

Учредитель журнала:
ООО Рекламно-издательская
фирма «Стройматериалы»

Журнал зарегистрирован
Министерством РФ по делам
печати, телерадиовещания
и средств массовой информации
ПИ №77-1989

Главный редактор
ЮМАШЕВА Е. И.

Редакционный совет:
РЕСИН В. И.

(председатель)
БАРИНОВА Л. С.
БУТКЕВИЧ Г. Р.
ВАЙСБЕРГ Л. А.
ВЕРЕЩАГИН В. И.
ГОНЧАРОВ Ю. А.
ГОРИН В. М.
ЖУРАВЛЕВ А. А.
КОЗИНА В. Л.
КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.
КРИВЕНКО П. В.
ЛЕСОВИК В. С.
ОРЕШКИН Д. В.
ПИЧУГИН А. П.
ФЕДОСОВ С. В.
ФИЛИППОВ Е. В.
ХЕЛМИ Ш.
ХИХЛУХА Л. В.
ЧЕРНЫШОВ Е. М.
ШЛЕГЕЛЬ И. Ф.
ШТАКЕЛЬБЕРГ Д. И.

Авторы
опубликованных материалов
несут ответственность
за достоверность приведенных
сведений, точность данных
по цитируемой литературе
и за использование в статьях
данных, не подлежащих
открытой публикации

Редакция
может опубликовать статьи
в порядке обсуждения,
не разделяя точку зрения автора

Перепечатка
и воспроизведение статей,
рекламных
и иллюстративных материалов
возможны лишь с письменного
разрешения главного редактора

Редакция не несет ответственности
за содержание рекламы и объявлений

Адрес редакции:

Россия, 127434, Москва,
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

Тел./факс: (499) 976-22-08
(499) 976-20-36

E-mail: mail@rifsm.ru
<http://www.rifsm.ru>

Доклады V Международной конференции «Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства» 23–25 марта, Каир

В. Г. ХОЗИН, И. А. СТАРОВОЙТОВА, Н. В. МАЙСУРАДЗЕ, Е. С. ЗЫКОВА,
Р. А. ХАЛИКОВА, А. А. КОРЖЕНКО, В. В. ТРИНЕЕВА, Г. И. ЯКОВЛЕВ

V. G. KHOZIN, I. A. STAROVOITOVA, N. V. MAISURADZE, E. S. ZYKOVA,
R. A. KHALIKOVA, A. A. KORZHENKO, V. V. TRINEEVA, G. I. YAKOVLEV

Наномодифицирование полимерных связующих для конструкционных композитов

Nanomodification of polymer binders for constructional composites. 4

Доказано, что наномодифицирование эпоксидного и гибридного (органонеорганического) связующих приводит к значительному повышению прочности, адгезии, теплостойкости при ультрамалых концентрациях модификаторов – углеродных наночастиц. При этом закономерности наномодифицирования проявляются в виде экстремальных зависимостей.

In the present research regularities of influence of modification additives on technological and operational properties of polymer binders are presented. The nano-modification of two different kinds of binders for polymer composite reinforcement – epoxy and hybrid (organic-inorganic) binders, led to a sensible rise of major performance features as strength, adhesion, thermal resistance at ultra-low loading of modifying agent – carbon nanoparticles. At the same time, the regularities of nano-modification display in the extremal dependences.

В. В. НЕЛЮБОВА, В. В. СТРОКОВА, Н. В. ПАВЛЕНКО, И. В. ЖЕРНОВСКИЙ
V. V. NELUBOVA, V. V. STROKOVA, N. V. PAVLENKO, I. V. ZHERNOVSKY

Строительные композиты с применением наноструктурированного вяжущего на основе сырья различных генетических типов

Construction composites using of nanostructured binder based on raw of varying genetic types. 11

Описана эволюция создания наноструктурированного вяжущего (НВ), а также показано, что использование НВ в строительных материалах позволяет качественно повысить основные эксплуатационные характеристики материалов различного назначения на его основе.

The evolution of nanostructured binder was described in the article. It is noted that applying of the binder in production of construction materials allows improving basic operational properties of different purpose materials.

В. В. СТРОКОВА, И. В. ЖЕРНОВСКИЙ, Ю. Н. ОГУРЦОВА, А. В. МАКСАКОВ
V. V. STROKOVA, I. V. ZHERNOVSKY, Y. N. OGURTSOVA, A. V. MAKSAKOV

Особенности проектирования строительных композитов на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя

Peculiarities of design of construction materials involving granular nanostructured aggregate. 16

Рассмотрены основные принципы выбора сырья для проектирования гранулированного наноструктурирующего заполнителя, описан механизм модифицирования цементной матрицы раствором полисиликатов натрия, приведены составы бетона на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя

Basic principles of raw selection to design granulated nanostructuring aggregate are considered in this article. Modification mechanism of cement matrix with Na polysilicate solution is also described. Concrete mixtures on the base of granulated nanostructuring aggregate.

Н. В. ПАВЛЕНКО, А. Б. БУХАЛО, В. В. СТРОКОВА, В. В. НЕЛЮБОВА, А. В. СУМИН
N. V. PAVLENKO, A. B. BUKHALO, V. V. STROKOVA, V. V. NELUBOVA, A. V. SUMIN

Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов

Nanocrystalline components based modified binder for cellular composites. 20

Описаны некоторые особенности модифицирования вяжущего нанокристаллическими компонентами, выступающим в качестве центров кристаллизации и интенсифицирующими рост гидратных новообразований вяжущего. Это обеспечивает снижение дефектности микроструктуры материалов на их основе, а также способствует повышению их прочностных показателей.

Some features of the binder modification with nanocrystalline components as crystallization centers and components intensified a growth of hydrate formations with regular prismatic and hexagonal shape are described. This provides the reduction of defectiveness and enhances a strength values of based materials.

Г.И. ЯКОВЛЕВ, Г.Н. ПЕРВУШИН, А. КОРЖЕНКО, А.Ф. БУРЬЯНОВ, Я. КЕРЕЧЕ, И.С. МАЕВА, Д.Р. ХАЗЕЕВ, И.А. ПУДОВ, С.А. СЕНКОВ
G.I. YAKOVLEV, G.N. PERVUSHIN, A. KORZHENKO, A.F. BURYANOV, JA.K. KERIENE, I.S. MAEVA, D.R. CHAZEEV, I.A. PUDOV, S.A. SENKOV

Применение дисперсий многослойных углеродных нанотрубок при производстве силикатного газобетона автоклавного твердения

Applying multi-walled carbon nanotubes dispersions in producing autoclaved silicate cellular concrete 25

Исследована микроструктура гидросиликатов кальция, формирующихся в межпоровых перегородках газобетона автоклавного твердения, модифицированного дисперсией МУНТ. Выявлено изменение морфологии новообразований и формирование гидросиликатов кальция повышенной основности, что привело к повышению физико-технических свойств автоклавного газобетона.

The research has been conducted regarding the influence of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) dispersions on the structure of crystalhydrate neofor- mations in interporous walls of autoclaved cellular concrete. The performed research of the microstructure of calcium hydrosilicates formed at autoclave treat- ment of silicate cellular concrete modified with MWCNT which led to the enhancement of physical and technical properties of autoclaved cellular concrete.

