаций, способствующих разуплотнению композита.

Также отмечено влияние минерального состава глинистых пород на свойства грунтобетона. Породы с высоким числом пластичности (обр. №№ 2, 3) показывают невысокие характеристики в цементогрунтовых системах в связи с высоким содержанием минералов группы смектита и рентгено-аморфного вещества.

Однако применение стабилизатора позволяет свойства данного типа пород приблизить к свойствам суглинистых грунтов, что

положительно влияет на характеристики конечного композита. Каркасные силикаты и алюмосиликаты выступают в роли заполнителя при введении стабилизатора, следовательно, содержание кварца в составе пород не оказывает никакого влияния на свойства грунтобетона.

Характеристики	Содержание цемента, %													
	Составы на основе стабилизированного грунта с щебенком							Составы цементогрунта						
	0	2	4	6	8	10	4	6	8	10	12	14		
	Грунты из оставившаяся – ОБРАЗЕЦ №1													
Предел прочности при сжатии, МПа	4,2	4,5	4,8	5,6	6,9	7,2	4,0	4,2	4,5	5,8	6,9	7,2		
Предел прочности при растяжении, МПа	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,8	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,8		
Марка по прочности	М40	М40	М40	М40	М60	М60	М40	М40	М40	М40	М60	М60		
Марка по морозостойкости	F5	F5	F10	F15	F15	F25	F0	F5	F10	F10	F15	F15		
	Грунты из оставившаяся – ОБРАЗЕЦ №2													
Предел прочности при сжатии, МПа	4,2	4,5	4,8	5,6	6,2	7,0	3,8	4,5	4,8	5,6	6,2	7,0		
Предел прочности при растяжении, МПа	1,0	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6	1,0	1,1	1,3	1,5	1,5	1,6		
Марка по прочности	М40	М40	М40	М40	М60	М60	М20	М40	М40	М40	М60	М60		
Марка по морозостойкости	F5	F5	F10	F15	F15	F25	F0	F5	F5	F5	F10	F10		
	Грунты из оставившаяся – ОБРАЗЕЦ №3													
Предел прочности при сжатии, МПа	4,3	4,5	4,7	5,5	6,5	7,1	3,9	4,5	4,7	5,5	6,5	7,1		
Предел прочности при растяжении, МПа	0,9	1,0	1,3	1,5	1,5	1,5	0,9	1,0	1,3	1,5	1,5	1,5		
Марка по прочности	М40	М40	М40	М40	М60	М60	М20	М40	М40	М40	М60	М60		
Марка по морозостойкости	F5	F5	F10	F15	F15	F25	F0	F0	F5	F5	F10	F10		
	Грунты из оставившаяся – ОБРАЗЕЦ №4													
Предел прочности при сжатии, МПа	4,0	4,6	4,8	5,5	6,5	7,1	4,0	4,6	4,8	5,5	6,5	7,1		
Предел прочности при растяжении, МПа	1,4	1,5	1,5	1,7	1,7	2,0	1,4	1,5	1,5	1,7	1,7	2,0		
Марка по прочности	М40	М40	М40	М40	М60	М60	М40	М40	М40	М40	М60	М60		
Марка по морозостойкости	F5	F10	F10	F15	F20	F25	F0	F5	F10	F15	F15	F20		
	Грунты из оставившаяся – ОБРАЗЕЦ №5													
Предел прочности при сжатии, МПа	4,1	4,4	4,6	5,4	6,4	6,9	4,1	4,4	4,6	5,4	6,9			
Предел прочности при растяжении, МПа	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9		
Марка по прочности	М40	М40	М40	М40	М60	М60	М40	М40	М40	М40	М60	М60		
Марка по морозостойкости	F5	F10	F10	F15	F15	F25	F0	F5	F10	F15	F15	F20		
	Грунты из оставившаяся – ОБРАЗЕЦ №6													
Предел прочности при сжатии, МПа	4,1	4,5	4,7	5,6	6,5	7,0	4,0	4,5	4,7	5,6	6,5	7,0		
Предел прочности при растяжении, МПа	1,4	1,4	1,6	1,6	1,7	1,8	1,4	1,4	1,6	1,6	1,7	1,8		
Марка по прочности	М40	М40	М40	М40	М60	М60	М40	М40	М40	М40	М60	М60		
Марка по морозостойкости	F5	F5	F10	F15	F15	F25	F0	F5	F10	F10	F15	F15		

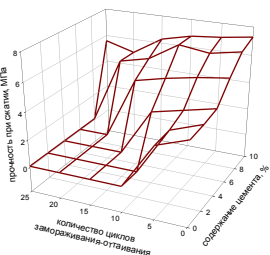


Рис. 1. Номограмма определения количества цемента для получения грунтобетонov заданной марки (для обр. № 1)

В результате исследований изменения прочности грунтобетонov на основе глинистых пород региона КМА, укрепленных различным количеством цемента с учетом введения стабилизатора грунта «Дорзин», разработаны номограммы (рис. 1) зависимости прочностных показателей от количества циклов замораживания-оттаивания для каждого из рассматриваемых типов грунта. Они позволяют решать задачи подбора состава для заданной прочности и

морозостойкости грунтобетона при строительстве конструктивных слоев дорожных одежд. Построение подобных номограмм для других типов сырья потребует дополнительных экспериментальных исследований физико-механических характеристик грунтобетонov.

Таким образом, изучение физико-механических свойств грунтобетонov на основе глинистых пород с учетом требований, предъявляемых к дорожно-строительным материалам, позволило сделать вывод о пригодности данного вида укрепленного материала для строительства конструктивных слоев дорожных одежд. Использование стабилизатора способствует уменьшению расхода цемента при получении грунтобетона для дорожного строительства при сохранении технико-эксплуатационных характеристик, а также позволяет использовать в составе композита глины с высоким числом пластичности, вывозимые в отвалы при традиционном способе организации работ.

Список литературы

1. Безрук, В.М. Укрепленные грунты / В.М. Безрук. – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.
2. Бируля, А.К. Новые конструкции оснований для дорожных покрытий / А.К. Бируля. // Строительство дорог. – 1989. – № 6. – С. 45 – 48.
3. Могилевич, В. М. Дорожные одежды из цементогрунта / В.М. Могилевич, Р.П. Щербакова, О.В. Тюменцева. – М.: Транспорт, 1973. – 216 с.
4. Карацупа, С.В. Укрепление глинистых пород в дорожном строительстве / С.В. Карацупа, Е.А. Яковлев, Т.В. Дмитриева // Вестн. БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2008. – № 3. – С. 12–15.
5. Биопрепараты. Дорзин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.oksizin.ru/dorzin.php.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛИОКСАЛЬСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ КОМПОЗИТОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Строкова В.В.,¹ д-р. техн. наук, профессор,
Князев А.С.,² канд. техн. наук,
Нелюбова В.В.,¹ канд. техн. наук,
Бондаренко А.И.,¹ аспирант,
Лебедев М.С.,¹ аспирант**

*¹Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г.Шухова*

*²Национальный исследовательский Томский
государственный университет*

В настоящее время рынок строительных материалов очень насыщен и имеет достаточно высокий уровень конкуренции, подталкивающей предприятия отрасли к постоянному повышению качества выпускаемой и освоению производства новых видов продукции. Это требует от производителей перехода на новые технологии и внедрение различных решений, способствующих повышению качества выпускаемой продукции.

В то же время проблему создания высокоэффективных материалов нового поколения невозможно решить традиционными способами. В связи с этим необходимым является разработка принципов проектирования высококачественных строительных материалов с управляемым структурообразованием на микро- и наноуровне. Переход к использованию наносистем и нанотехнологических методов при разработке новых видов строительных материалов позволит в значительной степени повысить их конструкционные качества: прочность, износостойкость, термическую и химическую стойкость.

В последнее время широкое распространение получило использование наноразмерных добавок для осуществления направленного структурообразования строительных композитов. Имеющиеся в настоящее время добавки разнообразны по своему составу и свойствам и применяются с целью регулирования качества бетонных смесей и придания бетонам специальных свойств. При этом лидером по производству качественных добавок различного назначения является страны Европы.

Анализ зарубежных публикаций свидетельствует о перспективности использования такого ценного химического соединения как глиоксаль.

Глиоксаль – органическое вещество, близкое по свойствам к формальдегиду, но превосходящее его по химической активности и не обладающее токсическим действием.

Глиоксаль поставляется в виде 40 %-ного водного раствора. Мировое производство глиоксаля составляет более 300 000 тонн в год. Первое коммерческое производство началось в Lamotte, Франция, в 1960 и сейчас принадлежит Clariant. Единый большой производитель – BASF в [Людвигсхафен-на-Рейне](#), Германия, с производительностью 60,000 тонн/год. Только два производства глиоксаля есть в Америке (Geisner, LA and Charlotte, NC). Значительное производство недавно началось в Китае.

В настоящее время Россия – восьмая страна в мире, которая владеет технологией синтеза этого ценного химического соединения.

Глиоксаль, как высокоактивное вещество низкого токсического действия, входит в состав более 2000 материалов, в связи с чем находит свое применение в различных областях промышленности.

Одной из перспективных областей использования глиоксаля является производство строительных материалов. По предварительным данным введение глиоксальсодержащих компонентов в сверхмалых дозировках в цементную матрицу способствует существенному повышению прочностных характеристик готовых изделий, а также придает материалу ряд особых свойств: бактерицидных, адгезионных и др.

Кроме того, в настоящее время разработан стабилизатор грунта, используемый для укрепления грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. Обработка дорожного полотна указанным стабилизатором повышает такие важные характеристики дорожных покрытий как водостойкость и морозостойкость.

Использование глиоксаля в строительных материалах, в первую очередь, существенно расширит области его использования, а также позволит инициировать масштабные разработки, связанные с внедрением новых коммерчески привлекательных продуктов.

ВЛИЯНИЕ ГЕНЕЗИСА КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО НАНОСТРУКТУРИРУЮЩЕГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

**Строкова В.В., д-р техн. наук, профессор,
Соловьева Л.Н., канд.техн. наук, ст. преподаватель,
Максаков А.В., аспирант,
Огурцова Ю.Н., аспирант**

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова*

В последние годы возрастают темпы индивидуального жилищного домостроения, в связи, с чем увеличивается потребность в мелкоштучных стеновых изделиях на основе легких бетонов.

На базе БГТУ им. В.Г. Шухова разработан конструкционно-теплоизоляционный бетон с использованием гранулированного наноструктурирующего заполнителя пролонгированного действия [1]. Одним из направлений дальнейших исследований по созданию эффективных легких бетонов является расширение минерально-сырьевой базы компонентов гранулированного наноструктурирующего заполнителя пролонгированного действия с целью адаптации технологии производства данного вида материалов в различных регионах в привязке к запасам кремнеземсодержащих сырьевых компонентов с достаточной реакционной активностью.

Гранулированный наноструктурирующий заполнитель (ГНЗ) представляет собой гранулы размером 5–10 мм, состоящие из ядра и защитной оболочки [2]. Защитная оболочка вокруг ядра гранулы, состоящая из молотой извести и кремнефтористого натрия, не позволяет воднорастворимому гидроксиду щелочного металла перейти в раствор при приготовлении бетонной смеси, формовании и твердении бетонных образцов, причем кремнефтористый натрий обеспечивает достаточную водостойкость гранулированному композиционному заполнителю [3].

Для получения гранулированного наноструктурирующего заполнителя возможно использование различного кремнеземсодержащего сырья природного и техногенного происхождения [4]. В силу различного генезиса данное сырье обладает индивидуальными показателями по реакционной способности при тепловом воздействии.

По предварительным данным по природным запасам кремнеземсодержащего сырья, на территории РФ наибольшее распространение имеют несколько видов пород, такие как опока, трепел, диатомит, перлит. Каждый из этих видов имеет свои показатели по содержанию аморфного кремнезема, что предопределяет их использование для производства ГНЗ.

В ходе исследований для изготовления ГНЗ использовались кремнеземсодержащие компоненты различного происхождения: водный SiO_2 , опока Коркинского месторождения (Челябинская обл.), опока Ванькинского месторождения (респ. Мордовия), трепел Фокинского месторождения (Брянская обл.), трепел (респ. Белоруссия), вспученный перлит (ООО «Бентопром»).

Химический и минералогический состав этих материалов разнороден и зависит от генезиса. Так опока и трепел являются сопутствующими осадочными горными породами при добыче карбонатного сырья, а водный SiO_2 и вспученный перлит являются продуктами техногенного синтеза. При производстве ГНЗ использование кристаллических кремнистых пород не возможно из-за низкой активности закристаллизованного кремнезема.

На конечные показатели бетона влияет начальная активность компонентов ГНЗ, которая проявляется при тепловлажностной обработке во время взаимодействия составляющих гранулированного заполнителя. В результате происходящей реакции синтезируется наноструктурирующий раствор силикатов натрия, который диффундирует в толщу цементной матрицы, заполняя все поры и трещины, т.е. все пространственные дефекты. Через некоторое время происходит отверждение рабочей жидкости, за счет реакции полимеризации кристаллов силиката натрия, при каталитическом воздействии компонентов оболочки заполнителя [3].

Исследование активности кремнеземсодержащих компонентов проводилось по следующей методике: составляющие ядра ГНЗ смешивались и подвергались тепловлажностной обработке (ТВО), при этом содержание щелочи составляло 15...30 % от массы кремнеземсодержащего компонента. После ТВО определялся объем неореагировавшего вещества ГНЗ.

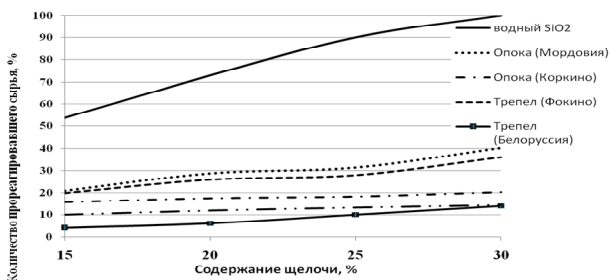


Рис. 1. Зависимость реакционной способности кремнеземистого сырья от его происхождения и содержания щелочи

Результаты проведенных исследований (рис. 1) показали, что в процессе ТВО, наибольшей активностью обладает водная гидроокись кремния, которая полностью растворилась при добавлении 30 % щелочи. Далее по степени снижения активности сырья можно расположить в следующей последовательности: опока Ванькинского месторождения (респ. Мордовия) – максимальная растворимость которой достигла 42 %, трепел Фокинского месторождения (Брянская обл.) – 37 %, опока Коркинского месторождения – 21 %, вспученный перлит – 15 % и трепел из республики Белоруссия – 14 %, которые проявили наименьшую активность среди всех остальных. Таким образом, нами была подобрана методика по определению реакционной активности кремнеземосодержащего сырья с целью оценки его качества для получения ГНЗ.

Список литературы:

1. *Строкова, В.В.* Конструкционные легкие бетоны на основе активных гранулированных заполнителей [Текст] / В.В. Строкова, В.И. Мосьпан, Л.Н. Соловьева, А.П. Гринев // Строительные материалы. – 2009. – № 1 – С. 23–26
2. Пат. 2361834 Российская Федерация, МПК С 04 В 28/04, С 04 В 20/00. Гранулированный заполнитель на основе природных осадочных высококремнеземистых пород для бетонной смеси, состав бетонной смеси для получения бетонных строительных изделий, способ получения бетонных строительных изделий и бетонное строительное изделие / Строкова В.В., Соловьева Л.Н., Ходыкин Е.И., Гринев А.П., Сопин Д.М., Мосьпан А.В.; заявитель и патентообладатель Госуд. образов. учреждение высшего профес. образования Белгор. госуд. технол. унив-т им. В. Г. Шухова – № 2007142321/03; заявл. 15.11.07.; опубли. 20.07.09, Бюл. № 20. – 11 с.

3. *Максаков, А.В.* Современные строительные теплоэффективные материалы / А.В. Максаков, Л.Н. Соловьева // Создание новых материалов для эксплуатации в экстремальных условиях: сб. тр. – Якутск: ПаблИш Групп, 2009. – С. 85-87.
4. *Ходыкин, Е.И.* Перспективы использования кремнеземсодержащего сырья для получения гранулированного заполнителя легких бетонов [Текст] / Е.И. Ходыкин, Л.Н. Соловьева, А.В. Мосьпан // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ. – 2008. – № 1. – С. 9–11.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ПЕРЛИТОВОМ СЫРЬЕ

**Сулейманова Л.А., канд. техн. наук, профессор,
Ширина Н.В., канд. техн. наук, ст. преподаватель,
Ищенко К.М., аспирант,
Башлыкова К.А., студент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Вопросы рационального использования ресурсов, экономии топлива и энергосбережения приобретают все большую актуальность в современном мире. Экономия топливно-энергетических ресурсов, повышение эффективности тепловой защиты зданий и сооружений, промышленных объектов, внедрение энергоэффективных технологий и материалов являются приоритетными направлениями в развитии как российской, так и мировой экономики.

Важная роль в решении проблемы энергосбережения и экономии тепловой энергии принадлежит высокоэффективной строительной и промышленной тепловой изоляции.

В промышленно развитых странах наблюдается интенсивное развитие промышленности теплоизоляционных материалов. В России ее темпы также значительны, как за счет строительства новых предприятий, так и за счет импортных поставок. Вместе с тем, сравнительный анализ показывает, что в России объемы производства теплоизоляционных материалов в пересчете на душу населения в 4...5 раз ниже, чем в таких странах, как Швеция, Финляндия, Германия и США, а в связи с ускоренным развитием строительного комплекса потребность в эффективных утеплителях в России существенно возрастает [1, 2].

Среди эффективных и перспективных теплоизоляционных материалов можно выделить материалы, получаемые с использованием перлитового песка.

Месторождения перлитового сырья есть во многих странах: в Греции, Турции, Болгарии, Италии, США, Монголии, Украине и России. Производство вспученного перлита также развито во всем мире. Перлит применяется, прежде всего, там, где необходима эффективная изоляция, пожаробезопасность, долговечность и экологическая чистота.

В настоящее время большое внимание уделяется организации новых мощностей по производству теплоизоляционных материалов с

использованием перлитов по ресурсо- и энергосберегающим технологиям.

В сложившихся экономических условиях требуется технология производства, которая обеспечивала бы:

- минимальные капитальные затраты на организацию производства и кратчайший срок их возврата;

- получение материала, удовлетворяющего современным требованиям по плотности, теплопроводности, прочности, долговечности, экологичности и стоимости;

- при этом была не требовательной к сырью, к производственным площадям, климатическим условиям и инфраструктуре.

Предприятием ООО «Бентопром» (г. Старый Оскол, Белгородской области) организовано производство высокоэффективного вспученного перлитового песка, соответствующего требованиям ГОСТ 10832-91 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия», а в качестве вторичного продукта – перлитовой пудры, полученной путем осаждения в очистных аппаратах частичек материала со средним размером частиц 30...70 мкм.

Для получения эффективных теплоизоляционных материалов применялись перлитовый песок насыпной плотностью 100 кг/м³, перлитовая пыль насыпной плотностью 50 кг/м³, портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Белгородский цемент», соответствующий требованиям ГОСТ 31108-2003 с минералогическим составом, мас. %: C₃S – 60±2, C₂S – 17±2, C₃A – 7±1, C₄AF – 13±1; битум нефтяной строительный марки БН 70/30, соответствующий ГОСТ 6617-94; жидкое стекло плотностью 1250...1350 кг/м³, известь соответствующая требованиям ГОСТ 9179-77 «Известь строительная. ТУ» со следующими показателями: содержание активных CaO + MgO – 77,3 %, содержание MgO – не более 5 %, время гашения – 4 мин, температура гашения – 73°C; непогасившихся частиц – не более 10 %, количество пережога – не более 2 %, ПВА, суперпластификатор Melflux 1641 F, водоудерживающая добавка – эфир целлюлозы Tylose марки МН 60010 Р4 (Clariant GmbH, Германия), редиспергируемый сополимерный порошок Mowilith Pulver (Clariant GmbH, Германия), порообразователь, смачиватель и пластификатор Hostapur OSB, загуститель Tylovis SE 7, гидрофобизатор Ceasit I, волокна целлюлозы Technocel, вода водопроводная по ГОСТ 23732-79.

