

А.И. КАРПОВ Развитие нанотехнологий в строительстве – актуальнейшая задача ученых и инженеров

УДК 69

КАРПОВ Алексей Иванович, канд. техн. наук, референт, Россия

KARPOV Alexey Ivanovich, Ph.D. in Engineering, referent, Russian Federation



РАЗВИТИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ – АКТУАЛЬНЕЙШАЯ ЗАДАЧА УЧЕНЫХ И ИНЖЕНЕРОВ

DEVELOPMENT OF NANOTECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION – A TASK WHICH IS OF GREAT IMPORTANCE FOR SCIENTISTS AND ENGINEERS

Важнейшая роль в информационном обеспечении процесса создания и внедрения нанотехнологической продукции отводится средствам массовой информации. Поэтому по инициативе Российской инженерной академии в 2009 году был создан Интернет-журнал «Нанотехнологии в строительстве». По общему мнению специалистов и экспертов идея создания журнала оказалась весьма плодотворной, появление специализированного журнала существенно инициировало работы ученых в области строительных нанотехнологий. По просьбе авторов и читателей издания редакция открыла рубрику, в которой планируется публикация основных положений кандидатских и докторских работ, с целью популяризации предметной области наноиндустрии в строительстве, повышения доверия потребителей к продукции отечественной наноиндустрии. Содержание публикуемых материалов – хорошее подспорье для аспирантов и докторантов. В этом номере приведены основные положения кандидатских диссертаций А.Б. Бухало «Теплоизоляционный неавтоклавный пеногазобетон с нанодисперсными модификаторами» и А.И. Бурнашева «Высоконаполненные поливинилхлоридные строительные материалы на основе наномодифицированной древесной муки».

Publications play a significant role by supporting the creation and application of nanotechnological products through information. Therefore the Russian Engineering Academy decided to establish the Internet-journal «Nanotechnologies in Construction» in 2009. According to the opinion of many specialists and experts, the concept to publish such journal proved to be very beneficial. The specialized information has strongly influenced the work of scientists in the area of construction nanotechnologies. At the authors' and readers' request, the editors launched a new section aimed at publishing the main results of Ph.D. and Doctorate theses, to popularize the subject of the nanoindustry in construction and to increase the consumers' trust in the domestic goods produced by the nanoindustry. The published material is a good theoretical basis for post graduate students and persons working for a doctorate. This issue deals with the main results of Ph.D. thesis «Thermo-insulating non-autoclave foamed concrete with nanodispersed modifiers» by A.B. Bukhalo and Ph.D. thesis «Highly filled polyvinyl chloride construction materials based on nanomodified wood flour» by A.I. Burnashev.

Ключевые слова: нанотехнологии в строительстве, теплоизоляционный неавтоклавный пеногазобетон, нанодисперсные модификаторы, высоконаполненные ПВХ-композиции, наномодифицированная древесная мука.

Key words: nanotechnologies in construction, thermo-insulating non-autoclave foamed concrete, nanodispersed modifiers, highly filled PVC-compositions, nanomodified wood flour.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ НЕАВТОКЛАВНЫЙ ПЕНОГАЗОБЕТОН С НАНОДИСПЕРСНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ

Актуальность работы

Энерго- и ресурсосбережение является генеральным направлением современной технической политики в области строительного материаловедения. В комплексе мер по энергосбережению возрастают требования к теплозащите ограждающих конструкций и повышению комфортности зданий [1]. Основным способом снижения энергозатрат является

повышение теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Потребляемая в России энергия на отопление зданий, производство строительных материалов и изделий, строительство в 2–2,5 раза превышает ее потребление в развитых странах мира, в первую очередь, за счет меньшего термического сопротивления ограждающих конструкций и больших теплопотерь.

Однако производство эффективного по теплофизическим характеристикам неавтоклавного ячеистого бетона низких марок по средней плотности является проблемным из-за сложности обеспечения стабильной тонкодисперсной ячеистой структуры и высокой прочности, зависящих от рецептурно-технологических факторов. Одним из путей решения данной задачи является разработка принципов проектирования неавтоклавных ячеистых материалов с направленно регулируемыми свойствами и эффективным структурированием на всех размерных уровнях организации матрицы для производства композитов строительного назначения, с заданной гетерогенностью структуры. Именно при использовании таких подходов можно перейти на новый этап производства строительных материалов, изделий и конструкций, отличающихся простотой, мобильностью, экономичностью, высокими эксплуатационными свойствами и конкурентоспособностью изготавливаемой продукции, отвечающей требованиям рынка.