Е.В. КОРОЛЕВ, А.Н. ГРИШИНА

E.V. KOROLEV, A.N. GRISHINA

Синтез и исследование наноразмерной добавки для повышения устойчивости пен на синтетических пенообразователях для пенобетонов

Development and research of a nanodimensional stabilizer additive for foams based on synthetic foamers for foam concretes 30

Представлены результаты нового способа синтеза кремниевой кислоты, исследована ее стабильность. Предложен новый наноразмерный модификатор на основе системы, содержащей два вида наночастиц, для повышения устойчивости пен на основе синтетических пенообразователей.

The results of a new method for the synthesis of silicic acid is offered, its stability was investigated. A new nanoscale modifier based on a system con- taining two types of nanoparticles to enhance the stability of foams is considered.

А.Ф. ГОРДИНА, Ю.В. ТОКАРЕВ, Г.И. ЯКОВЛЕВ, Я. КЕРЕЧЕ, Э. СПУДУЛИС

A.F. GORDINA, Yu.V. TOKAREV, G.I. YAKOVLEV, Ya. KERIENE, E. SPUDULIS

Различия в формировании структуры гипсового вяжущего, модифицированного углеродными нанотрубками и известью

Differences in forming the structure of gypsum binder modified by carbon nanotubes and lime 34

Установлены различия в формировании структуры гипсового вяжущего при использовании многослойных углеродных наноструктур и извести, вводимых совместно и раздельно, а также определено их влияние на механические свойства получаемого материала.

The differences in forming the structure of gypsum binder using multilayer carbon nanostructures and lime introduced together and separately are found, and their influence on mechanical properties is defined.

М.С. ГАРКАВИ, С.А. НЕКРАСОВА, Е.А. ТРОШКИНА

M.S. GARKAVI, S.A. NEKRASOVA, E.A. TROSHKINA

Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах

Kinetics of contact formation in nano-modified gypsum materials 38

На основе системы модельных квазиреакций исследована кинетика образования межчастичных контактов в гипсовых материалах. Показано, что введение в гипсовую дисперсию наноразмерных компонентов изменяет кинетику формирования коагуляционных и коагуляционно- конденсационных контактов.

Kinetics of formation of inter-particle contacts in the gypsum materials is researched on the basis of the system of the model quasireactions. It is shown that the introduction of nano-sized components in the gypsum dispersion results in the change of the kinetics of formation of coagulation and coagulation-condensation contacts.

А.В. ШАЙБАДУЛЛИНА, Г.И. ЯКОВЛЕВ, В.С. БУРДИН

A.V. SHAIBADULLINA, G.I. YAKOVLEV, V.S. BURDIN

Отделочная фасадная композиция, модифицированная углеродными нанотрубками, для защиты от электромагнитных полей

Research of the electromagnetic absorption of finish facade composition modified with carbon nanotubes 41

Разработано силикатное покрытие, модифицированное углеродными нанотрубками, обладающее экранирующими свойствами от воздействия электромагнитных полей и защиты человека от патогенного излучения окружающей среды, не требующее использования традиционных силикатизаторов в виде оксида цинка.

A significant change in the structure of silicate paint has been achieved due to its modification with multi-walled carbon nanotubes. The developed sili- cate coating has shielding properties for providing comprehensive protection of hardware and a human in industrial, administrative and residential buildings from the influence of electromagnetic fields and protection of a human from pathogenic radiation of the environment. It does not require the use of traditional hardners in the form of zinc oxide.

М. МОРСИ, С.А. ЭЛКОДАРИ, С.С. ШЭБЛ

M. MORSY, S.A. ELKHODARY, S. S. SHEBL

Свойства термостойких углеродных нанотрубок, полученных методом электродугового синтеза (МЭДС)

Synthesis and Characterization of Thermally Stable Carbon Nano-Tubes using ARC-Discharge Technique 44

Описан метод электродугового синтеза термостойких УНТ с последующей очисткой. Метод интересен тем, что позволяет проводить селективное извлечение примесей из образцов УНТ без повреждения стенок трубок. Исследования показали, что очищенные образцы УНТ являются термоустойчивыми до 645°C.

This paper investigates the development of arc discharge ARCD technique in order to synthesis thermally stable CNTs. The method consists initially of the removal of fullerenes and soluble impurities, followed by liquid-phase oxidation of amorphous carbon. Then, an acid treatment to remove the unprotected metallic particles was finally affected. The results showed that the purified CNTs sample is thermally stable up to 645°C. The thermal stability of CNTs depends on the defects on the side walls and impurities in the purified sample and it can be attributed to efficient cooling system used in the apparatus.

Г.Д. ФЕДОРОВА, А.Е. САВВИНА, Г.И. ЯКОВЛЕВ, И.С. МАЕВА, С.А. СЕНЬКОВ

G.D. FEDOROVA, A.E. SAVVINA, G.I. YAKOVLEV, I.S. MAEVA, S.A. SENKOV

Оценка полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации углеродных нанотрубок

Estimation of the multifunctional modifier of PFM-NLK concrete as surfactant at carbon nanotubes dispersion 48

Представлены результаты исследований полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации углеродных нанотрубок. Рассмотрены технологии получения дисперсии многослойных углеродных нанотрубок. Показано, что эффективность модифицирования бетонов углеродными нанотрубками значительно зависит от качества дисперсии в момент введения ее в бетонную смесь.

Results of researches are presented in this work according to the multifunctional modifier of PFM-NLKconcretes surfactant at carbon nanotubes dispersion. Technologies of reception of dispersion multiwalled carbon nanotubes are considered. It is shown that efficiency of modifying of concrete carbon nanotubes appreciably depends on quality of dispersion at the moment of inclusion into concrete mix.

Юбиляры отрасли

С.К. ДОРОГАНИЧ

Гипроцемент. 90 лет с цементной промышленностью. 54

Отрасль в современных условиях

Строительный комплекс как отражение реальной экономической ситуации в стране (Информация). 58

А.А. СЕМЁНОВ

Итоги развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2012 году, прогноз на 2013 год 62

Е.В. ВЫСОЦКИЙ

Тенденции и перспективы развития рынка цемента Российской Федерации. 66

Ю.А. ГОНЧАРОВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ

Ключевые факторы успешного развития отрасли гипсовых материалов 70

Л.М. ЛОСЬ

Группа «КНАУФ»: 20 лет инвестиций в России – уроки и перспективы. 73

Г.И. ГРИНФЕЛЬД

Производство автоклавного газобетона в России: состояние рынка и перспективы развития 76

Я.И. ЗЕЛЬМАНОВИЧ

Рынок рулонных битуминозных материалов: предварительные итоги 2012 года 78

Технологии и оборудование

В.А. ДУБОВ, А.А. ЖУРАВЛЕВ, А.С. КНЯЗЕВ, Д.Ю. КОПЫЛОВ

Природосберегающие технологии производства строительных материалов 81

Рассмотрена технология переработки отсевов дробления карбонатных пород на минеральный порошок для асфальтобетона, муки для производства комбикормов для животных и птиц, а также наполнители сухих смесей. Технология основана на применении молотковых мельниц типа ММТ, снабженных сепараторами динамического типа, обеспечивающих помол и сушку исходного материала влажностью до 50%.