Вспученный перлитовый песок и перлитовая пудра испытывались по ГОСТ 9758-86 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний». Характеристика основных свойств перлитового песка представлена в табл. 1.

Характеристика основных свойств вспученного перлитового песка

Основные свойства	Показатели
Марка по насыпной плотности	100
Группа по зерновому составу	средний
Насыпная плотность фракций, кг/м ³ :	
1,25...2,5 мм	68,4
0,63...1,25 мм	114,9
0,315...0,63 мм	140
0,16 (0,14)...0,315 мм	142,8
0...0,16 (0,14) мм	153,8
Теплопроводность при температуре (25 ± 5) °С, Вт/(м·°С)	0,052
Влажность, %	2

Минералогический состав вспученного перлитового песка и пудры исследовался методом рентгенофазового анализа и представлен на рис. 1, 2.

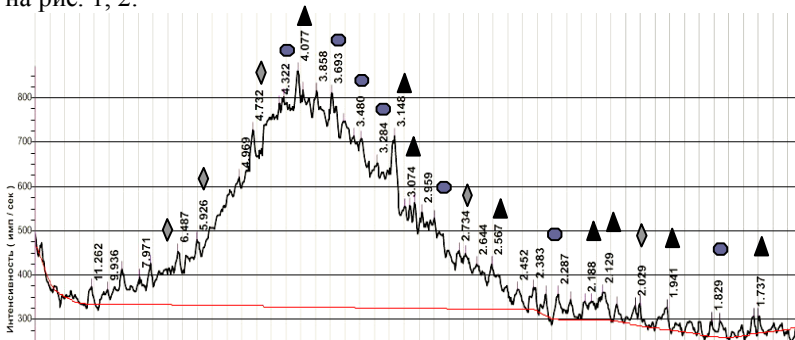


Рис. 1. Дифрактограмма вспученного перлитового песка производства ООО «Бентопром»: кристобалит – ▲, тридимит – ●, полевого шпата – ◆

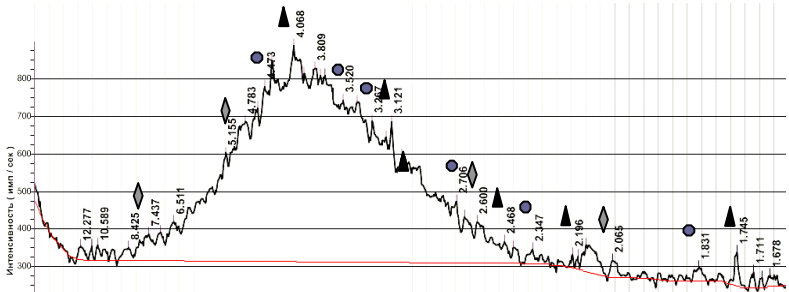


Рис. 2. Дифрактограмма перлитовой пыли производства ООО «Бентопром»: кристобалит – ▲, тридимит – ●, полевого шпата – ◆

Изучение микроструктуры вспученного перлитового песка и пудры проводилось с помощью метода растровой ионно-электронной микроскопии на растровом ионно-электронном микроскопе Quanta 200 3D в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» национального исследовательского университета «БелГУ» (рис. 3).

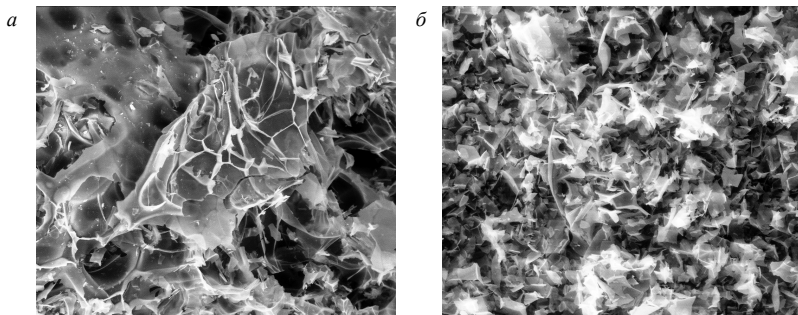


Рис. 3. Микроструктура перлитового песка (а) и перлитовой пыли (б) (увел. $\times 500$)

Также проведен химический анализ (табл. 2), исследован гранулометрический состав перлитовой пыли и сопоставлен с гранулометрией портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО «Белгородский цемент» (рис. 4, табл. 3, 4).

Таблица 2

Химический состав перлитовой пыли

Основные оксиды, масс. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	н.о.
	75±0,5	12,5±0,5	0,7±0,05	1,6±0,1	95,5±0,5

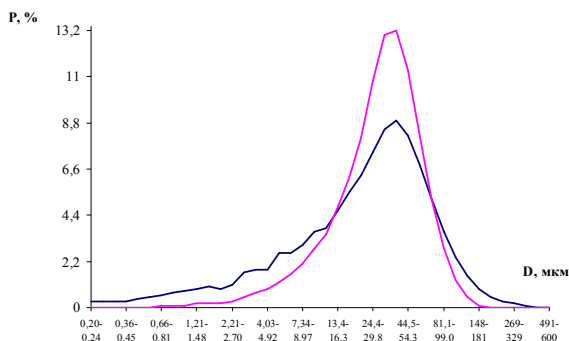


Рис. 4. Весовое распределение частиц цемента и перлитовой пыли по размерам:
 — портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н; — перлитовая пыль

Таблица 3

**Соответствие весовой доли частиц (P , %) заданным значениям
размеров частиц**

Цемент	3,4	8,9	13,6	19,7	23,4	59,5	75,1	90,1	94,1	98
Перлитовая пыль	0,4	1,6	3,5	7	9,7	54,8	77,6	95,1	98,3	100
D , мкм	1	3	5	8	10	35	50	80	100	150

Таблица 4

**Соответствие размеров частиц (D , мкм) заданным значениям
весовой доли**

Цемент	3,38	8,15	14,1	20,7	27,8	35,4	44,3	56,8	79,8	600
Перлитовая пыль	10,2	16,8	22,4	27,6	32,5	37,8	44	52,3	66	600
P , %	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Использование перлитового песка и пудры позволяет существенно снизить среднюю плотность ячеистого бетона, силикатного, керамического кирпича, керамзита. Предварительные исследования свидетельствуют о том, что с применением, например, перлитовой пудры можно на 40 % снизить среднюю плотность ячеистого бетона, на 50 % – силикатного и керамического кирпича, на 50 % и более – керамзита. Кроме того, с использованием вспученного перлитового песка и пудры установлена возможность изготовления высокоэффективных энергосберегающих легких растворов (сухих смесей) (рис. 5, а) со средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 400 \dots 800 \text{ кг/м}^3$, прочностью на сжатие $R_{\text{сж}} = 1 \dots 4 \text{ МПа}$ и коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,1 \dots 0,2 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, теплоизоляционной штукатурки (рис. 5, б) со средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 440 \dots 490 \text{ кг/м}^3$, прочностью на сжатие $R_{\text{сж}} = 2,2 \dots 2,22 \text{ МПа}$, водоудерживающей способностью 91,8...93,9 %, прочностью сцепления с основанием 0,26...0,28 МПа, водопоглощением при капиллярном подсосе 4,44...4,82 кг/м^2 , коэффициентом паропроницаемости 0,06...0,11 $\text{мг/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$, теплопроводностью $\lambda = 0,09 \dots 0,12 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ и маркой по морозостойкости F75, битумперлита для тепловой изоляции трубопроводов и бесканальной прокладки теплотрасс и кровель (рис. 6) со $\rho_{\text{ср}} = 200 \dots 400 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda = 0,056 \dots 0,08 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, пластперлита со средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 120 \dots 300 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda = 0,051 \dots 0,08 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, силикатоперлита (рис. 7, а) со средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 180 \dots 300 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии $R_{\text{сж}} = 0,25 \dots 0,8 \text{ МПа}$ и теплопроводностью $\lambda = 0,09 \dots 0,124 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, стеклоперлита (рис. 7, б) со средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 180 \dots 300 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии $R_{\text{сж}} = 0,46 \dots 1,3 \text{ МПа}$ и теплопроводностью $\lambda = 0,062 \dots 0,09 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, соответствующие требованиям нормативных документов.

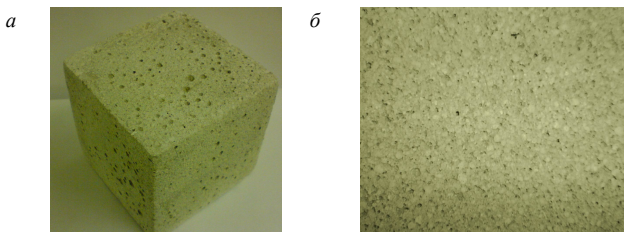


Рис. 5. Теплоизоляционные легкий раствор (а) и штукатурка (б)

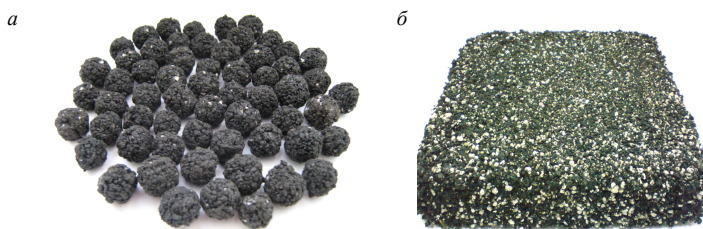


Рис. 6. Гранулированный битумоперлит (а) и прессованный битумоперлит (б)

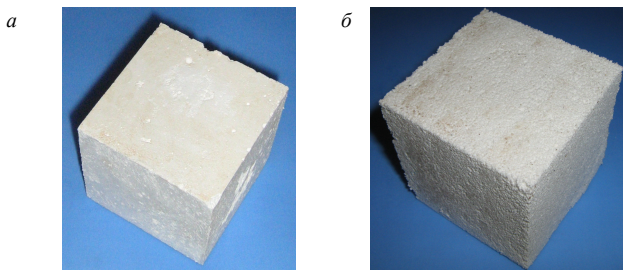


Рис. 7. Силикаперлит (а) и стеклоперлит (б)

На основе разработанных материалов можно изготавливать высокоэффективные теплоизоляционные изделия – важные элементы энергосбережения, комфортности жилья, сохранения экологической стабильности.

Список литературы:

1. *Кочергин, С.М.* Теплоизоляция. Материалы, конструкции, технологии: справочное пособие [Текст] / Под ред. С.М. Кочергин. – М.: Стройинформ, 2008. – 440 с.
2. *Коляда, С.В.* Перспективы развития производства строительных материалов в России до 2020 г. [Текст] / С.В. Коляда // Строительные материалы. – 2008. – № 6. – С. 4–7.

СОЗДАНИЕ НЕОКОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Сумин А.В., студент,
Бухало А.Б., канд. техн. наук, ст. преподаватель
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Будущее строительного материаловедения во многом связано с применением нанотехнологических подходов — внедрения процессов формирования структуры современных строительных материалов, предусматривающих их сборку или самосборку «снизу-вверх», то есть дизайн материала или изделия, который заключается в контролируемом и управляемом воздействии на процесс структурообразования, начиная с наноразмерного уровня. Результатом такого подхода будет получение новых по составу и качественно отличающихся по структуре и свойствам конструкционных, теплоизоляционных, отделочных и других материалов, в полной мере отвечающих современным тенденциям развития архитектурных форм, конструктивных решений и технологии возведения объектов промышленного и гражданского назначения.

Сейчас бетоноведение находится на переломном этапе. Все более очевидной становится роль микро-, ультра- и нанодисперсных частиц в многочисленных физико-химических процессах, влияющих на конечные свойства бетона.

Так же настоящее время найдены новые возможности усовершенствования вяжущих материалов и технологии бетонных работ. Эти возможности связаны с принципиально новыми методами использования суперпластификаторов, созданием на основе нового класса вяжущих веществ - Вяжущих Низкой Водопотребности (ВНВ).

Совмещая эти два подхода, применяя новый вид суперпластификаторов и применяя нанокристаллистый модификатор можно получать совершенно новые строительные материалы с высокими технико-экономическими показателями.

Традиционные пластификаторы (СДБ, ЛСТ, С-3) представляют собой полианионные поверхностно-активные вещества. Принцип их действия - электростатическое диспергирование - основывается на сильном смещении ξ -потенциала частиц в отрицательную область.

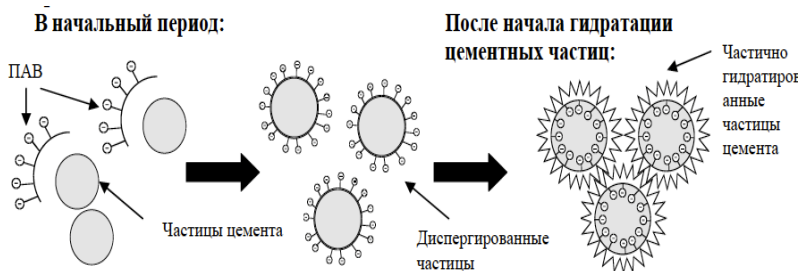


Рисунок 1. Схематическое изображение дисперсии традиционного ПАВ

Частицы ПАВ, имеющие отрицательный заряд, оседают на поверхности зерен с положительным зарядом. Поэтому частицы цемента на поверхности получают отрицательный заряд и отталкивают друг друга. При росте продуктов гидратации наблюдается резкое падение пластифицирующего эффекта. Это происходит благодаря поверхностной хемосорбции, приводящей к пассивизации суперпластификаторов.

Действие пластификаторов нового типа основано на совокупности электростатического и стерического (пространственного) эффектов, которые достигаются с помощью боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекулы поликарбоксилатного эфира.

Пластификатор Castament® принадлежит к группе поликарбоксилатных эфиров (PCE), механизм действия которых основан на принципе электростерического равновесия. Электростерическое равновесие - это комбинация электростатической и стерической (пространственной) стабилизации. Стерическая структура - это структура полимера, характеризующаяся длинными боковыми цепями ("гребенчатая" структура). При стерической структуре вокруг цементных зерен образуется адсорбционный слой, который приводит к снижению внутреннего трения. Полимер пластифицирующей добавки Castament содержит анионоактивные и неионогенные боковые цепи. Они адсорбируются на частицах цемента, вызывая электростатическое отталкивание и эффект пространственного отталкивания.

Основная цепь этих сополимеров состоит из главной полианионной цепи, образованной в результате сополимеризации производных ненасыщенной карбоновой кислоты с ненасыщенными органическими молекулами.

В зависимости от условий синтеза получают поликарбоксилаты с различными длинами боковых полиэфирных цепочек. Это позволяет

создавать материалы с разным соотношением стерического эффекта и анионной активности.

Возможность перехода на новый уровень производства композитов строительного назначения, который будет основан на системности и работе всех компонентов смеси как единой сообщающейся системы на всех размерных уровнях.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ

**Толмачев С.Н., канд. техн. наук, доцент,
Беличенко Е.А., аспирант,
Галкин А.В., мл. научн. сотрудник,
Свинарев М.А., аспирант**
*Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет*

Многие эксплуатационные характеристики бетонов зависят от их структуры. Управление процессами на различных уровнях структуры позволяет обеспечить заданные характеристики бетонов. Поэтому важно установить закономерности структурообразования, особенно на ранних этапах [1]. Прочность и долговечность строительных материалов зависят от свойств и характера структуры, но при этом основное внимание исследователей направлено на первые три уровня структуры бетона: макро-, мезо- и микроструктуры. По сравнению с этим мало внимания уделяют изучению субмикроструктуры. Исследование субмикроструктуры и ее влияния на другие уровни структур бетона является важным для понимания механизма действия наночастиц.

В.С. Лесовик считает [2], что наночастицы, равномерно распределенные в цементном тесте, ускоряют процессы гидратации, заполняют поры, что увеличивает прочность цементного камня, улучшает микроструктуру и взаимодействие цементного теста с наполнителями в бетоне.

М.Н. Ваучский полагает [3], что введенные в бетонную смесь, наночастицы армируют цементный камень, превращая его в композиционный материал.

Ю.В. Пухаренко с соавторами [4] считают, что одним из механизмов действия наночастиц является смещение химического равновесия. Наночастицы способны влиять на процессы гидратации, т.е. могут вызывать изменение растворимости составляющих фаз гидратирующегося цемента. Следствием является изменение поровой структуры цементного камня: объем крупных пор сокращается вследствие перераспределения объема поровой системы в микропоры. Таким образом, формируется равномерно распределенная по объему поровая система с меньшим средним радиусом пор.

Б.В. Гусев [5, 6] с соавторами выдвигают гипотезу о том, что высокую плотность минерального скелета можно получить при условии, что соотношение объемов каждой последующей фракции наполнителя к предыдущей составляет 7:3 (8:3) при диаметре частиц мелкой фракции в 8 – 10 раз меньше, чем крупной. Физическая модель наноструктурированного бетона, предложенная автором, представлена на рис. 1. В исследованиях авторами применяются тонкомолотые наполнители, наночастицы диоксида кремния, нанокремнезем и наночастицы измельченного песка, не исключается использование наночастиц цемента вместо наночастиц песка.

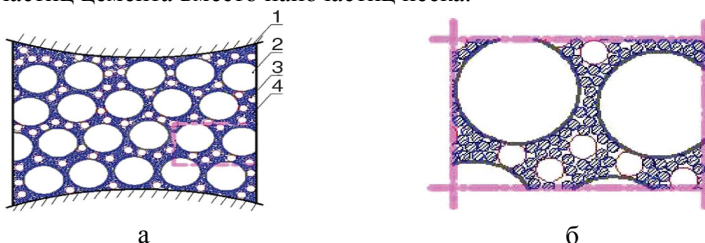


Рис. 1. Наноструктурирование мелкозернистых бетонов:

а)фрагмент наноструктурирования: 1 – частицы песка; 2 – частицы цемента; 3 – тонкомолотые частицы песка размером 0,5–1 мкм; 4 – измельченные частицы нанопеска размером < 100 нм. б)фрагмент наноструктуры пространства между частицами цемента.

Проведенный нами литературный анализ показал, что нет четкой определенности в объяснении механизма действия наночастиц на цементные системы. Это не позволяет управлять процессами структурообразования для создания композитов с заранее заданными свойствами.

На свойства бетона большое влияние оказывают способы уплотнения бетонной смеси. Основным способом уплотнения, применяемыми при изготовлении бетонных изделий является виброуплотнение. Для изготовления малоразмерных бетонных изделий из жестких бетонных смесей, в основном применяют прессование или прессование в сочетании с вибрацией – вибропрессование. Этот метод уплотнения позволяет уменьшить водопотребность бетонных смесей, повысить эксплуатационные свойства получаемых бетонов и изделий. Введение в состав таких бетонных смесей наночастиц может привести к изменению характера структурообразования и повлиять на свойства бетонов. Поэтому актуальным является выявление механизма и роли углеродных наночастиц (УНЧ) в технологии мелкозернистых

прессованных цементных бетонов. Основной целью проводимых нами исследований является выявление механизма структурообразования на субмикро- и микроуровне мелкозернистого цементного бетона за счет активизации процессов кристаллизации при введении наночастиц.

В исследованиях применяли следующие материалы: цемент ПЦ I–500Н Балаклейского цементного комбината, кварцевый песок Вознесенского карьера с модулем крупности $M_{кр}=2.4$ мм, углеродные наночастицы (УНЧ) размером $10^{-9}...10^{-10}$ м в виде малоконцентрированной водной суспензии (гидрозоля), получаемой путем ультразвукового диспергирования коксовой пыли в воде. Метод синтеза водной суспензии разработан в Украинском государственном научно-исследовательском углехимическом институте [7]. Концентрация УНЧ составляет 0,9г/литр.