Работа выполнялась: по тематическому плану г/б НИР № 1.1.07 «Разработка фундаментальных основ получения композиционных вяжущих с использованием наносистем» на 2007–2011 гг.; в рамках программы «У.М.Н.И.К.», «СТАРТ–2009» по теме «Оптимизация составов и структуры пеногазобетонов на основе модифицированных вяжущих» при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере; премии для поддержки талантливой молодежи «Оптимизация состава ячеистого бетона за счет моделирования механизма формирования пористой структуры» (2008 г.).

Цель работы – разработка теплоизоляционного неавтоклавного пено-газобетона с использованием нанокристаллического модификатора структуры и нанодисперсного компонента комплексного порообразователя. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка состава вяжущего, структурированного нанокристаллическим модификатором;

- обоснование возможности использования нанодисперсного газообразователя в составе комплексного порообразователя и разработка его состава;
- разработка составов и технологии неавтоклавного пеногазобетона с нанокристаллическими модификаторами структуры и на основе комплексного порообразователя;
- разработка критериев и методов оценки оптимизации структуры неавтоклавного пеногазобетона;
- подготовка нормативных документов для реализации теоретических и экспериментальных исследований.

Научная новизна

Предложены теоретические основы управления процессами структурообразования неавтоклавного пеногазобетона на основе комплексного порообразователя с нанодисперсным газообразователем (НДГ) и модифицированного вяжущего с использованием нанокристаллического корунда (НКМ), заключающиеся в формировании матрицы композита на всех размерных уровнях с использованием, как физико-химических процессов, так и технологических факторов при формировании структуры материала на различных этапах его производства. Разработанный пеногазобетон обладает заданной степенью поризации и стабильной гетеропористой структурой за счет варьирования состава комплексного порообразователя, что обеспечивает более плотную структуру межпоровых перегородок и, соответственно, повышенные технико-эксплуатационные показатели.

Предложен механизм процесса структурообразования цементной матрицы ячеистого композита, заключающийся в модифицировании вяжущего нанокристаллическим корундом (3D-НКМ), выступающим в качестве центров кристаллизации и интенсифицирующим рост гидратных новообразований вяжущего правильной призматической и гексагональной формы. Это обеспечивает снижение дефектности микроструктуры, влияющей на прочностные показатели композитов, за счет уменьшения количества негативной (разрывов, щелей, свищей) нано-, микро- и макропористости.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования активированного нанодисперсного алюминия

в качестве газообразователя в составе комплексного порообразователя. Характер кинетики газовыделения НДГ позволяет создать гетеропористую структуру при одновременном уплотнении межпористых перегородок за счет давления газа без нарушения целостности каркаса предварительно механически поризованного композита. Это позволяет синтезировать теплоизоляционные ячеистые композиты с минимальными усадочными деформациями, повышенными прочностными показателями и сниженным коэффициентом теплопроводности, за счет наличия полидисперсной пористой структуры с размером пор от 0,315 до 1,25 мм.

Установлены основные зависимости, связывающие свойства неавтоклавного пеногазобетона: со свойствами вяжущего; реотехнологическими характеристиками раствора; соотношением компонентов в комплексном порообразователе; последовательностью введения компонентов. На их основе проведены расчеты топологических параметров системы в целом, подтверждающие оптимизацию состава материала за счет использования комплексной поризации и модификации композита на различных размерных уровнях.

Практическая значимость работы

Разработаны составы модифицированных вяжущих на основе тонкомолотого цемента (ТМЦ) с использованием нанокристаллического модификатора – корунда (НКМ), с активностью, на 30% превышающей показатель исходного ТМЦ. Применение ТМЦ с Буя = 400 м²/кг позволит осуществить экономию энергозатрат на помол при достижении требуемой прочности.

Предложены составы комплексного поризатора на основе пенообразователя «Пеностром» и нанодисперсного газообразователя, позволяющего синтезировать пеногазобетон с заданной гетеропористостью структуры. Расчетно-экспериментальным методом определены точки критической пористости ячеистых систем на основе ЦЕМ I 42,5 Н, ТМЦ и разработанного модифицированного вяжущего.