Л.А. ВАЙСБЕРГ, К.С. ИВАНОВ

Новые методы моделирования вибрационных грохотов 84

На основе нового подхода к моделированию процесса грохочения разработана программа для выбора оптимального сочетания технологических и конструктивных параметров устройств для разделения сыпучих материалов по крупности.

Н.М. СЕРГИНА, Д.В. АЗАРОВ, Е.В. ГЛАДКОВ

Системы инерционного пылеулавливания в промышленности строительных материалов 86

Показано, что использование предложенных систем пылеулавливания с инерционными аппаратами со встречными закрученными потоками позволяет обеспечить эффективность обеспыливания в пределах 84–98,2%.

Результаты научных исследований

А.Г. ПЕРЕХОЖЕНЦЕВ

Моделирование температурно-влажностных процессов в пористых строительных материалах. Часть 3. Расчет коэффициентов диффузии водяного пара в пористых материалах по характеристикам их пористой структуры 89

Новости 94

УДК 691.175

В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук, И.А. СТАРОВОЙТОВА, Н.В. МАЙСУРАДЗЕ, кандидаты техн. наук, Е.С. ЗЫКОВА, Р.А. ХАЛИКОВА, инженеры, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, А.А. КОРЖЕНКО, канд. техн. наук, Исследовательский центр корпорации «Аркема» (г. Лак, Франция); В.В. ТРИНЕЕВА, канд. техн. наук, Институт механики Уральского отделения Российской академии наук (г. Ижевск); Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова

V.G. KHOZIN, Doctor of Technical Science, I.A. STAROVOITOVA, N.V. MAISURADZE, Candidates of Technical Sciences, E.S. ZYKOVA, R.A. KHALIKOVA, engineers, Kazan State university of architecture and construction; A.A. KORZHENKO, Candidate of Technical Sciences, Research Center of ARKEMA (France); V.V. TRINEEVA, Candidate of Technical Sciences, Institute of Mathematics and Mechanics of Ural Division of RAS (Izhevsk); G.I. YAKOVLEV, Doctor of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov

Наномодифицирование полимерных связующих для конструкционных композитов

Nanomodification of polymer binders for constructional composites

Композиционные материалы (КМ) и особенно полимерные композиты (ПКМ) занимают лидирующие позиции в современном материаловедении и в технике. Эта их роль сохранится надолго в будущем [1]. Как известно, конструкционные материалы, чья механическая прочность, жесткость и долговечность являются определяющими факторами, состоят из двух и более фаз, объединенных в монолит по границам их раздела, взаимодействие по которым приводит к появлению новых свойств, отличных от свойств каждого (и их суммы) при сохранении ими индивидуальности. По сути, это эффект синергизма, отклонение от аддитивности.

В случае ПКМ высокий эффект синергизма обусловлен кроме адгезии образованием градиентных граничных слоев полимерного связующего с измененной структурой и свойствами, более протяженными, чем в низкомолекулярных веществах. Естественно, что удельный объем граничных слоев возрастает с увеличением поверхности раздела фаз.

Известно [2], что самые высокопрочные композиты – волокнистые, состоящие из направленно-ориентированных стеклянных, базальтовых, угольных, арамидных волокон, объединенных в монолит полимерным связующим, находящимся в период формирования композита и изделий из него в вязкотекучем состоянии, переходящем затем в твердое, точнее в упруговязкое, состояние. Чаще всего в качестве связующего применяются эпоксидные композиты – самые прочные, с непревзойденной адгезией, достаточно технологичные. Примером сложного объемного изделия из эпоксидного полимерного композита является известная советская ракета «Тополь», а примером материала строительного назначения – базальто- и стеклопластиковая стержневая арматура, а также более дорогая и редкая углепластиковая. И если жизнь ракеты скоротечна, то долговечность полимеркомпозитной арматуры в постоянно нагруженных несущих строительных конструкциях должна быть не менее ста лет.

Constructional composites (CC) and, in particular, polymer composites (PC) are becoming an essential part of modern material science and technology. This key role in modern science and technology will remain in times to come [1]. It is known that the constructional materials, which mechanical strength, hardness and durability are being the main properties in view of their deployment, are composed of two or more chemically and physically different phases separated by a distinct interface. The interactions of components within the interface surfaces cause the appearance of novel properties that differ from those of each component, or their sum, with preserving their identity. In fact, this deviation from additivity can be considered as a synergism effect.

The high synergism effect observed in PC systems is specified, except the adhesion, by formation of gradient boundary layers of polymer binders with altered structure and properties, that are more extended compared with the composites formed by low molecular components. Of course, the specific volume of boundary layers increases with increasing interface surface.

It is known [2] that the most high-performance composites are fibrous materials consisted of oriented glass, basaltic, carbon, aramid fibers combined into monolith by polymer binder. In the process of formation of composite, polymer binder is in plastic state, then it goes into a solid, notably, into a viscoelastic state. Most often epoxy polymers are used as binders since they are most durable and producible; they display the superior adhesive properties. The well-known Soviet missile “Topol” is an example of a complex 3D product of epoxy polymer composite. The reinforcement made from basalt- and glass-reinforced plastic as well as that made from a more expensive carbon plastic is an example of application of composite materials in construction.

If the operational phase of missile is rather short, the durability of polymer composite reinforcement used in the constantly loaded building structures must be no less than 100 years.

An increase of production and consumption of polymer composite reinforcement (PCR) observed during recent 5–7 years is caused by the following factors:

В России в последние 5–7 лет наблюдается рост объемов производства и потребления полимеркомпозитной арматуры (ПКА), который обусловлен следующими факторами:

- простотой и эффективностью технологии ее изготовления методом пултрузии или нидлтрязии; чрезвычайно малой энерго- и металлоемкостью оборудования и компактностью технологических линий в сочетании с их высокой производительностью;
- техническими преимуществами ПКА перед стальной арматурой: полимеркомпозитная арматура обладает в 2–3 раза большей механической прочностью, в 4 раза меньшей плотностью, высокой коррозионной стойкостью, диэлектрическими свойствами, малой теплопроводностью (в 100 раз меньше, чем у стали).

Однако связующее передает композиту присущие всем органическим полимерам конструкционные недостатки: низкие теплостойкость (до 120–150°C) и модуль упругости (на порядок ниже, чем у стали); ползучесть при длительной статической нагрузке, низкую длительную прочность. Эти специфические свойства арматуры на полимерных связующих резко уменьшают объем и широту применения ПКА в несущих строительных конструкциях из цементного бетона – главного конструкционного строительного материала.

Есть два пути устранения, компенсации или ослабления недостатков полимерных связующих:

- модификация эпоксидных связующих (основного вида в композитной арматуре) физическими и физико-химическими методами с целью их усиления [3];
- разработка новых типов связующих – гибридных органо-неорганических, также модифицированных физико-химическими методами. Перспективность гибридных связующих на основе полиизоцианата и полисиликата натрия обусловлена их относительно высокой теплостойкостью (не менее 240–250°C).