По мнению А.А. Елисеева [8] сферические наночастицы способны собираться в упорядоченные структурные агрегаты под действием слабых сил (электростатические, капиллярные взаимодействия, поверхностное натяжение). Однородные по размеру наночастицы способны собираться в пространственно-упорядоченные структуры, представляющие собой одномерные “нити”, двумерные плотно упакованные слои, трехмерные массивы или малые кластеры. Тип организации наночастиц и структура образующегося кристалла зависят от условий синтеза, диаметра частиц и от дисперсионной среды.

По мнению З.Я. Берестневой [9] сферическая форма коллоидных частиц в золях объясняется тем, что при диспергировании образуется аморфная фаза, а в дальнейшем, как вторичный, развивается процесс кристаллизации.

Известно, что процессы самоорганизации связаны с движением частиц и зависят от их плотности, размеров, способности к соударению и взаимодействию с другими частицами. Легкие и подвижные частицы в стабильное состояние переходят через неравновесное состояние, что определяет высокую степень их хаотичности и возможность к самоорганизации на стадии образования. Это и обуславливает их высокую степень однородности [10].

Проведенные нами исследования подтвердили эти данные и показали [11], что наночастицы уже в гидрозоле способны создавать сферические скопления частиц, а также удлиненные и цепочкоподобные агрегаты частиц (рис. 2). Оптико-микроскопические исследования углеродных наночастиц, проведенные на оптическом микроскопе LABOVAL-4, показали механизм самоорганизации сферических наночастиц в пространственно-упорядоченные нитевидные структуры и

развитие процесса кристаллизации уже на уровне субмикроструктуры (рис. 3).

Известно, что при прессовании наибольший прирост прочности достигается при оптимальной влажности составов. Меньшее или большее содержание влаги, по сравнению с оптимальным, приводит к снижению прочности.

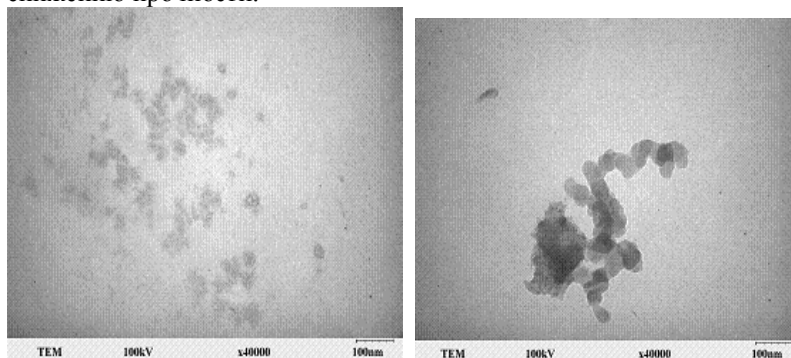


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение гидрозоля с УНЧ.

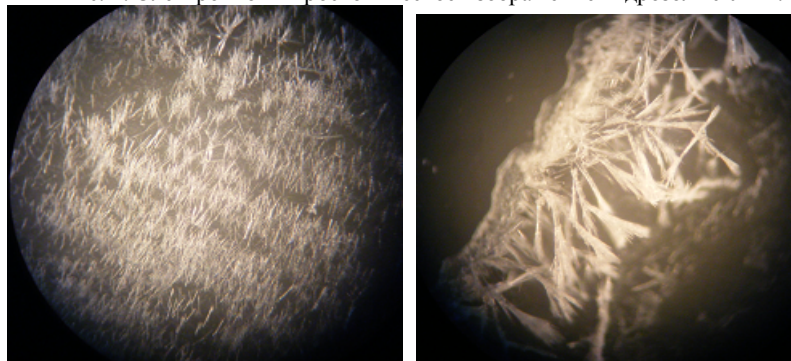


Рис. 3. Оптико-микроскопические исследования гидрозоля с УНЧ.

Было экспериментально установлено [12], что для прессованных бетонов оптимальное содержание наночастиц составляет 0,0225% от массы цемента. Оптимальная влажность для давления прессования 40 МПа составляет 8,5%. Показано, что у прессованного бетона содержащего УНЧ 0,0225% от массы цемента прочность увеличивается в 1,54 раза по сравнению с контрольным составом.

Для выявления влияния УНЧ на характер твердения и процессы структурообразования прессованного цементного камня были

проведены электронно-микроскопические исследования на растровом электронном микроскопе JSM – 6390.

Анализ данных показал, что для контрольного состава (рис. 4а) характерна рыхлая крупнокристаллическая структура с хаотическим расположением кристаллических сростков. Присутствуют поры разного диаметра. Для составов с расходом УНЧ 0,0225% от массы цемента (рис. 4 б) характерна мелкокристаллическая структура с более плотными новообразованиями и равномерно распределенными порами меньшего радиуса. Это свидетельствует о большей степени закристаллизованности структуры цементного камня с УНЧ.

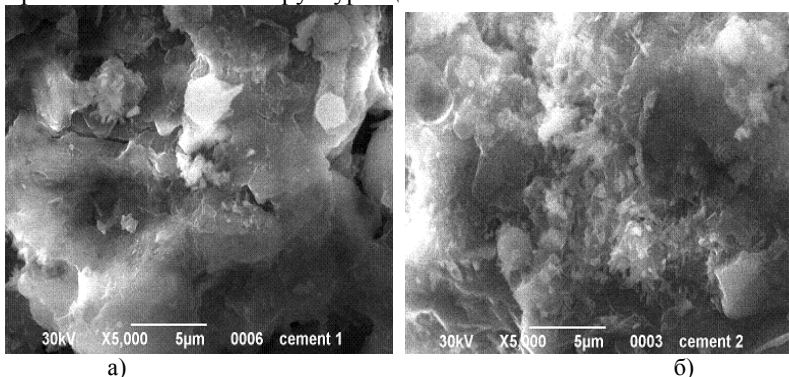


Рис. 4 – Электронно-микроскопическое изображение прессованного цементного камня при увеличении $\times 5000$: а) контрольный состав, б) состав с содержанием УНЧ 0,0225% от массы цемента.

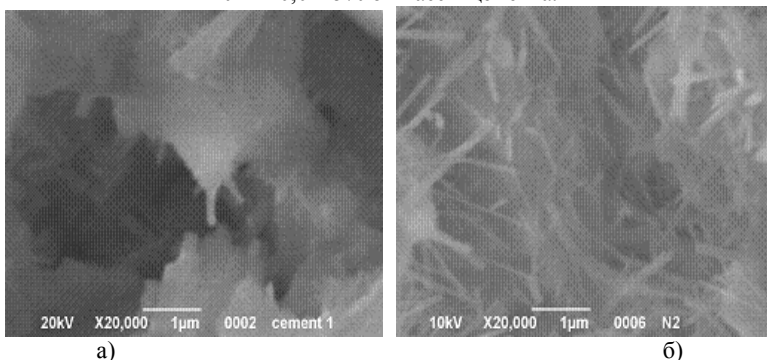


Рис. 5 – Электронно-микроскопическое изображение прессованного цементного камня при увеличении $\times 20000$: а) контрольный состав, б) состав с содержанием УНЧ 0,0225% от массы цемента.

Таким образом, все вышеизложенное позволяет сформулировать следующий механизм влияния наночастиц на процессы структурообразования. В цементном камне наночастицы способны собираться в пространственно упорядоченные, удлиненные и цепочкоподобные структуры, образуя пространственный каркас (рис. 5 б), который в дальнейшем зарастает новообразованиями.

Можно сделать определенные выводы о том, что основой механизма действия углеродных наночастиц является их способность являться не только пространственными центрами кристаллизации, но и способность самоорганизованных структур осуществлять нанораммирование цементного камня.

Данное предположение подтверждается электронно-микроскопическими снимками цементного камня при большем увеличении $\times 20000$ (рис. 5). Для состава с содержанием УНЧ 0,0225% от массы цемента (рис. 5 б) наблюдаются удлиненные структуры размером от 50 до 400 нм, которые образуют пространственный каркас, связывающий в единое целое весь цементный камень. Причем эти структуры не имеют локального характера, а равномерно распределены по всей поверхности образца. Этим предположением, возможно, и объясняется более плотная и мелкокристаллическая структура цементного камня с УНЧ (рис. 4 б).

Выводы:

Показано, что в цементных композитах на уровне субмикроструктуры происходит самоорганизация наночастиц и последующая их кристаллизация.

Доказано существование пространственных нанокаркасов, вокруг и внутри которых начинается кристаллизация новообразований и интенсификация процессов структурообразования мелкозернистых бетонов.

Список литературы

1. *Ребиндер, П.А.* Структурообразование и самопроизвольное диспергирование в суспензиях / Ребиндер П.А. // Труды третьей Всесоюзной конференции по коллоидной химии/ Под ред. П.А. Ребиндера. – М., Изд-во Акад. Наук СССР, 1956. – 492 с., С. 7 – 18.
2. *Лесовик, В.С.* Нанотехнологии в производстве цемента. Обзор направлений исследования и перспективы развития/ Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии//В.С. Лесовик, В.В. Строкова, Ф.Е. Жерновой: Сб. докл.

- Междунар. научн.-практич. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. – Ч.1. – 356 с., С. 146 – 151.
3. Ваучский М.Н. Нанобетон: мифы и реальность// Стройпрофиль. - № 8 (62), 2007.
 4. Пухаренко, Ю.В. Смешанный нанокремнистый материал в цементных композициях / Ю.В. Пухаренко, И.У. Аубакирова, В.А. Никитин, Д.Г. Летенко, В.Д. Староверов // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. - № 10, 2010. – С. 16 – 17.
 5. Гусев Б.В. Проблемы создания наноматериалов и развития нанотехнологий в строительстве / Б.В. Гусев // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет журнал. - № 2, 2009. – С. 5 – 9. – Режим доступа к журн.: <http://www.nanobuild.ru>.
 6. Гусев Б.В., Минсадров И.Н., Мироевский П.В., Трутнев Н.С. Исследование процессов наноструктурирования в мелкозернистых бетонах с добавкой наночастиц диоксида кремния// Нанотехнологии в строительстве: научный интернет журнал. - № 3, 2009. – С. 8 – 14. – Режим доступа к журн.: <http://www.nanobuild.ru>.
 7. Зеленский О.И. Виды углеродных наночастиц, выделенных из углей и продуктов его термической переработки / Физико-химические основы формирования и модификации микро- и наноструктур // О.И.Зеленский, С.И. Богатыренко, В.М. Шмалько: Сб. научн. трудов Междунар. научн. конф. – Харьков: Изд-во ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009, – Т.1. – С.66-69.
 8. Елисеев А.А. Философия наносинтеза // А.А. Елисеев, А.И. Синицкий. - Режим доступа: <http://www.nanometer.ru>
 9. Берестнева З.Я., Корецкая Г.А., Каргин В.А. Электронно-микроскопическое исследование TiO_2 – золей и механизм образования коллоидных частиц// Коллоидный журнал. – 1950. – Т. 12. - № 5. – С. 336 – 341.
 10. Коренькова С.Ф., Якушин И.В. Моделирование процессов самоорганизации в наполненных цементных композициях// Технологии бетонов. - № 4, 2007. – С. 62
 11. Беличенко Е.А. Физико-химические исследования водных систем с углеродными коллоидными частицами/ Е.А. Беличенко, С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева // Сб. Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка: Науково-технічний збірник, Товариство «Знання» України. – Випуск 39. – 2011. – С. 10 – 16.
 12. Толмачев С.Н., Беличенко Е.А. Прочность прессованных мелкозернистых цементных бетонов с углеродными коллоидными частицами. – Вісник наукових праць «Вісник ДонНАБА», Вип. 2011-1(87) «Сучасні будівельні матеріали», Макіївка, 2011. – С. 128 – 134.

К ВОПРОСУ О СОВМЕСТИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Толмачев С.Н., канд. техн. наук, доцент,
*Харьковский национальный
автомобильно-дорожный университет*
Сопов В.П., канд. техн. наук, профессор,
Толмачев Д.С., аспирант
*Харьковский национальный университет
строительства и архитектуры*

В последние годы на Украине увеличились объемы цементных бетонов, применяемых для строительства покрытий автодорог и аэродромов, а также изготовления элементов обустройства дорог и площадок. Кроме того, большое количество монолитного бетона используется при строительстве мостов и путепроводов. При изготовлении бетонных смесей применяли высококачественные гранитные и сиенитовые щебни различных карьеров марки по прочности не ниже М1000, содержанием лещадных частиц не более 20%, а пылеватых – до 1%, а также кварцевые пески с модулем крупности 1,7...2,6. В восточной части Украины чаще всего используют давно и хорошо зарекомендовавшие себя цементы Балаклейского цемзавода Харьковской области или цемент Амвросиевского завода Донецкой области. В западных областях для таких изделий и конструкций применяют цемент Николаевского завода Львовской области. Такой ограниченный выбор вяжущих обусловлен прежде всего тем, что в соответствии с проектными требованиями марка цемента применяемого в этих случаях не должна быть ниже М500, а цемент не должен содержать минеральных добавок более 5%. В качестве суперпластификаторов применяли достаточно известные и часто применяемые добавки фирм MC-Bauchemie и BASF (Германия), ТКК (Словения), а также отечественной фирмы «Будиндустрия».

В течение 2007...2011г. сотрудники кафедры ТДСМ ХНАДУ проводили научное сопровождение при изготовлении и укладке бетонов верхних слоев покрытий в период реконструкции таких объектов, как аэропорты г.Донецка, Харькова, Львова, автомобильная дорога Харьков-Симферополь (на участке Харьков-Красноград), а также при строительстве путепровода в г.Донецке. Качество бетонной смеси оценивали по содержанию в ней вовлеченного воздуха и сохранности подвижности во времени. Качество бетона контролировали по

стираемости, прочности и морозостойкости. Кроме того, проводили контроль качества поступаемых материалов.

Анализ полученных данных показал, что свойства бетонных смесей и бетонов на их основе на ПЦ I -500 Балаклейского завода в зависимости от времени исследований отличаются. Так, например, если воздухо содержание смеси мало изменялось в случае применения одной и той же добавки, то эффективность применяемых суперпластификаторов резко отличалась.

Например, если в 2007...2009 г. добавка FK88 обеспечивала снижение водоцементного отношения в бетонных смесях с 0,45 до 0,32, то в 2010 применение этой добавки позволило снизить В/Ц до 0,40. Если ранее подвижность бетонной смеси с этой добавкой с ОК=9...12см до уровня 2...4см уменьшалась за 60...90минут, то в 2010...2011 снижение подвижности происходило в течение 15...20 минут. Эффективность суперпластификатора FM 21 в 2007...2009г. позволявшего уменьшить В/Ц до 0,32, снизилась (В/Ц снизилось до 0,37). Данные были получены на бетонных смесях, содержащих гранитный щебень. В то же время при реконструкции Донецкого аэропорта, качество бетонных смесей с добавкой FK88 оставалось стабильным в течение 2007...2010г. Смеси изготавливали на сиенитовом щебне и цементе Амвросиевского цемзавода. Данные об изменении эффективности действия суперпластификаторов получены также для добавок Релаксол Лидер, Zeta T и BV 12, которые применяли в бетонах на цементах ПЦ I -500 Киевского и Балаклейского заводов.

Установленные изменения эффективности свидетельствуют о том, что проблема совместимости компонентов бетона с применяемыми добавками становится все более острой. На Украине первым эту проблему сформулировал А.В.Ушеров-Маршак, который в дальнейшем развил это направление вместе с сотрудниками [1, 2]. Им отмечено, что обострилась известная проблема, название которой совместимость: компонентов комплексных добавок между собой; цементов с добавками и др. Основное внимание при оценке совместимости за рубежом уделяли при решении задачи длительного сохранения удобоукладываемости бетонной смеси с СП нового поколения. Отсюда зарубежные ученые сделали вывод, что методом оценки совместимости вяжущего и добавки является исследование сохранности бетонной смеси во времени. При таком подходе исключается анализ совместимости добавок с другими компонентами бетона. В то же время, как справедливо отмечает А.В.Ушеров-Маршак, современные бетоны включают в свой состав 7 компонентов, функциональность и

совместимость которых может обеспечить высокую технологичность бетонных смесей и заданные свойства бетонов. Поэтому важным является разработка и применение методик исследования, позволяющих оперативно и достоверно оценивать совместимость не только цементов с добавками, но и добавок с заполнителями.

Одним из таких простых методов оценки совместимости вяжущих с добавками может быть исследование свойств цементов. Данные, полученные в 2009г. и приведенные в таблице 1, показывают, что исследованные добавки совместимы с применяемым цементом. Это видно из данных по водопонижению и влиянию на сроки схватывания, соответствующим свойствам добавки, описанным в паспортах качества.

Таблица 1 – Свойства цемента ПЦ I – 500 Балаклейского ЦШК с добавками

№п/п	Добавка:	Количество добавки:	Нормальная густота:	НС	КС
1	без добавки		25,5 %	2ч.50мин.	4ч.10мин.
2	FK 88	0,7 %	23,5 %	6ч.45мин.	9ч.00мин.
3	FK 88	0,5 %	24,0 %	5ч.00мин.	6ч.50мин.
4	FM 21	0,5 %	24,0 %	3ч.15мин.	4ч.15мин.
5	FM 21	0,7 %	23,5 %	3ч.40мин.	4ч.40мин.
6	FM 21	1,0 %	23,0 %	4ч.15мин.	5ч.30мин.
7	BV 12	0,7 %	23,5 %	9ч.15мин.	более 10ч
8	Zeta Г	0,7 %	23,5 %	7ч.30мин.	8ч50мин.
9	FM 21 BV 12	0,5 % 0,2 %	23,5 %	6ч.10мин.	7ч.40мин.
10	FM 21 BV 12	0,3 % 0,4 %	23,5 %	7ч.25мин.	9ч.30мин.

- испытания проводили при температуре +27...+29°C

Исследования, проведенные в 2011 г. показывают, что добавка той же фирмы уже не совместима с данным цементом (табл.2). Об этом можно судить по резкому уменьшению водопонижающей способности, полному исчезновению замедляющего эффекта и отсутствию влияния добавки на сроки схватывания.

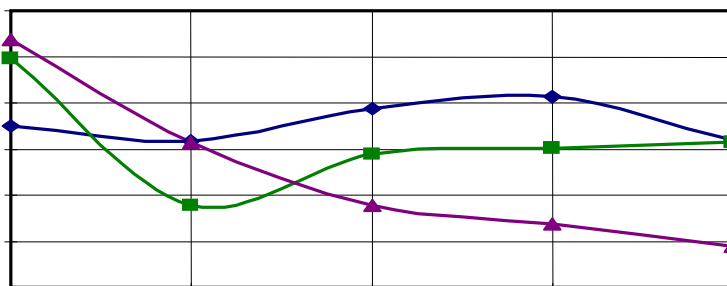
Таблица 2 – Свойства цемента ПЦI-500 с добавками FK 88 и Air202

№п/п	Добавка:	Количество добавки:	Нормальная густота:	НС	КС
1	Контроль	---	25,0 %	2ч.00мин.	2ч.50мин.
2	FK 88	0,3 %	24,6 %	2ч.00мин.	3ч.00мин.

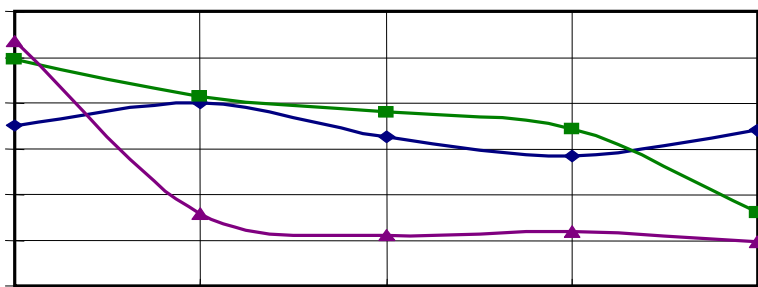
3	FK 88	0,5 %	24,3 %	2ч.20мин.	3ч.20мин.
4	FK 88	0,7 %	24,1 %	2ч.40мин.	3ч.20мин.
5	FK 88 + Air202	0,5 % + 0,1 %	24,25 %	2ч.20мин.	3ч.30мин.
6	FK 88 + Air202	0,7 % + 0,1 %	24,0 %	2ч.35мин.	3ч.25мин.