Установлены зависимости газовыделения от минералогического состава цемента. Использование данных зависимостей при прогнозировании производственных рецептур позволяет регулировать газовыделение и кинетику вспучивания композита и соответственно степень поризации структуры.

Предложены составы пеногазобетона на основе комплексного порообразователя с НДГ и модифицированного вяжущего с НКМ, позволяющие получать ячеистые изделия с плотностью 300–500 кг/м³, пределом прочности на сжатие 1,5–2,3 МПа, теплопроводностью 0,05–0,07 Вт/мС.

Получены закономерности изменения свойств теплоизоляционных ячеистых композитов и эмпирические зависимости, дающие количественную и качественную оценку влияния каждого фактора в отдельности, а также их совокупности на изменение системы «состав–свойства» для использования при проектировании производственных рецептур смесей и прогнозировании их физико-механических свойств.

Предложена технология пеногазобетона, позволяющая осуществить внедрение разработанных составов, как при строительстве нового производства, так и при модернизации существующих предприятий по производству ячеистых неавтоклавных бетонов.

Внедрение результатов исследований

Апробация полученных результатов в промышленных условиях осуществлялась на предприятии ООО «Экостройматериалы» Белгородской области. Полученная партия материала была использована при строительстве малоэтажного дома в п. Новосадовый. Внедрение технологии проводится при финансировании в рамках программы «СТАРТ» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Для широкомасштабного внедрения результатов научно-исследовательской работы при производстве ячеистого бетона с механо-химической поризацией разработаны следующие нормативные документы:

- рекомендации по применению наноразмерного поризатора в технологии пеногазобетонов;
- стандарт организации СТО 02066339-002-2010 «Теплоизоляционный пеногазобетон с модифицирующими наноконпонентами»;
- технологический регламент на производство теплоизоляционных пеногазобетонных блоков.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований и промышленного внедрения используются в учебном процессе: при подготовке инженеров по специ-

А.И. КАРПОВ Развитие нанотехнологий в строительстве – актуальнейшая задача ученых и инженеров

альности 270106 «Производство строительных материалов изделий и конструкций» специализации «Наносистемы в строительном материаловедении»; магистров по направлению «Строительство»; при переподготовке специалистов в рамках контракта с ПС «Роснотех» № 1 /10 от 11.01.2010 г.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы были представлены: на Международном форуме «Ломоносов–2008, 2010» (Москва, 2008, 2010); Научно-практической конференции «НТТМ – путь к обществу, основанному на знаниях» (Москва, 2008); III–V Академических чтениях РААСН «Наносистемы в строительном материаловедении» (Белгород, 2008–2010); Международных форумах по нанотехнологиям ГК «Роснотех» (Москва, 2008, 2009); Всероссийском съезде производителей бетона, (Москва, 2009); Всероссийских молодежных инновационных конвентах (Москва, 2008, Санкт-Петербург, 2009); «Селигер-2009», смене «Инновации и техническое творчество» (Тверская область, 2009).

Публикации

Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 19 научных публикациях, в том числе в четырех статьях в центральных рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ. На состав и технологию пеногазобетона подано две заявки на патент № 2008142460 и № 2009116787, приоритет от 28.10.2008 г. и 05.05.2009 г. соответственно.

Бухало Анна Борисовна. Теплоизоляционный неавтоклавный пеногазобетон с нанодисперсными модификаторами: дис. ... канд. техн. наук. Белгород: гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. 2010. 177 с.

ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСНОЙ МУКИ

Актуальность

Древесно-полимерные композиты (ДПК) – это особый класс композиционных материалов с содержанием древесного наполнителя более 50 масс.%. Традиционные ДПК на основе терморезактивных фенол- и карбамидоформальдегидных смол, древесных стружек и опилок (ДСП, ДВП и МДФ) отличаются невысокими физико-механическими характеристиками, низкой водо- и биостойкостью и повышенной токсичностью [1].

Производство ДПК на основе термопластов является на данный момент одним из наиболее перспективных для получения высококачественных экологически чистых материалов. Практически все используемые ДПК являются жесткими композитами и используются для замены древесины в домостроении, садовой архитектуре, изготовления оконных и дверных профилей и других профильно-погонажных изделий, подоконников и мебели. Мировой рынок ДПК находится в стадии роста, и ежегодное увеличение объемов производства за последние 7 лет составляет порядка 15%.