В качестве основного метода физико-химической модификации обоих типов связующих авторами выбрано введение в них твердых углеродных и металл-углеродных частиц наноразмерного уровня (менее 100 нм).

Предпосылками для наномодификации эпоксидных связующих явились закономерности и механизм их усиления тонкодисперсными минеральными наполнителями, установленные одним из авторов этой статьи много лет назад [3, 4]: при определенном объемном содержании (для каждого наполнителя разным) они до 20–30% увеличивают теплостойкость, прочность, модуль упругости эпоксидного полимера (рис. 1, 2).

При этом концентрационное положение максимумов эффектов усиления зависит от дисперсности наполнителя и снижается с уменьшением размера частиц, когда вся полимерная матрица переходит в состояние граничных слоев с большей плотностью молекулярной упаковки, меньшей молекулярной подвижностью, чем в исходном ненаполненном полимере. Аналогичные закономерности наполнения проявляются и в других сетчатых, а также с различными вариациями в линейных полимерах [5].

По мнению авторов, модифицирование эпоксидных и других полимерных связующих наноразмерными твердыми частицами основано на том же межфазном взаимодействии с образованием граничных слоев с проявлением тех же закономерностей. Эффект усиления на единицу поверхности раздела фаз должен зависеть только от химической природы твердого наполнителя. Наночастицы имеют огромную удельную поверхность – сотни квадратных метров на грамм, и потому максимальный эффект усиления должен наблюдаться при очень малых концентрациях их в полимере. Кроме образования межфазных граничных слоев эффект усиления наночастицами может быть обусловлен и возможностью заполнения ими молекулярного свободного

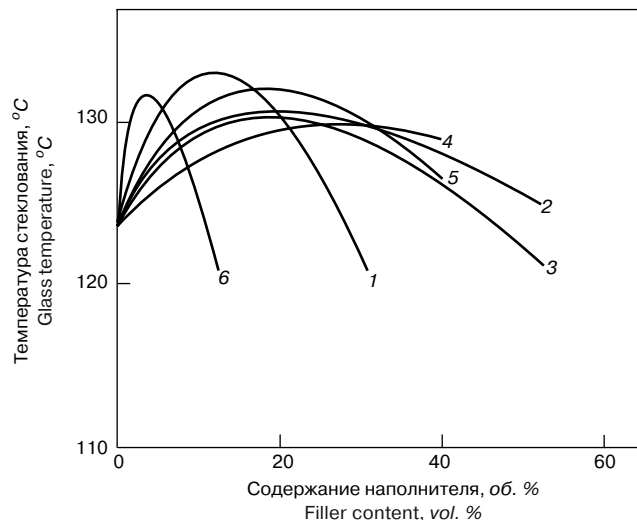


Рис. 1. Зависимость температуры стеклования (T_c) эпоксидного полимера от содержания наполнителей [3]: 1 – битумсодержащая порода; 2 – каолин; 3 – силикагель; 4 – графит; 5 – TiO_2 ; 6 – аэросил

Fig. 1. Dependence of glass temperature (T_c) of epoxy polymer on filler content [3]: 1 – bitumen containing rock; 2 – kaolin; 3 – silica gel; 4 – graphite; 5 – TiO_2 ; 6 – aerosil

- the production technology based on the pultrusion or needlertusion methods is easy and efficient; the extremely low power and metal consumption of equipment, as well as the compactness of operation lines are combined with their high performance;
- technical advantages of PCR over the steel reinforcement: PCR has mechanical hardness that exceeds that of steel reinforcement in 2–3 times, PCR density is less in 4 times, it possesses a high corrosive resistance, dielectric behaviors, low thermal conductivity (in 100 times less than in steel).

At the same time the binder transfers the composite all constructional disadvantages intrinsic to organic polymers: low thermal resistance (up to 120–150°C) and modulus of elasticity (over an order less than in steel); creep at long term static loading. These specific features of reinforcement based on polymer binders reduce the volume and scope of PCR application in cement concrete load-bearing elements that are being the main construction material.

There are two ways of overcoming or reducing the shortcoming of polymer binders:

- a modification of epoxy binders (the main type of binders used in composite reinforcements) by physical and physicochemical techniques with the purpose of their enhancement [3];
- a development of new types of binders as hybrid organic-inorganic binders, as well as well the binders modified by physicochemical methods. The prospects of the hybrid binders based on polyisocyanate and polysilicate sodium are determined by their relative high thermal resistance (no less than 240–250°C).

In this work, an insertion of solid carbon and metal-carbon nanoparticles (with the sizes less than 100 nm) into the binders has been applied as a main method of physicochemical modification.

The background of the nano-modification of epoxy binders is in regularities and mechanism of their enhancement by fine mineral fillers that were found many years ago by one of the authors [3, 4]: at a certain volume fraction (dependent on the filler) these filler particles increase thermal resistance, hardness, modulus of elasticity of epoxy polymer over 20–30% (Fig. 1, 2).

It should be noted that a concentration corresponding to maximal effect of enhancement depends on the filler dispersity and reduces with decreasing particle sizes, when the entire polymer matrix transfers into the state of interface boundaries

объема и неплотностей молекулярной упаковки, поскольку их размеры соизмеримы. Это пока гипотеза, требующая экспериментального подтверждения.

В последнее десятилетие для модификации эпоксидных конструкционных материалов опробованы наночастицы различной природы: углеродные нанотрубки, фуллерены, астралены, ультрадисперсные алмазные порошки, наноалмазы, монтмориллонит, аэросил, шунгит, металлосодержащие нанокомпозиты и др. [6].

Особенностью технологии наномодифицирования является сложность равномерного распределения сверхмалых доз ультрадисперсных частиц в объеме полимера. Для этого готовят их концентраты путем диспергирования наночастиц в жидких компонентах связующего, чаще всего с помощью ультразвуковой (УЗВ) обработки.

Например, И.В. Малков и др. вводили многослойные углеродные нанотрубки (МУНТ) в эпоксидное связующее (смола ЭД-22 + отвердитель ДАДФС), обрабатывая систему в скоростном смесителе час, а затем 40 мин в УЗВ ванне. Оптимальная концентрация МУНТ – 0,05% увеличивает степень отверждения, тепловой эффект полимеризации, температуру стеклования и динамический модуль упругости; прочность возрастает на 20%, ударная вязкость – на 30%.

В отвердитель эпоксидного олигомера – изо-МТГФА вводили алмазографит и наноалмазы. При 0,2–0,3% первого и 0,1–0,2% второго достигали увеличения прочности при сжатии на 18–22%, при изгибе – на 13%, ударной прочности – на 26–32%, теплостойкости – на 10%, жесткости – на 20–30%. Но прочность при растяжении снизилась на 20%.

При модификации эпоксидных клеев горячего отверждения медь- и никельуглеродными нанокомпозитами (0,0001–0,0003%) адгезионная прочность возросла на 50–70% [6].