• испытания производили при температуре воздуха + 28...+32⁰С

Исследования смачивания подложек разного минерального состава показали, что существует взаимосвязь между углом смачивания и концентрацией растворов различных ПАВ (рис.1). Например, раствор добавки Марев Дупамон улучшает смачиваемость кварцита, о чем



Концентрация добавки Марев Dynamon SR-2, %



Концентрация добавки Muraplast FK 88, %

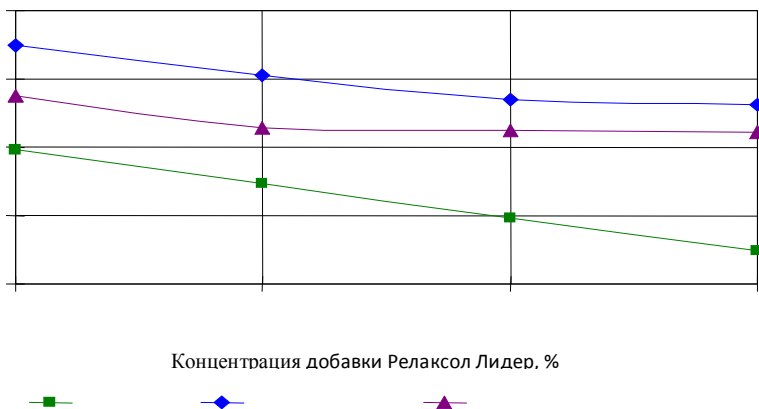


Рис. 1 Смачивание подложек горных пород растворами добавок свидетельствует уменьшение угла смачивания начиная с растворов концентрацией 0,1%. Смачиваемость гранитной подложки с ростом концентрации этой добавки наоборот, ухудшается на 13%. Для мрамора.

Отмечено резкое уменьшение угла смачивания в области близкой к ККМ раствора добавки. Дальнейшее увеличение концентрации не приводит к изменению смачиваемости.

Растворы добавки Miraplast FK88 также улучшают смачивание кварцита, начиная с концентрации 0,1%. Наибольшее уменьшение угла смачивания отмечается у растворов концентрацией 0,5%. Улучшение смачивания также отмечено на мраморной подложке, но существенное для растворов концентрацией более 1,5%. Для гранита улучшения смачивания при использовании растворов с этой добавкой не наблюдается.

Наиболее универсальной добавкой является добавка Релаксол Лидер, растворы которой улучшают смачивание всех подложек в тем большей степени, чем выше концентрация добавки в растворе. Наиболее существенно это заметно для мрамора.

По нашему мнению анализ смачиваемости применяемых заполнителей растворами ПАВ на этапе подбора состава бетона может являться методом оценки совместимости добавок и заполнителей.

Важнейшей характеристикой структуры цементного камня, определяющие свойства бетона, являются параметры его порового пространства. Цементный камень, являющийся капиллярно-пористым телом, имея незначительное по объему количество пустот в материале,

приводит к резкому изменению его свойств. Объем пор цементного камня в зависимости от различных факторов может достигать 50%. Объем пор в растворах и бетонах достигает 30%. Поэтому все важные свойства бетона на различных видах цементных вяжущих связаны с объемом и строением его порового пространства.

Как отмечено в [3], при воздействии на образцы, содержащие любые вяжущие окружающей среды с низкой относительной влажностью, будет происходить испарение влаги. В начале вода будет испаряться из крупных полостей и пор, а затем из более мелких капилляров. Испаряться она будет до того момента, когда установится равновесие между содержанием влаги в материале и в окружающей среде (относительная влажность). При высыхании образцов в них происходит уменьшение объема и усадка. Эти линейные и объемные деформации сопровождаются напряжениями в материале, которые становятся иногда выше предела его прочности при растяжении и вызывают образование микро- и макротрещин. Основная часть усадочных деформаций приходится на первые 3-4 месяца, полная же стабилизация наступает лишь через 1-2 года.

Применение химических добавок, изменяющих свойства водных растворов, сказывается на характере испарения влаги из цементосодержащих систем [4]. ПАВ уменьшают такие свойства водных растворов, как вязкость и поверхностное натяжение на границе раздела фаз, что может привести к более длительному прохождению процессов испарения влаги и изменению свойств формирующейся структуры. Усадочные явления приводят к возникновению значительных внутренних напряжений, которые обуславливают появление трещин на разных уровнях структуры бетона. Очевидно, что чем больше усадка и трещинообразование, тем в меньшей степени проявляется совместимость между заполнителями, вяжущим и добавками. Поэтому анализ закономерностей трещинообразования также может являться одним из методов оценки совместимости ПАВ и заполнителей.

Список литературы:

1. *Ушеров-Маршак, А.В.* Химические и минеральные добавки в технологии цемента и бетона / А.В. Ушеров-Маршак, М. Циак // Химические и минеральные добавки в цементы и бетоны.- Запорожье.- 2002.-С.9-17
2. *Ушеров-Маршак, А.В.* Комплексные добавки системы «Релаксол» - компонент современных бетонов / А.В. Ушеров-Маршак, Н. Синайко // сб. докладов XI международной научно-практической конференции «Дни современного бетона».- Запорожье.- 2010.- С.3-11

3. *Бобрышев, А.Н.* Усадочные деформации минеральношлаковых вяжущих и их трещиностойкость / А.Н. Бобрышев, В.И. Калашников, Р.Н. Москвин, В.Л. Хвастунов // сб. трудов Всероссийской научно-практической конференции «Строительное материаловедение – теория и практика».- Москва.- 2006.- С. 109-110
4. *Толмачев, С.Н.* Влияние заполнителей на процессы смачивания и испарения влаги из монолитных дорожных бетонов / Толмачев С.Н., Шарма Т.Р. // “Науковий вісник будівництва”, Харьков, ХДТУБА, вып.3, 1998, С.149-157.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ НАНОКОМПОЗИТОВ

Тутыгин А.С., инженер,
Айзенштадт А.М., д-р хим. наук, профессор,
Вешнякова Л.А.,
Стенин А.А.
*Северный (Арктический) федеральный
университет имени М.В. Ломоносова*

Наноразмерный материал характеризуется размером частиц, его составляющих, в пределах 10 – 100 нм. Эти системы по степени дисперсности являются промежуточными между истинными гомогенными растворами (размер частиц менее 1 нм) и микрогетерогенными системами (размер частиц более 1 мкм). По сути, наносистемы представляют собой структуры, в которых вещество находится в коллоидной степени дисперсности ($10^5 - 10^7 \text{ см}^{-1}$). Данный факт делает возможным использовать основные законы коллоидной химии для описания свойств наносистем. В этом плане важной отличительной особенностью коллоидного состояния вещества является наличие значительной площади поверхности материала (свободной поверхностной энергии). Количественной мерой свободной поверхностной энергии в конденсированных системах служит величина изменения изобарно-изотермического потенциала (энергии Гиббса). Как известно из классической термодинамики, в условиях постоянства давления и температуры изменение свободной поверхностной энергии системы определяется характеристической функцией (ΔG) и равно:

$$\Delta G = \sigma \cdot \Delta S_{уд} + S_{уд} \Delta \sigma, \quad (1)$$

где σ – величина поверхностного натяжения (н/м); $S_{уд}$ – удельная площадь поверхности (кг/м^2) [1-4].

Отсюда следует, что величина поверхностного натяжения конденсированной системы является энергетической характеристикой единицы поверхности.

В случае твердых тел, процесс образования новой поверхности носит необратимый характер. В этом случае классическое понятие поверхностного натяжения как работы обратимого изотермического

образования единицы площади поверхности теряет смысл. Кроме того, если в жидкости поверхностное натяжение реализуется в виде стремления сократить поверхность с образованием сферических капель, то в твердом теле этому препятствуют механические силы жесткости кристаллической решетки. Поэтому, как отмечают авторы [5], параметр σ для твердого тела является мерой накопления энергии в разуплотненном поверхностном слое (мерой свободной поверхностной энергии).

Реальное значение поверхностного натяжения твердого тела определить невозможно, вместе с тем, поверхностную энергию такого вещества можно рассчитать с помощью критического поверхностного натяжения жидкости (σ_k) на границе с твердым телом (метод Г.А. Зисмана) [6,7].

Для использования метода Зисмана на практике необходимо получить зависимость $\cos\theta=f(\sigma)$ для различных жидкостей и экстраполируя усредненную кривую до $\cos\theta=1$, определить критическое значение поверхностного натяжения, σ_k , которое и является характеристикой поверхностной энергии единицы поверхности твердой фазы.

Целью данной работы является экспериментальное определение значений критического поверхностного натяжения твердой поверхности, образованной частицами разной природы, но близкой степени дисперсности ($\sim 10^{-2}$ нм⁻¹), а также расчет по экспериментальным данным для этих систем критерия величины контактного межчастичного взаимодействия за счет дисперсионных сил, вызванных увеличением числа контактов между частицами в единице объема и, как следствие, структурированием системы.

В качестве объекта исследований нами был выбран песчаный грунт, относящийся к числу грунтов – «пески пылеватые», предварительно отмытый от глинистых включений и высушенный до постоянной массы при температуре 110⁰С, базальтовая крошка, отобранная из месторождения базальта горы Мяндухи в Плесецком районе [8] и сапонит -содержащая твердая фаза, выделенная способом [9] из оборотной воды месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова.

Состав полученных образцов был охарактеризован методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре Shimadzu EDX-800 HS. Все образцы имеют близкое по значению содержание (в пересчете на оксиды) таких компонентов как SiO₂ (47-56%), MgO (8-19%), Fe₂O₃ (5-13%), CaO (4-14%), Al₂O₃ (9-14%).

Из исходного сырьевого материала методом диспергирования в отработанных оптимальных режимах помола на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 и коллоидной мельнице IKA magic LAB были получены образцы для исследований. Средний размер частиц песчаного грунта (образец №1) составил 102 ± 34 нм, базальта - 103 ± 28 нм (образец №2) и сапонит-содержащего материала - 361 ± 96 нм (образец №3). Размер частиц испытуемых образцов определялся на установке Delsa Nano Series Zeta Potential and Submicron Particle Size Analyzers (пример протокола определения размера частиц представлен на рис. 1).

Для реализации метода Зисмана нами использовались растворы этанола с различным содержанием водной фракции, причем концентрация водной фракции в растворе не превышала 50%. Это связано с ограничениями метода: во-первых, для измерения краевого угла смачивания следует использовать лишь слабополярные жидкости; во-вторых, при величине поверхностного натяжения жидкости более 35 мДж/м² метод дает высокую погрешность [7]. Поверхностное натяжения водных растворов спирта (для исследований использовался спирт технический гидролизный, 96%) и угол смачивания поверхности дисперсных систем измеряли при температуре $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ на установке KRUSS Easy Drop.

Для определения угла смачивания материала исследуемых фракций нами были изготовлены образцы путем запрессовки соответствующей фракции грунта под давлением $1,5$ кПа в металлическую форму, диаметром 10 мм.

При проведении экспериментов по определению краевого угла для исследуемых образцов специализированной компьютерной программой выбиралось время первого контакта жидкости с поверхностью анализируемого образца, которое во всех экспериментах колебалось в интервале $1,0\pm 0,5$ с. Это связано с тем, что за указанный период времени процессами диффузии жидкости в объемную фазу, капиллярными явлениями и другими процессами, связанными с неоднородностью поверхности, можно пренебречь. Кроме того, хорошая воспроизводимость результатов измерений может свидетельствовать о существовании в данном временном интервале псевдоравновесного состояния на границе раздела фаз. Пример протокола определения краевого угла, получаемого с помощью установки KRUSS Easy Drop представлен на рис. 2.

Для оценки структурообразующих свойств поверхности исследуемых наноразмерных образцов и степени приближения их свойств к поверхностным свойствам однородного материала нами проведены аналогичные исследования с образцом недробленого природного поликристаллического кварца (плотность – 2,65 г/см³ [10]).

На рис. 3 представлена функциональная зависимость $\cos\theta=f(\sigma_{жк})$ для исследуемых образцов, полученная на основе экспериментальных данных путем математической обработки результатов стандартной программой **Microsoft Office Excel**, а в табл. 1 приведены значения коэффициентов линейных уравнений этой зависимости и рассчитанные значения $\sigma_{жк}$.

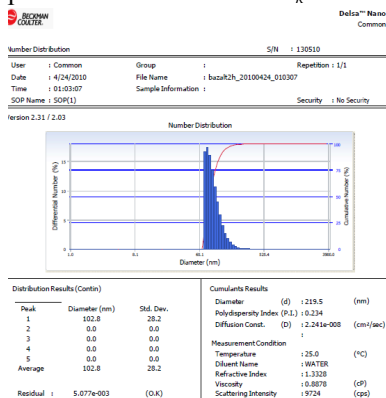


Рис. 1. Протокол определения размера частиц для образца №2.

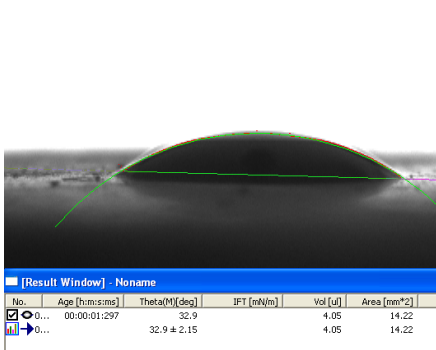


Рис. 2. Пример протокола измерения краевого угла для образца № 2.

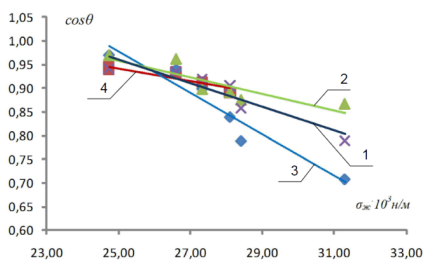


Рис. 3. Функциональная зависимость $\cos\theta=f(\sigma_{жк})$ для образцов: 1 – кварц; 2 – №1; 3 – №2; 4 – №3.

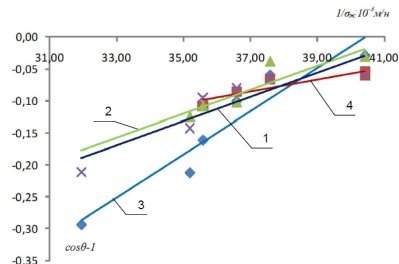


Рис. 4. Функциональная зависимость $\cos\theta-I=f(1/\sigma_{жк})$ для образцов: 1 – кварц; 2 – №1; 3 – №2; 4 – №3.

Таблица 1. Значение коэффициентов в уравнении $\cos\theta = a\sigma_{ж} + b$ и $\sigma_{к}$.

Образец	Коэффициент		Достоверность аппроксимации, R ²	$(\sigma_{к} \pm 0,1) 10^3$, Н/м
	<i>a</i>	<i>b</i>		
Кварц	-0,025	1,6	0,87	23,3
№1	-0,018	1,4	0,75	22,6
№2	-0,044	2,1	0,93	24,5
№3	-0,014	1,3	0,85	20,7

Б.В. Дерягин с сотрудниками в [11] предлагают метод расчета энергии взаимодействия между частицами, которая применительно к нашему случаю сводится к использованию следующего уравнения [12]:

$$\cos \Theta = 1 + \frac{A}{12\pi h_{min}^2 \sigma_{ж}} \quad 2$$

где h_{min} – наименьшая толщина пленки, которая соответствует Ван-дер-Ваальсовому расстоянию (0,24 нм); $\sigma_{ж}$ – поверхностное натяжение жидкости; A – постоянная Гамакера при взаимодействии жидкости с твердым телом на границе с воздухом. Следовательно, постоянная A может служить критерием оценки приближения раздробленного состояния вещества к состоянию поверхности твердого тела. В наших экспериментах не стояла задача строгого термодинамического расчета составляющих постоянной Гамакера, связанных с взаимодействием частиц дисперсной фазы A_{11} и дисперсионной среды A_{00} , шероховатостью поверхности дисперсного материала, адсорбционными взаимодействиями водно-спиртовой смеси с поверхностью и пр., поэтому можно говорить о расчете сложной постоянной A^* , учитывающей в комплексе данные факторы.

Для расчета сложной постоянной A^* нами построены функциональные зависимости $\cos\theta - 1 = f(1/\sigma_{ж})$ для всех серий эксперимента (рис. 4). В табл. 2 приведены значения коэффициентов линейных уравнений данной зависимости. Кроме того, в этой же таблице представлены рассчитанные значения постоянной A^* , причем полученные результаты для кварца ($A^* = 4,1 \cdot 10^{-20}$ Дж) достаточно хорошо совпадают с литературными данными ($A = 4,5 \cdot 10^{-20}$ Дж), приведенными в [13], определенными для кварцевых нитей на границе кварц-воздух.

Таблица 2. Значение коэффициентов в уравнении $\cos\theta-1=a/\sigma_{жс}+b$, A^* и A_{11} .

Образец	Коэффициент		Достоверность аппроксимации, R^2	$A^* \cdot 10^{20}$, Дж	$A_{11} \cdot 10^{20}$, Дж
	a	b			
Кварц	0,019	-0,79	0,82	4,1	2,5
№1	0,018	-0,77	0,80	4,0	2,4
№2	0,034	-1,36	0,91	7,3	2,7
№3	0,009	-0,42	0,83	2,0	2,2

Вместе с тем необходимо отметить следующее. Предполагая аддитивность дисперсионных сил Гамакер получил для сложной постоянной A^* взаимодействия частиц близкой природы выражение:

$$A^* = A_{11} + A_{00} - 2A_{011} = A_{11} + A_{00} - 2\sqrt{A_{11}A_{00}}, \quad 3$$

где A_{11} , A_{00} – постоянные взаимодействия дисперсной фазы (в нашем случае поверхность твердого системы), состоящей из частиц сорта 1 и дисперсионной среды (смачивающей жидкости), соответственно; A_{01} – постоянная взаимодействия частиц и среды. Так, например, для воды учитывая только дисперсионное взаимодействие $A_{00} = 4,38 \cdot 10^{-20}$ Дж [7].

В.А. Волков [7] выводит уравнения для расчета A_{11} для твердой поверхности по значению критического поверхностного натяжения в дисперсионной среде:

$$A_{11} = 6 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \sigma_k, \quad (4)$$

где $r=h$ – Ван-дер-Ваальсовый радиус (среднее расстояние между взаимодействующими частицами, 0,24 нм); σ_k – критическое поверхностное натяжение.

Проведенные расчеты по этому уравнению постоянной Гамакера A_{11} для кварца и испытуемых образцов дисперсного материала представлены в таблице 2.

Полученные результаты показывают, что наименьшем запасом энергии в разуклопкованном поверхностном слое из рассматриваемых образцов обладает сапонит-содержащий материал (образец №3). Более реакционноспособен нанодисперсный материал из базальта (образец №2).

Таким образом, приведенный алгоритм расчета энергетических параметров поверхности дисперсного материала, основанный на термодинамическом подходе можно использовать для оптимизации

состава компонентов при создании композиционных материалов на основе наноразмерных составляющих.