В мировой практике в качестве полимерных матриц обычно применяются три группы термопластичных полимеров: полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП) и поливинилхлорид (ПВХ). Композиты на основе ПВХ имеют ряд неоспоримых преимуществ: повышенные прочностные показатели, разнообразие возможностей переработки, негорючесть и уникальная способность ПВХ к модификации с целью получения широкой номенклатуры изделий. Однако по объемам применения ПЭ и ПП занимают до 90%, а небольшой процент применения ПВХ объясняется сложностью его переработки ввиду низкой стойкости к энергетическим воздействиям и высокой вязкости расплавов.

При создании высоконаполненных ДПК проводят модифицирование поверхности древесного наполнителя (в качестве которого, преобладающим образом, используется древесная мука марки 180) связующими агентами - веществами, обеспечивающими совместимость полимера и древесных частиц. Но все известные на сегодняшний день связующие

агенты, эффективные в полиолефиновых матрицах, при попытке использования в ПВХ-композитах не дают положительного результата, приводя даже к снижению показателей.

Поэтому поиск эффективных модификаторов для древесной муки, способствующих увеличению степени наполнения ПВХ и улучшению физико-механических и технологических характеристик этих строительных композитов, является актуальной научной и прикладной задачей. В настоящее время популярна модификация полимеров нанодобавками, позволяющая создавать композиты нового поколения с улучшенными характеристиками при использовании микродоз модификаторов. Данные об использовании наномодификаторов в составе ПВХ-композитов с древесным наполнителем в литературе отсутствуют, хотя в силу высокой поверхностной энергии они могли бы быть эффективными связующими агентами.

Диссертационная работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК16.740.11.0026) на тему «Физико-химические основы наномодификации строительных материалов на базе линейных и сетчатых полимеров».

Цель работы – создание высоконаполненных ПВХ-композиций строительного назначения с использованием древесной муки, модифицированной эффективными наноразмерными связующими агентами. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. обосновать эффективность применения нанодобавок для модификации древесной муки с целью увеличения ее взаимодействия с ПВХ с учетом вещественного и химического состава, формы и дисперсности наночастиц. Предложить гипотезы о механизмах взаимодействия древесной муки с выбранными наномодификаторами;

2. изучить влияние параметров древесной муки (размера и формы частиц, породы древесины и ее влажности) на свойства высоконаполненных ПВХ-композиций строительного назначения;

3. разработать технологию модифицирования древесной муки малыми дозами связующих наноагентов;

4. подобрать оптимальные концентрации связующих агентов-модификаторов, обеспечивающих высокие эксплуатационные и технологические показатели строительных ПВХ-материалов на основе мо-

дифицированной древесной муки. Установить максимальную степень наполнения ПВХ наномодифицированной древесной мукой;

5. апробировать в производственных условиях разработанные оптимальные рецептуры с выпуском опытно-промышленных партий материалов и изделий строительного назначения на основе ПВХ.

Научная новизна

Установлен эффект усиления высоконаполненных поливинилхлоридных ДПК при модификации древесной муки малыми дозами (до 0,35%) кремнезоля, обусловленный уменьшением концентрации кислотных центров на поверхности древесных частиц в результате их химического взаимодействия с кремнезолом и снижением капиллярной пористости наполнителя.

Установлена эффективность модификации древесной муки водными дисперсиями многослойных углеродных нанотрубок, приводящая (при концентрации последних в древесной муке до 0,008%) к увеличению межфазного взаимодействия в ПВХ-композите в результате блокирования активных функциональных групп кислотного характера на поверхности частиц древесной муки.

Обнаружено повышение термостабильности (на 20–30 мин.) ПВХ-композиций при введении малых доз связующих агентов, причем в присутствии УНТ этот эффект в 4–5 раз выше, чем в случае с кремнезолом.

Практическая значимость

1. Разработаны технологические рекомендации по выбору древесной муки по показателям дисперсности, морфологии частиц, влажности и породы древесной муки для достижения наибольшего положительного эффекта в пластифицированных и жестких ПВХ-композициях строительного назначения.

2. Впервые разработаны высоконаполненные композиции на основе жесткого ПВХ и древесной муки, модифицированной кремнезолом или УНТ, со степенью наполнения до 60 масс.% при повышении показателя текучести расплавов (ПТР) на 20–25%, прочности при растяжении – на 15–25%, термостабильности – на 10–20%.