Некоторые исследователи [7] считают, что главными условиями эффективной модификации полимерных композитов УНТ являются:

- равномерное распределение УНТ по объему матрицы;
- обеспечение высокой адгезии полимерной матрицы к поверхности УНТ;
- ориентация УНТ в направлении действия нагрузки, хотя это условие желательное, но практически трудно выполнимое.

А.Д. Помогайло с соавторами [8] установили, что введение наночастиц металлов в полимеры увеличивает их термо- и теплостойкость.

Для модификации обоих связующих в ПКА авторы использовали концентраты углеродных и металл-углеродных наночастиц в воде и органических носителях – компонентах связующих, а именно:

1. Тонкодисперсные суспензии металл-углеродного нанокомпозита (МС 1, 2, 3, 4) в отвердителе эпоксидной смолы изо-МТГФА (производство ООО «ИЭМЗ Купол»).

2. Твердые концентраты многослойных углеродных нанотрубок фирмы Arkema (Франция) в различных средах-носителях с торговыми марками:

- Graphistrength C W2-45 – концентрат УНТ в водной среде (содержание диспергированных многослойных УНТ 45%) – для модификации гибридных связующих на основе полиизоцианата и полисиликата натрия;
- Graphistrength C S1-25 – концентрат УНТ в органической среде, содержащей мономер DGEBA, бисфенол А (содержание диспергированных многослойных УНТ 25%) – для модификации эпоксидных и гибридных связующих.

Эпоксидное связующее (ЭД-20+изо-МТГФА)+модификатор) отверждали в течение 6 ч при температуре 130, 150, 170°C. Глубину отверждения оценивали по массовой доле золь-фракции путем экстрагирования порошкообразных образцов ацетоном.

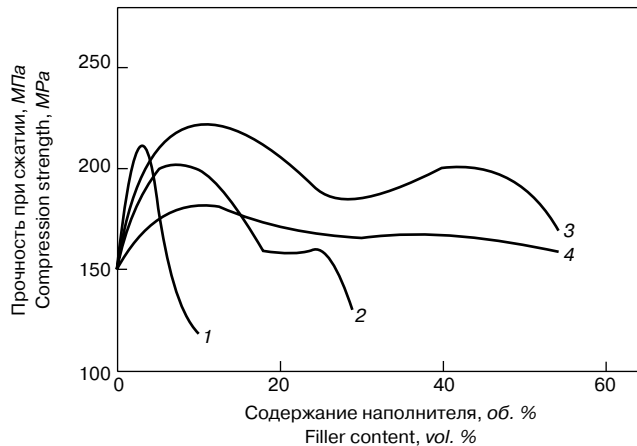


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии (σ_c) эпоксидных связующих от содержания наполнителей [3]: 1 – аэросил; 2 – белая сажа; 3 – маршалит; 4 – молотый кварцевый песок

Fig. 2. Dependence of compression strength (σ_c) of epoxy binders on filler content [3]: 1 – aerosol; 2 – white black; 3 – rock flour; 4 – powdered quartz sand

with high density of molecular packing, and with molecular mobility less than in initial unfilled polymer. Similar regularities of filling manifest in the other network polymers as well as in linear polymers with different variations [5].

By our opinion, the modification of epoxy and other polymer binders by solid nanoparticles is based on the same interface interactions with formation of boundary layers with the same regularities. The enhancing effect per unite of interface surface must depend only on chemical nature of solid filler. Nanoparticles have large specific surface of about several hundreds of square meters per gram, since the maximal enhancing effect must be observed at very low concentrations of these particles in polymer. Besides the formation of interface boundary layers, the effect of enhancing by nanoparticles can be caused by possible free volume filling by nanoparticles as their sizes are comparable. This is only suggestion which demands experimental conformation.

In recent decades, nanoparticles of different kinds have been used for modification of epoxy construction materials: carbon nanotubes, fullerenes, astralenes, ultra-fine diamond powder, montmorillonite, aerosol, schungite, metal-containing nanocomposite and etc. [6].

The main problem of nanomodification technology lies in requirement of homogeneous distribution of very low portions of ultra-fine particles over polymer volume. One of the ways to solve this problem is to make their concentrates by dispersing nanoparticles in fluid components of binder applying an ultrasonic treatment (UST).

For example, Malkov with coworkers introduced multi-layer carbon nanotubes (MLCNT) into epoxy binder (epoxy resin ED-20 + DDS curing agent) by means of a speed mixer during an hour, and then it was kept for 40 minutes in an ultrasonic bath. The optimal concentration of MLCNT of 0.05% occurred to be enough for increasing the degree of curing, glass temperature and dynamic elasticity modulus, enhancing the thermal effect of polymerization; the hardness increased over 20% and the impact strength – 30%.

Diamond and diamond-graphite nanoparticles have been introduced into the curing agent of epoxy oligomers – iso-MTHPA. At introducing 0.2–0.3% of diamond and 0.1–0.2% of diamond-graphite nanoparticles, the compression resistance increased over 18–22%, bending resistance – 13%, impact resistance – 26–32%, thermal resistance – 10%, hardness – 20–30%. At the same time the tensile strength reduced over 20%.

Modification of the hot curing epoxy resin adhesives by copper- and nickel- carbon nanocomposites (0,0001–

**Таблица 1
Table 1**

Температура отверждения, °C Curing temperature, °C	Содержание МС, мас. % от отвердителя CC content, mass. % per curing agent				
	0	0,001 (MC2) (CC2)	0,011 (MC1) (CC1)	0,001 (MC4) (CC4)	0,011 (MC3) (CC3)
130	7	7,2	6,8	7	6,9
150	2	1,8	1,2	2,1	2
170	3,5	3	3,5	3,6	3,1

Содержание экстрагируемых веществ (%) в эпоксидном связующем, модифицированном медь-углеродными нанокompозитами (МС), приведено в табл. 1.

Как видно из табл. 1, медь-углеродные нанокompозиты не влияют на глубину отверждения сетчатого эпоксидного полимера, но она в значительной мере зависит от температуры изотермического прогрева. Максимум степени отверждения достигается при 150°C (наименьшее значение золь-фракции около 2%), минимум при 130°C (количество экстрагируемых около 7%) (увеличение золь-фракции при 170°C прогрева связано с возможной термической деструкцией полимера).

Наибольшие показатели прочности наблюдаются в условиях термообработки при 130°C. Прочность при сжатии (МПа), адгезия к стали (МПа) и теплостойкость (°C) эпоксидных связующих, модифицированных медь-углеродными нанокompозитами, приведены в табл. 2. Все нанокompозиты увеличивают прочностные показатели исходного связующего (адгезию к стали на 18–25% – с 8,5 до 10–10,6 МПа), прочность при сжатии на 7–16%.

Одним из важнейших показателей ПКА является теплостойкость, определяемая температурой стеклования полимерного связующего. Наномодификаторы увеличивают существенно этот показатель: теплостойкость по Вика у контрольного (немодифицированного полимера) составляет 140°C, а у содержащего 0,001% МС2 равна 180°C (прирост на 28%).

Таким образом, техническая эффективность модифицирования эпоксидного связующего металл-углеродными нанокompозитами налицо.