Список литературы:

1. Рыжков, Д.И. Наноматериалы / Д.И. Рыжков, В.В. Левина, Э.Л. Дзидзигури // – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 365 с.
2. Зимон А.Д. Коллоидная химия: Учебник для вузов.- М.: Агар 2003. – 320 с.
3. Королев В.А. Термодинамика грунтов: Учебное пособие. – М.: МГУ, 1997. – 168 с.
4. Гельфан М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия. 4-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 336 с.
5. Поверхностное натяжение и свободная поверхностная энергия вещества. – <http://nanjstr.ru>.
6. Ролдунгин В.И. Физикохимия поверхности: Учебник-монография. – Долгопрудный: Изд.дом «Интеллект», 2008. – 508 с.
7. Волков В.А. Коллоидная химия./http:www.xumuk.ru/colloidchem.
8. Природные сырьевые материалы строительного назначения в Северо-Арктическом регионе. Минерально-сырьевая база Архангельской области/Под ред. А.М. Айзенштадта, А.Л. Неворова, В.С. Лесовика. – Архангельск: С(А)ФУ, 2011. – 148 с.
9. Тутьгин А.С., Айзенштадт М.А., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Влияние природы электролита на процесс коагуляции сапонит-содержащих глинистых минералов. – Геоэкология. 2011 (в печати).
10. Грунтоведение. Под ред. Сергеева Е.М. // МГУ, М., 1983, 392 с.
11. Дерягин Б.В., Абрикосова И.И., Лифшиц Е.М. Молекулярное притяжение конденсированных тел // Успехи физических наук, 1958, т. LXIV, вып. 3, 494–526.
12. Дерягин Б.Д., Чураев Н.В. Смачивающие пленки // Изд-во «Наука», М., 1984, 160 с.
13. Тищенко А.И., Корнеев И.А., Агапов М.Н. Оценка прочности индивидуального контакта между твердыми структурными элементами лессовых оснований зданий массовой серийной застройки // Ползуновский вестник, 2007, №1 – 2, 55-57.
14. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии./Под ред. Фроловой Ю.Г. и Гродского А.С. М.: Химия, 1986. – 216 с.

РАЗМЕРНЫЙ ИНТЕРВАЛ КРИТИЧЕСКОГО РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦЫ ПРИНЦИПЫ АТОМНОЙ СБОРКИ КЛАСТЕРОВ

Хархардин А. Н., д-р техн. наук,
Строкова В. В., д-р техн. наук

*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Критический размер микро- и наночастиц определяется таким размером, получаемом при ультразвуковым, сухим или мокрым способами измельчения материалов или горных пород, при котором проявляется одно или комплекс их необычных свойств по сравнению с массивным телом. Для получения результатов критических и граничных размеров микро- и наночастиц дисперсных материалов, рассмотрим топологию неупорядоченного монодисперсного слоя твердых шаров. Эти размеры вытекают из общей закономерности распределения в нем элементов структуры (пустот, плотно заполняемых шарами соответствующего размера) [1]:

$$\frac{d_n}{d_1} = \left[\frac{1}{10\eta_1(\sqrt{3}-1)^p} \right]^{\frac{m}{3}(n-1)}, \quad (1)$$

где d_1, d_n – диаметр шаров, образующих упаковку, и диаметр шаров последовательно меньшего размера, заполняющих в ней образуемые при этом соответствующие пустоты;

p – показатель, определяющий разъединение или сближение дисикрет-ных элементов структуры (зерен, частиц, микро- и наночастиц) в их упаковке: $p \leq 6$ – для контактируемых твердых шаров (сфер), для слу чайной упаковки зерен, частиц в смеси $p = 3$; $p > 6$ – для проникающих одна в другую и перекрывающихся сфер;

m – класс системы распределения по размерам элементов в их упаковке, определяющий их прерывность в размерах, $m = 0...15 \dots (n+1)$;

η_1 - плотность случайной упаковки шаров (частиц) монодисперсного слоя, атомов или ионов в кристаллической фазе.

Распишем это распределение по относительным размерам элементов структуры для монодисперсного слоя шаров и пустот между ними в развернутом виде (при $m=3$ и $p=3$):

$$\frac{d_n}{d_1} = 1; \frac{2,549}{10\eta_1}; \left(\frac{2,549}{10\eta_1}\right)^2; \left(\frac{2,549}{10\eta_1}\right)^3; \left(\frac{2,549}{10\eta_1}\right)^4 \dots$$

В этом распределении выделим в явном виде границы размерного фактора из отношения размера наибольших пустот к размеру шаров, заполняющих эти пустоты с такой же плотностью упаковки как в слое большого объема, т.е. когда ни форма, ни размер этих пустот не влияют на плотность упаковки в них шаров (частиц) меньшего размера. Это будет ядро из наименьшего числа шаров (частиц) в любой области их монодисперсного слоя, когда плотность их упаковки в поверхностных слоях сравнима с плотностью упаковки нижележащих шаров. Поэтому большая доля из них является поверхностной. Это первое условие формирования нижнего предела размера микро- и наночастиц. Оно хорошо выполняется при отношении наибольшего превалирующего относительного размера пустот в случайной упаковке монодисперсного слоя шаров или частиц к относительному меньшему размеру пустот или шаров (частиц) их заполняющих. Это наибольший размер мелких шаров (частиц) наиболее плотно заполняющих свободный объем, образуемый в случайной упаковке монодисперсного слоя крупных шаров (частиц),

$$n = 5 \text{ (1):}$$

$$\frac{D}{d} \geq \frac{2,549}{10\eta_1} d_1; \left(\frac{2,549}{10\eta_1}\right)^4 d_1 \geq \left(\frac{10\eta_1}{2,549}\right)^3 \leq 60,38\eta_1^3, \quad (2)$$

где D , d – диаметр атомных агрегаций (кластеров), микро- или наночастиц дисперсных материалов, новообразований критического размера и прочее.

Условие формирования верхней границы критического размера растущих кластеров, микро- и наночастиц определяется отношением размера наибольших превалирующих пустот в случайной упаковке, к размеру еще меньших шаров их заполняющих, $n = 6$ (1):

$$\frac{D}{d} \geq \frac{2,549}{10\eta_1} d_1; \left(\frac{2,549}{10\eta_1}\right)^5 d_1 \geq \left(\frac{10\eta_1}{2,549}\right)^4 \leq 237\eta_1^4, \quad (3)$$

либо непосредственно из отношения размера наибольших шаров, образующих случайную упаковку, к размеру меньших шаров, $n = 5$ (1):

$$\frac{D}{d} \leq d_1 : \left(\frac{2,549}{10\eta_1} \right)^4 \cdot d_1 = \left(\frac{10\eta_1}{2,549} \right)^4 \leq 237\eta_1^4$$

Выражения (2,3) можно объединить к следующему частному виду:

$$D = 60,38^{n/3} \eta_1^n d = \left(60,38^{1/3} \eta_1 \right)^n d = \left(3,923\eta_1 \right)^n d \quad n = 3 \dots 4. \quad (4)$$

Из выражения (4) при $n = 3 \dots 4$, $\eta_1 = 0,64976$ – при действии слабых сил притяжения и $\eta_1 = 0,634054$ – при действии сил отталкивания между элементами структуры (микрочастиц дисперсных материалов) получим соответственно: $D = 16,56 \dots 42,2d$ и $D = 15,4 \dots 38,3d$, а при $\eta_1 = 0,2549$ (для критического состояния фазы) $D = d$.

Размерный (масштабный) фактор хорошо подтверждается экспериментом в исследованиях плотности бимодальных упаковок.

Так как $\eta_1^{3 \dots 4} = \eta_c$ – критическая плотность упаковки микрочастиц данного вещества, а $\eta_c = \eta_1^{(3 \dots 16/3)}$, то выражение для размерного интервала критического размера наночастиц будет иметь вид:

$$D = 60,38\eta_1^{n/3} d, \quad \text{где } n = (0-3-6) - 9 - 16. \quad (5)$$

Здесь $n = 9-12$ при $0,6038 \leq \eta_1 \leq 0,64976$ – для критических размеров частиц дисперсных и других материалов; $n = 13-14$ при $0,6802 \leq \eta_1 \leq 0,6981$ – для кристаллитов в аморфных фазах; $n = 14-16$ при $0,6981 < \eta_1 \leq 0,7405$ – для кристаллических веществ.

Размеры растущих сферических кристаллических и других образований, в том числе и критические размеры в интервале перехода возможной перестройки структуры к ограненной форме кристаллов, получим из частного выражения (4) в общем виде:

$$D = 60,38^{n/3} \eta_1^n d = (3,923\eta_1)^n d, \quad \text{где } n = 0, 1, 2, 3-6-9-12-15 \quad (6)$$

$$\text{либо} \quad D = \left(10\eta_1 / 2,549 \right)^{\frac{m}{3}(n-1)} \cdot d = (3,923\eta_1)^{\frac{m}{3}(n-1)} \cdot d,$$

где $m \geq (0, 1, 2), 3 \dots$; $n = 1, 2, 3 \dots$ – принимает натуральный ряд чисел.

d – размер элемента структуры (атомов, молекул, микро- или наночастиц в дискретных системах).

Результаты расчета по уравнению (5) критического размера наночастиц в области проявления их необычных свойств по сравнению с массивным телом, а также размеров растущих сферических образований (6) в зависимости от плотности упаковки в них элементов кристаллической структуры (атомов металлов и других простых веществ) и со случайной их упаковкой в неупорядоченных системах, приведены в таблице.

Критический линейный размер плоских образований из выражения (5) будет равен:

$$L = (60,38^{n/3} \cdot \eta_1^n)^{2/3} d = (3,92\eta_1)^{2n/3} d = 2,49\eta_1^{2n/3} d$$

Таблица

Изменение критического размера микро- и наночастиц в области проявления необычных свойств и размера растущих кристаллов сферической или ограненной формы

Показатель степени, n	Размер микро- и наночастиц $D \times d$ с плотностью упаковки в них элементов структуры, η_1				
	0,7405	при $d = 0,3$ нм	0,7405	0,6403	0,63096
0	60 – 67	18 – 20 нм	1,0 – 1,1	60,4 – 70,0	60,4 – 70,4
1	44,7 – 49,4	13,4 – 14,8 нм	2,9 – 3,21	38,6 – 44,8	38,1 – 44,4
2	33,1 – 36,6	9,9 – 11 нм	8,44 – 9,33	24,8 – 28,0	24,0 – 28,0
3	24,5 – 27,0	7,0 – 9,0 нм	24,5 – 27,0	15,8 – 18,3	15,2 – 17,7
4	18,2 – 20	5,5 – 6,0 нм	71,2 – 78,7	10,0 – 11,6	9,6 – 11,1
5	13,4 – 14,8	4,0 – 4,5 нм	206 – 228	6,5 – 8,9	6,0 – 7,0
6	10,0 – 11,0	3,0 – 3,3 нм	601 – 664	4,0 – 4,6	3,8 – 4,4
7	7,4 – 8,2	2,2 – 2,5 нм	1745 – 1929	2,7 – 3,1	2,4 – 2,8
8	5,5 – 6,0	1,7 – 1,8 нм	5071 – 5605	–	–
9	4,0 – 4,4	1,2 – 1,3 нм	рост	–	–
10	3,0 – 3,3	0,9 – 1,0 нм	рост	–	–

Примечание: результаты 2,3,5 и 6 столбца получены по формуле (5), а 4-го по формуле (6).

Из таблицы и уравнения(5) следует, что наибольший размер наночастиц, при котором начинают проявляться их необычные свойства, соответствует значению $n \geq 0$, тогда при $n = 0$ $D = 60,4d$. Например, при

$d \approx 0,3$ нм (для металлов) получим $D = 18$ нм, а при $\eta_1 = 0,7405$ и $n = 9,15,16$ получим $D = 7,3; 4; 3,65$ нм, что находится в пределах диаметров волос живых существ. Для дисперсных материалов при $d =$

0,1 мкм, по-лучим $D = 6,4 - 6,0$ мкм, а при $\eta_1 = 0,64 - 0,60$ и $n = 9$ средний критический размер микро- и наночастиц $D = 1,6 - 1,3$ мкм соответственно. Принимая по литературным данным [2] размер мономера силикатного иона кремнезема (тетраэдра) $d = 0,324$ нм, размер наночастиц свежеприготовленного геля, если $\eta_c = 0,7405^{3...5}$, будет равен $8 - 4$ нм, что хорошо согласуется с экспериментом.

Следовательно, плотность упаковки полисиликатных ионов в наночастицах кремнезоля $\eta_1 \geq 0,7405$, а размер устойчивых его образований (агрегаций) будет равен: $D_1 \leq 60,377\eta_1^{3...10/3} d = 60,377 \cdot 0,7405^{1/3} \cdot 6$ нм $= 147 - 133$ нм.

Из таблицы также следует, что средний критический размер кристаллических наночастиц равен $7 - 9$ нм, а наибольший $18 - 20$ нм, тогда как для ультрадисперсных частиц он равен соответственно $(15,8 - 18,3) d$ при $\eta_1 = 0,6403$ и $(15,2 - 17,7) d$ при $\eta_1 = 0,63096$, а наибольшие их размеры $-(60,4 - 70,0) d$ и $(60,4 - 70,4) d$ соответственно. Средний критический размер для перестройки структуры растущих сферических кристаллов в ограниченную форму при подходящих термодинамических условиях равен $(24,5 - 27) d$, а наибольший $(60 - 67) d$.

Так как в знаменателе выражений (2,4) стоят десятикратные значения критической плотности случайной упаковки микрочастиц дисперсных материалов, то для перехода к кристаллическим микро- и нанообъектам с атомно-шероховатой поверхностью эти уравнения можно записать в другом виде:

$$D \leq (\eta_1 / \eta_c)^m \cdot d \leq \left(\frac{1}{\eta_c / \eta_1} \right)^m \cdot d \leq \left(\frac{1}{\eta_1^{n/3-1}} \right)^m \cdot d \leq \frac{d}{\eta_1^{m(n/3-1)}}. \quad (7)$$

Из выражения (7) для плотнейших упаковок атомов в кристаллической фазе ($\eta_1 \leq 0,7405$) наночастиц при $n = 3...4$ и $\eta_c = 0,2549$ приходим к результатам, получаемым из уравнений (2) и (4): $D = 24,5...71d$. Принимая примерное значение размера атома металлов $d = 0,3$ нм, получим $D = 7...21$ нм. Это говорит о тождественности выражений (4 - 7), при $\eta_c \leq 0,2549$ процессов образования наночастиц, протекающих через стадию случайной упаковки атомов в скоплениях (жидкая фаза), и сборки их в кластеры и микрокристаллы.

Выражения (5,6) с учетом плотности регулярной и случайной упаковки элементов структуры в плоскости центрального сечения

сферических агрегаций, кристаллов и других структурных образований, для различных упаковок примут вид:

$$D \leq (3,923\eta_1)^n d / \eta_1^{1/3} \quad (8)$$

(9a) для икосаэдрической – $\eta_1 \leq 0,74048$, $D \leq 2,905^n d / \eta_1^{1/3}$,

(9b) для плотнейших – $\eta_1 \leq 0,74048$, $D \leq 3^n d / \eta_1^{1/3}$,

(9c) для случайных $\eta_1 \leq 0,64976$, $D \leq 2,549^n d / \eta_1^{1/3}$,

для $\eta_1 \leq 0,64029$, $D \leq 2,512^n d / \eta_1^{1/3}$,

для $\eta_1 \leq 0,63716$, $D \leq 2,50^n d / \eta_1^{1/3}$,

для $\eta_1 \leq 0,63405$, $D \leq 2,49^n d / \eta_1^{1/3}$,

$$D \leq 60,377\eta_1^n d / \eta_1^{1/3}. \quad (10)$$

Из выражения (9a) при $\eta_1 = 0,7405$ и таблице видно, что при $n = 1$ атомная агрегация состоит из одного поверхностного слоя атомов, а размер центрального элемента структуры равен $0,9d$, что соответствует размеру центральной пустоты в икосаэдрической упаковке атомов контактирующих между собой при отсутствии центрального. Так заклады ваются вакансии в кристаллах и рост сферических агрегаций.

Из выражения (1) при $d_n = d_l$, $n = 2$ и $m = 3$ получим:

$$\eta_1 = 1/10(\sqrt{3}-1)^p.$$

Подставляя в это уравнение $p = 3$ и $p = 0$ получим величины критических плотностей упаковки шаров (атомов, микрочастиц и пр.): $\eta_c = 0,2549$ – первая – начальная и $\eta_c = 0,1$ – вторая – предельная.

Используем полученное выше значение $\eta_c = 0,1$ для поверхностных атомов в микрочастицах. Критические размеры микрочастиц металлов и дисперсных материалов с атомно-шероховатой и высокоэнергетической поверхностью согласно уравнению (7) при $m = 3$ и диаметре элементов их структуры (атомов) $d = 0,3$ нм будет равен:

$$D = (0,74048 / 0,1)^m d \leq 406d \leq 121 \text{ нм}$$

$$D \leq (0,68834 / 0,1)^m d \leq 326 \cdot d \leq 98 \text{ нм.}$$

Критические размеры наночастиц с атомно – шероховатой поверхностью для случайной ($\eta_1 \leq 0,64976$) и наиплотнейших упаковок ($\eta_c = \eta_1^5 = 0,74048^5 = 0,2226$) с гексагональной ($\eta_c \geq 0,215633$) и кубической ($\eta_c = 0,21039$) укладкой атомов согласно формуле (7) при $d = 0,3$ нм и $m = 3 \dots 4$ будут равны:

$$D \leq (0,64976 / 0,2549)^m d \leq 16,56 \dots 42,22 \cdot d \leq 5 \dots 13 \text{ нм}$$

$$D = \left(\frac{0,74048}{0,21563 \dots 0,21039} \right)^3 d = 40 \dots 44 \quad d = 12 \dots 13 \text{ нм.}$$

$$D \leq \left(\frac{0,74048}{0,21563 \dots 0,21039} \right)^4 d = 139 \dots 153 \quad d = 42 \dots 46 \text{ нм.}$$

Критический размер наночастиц с икосаэдрической укладкой объемных атомов ($\eta_1 = 0,68834$ и $\eta_c = 0,633473^{10/3} = 0,21832$) при $d = 0,3$ нм будет равен:

$$D = (0,68834 / 0,21832)^{(3 \dots 4)} d = 31 \dots 99 \quad d = 9,4 \dots 30 \text{ нм.}$$

С учетом дефектов (дислокаций) в гексагональной ($\eta_1 = 0,73764$) и в плотнейшей кубической ($\eta_1 = 0,726285$) укладке атомов в кристаллической фазе, полученные выше размеры наночастиц металлов уменьшаются соответственно: $D = 40 \dots 137 \quad d = 12 \dots 41$ нм, $D = 41 \dots 142 \quad d = 12 \dots 42$ нм.

В этом диапазоне размер наночастиц с гладкой (ограниченной) поверхностью меньше, чем с атомно - шероховатой поверхностью.

Известно, что при распылении паров металлов на холодную подложку (в холодный гелий) образуются устойчивые кластеры с магическим числом атомов. Наиболее изучены безлигандные наночастицы (класстерные образования) металлов. Так, для свинца были получены наиболее устойчивые кластеры, состоящие из 7, 10, 13, 17, и 19 атомов. По числу в них атомов их делят на малые $n = 3-13$, средние $n = 13-55$, крупные $n = 55-150$ и гигантские $n = 150 - 21100$. При $n = 13$ образуются гексагональная и кубическая плотнейшие упаковки атомов ($\eta_1 = 0,74048$), а также икосаэдрическая $\eta_1 = 0,68834$. В первых двух упаковках на поверхности центрального атома формируются перманентные группы из 3-х и 4-х атомов, контактируемых между собой и с центральным ато-

мом, все 12 атомов поверхностные, тогда как в икосаэдрической упаковке поверхностные атомы разъединены между собой и контактируют только с центральным. Это способствует росту сферических микрочастиц с икосаэдрической укладкой атомов для выполнения первого принципа формирования структуры переохлажденных расплавов.

Первоначально пониженная плотность упаковки атомов в сборке сферических (икосаэдрических) кластерных образований по сравнению с их укладкой в массивном кристаллическом теле приводит к снижению прочности связи между ними и повышению подвижности в результате превалирующего кулоновского взаимодействия. Силы кулоновского межатомного отталкивания регулируют однородность распределения поверхностных атомов вокруг центрального. При достижении определенного размера и наибольшей плотности упаковки атомов в сборке вступает в силу квантово - механическое взаимодействие с повышенной прочностью связи с центральным атомом и с нижележащими атомами в их объединении. Поэтому в природе наряду с кристаллами ограниченной формы встречаются в несколько меньшем количестве и кристаллы сферической формы при определенных термодинамических условиях, концентрации и скорости подхода атомов или ионов к твердофазной поверхности.