3. Разработана технология модификации древесной муки наноразмерными связующими агентами и предложены композиции для производства высоконаполненных ДПК строительного назначения.

Реализация работы

Осуществлен выпуск опытно-промышленной партии террасной доски на предприятии ООО «В+2» (п. Приволжский, Республика Марий Эл). Результаты работы используются в учебном процессе при подготовке студентов строительного факультета специальности в рамках дисциплин «Полимерные строительные материалы», «Полимерные нанокompозиты». Выполнены дипломные научно-исследовательские работы.

Достоверность результатов, научных выводов и рекомендаций диссертационной работы обеспечиваются большим объемом экспериментальных данных, полученных современными методами испытаний и исследований (оптическая и электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, химический анализ, дифференциальная сканирующая калориметрия), корреляцией экспериментальных результатов, полученных разными независимыми методами.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались: на 59–63 Всероссийских научных конференциях НТК КГАСУ (2006–2011); Третьих воскресенских чтениях «Полимеры в строительстве» (Казань, 2009); XV Академических чтениях РААСН – Международной научно-технической конференции «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии» (Казань, 2010); V Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» (Пенза, 2010); Всероссийском семинаре аспирантов и молодых ученых по тематическому направлению деятельности национальной нанотехнологической сети «Конструкционные наноматериалы» (Москва, 2010); III Международной конференции «Nano-technology for eco-friendly and durable construction» (Каир, 2011); IV Международной конференции-школе по химии и физикохимии олигомеров «Олигоме-

ры–2011» (Казань, 2011); XVIII Всероссийской конференции «Структура и динамика молекулярных систем» (Йошкар-Ола, 2011).

Работа отмечена Дипломом VI конкурса «50 лучших инновационных идей для РТ» (2010) и Дипломом I степени Республиканского конкурса научных работ среди студентов и аспирантов на соискание премии имени Н.И. Лобачевского (2011).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 10 работ (в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 научные статьи). Поданы 2 заявки на патенты: «Древесно-полимерная композиция на основе жесткого поливинилхлорида» (№ 2010141513 от 08.10.2010) и «Способ получения древесно-полимерной композиции на основе жесткого поливинилхлорида» (№ 2011116744 от 27.04.2011).

Бурнашев Айрат Ильдарович. Высоконаполненные поливинилхлоридные строительные материалы на основе наномодифицированной древесной муки: дис. ... канд. техн. наук. Казань: Казан. гос. архитектур.-строит. ун-т. 2011. 159 с.

Редакция Интернет-журнала «Нанотехнологии в строительстве» предлагает кандидатам и докторам наук опубликовать результаты своих исследований по тематике издания [2].

Уважаемые коллеги!

При использовании материала данной статьи просим делать библиографическую ссылку на неё:

Карпов А. И. Развитие нанотехнологий в строительстве – актуальнейшая задача ученых и инженеров // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2013, Том 5, № 3. С. 79–91. URL: http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_3_2013.pdf (дата обращения: _____).

Dear colleagues!

The reference to this paper has the following citation format:

Karpov A.I. Development of nanotechnologies in construction – a task which is of great importance for scientists and engineers. Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal, Moscow, CNT «NanoStroitelstvo». 2013, Vol. 5, no. 3, pp. 79–91. Available at: http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_3_2013.pdf (Accessed _____). (In Russian).

Библиографический список:

1. Электронная библиотека диссертаций. URL: <http://www.dslib.net> (дата обращения: 22.04.2013).
2. *Гусев Б.В.* Развитие нанотехнологий – актуальнейшее технологическое направление в строительной отрасли // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. М.: ЦНТ «НаноСтроительство». 2011. № 2. С. 6–20. Гос. регистр. № 0421100108. URL: <http://www.nanobuild.ru> (дата обращения: 22.04.2013).

References:

1. Electronic library of theses. URL: <http://www.dslib.net> (date of access: 22.04.2013).
2. *Gusev B.V.* Development of nanotechnologies – the most important technological direction in construction // Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet Journal. Moscow. CNT «NanoStroitelstvo». 2011. № 2. P. 6–20. State register № 0421100108. URL: <http://www.nanobuild.ru> (date of access: 22.04.2013).

Контакты
Contact information

e-mail: info@nanobuild.ru