В табл. 3 приведены данные по количеству экстрагируемых в эпоксидных связующих, модифицированных УНТ (Masterbatch C S1-25). Наиболее полное отверждение всех составов наблюдается также при температуре 150°C. Введение УНТ не оказывает влияния на степень отверждения эпоксидного полимера.

0,0003%) led to the increase of adhesive strength over 50–70% [6].

Some investigators [7] proposed that the main conditions of high performance modification of polymer composites by carbon nanotubes (CNT) are the following:

- homogeneous distribution of CNT over the matrix;
- high adhesion of polymer matrix to CNT surface;
- orientation of CNT in direction of load action (although this condition is desirable, but awkward in practice).

Pomogailo with coworkers [8] established that the insertion of metal nanoparticles into polymers increased their thermal stability and heat resistance.

In this work, to modify both binders of PCR, the authors used the concentrates of carbon and metal-carbon nanoparticles in water and organic solvents – binder components, as following:

1. Fine dispersed suspension of metal-carbon nanocomposite (MC 1, 2, 3, 4) in iso-MTHPA (JSC “IEMZ Kupol”) used as the curing agent of epoxy resin.

2. Solid MLCNT (Arkema, France) in the carrier agents of different trademarks as:

- Graphistrength C W2-45 – CNT concentrate in aqueous medium (loading of dispersed CNT is of 45%) – to modify the hybrid polyisocyanate – sodium polysilicate binders;
- Graphistrength C S1-25 – CNT concentrate in organic medium containing DGEBА monomer, bisphenol A (content of dispersed CNT is of 25%) – to modify epoxy and hybrid binders.

Epoxy binders (ED-20 + iso-MTHPA + modifying agent) were cured for 6 hours at 130, 150, and 170°C. The depth of curing was estimated by mass content of sol-fraction using acetone extraction of powdered samples.

Content of extracted components (%) in the epoxy binder modified by copper-carbon (CC) nanocomposites is given in Table 1.

As Table 1 shows, CC composites have no effect on the depth of curing of network epoxy polymer, but this depth is influenced significantly by temperature of isothermal heating. The maximal degree of curing is achieved at 150°C (the minimal sol-fraction is about 2%), the minimal value – at 130°C (the amount of extracted substances is about 7%). Probably, the increase of sol-fraction at 170°C is caused by thermal destruction of polymer.

The highest toughness indexes are observed at 130°C. The values of compressive strength (МПа), adhesion to steel (МПа) and thermal resistance (°C) of epoxy binders modified by copper-carbon nanocomposites are given in Table 2. All nanocomposites enlarge the strength properties of initial

**Таблица 2
Table 2**

Температура отверждения, °C Curing temperature, °C	Содержание МС-композитов в отвердителе, мас. % CC nanocomposite content in the curing agent, mass %				
	0	0,001 (MC2) (CC2)	0,011 (MC1) (CC1)	0,001 (MC4) (CC4)	0,011 (MC3) (CC3)
	Прочность при сжатии, МПа				
130	120	131	134	129	130
150	107	118	123	118	125

Вид и содержание МС	Адгезионная прочность, МПа	Теплостойкость по Вика, °C
Контрольный состав	8,5	141
МС1 (CC1) (0,011%)	10,1	163
МС2 (CC2) (0,001%)	10,6	180
МС3 (CC3) (0,011%)	10,4	160
МС4 (CC4) (0,001%)	9,7	155

Таблица 3
Table 3

Температура отверждения, °C Curing temperature, °C	Количество экстрагируемых веществ, мас. %, при содержании УНТ, % Concentration of extracted components, mass. %, at CNT loading, %									
	0	0,001	0,003	0,005	0,01	0,03	0,05	0,1	0,3	0,5
130	7	6,9	7,1	7	6,9	7,2	7,5	6,9	7,3	7
150	2	2,1	2	1,85	2	1,6	1,4	1,9	2	1,8
170	3,5	3,6	3,1	3,4	3	3,3	3,5	3,1	3	3,5

При модификации эпоксидных связующих УНТ (в количестве 0,001–0,005 мас. %) адгезионная прочность к стали на сдвиг возрастает на 18–23% (с 8,5 до 10–10,8 МПа).

Зависимость прочности от концентрации носит экстремальный характер (максимум при 0,001% УНТ) (рис. 3).

При этом теплостойкость по Вика составляет 170°C (для контрольного состава – 140°C) при температуре отверждения образцов 150°C.

Таким образом, модифицирование эпоксидных связующих углеродными нанотрубками технически так же эффективно, как и медь-углеродными наноконкомпозитами, тем более что их оптимальная концентрация также чрезвычайно мала (0,001% от массы отвердителя).

В обоих случаях модификации наблюдается экстремальная зависимость свойств эпоксидно-ангидридного полимера от концентрации, как и при наполнении эпоксиаминного полимера молотыми наполнителями. Однако максимум показателей достигается при ультрамалых дозах наноразмерных частиц, что авторами и предполагалось.

При модификации углеродными нанотрубками органо-неорганических связующих на основе полиизоцианата и полисиликата натрия модифицирующие добавки Graphistrength C W2-45 и Graphistrength C S1-25 вводили соответственно в неорганический (полисиликат натрия) и органический (полиизоцианат) компоненты связующего. Компоненты связующих смешивали на лопастной мешалке при скорости 1500–3000 об/мин. Отверждение связующих проводили путем ступенчатой тепловой обработки при 80–100°C.

Исследование технологических характеристик связующих показало, что введение добавок УНТ до 0,3–0,5 мас. % практически не влияет на вязкость систем, приводит к незначительному снижению времени гелеобразования (с 3 до 2–2,5 ч) и сокращению времени тепловой обработки (с 6 до 4–4,5 ч), что свидетельствует об ускорении процессов отверждения связующих в присутствии УНТ. В табл. 4 приведены технологические характеристики наномодифицированных гибридных связующих.

Методом сканирующей электронной микроскопии установлена гетерофазная структура отвержденных связующих (рис. 4). По данным микрозондового рентгено-спектрального анализа, дисперсионная среда идентифицируется в основном атомами С, N и O, т. е. матрица представлена образующимися в ходе химических реакций полимерами – полиуретаном, полимочевинной и полиизоциануратом, а дисперсная фаза обогащена Si и Na, т. е. является продуктом поликонденсации полисиликата натрия.

Электронно-микроскопические снимки свидетельствуют о том, что введение в качестве модификатора многослойных УНТ (как в полиизоцианат, так и в полисиликат натрия) способствует формированию более однородной фазовой структуры (рис. 4, б), уменьшению среднего размера частиц дисперсной фазы в два раза (с 4,4 мкм – для немодифицированного связующего до 2,3 мкм – для связующего, модифицированного

binder: adhesion to steel over 18–25%: from 8.5 MPa up to 10–10.6 MPa, the compression strength – over 7–16%.

One of the important indexes of PCR is a thermal resistance defined by glass temperature of polymer binder. Nanomodifiers significantly increase this index: a Vicat softening point of a reference sample (a non-modified polymer) is equal to 140°C, while for the polymer sample containing 0,001% of CC2 it is equal to 180°C (growth over 28%).