При наслоении второго слоя вокруг центрального до двенадцати и более атомов появляется первая возможность перестройки первого слоя икосаэдрической структуры кластера в плотнейшую кубическую или гексагональную с образованием устойчивой октаэдрической формы с плотностью упаковки в нем 19 атомов и с наибольшим координационным числом до семи поверхностных. Плотность упаковки атомов превышает величину в наиплотнейших укладках, где $\eta = 0,7405$:

$$\eta_1 = V_0 / V = (19\pi d^3 / 6) / [0,4714(3d)^3] = 0,7816,$$

где V_0 , V - собственный объем атомов и объем октаэдра с размером ребра $3d$, где d - диаметр атома.

При перестройке икосаэдрической упаковки атомов (шаров) первого слоя в гексагональную для образования из нее первой ограниченной формы, получаемой по принципу плотной упаковки и кристаллографической симметрии, потребуется 17 равновеликих шаров. Образующая далее тригональная дипирамида состоит из 30 шаров, где наибольшее координационное число равно девяти: 6 шаров в ней

размещается в октаэдрических лунках между 4-мя шарами, 6 шаров в лунках между 3-мя шарами и 5 шаров в вершинах. Тогда как для образования полиэдров кубооктаэдрической и икосаэдрической формы количество шаров второго слоя при $n = 2$ потребуется $N = 42$, а общее число шаров трехслойного полиэдра составляет 147. Количество шаров в каждом слое рассчитывается по формуле [3]:

$$N = 1 + \sum_1^n (10n^2 + 2).$$

Формирование структуры кластеров, нано- и микрочастиц подчиняется в основном двум топологическим принципам.

Первый принцип - принцип плотной упаковки. Он заключается в том, что одиночные «горячие» атомы или атомы в их скоплениях, приходящие в контакт между собой и с центральным атомом в результате действия сил притяжения в соответствии с квантовомеханической совместимостью перекрывааемых атомных орбиталей, стремятся занять наименьший объем или с наибольшей плотностью упаковки заполнить свободное пространство для увеличения координационного числа и повышения устойчивости этого объединения в соответствии с допускаемой симметрией кристаллов в их трансляционной укладке. Так, плотность упаковки шаров в объеме однослойного икосаэдра и кубооктаэдра при наличии центрального шара одинакова и равна: $\eta_1 = 13d^3 / (3d)^3 = 13/27 = 0,4815$, тогда как плотность упаковки шаров в объеме однослойного икосаэдра при наличии центральной пустоты и кубооктаэдра при отсутствии центрального шара составляет соответственно: $\eta_1 = 12d^3 / (2,9d)^3 = 0,4895$ и $\eta_1 = 12d^3 / (3d)^3 - d^3 / \frac{1}{6} = 12/26 = 0,4615$. При заселении центральной пустоты в однослойном икосаэдре с контактируемыми между собой внешними шарами шаром соответствующего размера (что имеет место в эвтектических сплавах) плотность их упаковки будет равна: $\eta_1 = 12,905d^3 / (2,905d)^3 = 12,905/24,515 = 0,5264$.

Несколько повышенная плотность упаковки шаров в однослойном пустотелом икосаэдре ($\eta = 0,4895$) по сравнению с икосаэдром и с кубооктаэдром ($\eta = 0,4815$) с заселенной центральной пустотой обуславливает рост нанокристаллов в первую очередь икосаэдрической – сферической формы.

Второй принцип - принцип зарядовой - кулоновской однородности распределения «холодных» атомов в кластерных образованиях (флуктуациях плотности) состоит в том, что результатом действия сил бокового кулоновского отталкивания является однородное размещение атомов в свободном пространстве вокруг центрального, т.е. на одинаковом расстоянии между ними на его поверхности с образованием икосаэдрической структуры и ее модификаций.

Рост наночастиц металлов обусловлен данными принципами заполнения лунок, образованных поверхностными атомами, частичным боковым или радиальным перекрыванием внешних p или d электронных орбиталей с увеличением координационного числа атомов в кристаллической структуре и формированием кубооктаэдрических или икосаэдрических форм симметрии при наличии центрального атома внутри кластеров, либо икосаэдрических – сферической формы при отсутствии центрального атома с образованием вакансий. Низкая плотность упаковки поверхностных атомов при естественной сборке малых кластерных образований приводит к снижению прочности связи между ними в результате действия кулоновского отталкивания и однородности их распределения в поверхностных слоях. Рост кристаллов сферической формы продолжается до достижения плотности упаковки атомов в поверхностных слоях равной $0,4098 \leq \eta_1 \leq 0,64029$, где величина $\eta_1 \leq 0,4098$ указывает на невозможность топологического перехода к плотному конденсированному состоянию вещества. При достижении плотности их упаковки в поверхностных слоях $\eta_1 \geq 0,64029$ вступает в силу квантово - механическое взаимодействие в плотнейших упаковках с повышенной прочностью связи с центральным и с нижележащими атомами в их объединении. При наложении второго слоя вокруг центрального до 6 и более атомов появляется первая возможность перестройки формы первого слоя икосаэдрической структуры кластера в плотнейшую кубическую с образованием устойчивой октаэдрической формы. Перестройка икосаэдрической формы в малых зародышах кристаллизации протекает и при переходе центрального атома в первый поверхностный слой с образованием пустот атомного размера, перемещающихся по кристаллу в виде вакансий. В икосаэдрической упаковке поверхностные атомы разъединены между собой на одинаковые расстояния

$$\delta = \left[\left(1 / 0,905 \right)^{1/3} - 1 \right],$$

образуя 6 осей 5-го порядка, а при отсутствии центрального атома структура ее сжимается до сферических форм с 12 – тью поверхностными атомами. Это микротопологический переход первого рода с увеличением плотности упаковки атомов от 0,48 до 0,53. Икосаэдрическая и ее атомно-пустотная структуры определяют сферичность формы на первой стадии образования кластеров и наночастиц многих веществ живой и неживой природы. Это промежуточная структура между кристаллическими уграненными телами неживой и развивающимися телами живой природы и характерная для большинства природных вирусов. Механизм взаимодействия изолированных “холодных” атомов и образование таких структур еще пока не установлен. Один из интересных результатов таких исследований – установление важной роли состояния электронов поверхностных атомов в металлических кластерах. Для этих состояний по сравнению с объемными состояниями характерен некоторый дефицит электронной плотности. В связи с этим наблюдается рост работы выхода электрона из кластера по сравнению с большим металлическим кристаллом. Так для 13-ти атомных кубоктаэдрических кластеров переходных металлов разница составляет 2эВ. Кроме того, у кластеров свойства ненасыщаемости и направленности связи между атомами выражены слабо или даже полностью отсутствуют. По нашему мнению протяженность электронных p и d орбиталей отсутствуют. По нашему мнению протяженность электронных p и d орбиталей у “холодных” атомов сокращается. Сборка из них кластеров кристаллических и однородных (икосаэдрических) структур в инертных средах и средах не имеющих носителей зарядов, основана на ослабленном квантовомеханическом притяжении и усиленном боковом кулоновском отталкивании атомов в соответствии с приведенными выше принципами.

Покажем, что выражения в общем виде для определения размера сферических микро- и наночастиц можно получить из общей закономерности (1) при $n = 2$, $p = 3$, $\eta_1 = 0,64976$ и $\eta_1 = 0,74048$ соответственно:

$$\frac{D}{d} = d_1 / \left(\frac{2,549}{10\eta_1} \right)^{m/3} d_1 = \left(\frac{10\eta_1}{2,549} \right)^{m/3} = 2,549^{m/3} \quad (11)$$

$$\frac{D}{d} = \left(\frac{10\eta_1}{2,549} \right)^{m/3} = 2,905^{m/3} \quad (12)$$

$$\frac{D}{d} = (\eta_1 / \eta_c)^{m/3}, \quad (13)$$

где η_1 в выражениях (11,12) принимает значения $\eta_1 \leq 0,7405$, а в выражении (13) $\eta_1 \leq 0,64976$ при $m \geq 3$.

Выражения (11- 13) при $m = 9$ и $m = 12$ переходят в уравнения (2 - 5).

Из выражения (12) видно, что при $m = 3$ атомная агрегация состоит из одного поверхностного слоя атомов, а размер центрального элемента равен $0,9 d$, что соответствует размеру центральной пустоты в икосаэдрической упаковке 12-ти поверхностных атомов (шаров), контактируемых между собой. В выражении (9) для случайной (произвольной) упаковки элементов структуры $\eta_c = \eta_1^{1/3} \dots \eta_1^{10/3}$, где $\eta_1 \leq 0,64976$ и $\eta_c = \eta_1^5$ – для плотных систематических укладок, где $\eta_1 \leq 0,7405$

Уравнения (11 – 13) с учетом плотности упаковки элементов структуры в поверхности поперечного сечения агрегаций можно записать в виде :

$$D \leq 2,549^{m/3} \cdot d / \eta_1^{1/3}, \quad (14)$$

$$D \leq 2,905^{m/3} \cdot d / \eta_1^{1/3}, \quad (15)$$

$$D \leq (\eta_1 / \eta_c)^{m/3} \cdot d / \eta_1^{1/3}, \quad (16)$$

где $\eta_1 \leq 0,64976$ – для случайных упаковок, $\eta_1 = 0,8238\dots 0,9069$ – для икосаэдрических укладок и полимеров и $\eta_1 \leq 0,7405$ – для кристалли-

ческих структур, где для икосаэдрических укладок плотность упаковки атомов в проекции на площадь поперечного сечения сферических новообразований

$$\eta_1 = \left[0,9069\sqrt{0,1} + 0,7854(1 - \sqrt{0,1}) \right] = 0,8238.$$

Таким образом, появляется возможность расчета (5,10) наибольшего критического размера микро- и наночастиц по диаметру атомов простых веществ и по размеру элементарной кристаллической решетки сложных веществ.

Список литературы:

1. Хархардин А. Н. Структурная топология дисперсного слоя взаимодействующих микро- и наночастиц // Известия Вузов. Строительство. – 2011. – № 5. – С.126-132.

2. *Куколев Г. В.* Химия кремния и физическая химия силикатов. – М.: «Высшая школа», 1966. – С. 56 – 60.
3. *Губин С. П.* Химия кластеров. Основы классификации и строение. – М.: Наука, 1987. – 263 с.
4. Хархардин А. Н., Строкова В. В. Размерный интервал критического размера наночастиц и принципы атомной сборки кластеров

КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА ПОПУТНО-ДОБЫВАЕМЫХ ПОРОД УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ходькин Е.И., канд. техн. наук, доцент
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Одним из наиболее объемных производств в России по масштабу добычи попутно перемещаемых пород является угледобывающая промышленность.

Породы угленосных и перекрывающих их отложений содержат разнообразный комплекс дефицитных сопутствующих углям и ископаемым, что позволяет считать угольные месторождения основными резервами комплексного природопользования.

Составными частями угленосных формаций являются глины, бокситы, железные руды, пески, глиежи (горелые породы), карбонатное сырье, каменные строительные материалы, горючие сланцы, самородная сера, цветные, редкие и благородные металлы. Они также часто являются вмещающей породой для гидротермальных и интрузивных образований и связанных с ними разнообразных пород и ископаемых.

Рассмотрим некоторые из них, представляющие интерес для строительной индустрии.

Угленосные формации от 20 до 80 % состоят из песков и их литифицированных аналогов. Гранулометрический состав песков и гравия, их отсортированность по размеру частиц, загрязненность вредными примесями зависят в основном от фациальных условий образования. В целом угленосные формации характеризуются преобладанием мелкозернистых и среднезернистых песков.

Наиболее дефицитные грубозернистые и гравийные бетонные пески развиты на отдельных месторождениях.

Минеральный состав песков и песчаников от чисто кварцевых, содержащих до 98 % SiO_2 , до полимиктовых.

Широко используются пески для тяжелых бетонов, дорожного строительства, производства силикатного кирпича, асфальтобетона. Наиболее ценные кварцевые пески применяются в стекольном и фарфоро – фаянсовом производстве как формовочные.

Второе место в объеме угленосных и перекрывающих их отложений занимают глинистые породы.

Гранулометрический состав глин различен: собственно, глинистые минералы сосредоточены в основном во фракции менее 0,001 мм, но частично имеют и более крупные размеры.

Химический состав глин зависит от слагающих их глинистых минералов, количества и состава обломочных зерен и аутигенных минералов. Преобладающий состав глин (на прокаленное вещество) SiO_2 45 - 70 %, Al_2O_3 15 - 20 (редко до 38 или до 8 %) Fe_2O_3 2 - 4 %; TiO_2 1,5 - 2 %; K_2O , Na_2O 2 - 4 % (редко до 8 % и мене 2), CaO , MgO до 8 % ; SO_3 – менее 1 % . Химический состав глин определяет следующие технологические свойства: содержание Al_2O_3 в значительной степени повышает огнеупорность; Fe_2O_3 снижают огнеупорность; Fe_2O_3 и TiO_2 являются основными окрашивающими окислами в сыром обожженном состоянии; щелочи и щелочноземельные окислы повышают поглотительную способность глин; сернистые углекислые соединения, а также органические примеси ухудшают рабочие свойства изделий и усложняют технологический процесс переработки глин.

Характерный состав глин в значительной степени определяется рациональными условиями образования осадков. Они распространены практически на большинстве угольных месторождений Дальнего Востока, Приморья, острова Сахалина, в Канско – Ачинском, Подмосковном, Днепровском бассейнах и др.

Возможность использования глин оценивается их свойствами: огнеупорностью, пластичностью, связующей способностью, вспучиваемостью, поглотительной способностью и другими, которые зависят от химико-минерального состава глин, степени дисперсности и присутствия посторонних примесей.

В угленосных толщах карбонатные породы распространены менее широко чем песчано-гравийные и глины. Объем их в Донецком, Подмосковном, Кизеловском угленосных бассейнах составляет до 50 % разреза. Это преимущественно известняки, редко встречаются озерные мергели и в перекрывающих угленосную толщу породах – мел.

Известняки преимущественно биогенного происхождения, поэтому распространены в основном в бассейнах карбонового, реже юрского возраста. Минеральный состав их изменяется от почти чистых карбонатов кальция до мергелистых пород. Запасы известняков во вскрышных породах оценены в Подмосковном бассейне и на Ангренском месторождении.

В строительной индустрии карбонатные породы применяются как сырье для производства строительной извести, портландцемента,

минеральных порошков для асфальтобетона. Плотные разновидности его применяются в качестве бутового камня для фундаментов, кладки стен, облицовки зданий, щебня для бетона, автодорожного строительства и балластного слоя железных дорог.

Скальные горные породы применяются для производства строительного щебня, бутового и стенового камня, облицовочного и декоративного материала. В угленосных формациях рассматриваются некоторые разновидности песчаников, конгломератов, известняков и изверженных пород.

Горелые породы являются специфическим видом полезных ископаемых и связаны только с угольными месторождениями. Природное выгорание угольных пластов и связанное с ним образование горелых пород достигает глубин 100-150 м и широко развито на многих месторождениях Кузнецкого, Канско-Ачинского бассейнов, Дальнего Востока, Приморья, имеет самый различный возраст вплоть до современного. Наибольшую промышленную ценность представляют среднеобожженные глинистые породы (глиежи), обладающие наиболее высокой активностью. Сильно обожженные и особенно переплавленные породы обычно имеют низкую активность.

Эффективность использования горелых пород по сравнению с необожженным сырьем, обусловлена повышением при обжиге гидравлической активности и капиллярности, меньшей влагопотребностью в технологических процессах, хорошим сцеплением с битумами.

Горелые породы в качестве активной минеральной добавки в портландцемент используется довольно широко на ряде цементных заводов. Для этих целей могут применяться как глиежи, так и горелые породы терриконов.

В дорожном строительстве горелые породы применяются как для устройства основания дорожных одежд, так и для асфальтобетонных покрытий. Качество слоев дорожной одежды, в том числе и асфальтового покрытия из горелых пород, выше, чем слоев, устроенных из известнякового щебня и гравия. Это объясняется их цементирующей способностью и очень хорошим сцеплением с битумом. В асфальтобетоне горелые породы применяются как в качестве щебня и песка, так и минеральных порошков.

Асфальтобетоны, изготовленные на основе горелых пород, обладают хорошей теплоустойчивостью и малым водонасыщением, что при хорошем сцеплении битума с горелыми породами гарантирует

продолжительный срок службы и устойчивость против деформаций асфальтобетонного покрытия.

В настоящее время вопросы рационального природопользования требуют пристального внимания. Отходы угледобывающей промышленности являются уникальным сырьем, практически готовым к использованию промышленностью стройматериалов.

Список литературы

1. *Клер, В.Р.* Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений. – М. : Недра, 1979. – 271с.
2. Угольная база России, т. 1, Угольные бассейны и месторождения европейской части России; Под ред. В.Ф. Череновского. - М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. – 570 с.
3. *Боженев, П.И.* Комплексное использование минерального сырья и экология. / П.И. Боженев – М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 1994. – 266 с.

ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОДУКТЫ ИЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ - НОВЫЙ КЛАСС АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК

Хомич В.А., канд. хим. наук, доцент

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

Изучение пуццоланового действия ультрадисперсных техногенных продуктов, содержащих 91...96 % аморфного диоксида кремния, и анализ выполненных морфологических исследований, позволяют выделить новый класс активных минеральных добавок [1]. К этому классу добавок относятся материалы, состоящие из наноструктурированного диоксида кремния. Целью работы является: изложение результатов по изучению механизма действия добавок нового класса.

Представителями наноструктурированных добавок являются белая сажа БС-120 (БС) и продукт высокотемпературной обработки рисовой шелухи АДК (АДК). Их характеристики приведены в табл. 1. Агрегаты первичных частиц БС и АДК являются наносистемами с характерной структурой. БС состоит из прочно связанных корпускулярных наноразмерных частиц (рис. 1а). АДК состоит из уплотненных сросшихся наноразмерных зерен, разделенных и изрезанных каналами пор (рис. 1б). Агрегаты зерен АДК имеют пластинчато-чешуйчатую форму; их размер определяется степенью измельчения материала.

Для связывания свободной извести в пуццолановой реакции требуется около 10 % (от массы цемента) диоксида кремния. Однако, уже 1 % наноструктурированных добавок приводит к улучшению эксплуатационных свойств цементных композиций по показателям прочности и водопоглощения, адгезионной прочности [2]. Этот факт объясняется особым механизмом действия наноструктурированных добавок, отличным от действия известных модификаторов пуццоланового действия [3,4].

Таблица 1

Характеристики ультрадисперсных пуццолановых добавок

Добавка	Содержание SiO ₂ , %	S _{уд} , м ² /г	Размер первичных частиц, нм	V, см ³ /г	R пор, нм
БС	95	111	20	0,3494	5,4
АДК	96	182	60...120	0,3234	2,7

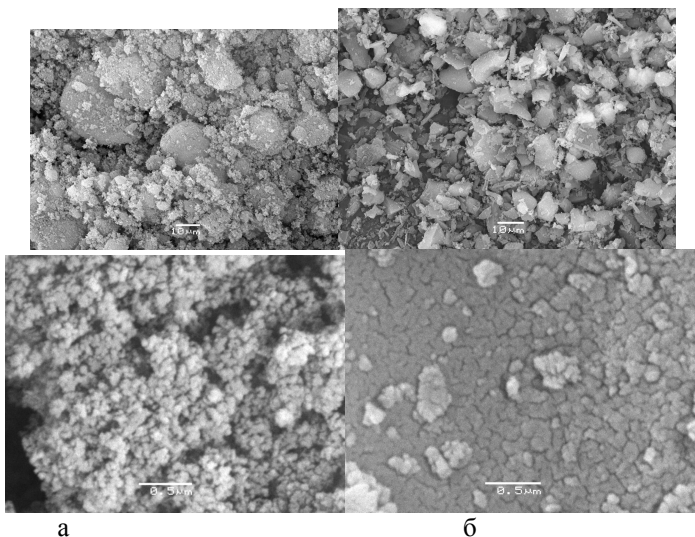


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки:
а) БС; б) АДК

Физико-химические аспекты механизма касаются химического взаимодействия модификатора добавки с компонентами растворной смеси. Наноструктурированные добавки имеют высокие значения избытка свободной поверхностной энергии, обладают высоким адсорбционно-химическим потенциалом. Кремний в ионах $[\text{SiO}_4]^{4-}$ добавки координирует и взаимодействует не только с ионами кальция, образовавшимися в результате гидратации алита, но и с ионами кальция гидросиликатов, с понижением их основности. Результатом такого взаимодействия является образование высокодисперсных низкоосновных гидросиликатов кальция и, как следствие, уплотнение структуры цементного камня. Доказательством этого механизма служат результаты рентгенофазового, термического и ИК-спектроскопического анализов, а также данные ртутной порометрии [1]. В цементном камне с добавками, по сравнению с бездобавочными составами, увеличивается содержание низкоосновных гидросиликатов кальция и незначительно (на 3 %) понижается количество портландита; средний радиус пор снижается до 19,7 нм.