Thus, the technical efficiency of modification of epoxy binders by metal-carbon nanocomposites is evident.

Table 3 shows the quantities of extracted components of epoxy binders modified by CNT (Masterbatch C S1-25).

The most complete curing of all compositions was observed at 150°C. Introduction of CNT had no effect on the degree of curing of epoxy polymer.

CNT modification of epoxy binders (CNT loading is 0,001–0,005 mass. %) caused the increase of an adhesion shear strength to steel over 18–23% (from 8.5 MPa up to 10–10.8 MPa).

The concentration dependence of strength occurred to be an extremal function: the maximal value is observed at CNT loading of 0,001% (see Fig. 3).

At the same time, the Vicat softening point is equal to 170°C (for the reference composition it was equal to 140°C) at curing temperature of 150°C.

Thus, CNT modification of epoxy binder occurred to be efficient as well as the modification by copper-carbon nanocomposites, especially, because an optimum CNT loading is also very low (0,001% of mass of curing agent).

In both cases of modification, the extremal concentration dependences of epoxy-anhydride polymer properties were observed, as well as in the case of filling of epoxy-amine poly-

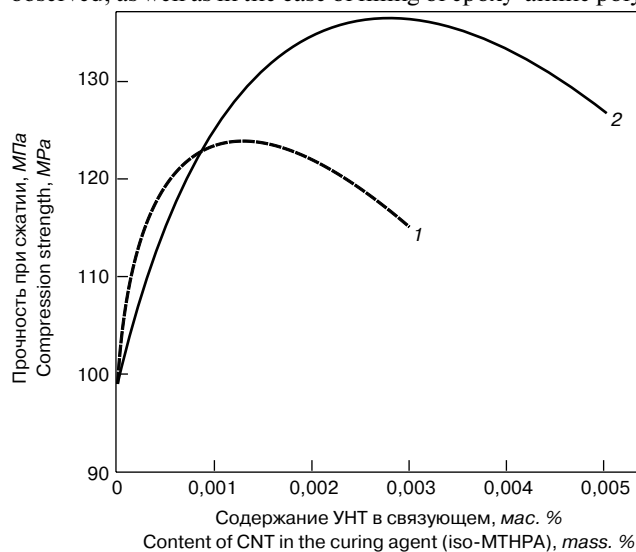


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии эпоксидного связующего от содержания УНТ в отвердителе (изо-МТГФА): 1 – гибридное связующее, модифицированное добавкой С S1-25; 2 – гибридное связующее, модифицированное добавкой С W2-45

Fig. 3. Dependence of compression strength of epoxy binder on CNT loading in the curing agent (iso-MTHPA): 1 – the hybrid binder modified by additive C S1-25; 2 – the hybrid binder modified by additive C W2-45

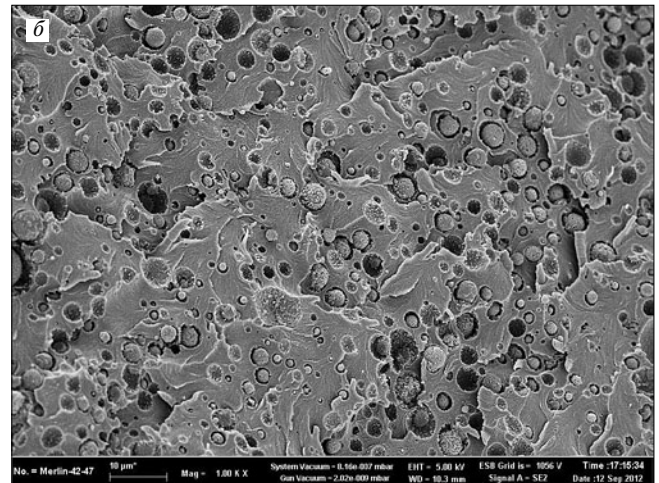
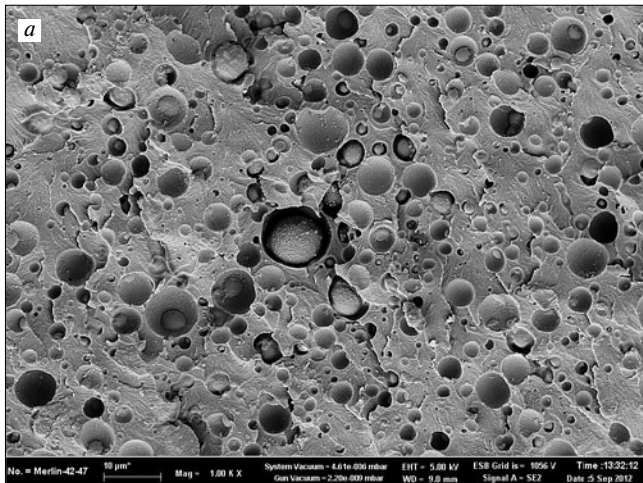


Рис. 4. Микрофотографии отвержденных связующих при увеличении 1000х: а – немодифицированное (исходное) гибридное связующее; б – модифицированное УНТ (содержание УНТ 0,1%)

Fig. 4. Micrograph of the cured binders, 1000-fold magnification: a – non-modified (initial) hybrid binder; b – CNT modified binder (CNT content is of 0.1%)

0,1 мас. % УНТ) и снижению максимального размера частиц (с 11 до 4,5 мкм).

Зависимости прочности при сжатии гибридных связующих от содержания УНТ носят экстремальный характер (рис. 5). При использовании модификатора С W2-45 (введение в полисиликат натрия) прочность при сжатии возрастает с 98 до 120–125 МПа при 0,1% содержании УНТ. При использовании модификатора С S1-25 (введение в полиизоцианат) прочность при сжатии достигает 136 МПа при 0,25% содержании УНТ.

Теплостойкость гибридных связующих при модификации УНТ возрастает на 15–25°C (с 260–265°C для немодифицированных связующих до 280–290°C при модификации связующих УНТ в количестве 0,05–0,3 мас. %).

Изменение физико-механических и других характеристик гибридных связующих при введении модифицирующих добавок обусловлено армирующим действием наполнителя, а также влиянием УНТ на процессы отверждения и формирования структуры отвержденных композитов.

Таким образом, наномодифицирование двух разных видов связующих полимеркомпозитной арматуры –

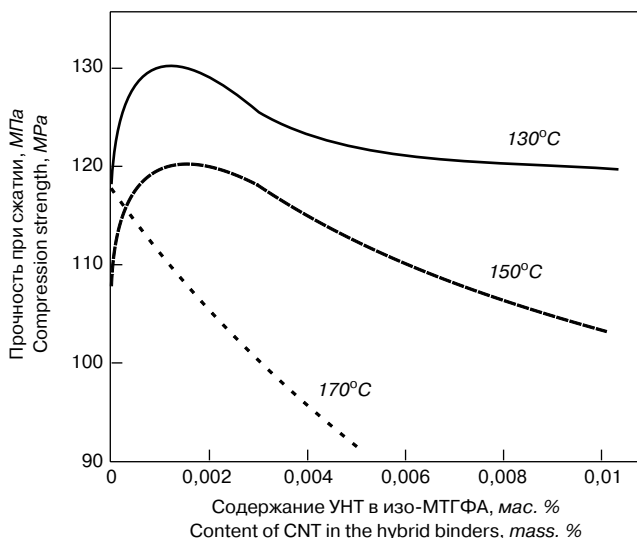


Рис. 5. Зависимость прочности при сжатии гибридного связующего от содержания УНТ

Fig. 5. The dependence of compression strength of the hybrid binders on CNT loading

mer by ground fillers. However, it was found that the highest value of indexes was achieved at ultra-low content of nanoparticles in accordance with the expectations of authors.