В энергетическом аспекте следует объяснять образование в цементном камне, наряду с тоберморитоподобными,

ксонолитлподоьных гидросиликатов кальция вероятного состава $6\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ($d/n = 7,352^\circ; 2,695^\circ; 1,429^\circ; 1,389^\circ$).

В структурно-механическом аспекте механизма рассматривается участие агрегатов наноструктурированного диоксида кремния и вторичных структур в процессах кристаллизации и в повышении прочности цементного камня.

Цементный камень с добавкой, по данным электронно-микроскопических исследований, содержит периодические структуры, подобное наноструктуре агрегатов добавки. Повторяя наноструктуру подложки, в процессе твердения формируются области упорядоченных структур гидросиликатов – области локального порядка в объеме цементного камня. Эти области можно рассматривать как физические узлы цементной гелевой матрицы, которые повышают прочность композиции. В процессе формирования областей локального порядка ориентационные процессы вовлекается цементный гель, с переходом его в связанное состояние. Максимальному эффекту уплотнения отвечает определенное содержание (концентрация и распределение по объему) областей локального порядка в цементном камне.

Агрегаты наноструктурированной добавки, несмотря на незначительный вклад, вызывают уплотнение и упрочнение структуры цементного камня.

Совместимость с пластификатором. Ультрадисперсные активные минеральные добавки, имея большую удельную поверхность, вызывают значительное повышение водопотребности смеси, поэтому используются только в комплексе с пластификатором.

Проведенные нами исследования позволяют сделать вывод о перспективности использования добавок наноструктурированного диоксида кремния совместно с пластификаторами на основе эфиров поликарбоксилатов, получивших широкое распространение.

Результаты изучения способности добавок поглощать известь из известкового раствора (методика Бутта Ю.М. и Тимашева В.В.) показывают, что пластификатор Glenium сам сорбирует известь, тем самым отрицательно влияя на кинетику процессов гидратации и твердения. При совместном использовании Glenium с добавками диоксида кремния сорбция носит неаддитивный характер. Пластификатор снижает эффективность действия АДК на 5,6 %, а добавки микрокремнезема, известного ультрадисперсного модификатора пуццоланового действия, на 13,5 %, рис. 2. Конкурирующая способность к связыванию ионов кальция у наноструктурированных добавок наибольшая. С этими добавками в

большой степени реализуются потенциальные возможности комплексного модификатора на основе эфиров поликарбоксилатов.

Актуальность разработки и использование комплексных модификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов в настоящее время очевидна.

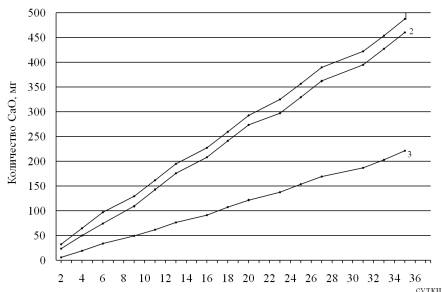


Рис. 2. Кинетические кривые поглощения извести I γ добавок:
1) АДК, 2) АДК + Glenium, 3) Glenium

Проведенные исследования морфологических характеристик ультрадисперсных добавок, их сорбционной способности, а также физико-химических характеристик и эксплуатационных свойств цементного камня и растворов позволили сделать следующие выводы.

1) Техногенные продукты, состоящие из наноструктурированного диоксида кремния (НДК) представляют новый класс активных минеральных добавок, отличающихся по механизму действия от известных пуццолановых модификаторов.

2) Отличие по механизму действия добавок НДК в физико-химическом аспекте заключается: во взаимодействии диоксида кремния добавки не только с ионами кальция свободной извести, но и с ионами кальция гидросиликатов цементной смеси; в образовании не только тоберморитоподобных, но и ксонотлитоподобных гидросиликатов кальция.

3) Отличие по механизму действия добавок НДК в структурно-механическом аспекте заключается в формировании и кристаллизации периодических структур гидросиликатов — областей локального порядка, которые могут выступать дополнительными узлами цементной гелевой матрицы и упрочнять структуру цементного камня.

4) Установлена более высокая эффективность добавки НДК, по сравнению с добавкой микрокремнезема, при совместном действии

каждой из добавок с пластификаторами на основе эфиров поликарбонатов.

Список литературы:

1. *Эмралиева, С.А.* Влияние морфологических особенностей пуццолановых добавок на эксплуатационные свойства строительных растворов / С.А.Эмралиева, В.А.Хомич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – Вып. 9. – № 35 (168), 2009. – С. 33–38.
2. Патент РФ № 2397966 С1, МПК С 04 В 28/04, С 04 В 22/06, С 04 В 111/27. Сухая строительная смесь / В.А.Хомич, С.А.Эмралиева; заявка № 2009110361/03 от 20.03.2009, опубл. 27.08.2010. – Бюл. № 5.
3. *Крамар, Л.Я.* Влияние добавки микрокремнезема на гидратацию алита и сульфатостойкость цементного камня / Л.Я.Крамар, Б.Я.Трофимов, Л.С.Талисман и др. // Цемент. – 1989. - № 6. – С. 14-17.
4. *Ghafoori, N.* Strength and wear resistance of sand-replaced silica fume concrete / N.Ghafoori, H.Diavara // ACI Materials Journal. – 2007. – Vol. 104. № 2. – P. 206-214.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИТРОГИПСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНГИДРИТОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Чернышева Н.В., канд. техн. наук, доцент,
Черныш Л.И., аспирант
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

В России складывается критическое положение с обеспечением гипсового производства качественным природным сырьем. Не каждый регион имеет месторождения гипсового камня, что вынуждает привозить сырье или готовое вяжущее из других областей, что связано с большими транспортными затратами. Поэтому вовлечение высококачественных техногенных гипсосодержащих отходов различных отраслей промышленности является насущной проблемой сегодняшнего дня.

Ведущими специалистами количество гипсосодержащих отходов во всем мире оценивается в миллиарды тонн [1,2].

Промышленность стран СНГ насчитывает более 50 видов гипсосодержащих отходов (рис.1)

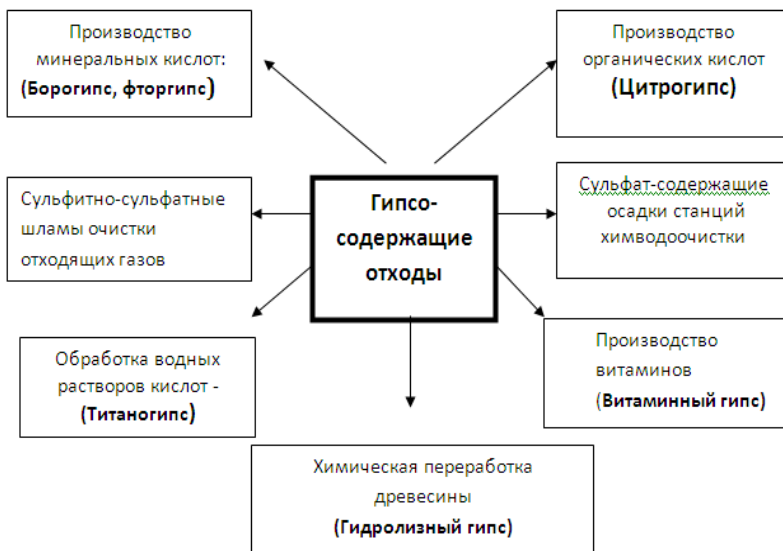


Рис.1 Основные виды гипсосодержащих промышленных отходов

Только на Белгородском заводе лимонной кислоты (ООО «Цитробел»), расположенном в городской черте, к настоящему моменту скопилось более 4 млн. т цитрогипса – отхода производства лимонной кислоты (рис.2, 3).

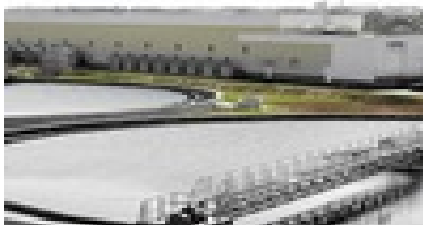


Рис.2. Хвостохранилища
ООО «Цитробел», г Белгород

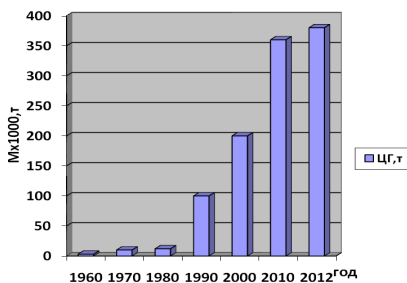


Рис.3 Накопление отходов на
ООО «Цитробел», г. Белгород

В последние десятилетия одним из перспективных направлений является использование гипсовых вяжущих в сухих строительных смесях (ССС), что позволяет повысить эффективность и производительность труда в строительстве. Одним из перспективных направлений в данном случае является создание рецептур сухих строительных смесей

(для устройства самонивелирующихся стяжек оснований полов и др.) на базе гипсового, ангидритового и гипсоангидритового вяжущего.

Важной особенностью материала на основе ангидрита являются его незначительные усадочные деформации при твердении и высыхании. Отличительная особенность применения ангидритового вяжущего заключается в более медленном протекании реакции, которая поддается регулированию. Для ускорения реакции гидратации и доведения начала срока схватывания не ранее 30 мин, конца - не позднее 24 часов, на практике применяют добавки-активаторы: сульфаты щелочных металлов или гидраты окиси кальция или натрия.

Высокие прочностные характеристики ангидритовых вяжущих, по сравнению с гипсовыми вяжущими, являются одним из ключевых факторов их применения в напольных сухих смесях.

В Белгородском государственном технологическом университете проводятся исследования по изучению возможности получения ангидритового вяжущего из техногенного сырья – цитрогипса и сухих гипсовых смесей (СГС) на его основе.

По данным химического анализа цитрогипс в пересчете на сухое вещество состоит на 90–96% из дигидрата сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и по этому показателю соответствует 1 сорту сырья для производства гипсовых вяжущих по ГОСТ 4013–82 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов».

Однако двуводный кристаллогидрат сульфата кальция, не обладает вяжущими свойствами. Для его использования необходимо двуводный сульфат кальция перевести в полуводный $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ или в ангидрит CaSO_4 , что возможно при добавлении в цитрогипсовую массу серной кислоты, в результате чего происходит присоединение молекул воды к H_2SO_4 с выделением большого количества тепла [3,4].

Регулируя его мольное соотношение при исходной температуре 80°C (получение в заводских условиях) можно получить синтетическое поликомпонентное гипсовое вяжущее, состоящее преимущественно из ангидрита и полугидрата сульфата кальция (табл.1)

Таблица 1

Состав продуктов обработки цитрогипса ($t=80^\circ\text{C}$)

№ п/п	Соотношение $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}$, моль/моль	Содержание соединений, %		
		CaSO_4	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
1	1:4	100	-	-
2	1:8	89,8	10,2	-
3	1:10	71,8	28,2	-
4	1:12	75,2	24,8	1,3
5	1:14	64,0	34,7	1,3
6	1:17	76,7	22,0	1,3
7	1:20	64,5	34,5	1,0
8	1:23	59,0	39,3	1,7
9	1:25	58,2	39,5	2,3
10	1:28	51,4	46,3	2,3

Из полученных результатов видно, что в процессе обработки содержание ангидрита изменялось от 51,4 до 100 %, полугидрата - от 10,2 до 46,3%, а дигидрата сульфата кальция от 1,3 до 2,3%.

Для определения возможности изготовления строительных материалов на основе ангидритового вяжущего были изучены его технические и прочностные характеристики (табл.2).

Таблица 2.

Технические характеристики ангидритового вяжущего

Показатели	Ед.измерения	Безобжиговое ангидритовое вяжущее
1	2	3
Тонкость помола – остаток на сите №002, не более	%	14
Плотность	кг/м ³	1200-1450
Насыпная плотность в рыхлом состоянии	кг/м ³	800-1100
Нормальная густота	%	35-40
Сроки схватывания теста нормальной густоты: начало конец	ч	0,5- 2,5
Предел прочности на растяжение при изгибе образцов из теста нормальной густоты через 7 суток твердения во влажных условиях	МПа	1,0 - 1,5
Предел прочности при сжатии через 28 суток твердения во влажных условиях	МПа	9,7 – 11,2
Коэффициент размягчения		0,42
То же через 28 суток твердения	МПа	1,5-2,5

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований была доказана возможность получения ангидритового вяжущего с высокими прочностными характеристиками из цитрогипса.

Список литературы:

1. *Лесовик, В.С.* Гипсовые вяжущие материалы и изделия / В.С. Лесовик, С.А. Погорелов, В.В. Строкова - Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000.С. 223.
2. *Погорелов, С.А.* Эффективные строительные материалы и изделия на основе гипсовых вяжущих веществ / С.А. Погорелов.- Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г Шухова.- 2003. С.201
3. *Свергузова С.В.* Влияние условий обработки цитрогипса на состав получаемого гипсового вяжущего / *Свергузова С.В. Чернышева Н.В., Черныш Л.И., Шамигулов А.В* // Строит. материалы . 2010.№7.С. 31-32

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФИБРОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ КАМБОДЖИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Чхин С., аспирант

*Белгородский государственный технологический
университет им В.Г. Шухова*

В настоящее время на территории Камбоджи осуществляется большемасштабное строительство микрорайонов, оснащенных зданиями и сооружениями различного назначения, в том числе и высотных зданиях.

Для их возведения, преимущественно используется технология монолитного строительства из бетона.

Зарубежный опыт показывает, что перспективным направлением в строительной индустрии, особенно при возведении высотных зданий, является применение фибробетонных конструкций различного назначения.

Фибробетон, так же как и традиционный бетон, представляет собой композиционный материал, армированный равномерно - распределенной по объему фиброй.

Дисперсное армирование фиброй позволяет в большой степени компенсировать главные недостатки бетона - низкую прочность при растяжении и хрупкость.

Среди всего многообразия фибры наиболее доступной и простой в применении является ее металлическая разновидность.

Металлическая фибра может иметь различное поперечное сечение - круглое, прямоугольное и др. Ее диаметр может составлять от 0,2 до 1,6 мм, а длина колеблется от 5 до 160 мм. Прочность на растяжение при этом может составлять - 400 -1100 МПа.

Армирование бетона такой фиброй способствует увеличению его прочностных характеристик:

- предел прочности при растяжении увеличивается в 2,5 раза, при изгибе - в 3,5 раза и при сжатии - в 1,5 раза;
- ударная прочность повышается в 10 раз;
- вязкость – в 20 раз;
- сопротивление истираемости – в 2 раза;
- трещиностойкость – до 6 раз.

Кроме того при применении фибры значительно повышается деформативность, морозостойкость, термостойкость,

водонепроницаемость и коррозионная стойкость бетонных конструкций.

Повышение физико-механических свойств СФБ позволяет снизить массу бетонных конструкций от 15-20% или в 5- 10 раз. [2][3]

Исходя из этих заключений, ФБ имеет большой потенциал для применения в строительстве высотных зданий и сооружений в Камбодже, для производства которого наиболее выгодно использовать внутригосударственные ресурсы.

На период к 2009 году в Камбоджи наблюдалась тенденция роста добычи большинства полезных ископаемых промышленности строительного производства (песка, гравия и др.).

Показатели по добыче полезных ресурсов более чем в два раза превысили прошлогодние, что в свою очередь повлияло на увеличение выпуска строительных материалов на 38% и составило 2,82 млн. тонн на конец 2009 года. Также было увеличено производство различных заполнителей и наполнителей для бетона на 11,7%.

Кроме того в 2008 году был введен в эксплуатацию первый крупный цементный завод в Камбоджи, который расположен в провинции Кампот. «Кампот-Цемент» – завод совместного предприятия между «Сиамом Cement Group» в Таиланде (90%) и «Khaou Chuly» группы.

Планируемое расширение производственной мощностей завода к 2012 году - до 2 млн. тонн цементной продукции в год, общей стоимостью строительных работ - \$100 млн. [1]

Статистика развития сырьевой базы для производства бетона в Камбодже.

Наименование	Год		
	2007	2008	2009
Наполнители	329028 т.	6581500 т.	14035790 т.
Заполнители	36250 т.	37500 т.	41875 т.
Цемент	86990 т.	772029 т.	774305 т.

Многолетний опыт использования фибробетона в таких странах как Россия, США, Япония и ряде некоторых других развитых государств

еще раз доказывает, что производство фибробетона на основе минерально-сырьевой базы Камбоджи его использование в строительной индустрии может иметь большое значение для развития жилого и промышленного строительства в сравнении с традиционными видами бетона.

Список литературы:

1. 2009 Minerals Yearbook
2. Proceedings of the 2-nd Asia - Pacific speciality conference on fibre reinforced concrete. Singapore. Aug. 1999
3. MaguMadar A. Glass fibre reinforced cement. London, 1991

ПРОЦЕСС СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ МОНОЛИТНОГО ФИБРОБЕТОНА ДЛЯ УСЛОВИЙ ПАЛЕСТИНЫ

Шакарна М.Х,
Бадо А.С.

*Белгородский государственный технологический
университет им В.Г. Шухова*

Палестина является небольшим государством ближнего востока находящаяся в центре внимания всего мира, так как за свою многолетнюю и многонациональную историю культура этого государства стала очень разнообразной.

За всю историю строительства Палестины использовались такие строительные материалы, как глина, камни, известняк и многие другие. Один из наиболее интересных городов – город Иерехон, который считается самым старым городом планеты и отмечал в октябре 2010 года десять тысяч лет. Основным строительным материалом при его возведении послужила глина с добавлением соломы.



Рис. 1. Православный греческий монастырь на горе Каранталь около Иерихона

Палестина находится в сейсмически нестабильном районе с часто изменяющимся климатом. За последние пять лет государство пережило

очень много незначительных землетрясений, однако в 1927 году произошло очень сильное землетрясение с катастрофическими последствиями, унесшее жизни многих палестинцев.



Рис. 2. Последствия землетрясения 1927 года

В Палестине в течении года могут происходить сильные колебания температур с -5°C до $+40^{\circ}\text{C}$.



Рис.3. Зима в Иерусалиме

Территория Палестины располагает всеми сырьевыми ресурсами, используемыми для производства фибробетона.

Щебень и гравий: эти сырьевые ресурсы образуются вследствие разрушения горных пород в связи с экологическими факторами, например гравий и щебень, находящиеся в долинах озер. Также эти сырьевые материалы можно получить путем механического дробления.

Большинство щебня и гравия в Палестине получают из горных пород, залежи которого представляют собой пласты различной мощности. Также на территории государства имеются залежи вулканических горных пород, гранита и базальта, ведется разработка других источников минерального сырья, возможна добыча известняка. Он может образовываться в любых пресноводных и морских бассейнах, преобладающее большинство этих пород имеет морское происхождение. Иногда они осаждаются, подобно соли и гипсу, из воды испаряющихся озер и морских лагун, но, по-видимому, большая часть известняка отложилась в морях, не испытавших интенсивного высыхания. В образовании более молодых известняков участвует также кальцит, поступающий из разрушенных более древних известняков.

Щебень и гравий используется как заполнитель в автодорожном строительстве и при производстве бетона для строительства зданий и сооружений промышленного и гражданского назначения.

Щебень и гравий состоит из частиц различных размеров, диаметры которых не превышают 64 мм, все остальные частицы можно классифицировать, как валуны.

Гравий и щебень разделяют в Палестине на четыре группы:

1. Диаметр частиц в диапазонах с 2- до 64 мм.

А) гравия 64-32 мм

Б) гравия 32-16мм

В) гравия с16-8 мм

Г) гравия с 8-до 4 мм

Размеры частиц менее 2 мм классифицируются как песок.

2 . Песок в Палестине можно получить из природных источников или в результате дробления природного камня. Пески подразделяются на:

а) крупный песок с 2 до 0.5 мм

б) Средний песок с 0.5 до 0.25 мм

в) Высокодисперсный порошок с частицами с диаметром 0,0625 до 3.9×10^{-3} мм

г)глина очень мягкая и ее диаметр менее 3.9×10^{-3}

В Палестине цемент активно используется в строительстве и он импортируется из соседних стран, таких как Иордания. В основном используются два типа цемента:

1. Портландцемент;
2. Шлакопортландцемент

Химический состав портландцемента:

CaO с 62% до 67%;
SiO₂ с 18% до 25%
Al₂O₃ с 4% до 8%
Fe₂O₃ с 0.5% до 5%
MgO с 62% до 67%
Na₂O с 0.5% до 1.5%
SO₃ с 0.5% до 2%

В Палестине используется фибробетон с различными видами фибры. Самый эффективный вид – стальная волновая фибра. Добавление фибры в количестве от 1% до 2% от объёма позволяет получить очень прочные бетоны.



Рис.4. Стальная волновая фибра

Основные характеристики фибробетона:

1. Фибробетон более устойчив к воздействию низких температур
2. Фибробетон более устойчив к огню и воздействию высоких температур.

3. Фибробетон более устойчив к проникновению воды и химических веществ.

4. Фибробетон более устойчив к истиранию.

5. Фибробетон более устойчив к ударам (обладает большей пластичностью).

6. Фибробетон более устойчив к трещинообразованию.

Таким образом, использование фибробетона целесообразно для условий Палестины, находящейся в сейсмической зоне и для обеспечения устойчивости зданий и сооружений необходим легкий и высокопрочный бетон. Также постоянное изменение климата и повышение температуры окружающей среды вызывает необходимость использования фибробетона для реконструкции зданий Палестины, так как многие из них уже устарели и не соответствуют нормативным актам строительства.

Список литературы:

1. «Мониторинг технического состояния зданий и сооружений» В.В. Гурьев, В.М. Дорофеев, журнал "СтройПРОФИль" №4 (2005г.), стр.42.
2. Лесовик, Р.В. Высококачественный бетон с использованием сырьевых ресурсов КМА / Ю.Н. Черкашин, Р.В. Лесовик, Д.М. Сопин, А.Н. Ластовецкий, К.С. Ракичченко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2009. - № 4. – С.71-75.
3. Лесовик, В.С. Высокопрочный мелкозернистый фибробетон с нанодисперсным модификатором / В.С. Лесовик, К.С. Ракичченко, Д.М. Сопин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. - № 2. – С.59-61.
4. Мохаммед А.А.Х., Строительные материалы Бирzeit университет палестины.
5. An-najah national university ,earth science and Engineering center.
6. الزلازل وتخفيف مخاطرها الدكتور جلال الديبك قسم هندسة البناء كلية الهندسة جامعة النجاح الوطنية
7. كتاب الاستاذ الدكتور محمود امام الفصل الثالث الخرسانة الليفية

МЕЛКОШТУЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Шейченко М.С., аспирант,
Алфимова Н.И., канд. техн. наук, доцент,
Попов М.А., студент,
Калатоzi В.В., канд. техн. наук, доцент**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

В последние годы в России в связи с реализацией Национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» происходит динамичное развитие жилищного строительства. В ближайшее время предполагается удвоение объема выпуска, а так же существенное расширение номенклатуры строительных материалов, повышение их эффективности, снижения себестоимости, что возможно благодаря использованию местных сырьевых ресурсов.

Особо испытывается потребность в мелкоштучных стеновых материалах. В настоящее время одними из наиболее часто используемыми стеновыми материалами являются стеновые камни цементные на основе мелкозернистого бетона.

В последние годы именно мелкозернистые бетоны получили наибольшее развитие, благодаря простоте технологии их приготовления и производства изделий из них. Они хорошо уплотняются прессованием, тромбованием, вибрированием с пригрузом, вибровакуумированием, роликовым прессованием. Эта особенность позволяет получить высокопрочные и плотные бетоны, снизить расход связующего, сократить металлоемкость, связанную с изготовлением форм, при производстве мелкоштучных изделий [1]. Эффективность применения мелкозернистых бетонов также связана с возможностью рационального и комплексного использования минеральных природных ресурсов, вовлечением в производство техногенного сырья. Практически в каждом регионе нашей страны может быть найдено недорогое и доступное местное сырье, пригодное для производства изделий из данного вида бетонов. В качестве сырья для производства вяжущего для производства мелкозернистого бетона могут быть использованы техногенные отходы различных месторождений.

Наиболее крупнотоннажными являются отходы, образующиеся при обогащении таких полезных ископаемых как железная руда, золото,

алмазы и т.д. В связи с этим, нами были проведены исследования возможности использования отходов обогащения железных руд Ковдорского месторождения в качестве компонента композиционного вяжущего. Исследуемое техногенное сырье представляет собой отходы мокрой магнитной сепарации (ММС). С целью определения пригодности данных пород в качестве сырья для производства строительных материалов был проведен их комплексный анализ по основным показателям.

Визуально отходы ММС представляют собой техногенный тонкодисперсный песок темно-серого цвета с насыпной плотностью 1545 кг/м³. Модуль крупности их меньше 1 и составляет 0,75, наиболее представительной является фракция 0,14 и менее [2].

Применение их в промышленности строительных материалов сдерживается, прежде всего, тем, что они имеют отличный от традиционного применяемых в строительстве химический и минералогический составы. Главным образом это выражается в низком содержании SiO₂, и в отличие от природных песков, которые по своему составу мономинеральны и представлены в основном кварцем, ММС полиминеральны и состоят в большей степени из не традиционных для строительного материаловедения оливинита и пироксенита.

В связи с необходимостью оценки пригодности исследуемых пород как сырья для производства композиционных вяжущих был определен их коэффициент качества (Кк) как компонента композиционного вяжущего (КВ), а так же проведены сравнения с другими песками техногенного месторождения (табл. 1) [3].

Таблица 1

Показатели коэффициент качества пород различного генезиса как компонента композиционного вяжущего

№ п/п	Наименование кремнеземистого компонента ТМЦ	НГ, %	Ra, МПа	Коэффициент качества,
1	Отсев дробления КВП, фракции 0,315-5	22,5	51,3	1,29
2	Песок Стодеревского карьера	23,8	40,5	1,02
3	Отходы ММС Лебединского месторождения	29,8	40,6	1,02
4	Песок Вольского месторождения	23,0	39,8	1
5	Отсев дробления кварцитопесчаника (КВП)	25,0	38,4	0,96
6	Песок Нижне-Ольшанского месторождения	24	37,7	0,95
7	Отходы ММС Ковдорского месторождения	29,5	36,61	0,92
8	Отсев Солдато-Александровского карьера	24,0	30,7	0,77
9	ОАО Архангельской алмазоносной провинции	31,5	12,5	0,31

Анализ результатов свидетельствует о том, что исследуемые породы обладают хорошими показателями коэффициента качества компонента КВ (0,92) и могут быть использованы для производства композиционных вяжущих.

Проведен комплекс исследований по разработке рецептурно-технологических параметров композиционного вяжущего. В качестве факторов варьирования оптимизации состава композиционного вяжущего были приняты: количество минерального компонента (30–50 % от массы КВ), расход суперпластификатора Мельмента (0–0,8 % от массы КВ).

Анализ полученных экспериментальных данных позволил определить оптимальный состав композиционного вяжущего: содержание минерального компонента 30 % от массы композиционного вяжущего и суперпластификатора Мельмента – 0,8 % от КВ от массы композиционного вяжущего. Таким образом, применение отходов мокрой магнитной сепарации для производства композиционных вяжущих позволит не только утилизировать отходы, но и получить недорогое вяжущее, не уступающее по своим свойствам цементу.

В композиционных мелкозернистых бетонах могут успешно применяться техногенные отходы и вторичные продукты (зола, молотые шлаки и другие) как при производстве композиционных вяжущих веществ, так и путем непосредственного введения в бетон при его приготвлении. Эффективность их воздействия на свойства бетона определяется их минералогическим составом и возрастает с повышением их дисперсности. Применение техногенных отходов в ряде случаев облегчает получение композиционных вяжущих веществ заданных свойств и мелкозернистых бетонов оптимальных составов.

На основе данных исследований был подобран оптимальный состав мелкозернистого бетона для производства стеновых камней цементных (табл. 2) и разработана технология их производства.

Таблица 2

Состав мелкозернистого бетона с использованием композиционного вяжущего на основе отходов ММС Ковдорского месторождения

Расход материалов кг/м ³					В/Т	Прочность бетона МПа в возрасте 28 суток
цемент	отход ММС	Melment F10	песок	вода		
194,59	194,59	1,56	1683,54	221,47	0,11	23,73

Стеновые камни цементные формируются методом вибропрессования. Для приготовления жестких бетонных смесей рекомендуется использование бетоносмесителей принудительного действия, в частности лопастных смесителей принудительного действия, либо планетарных смесителей.

Рабочий цикл приготовления материала состоит из загрузки дозированных материалов, перемешивания их и выгрузки готового замеса бетонной смеси.

Готовая бетонная смесь через узел загрузки смесителя подается на пост формования изделий. Готовая бетонная смесь подается в бункер вибропресса. Заполнение пресс-формы бетоном осуществляется при помощи подвижного загрузочного устройства. Загрузочное устройство дозирует и заполняет бетоном пресс-форму, движение пресс-формы обеспечивает гидроцилиндр. Далее отформованные бетонные камни по ленточному транспортеру удаляются из зоны прессования. Автопогрузчиком камни на деревянных поддонах транспортируются на стеллажи для твердения в естественных условиях или в камеру тепло-влажностной обработки.

Таким образом, разработана технология производства стеновых камней цементных на основе отходов мокрой магнитной сепарации Ковдорского месторождения. Это создает реальные условия для интенсификации работы по реализации Национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» в Северных регионах.

Список литературы:

1. Технология и свойства мелкозернистых бетонов: учебное пособие Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Р.Б. Ергешев. – Алматы: КазГосИНТИ, 2000. – 195 с.
2. *Алфимова, Н.И.* Перспективы использования отходов мокрой магнитной сепарации Ковдорского месторождения в дорожном строительстве / Н.И. Алфимова, П.В. Трунов, А.О. Лютенко // Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации современных транспортных сооружений: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф., Белгород 3–4 дек. 2009 г. / Белгор. гос. технолог. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – С.11–13.
3. Boswell, J. Protecting the future. Mining legislation and the environment / J. Boswell // Civil engineering. – 2004. – № 8. – pp. 8–10.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОУГЛЕРОДНЫХ ТРУБОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БИТУМА И АСФАЛЬТОБЕТОНА

Ядыкина В.В., д-р техн. наук, профессор,
Акимов А.Е., канд. техн. наук,
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*
Спицына Н.Г., канд. хим. наук,
Лобач А.С., канд. хим. наук
Институт проблем химической физики

Многие из перспективных направлений в материаловедении связываются в последнее время с фуллеренами, нанотрубками и другими углеродными каркасными структурами [1,2].

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальными электрическими, механическими и химическими свойствами, которые определяют направления их использования. Структурно УНТ можно представить как слой графена, свернутый в трубку. В УНТ может варьироваться число графеновых слоев, и поэтому они могут быть одно-, двух- и многослойными. Высокая прочность и аспектное отношение (отношение длины к диаметру нанотрубки > 1000) УНТ используются для получения на их основе волокон из бандлов (пучков) нанотрубок. Высокая удельная поверхность УНТ играет также большую роль в применении нанотрубок. Высокая кривизна фуллерен подобных концов и боковой поверхности УНТ приводит к возникновению повышенной химической реакционной способности углерод-углеродных связей по сравнению с плоским графеном. Протяженная система π -сопряженных связей поверхности УНТ способствует образованию нековалентных взаимодействий как между нанотрубками, так и различными полимерами или одиночными молекулами с π -сопряженными связями.

Все описанные свойства УНТ проявляются при создании различных композитных материалов на их основе.

Объектом исследования настоящей работы служил исходный материал одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), полученный методом термического испарения графита в присутствии Ni-Cr катализатора в электрической дуге (Arc ОУНТ).

Материал не подвергался очистке от примесей углеродных и металлических наночастиц. Содержание нанотрубок в нем составляло 5-10 вес. %.

На рис. 1 представлен микрофотоснимок материала, полученный методом сканирующей электронной микроскопии на сканирующем автоэмиссионном электронном микроскопе ZEISS LEO SUPRA 25.

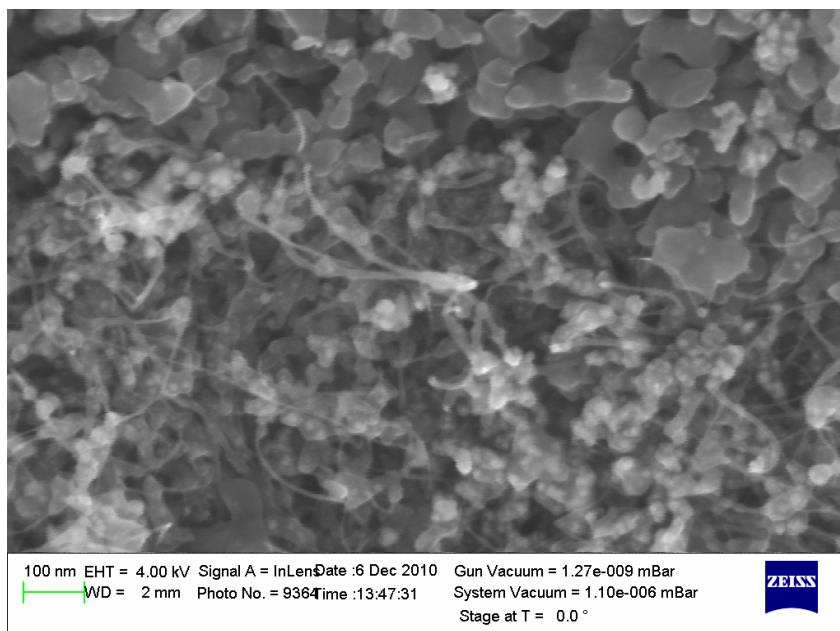


Рис. 1 – Микрофотоснимок исходного материала ОУНТ

Материал содержит нанотрубки в виде пучков размером 5-30 нм (в пучке 5-20 нанотрубок, диаметр одной нанотрубки 1.2 нм), длина пучка до 1 мкм. На фото видны наночастицы графита размером 20-100 нм и наночастицы металла размером 5 нм.

При диспергировании исходного материала в толуоле (рис. 2) происходит шивка и образование наноарматуры.

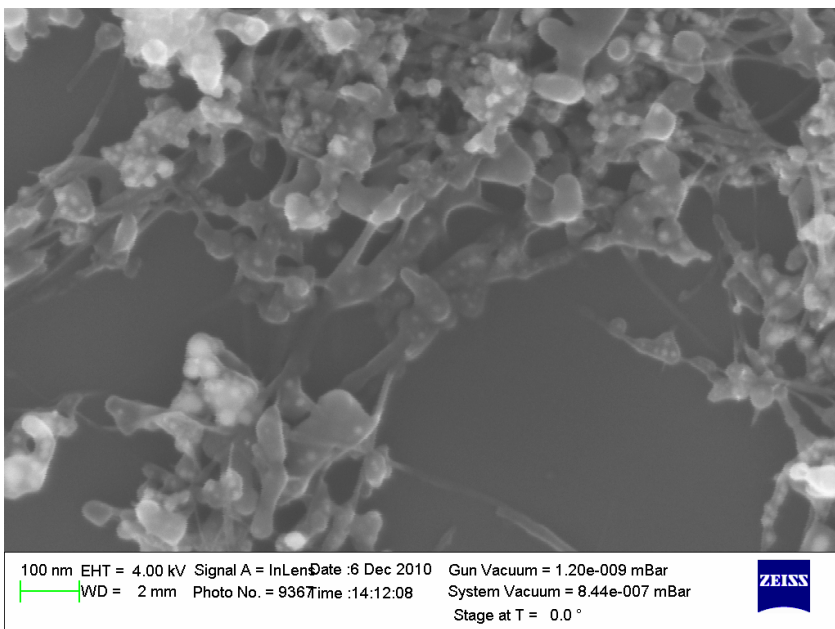


Рис. 2 – Микрофотоснимок исходного материала ОУНТ, диспергированного в толуоле

Закономерно предположить, что введение УНТ в битум окажет положительное влияние на его физико-механические характеристики и на свойства асфальтовяжущего и асфальтобетона.

Наличие в битуме ароматических соединений с системой π -сопряженных связей приведет к улучшению диспергирования УНТ и аморфных частиц графита и образованию их устойчивых суспензий в органических растворителях. Эти суспензии будут состоять из отдельных аморфных углеродных частиц и углеродных нанотрубок или небольших бандлов (пучков) нанотрубок, что приведет к созданию сетки из нанотрубок и углеродных наночастиц при образовании асфальтовяжущего и асфальтобетона с улучшенными физико-механическими свойствами.

Кроме этого на поверхности исходных нанотрубок и аморфных углеродных наночастиц присутствует небольшое количество кислород содержащих групп – карбонильных и карбоксильных, а в битумах содержатся различные химические соединения, которые могут

адсорбироваться на поверхности нанотрубок за счет донорно-акцепторных взаимодействий.

Это могут быть, например, входящие в состав асфальтенов и смол ароматические полициклические структуры, включающие гетероциклы с азотом и серой, имеющие π -связи и атомы с неподеленными электронными парами. Причем, конденсированные ароматические соединения, содержащиеся в асфальтенах, смолах и маслах, являются более непредельными, чем бензол, поэтому они значительно активнее. Кроме того, боковые заместители в виде предельных алифатических цепей, а также другие заместители с +С эффектом (-OH, -OR, -OCOR, -SH, -NH₂, -NHR) активируют бензольные кольца.

В битумах содержатся также азотистые основания и соединения, включающие гидроксильные (-OH), карбонильные (=C=O), сложноэфирные (-COOR) и другие группы, образующиеся при окислении нефтяных остатков, которые являются брэнстедовскими основаниями и будут взаимодействовать с кислотными группами УНТ.

Нельзя исключать и возможность образования водородных связей или даже передачу протона в результате кислотно-основного взаимодействия между активными группами на поверхности УНТ и разнообразными соединениями, входящими в состав битума, а также адсорбционными поверхностными центрами минеральных компонентов асфальтобетонной смеси.

Помимо этого, возможна целенаправленная химическая функционализация поверхности исходных нанотрубок с целью обеспечения активного взаимодействия с химическими соединениями, входящими в состав битума.

Таким образом, есть основания предполагать, что введение УНТ окажет положительное влияние на свойства битума и асфальтобетона. Предварительные лабораторные испытания подтвердили это предположение.

Список литературы:

1. Сахаров, Г.П. О краткосрочной перспективе нанотехнологий в производстве строительных материалов и изделий / Г.П. Сахаров // Технологии бетонов. - 2009. - № 4. - С. 65-67.
2. Steyn W.J. Research and application of nanotechnology in transportation, 27th Annual Southern African Transport Conference 2008, <https://www.up.ac.za/dspace/handle/2263/6018>