In the case of CNT modification of polyisocyanate – sodium polysilicate binders, the modifying additives, Graphistrength C W2-45 and Graphistrength C S1-25, were inserted into non-organic (sodium polysilicate) and organic (polyisocyanate) components, correspondingly. Binder components were blended in a paddle mixer at a speed of 1500–3000 r/min. Binder curing was performed by a stepped thermal treatment at 80–100°C.

Investigation of technological features of binders revealed that insertion of CNT additives in amount of 0.3–0.5 mass. % practically had no effect on viscosity of the systems, but it caused insignificant reduction of gel time (from 3 up to 2–2.5 hours) and noticeable reduction of heat treatment duration (from 6 to 4–4.5 hours). All these effects are the evidences of acceleration of curing processes in binders with CNT. Table 4 gives the technological features of the nano-modified hybrid binders.

Scan electron microscopy found the heterophase structure of cured binders (see Fig. 4). According to the microprobe spectrometry data, the disperse medium is identified by C, N and O atoms (notably, the matrix is formed by the products of chemical reactions – polyurethane, polyurea and polyisocyanurate), while the dispersed phase is enriched by Si and Na species (notably, it is a product of polycondensation of sodium polysilicate).

Electron micrographs evidenced that insertion of multi-layered CNT, as the modifier (both into polyisocyanate and sodium polysilicate), promotes the formation of more homogeneous phase structure (Fig. 4, b): a two-fold decrease of average sizes of particles of dispersed phase (from 4.4 μm for non-modified binder up to 2.3 μm for the binder modified by 0.1 mass. % CNT), and a decrease of maximal particle size (from 11 up to 4.5 μm).

Dependence of compression strength of hybrid binders on CNT loading occurred to be extremal function (Figure 5). Insertion of the C W2-45 modifier into sodium polysilicate led to the compression strength increased from 98 up to 120–125 МПа at 0.1% CNT loading. In the case of insertion of the modifying additive C S1-25 into polyisocyanate, the compressive strength attained the value of 136 МПа at CNT loading equal to 0.25%.

Thermal resistance of the hybrid binders modified by CNT increased over 15–25°C: from 260–265°C – for non-modified binders up to 280–290°C – for binders modified by CNT (0.05–0.3%).

Таблица 4

Table 4

Модифицирующая добавка Modifying additive	Содержание УНТ, мас. % CNT loading mass. %	Время гелеобразования, мин Gel time, min	Время отверждения при ТО, ч Curing time at heat treatment, hours
–	0	180	6
Graphistrength C W2-45	0,05	170	6
	0,1	160	5
	0,3	150	5
	0,5	150	4,5
Graphistrength C S1-25	0,05	160	5,5
	0,1	140	5
	0,3	135	4,5
	0,5	120	4

эпоксидного и гибридного (органо-неорганического) приводит к значительному повышению их основных эксплуатационно-технических свойств: прочности, адгезии, теплостойкости при ультрамалых концентрациях модификаторов – углеродных наночастиц.

При этом закономерности наномодифицирования проявляются в виде экстремальных зависимостей прочности и теплостойкости (без изменения степени отверждения) аналогично изменению свойств при наполнении эпоксидных полимеров тонкодисперсными наполнителями. Это позволяет сделать вывод о едином механизме наномодифицирования и усиления полимеров наполнителями.

Полученные результаты наномодифицирования связующих являются технологической основой усиления полимеркомпозитов добавками наноразмерных углеродных частиц.

Ключевые слова: полимеркомпозитная арматура, эпоксидные связующие, гибридные органо-неорганические связующие, наномодифицирование, прочность при сжатии, теплостойкость.

Список литературы

1. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. 448 с.
2. Люблин Дж. Справочник по композиционным материалам, кн. 1. М.: Машиностроение, 1988. 448 с.
3. Хозин В.Г. Усиление эпоксидных полимеров. Казань: Дом печати, 2004. 446 с.
4. Султанаев Р.М., Хозин В.Г., Воскресенский В.А. Влияние кремнеземистых наполнителей на физико-механические свойства эпоксидных полимеров // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1972. 15, № 5, С. 771–773.
5. Соломко В.П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры. Киев: Наукова думка, 1980. 264 с.
6. Акатенков Р.В., Алексахин В.Н., Аношкин И.В., Богатов В.А., Грачев В.П., Кондрашов С.В., Раков Э.Г. Влияние малых добавок функционализированных многослойных углеродных нанотрубок на кинетику отверждения и свойства эпоксидных композитов // Сб. тезисов. Rusnanotech'09. С. 302–303.
7. Du H., Bai J., Cheng Y-M. // J. eXPRESS Polymer Letters. 2007. V. 1. № 5. Pp. 253–273.
8. Помогайло А.Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М.: Химия, 2000. 672 с.
9. Бобрышев А.Н., Жарин А.А., Бобрышев А.А. Влияние эпоксидного модификатора на полиуретановые полимеры // Строительные материалы. 2005. № 6. С. 67–69.

Variations of physical-mechanical and other properties of the hybrid binders caused by introducing the modifying agents are due both to reinforcing action by filler and the influence of CNT on the curing processes, and formation of structure of cured composites.

Thus, the nano-modification of two different kinds of binders of polymer composite reinforcement: epoxy and hybrid (organic-inorganic) binders, led to a sensible rise of major performance features as strength, adhesion, thermal resistance at ultra-low loading of modifying agent – carbon nanoparticles.

At the same time, the regularities of nano-modification display in the extremal dependences of strength and heat resistance (without variations of degree of curing) similar to the variations of properties due to filling of epoxy polymers by fine dispersed fillers. Thus, the identical mechanism of nano-modification and enhancement of polymers by fillers should be proposed.

The results obtained for the nano-modification of binders can serve as a technological basis of enhancement of polymer composites by carbon nano-additives.

Keywords: polymer composite reinforcement, epoxy binders, hybrid organic-inorganic binders, nano-modification, compression strength, thermal resistance.

References

1. Matthews F., Rolings R. Composite Materials: Engineering and Science. M.: Technospere, 2004. 448 p.
2. Lubin G. Handbook of composites, Book 1 M.: Mashinostroenie, 1988. 448 p.
3. Khozin V.G. Enhancement of epoxy polymers. Kazan: Dom Pechati, 2004, 446 p.
4. Sultanaev R.M., Khozin V.G., Voskresensky V.A., Influence of silica filler on physics-mechanical properties of epoxy polymers // Izv. Vyzov, Khimiya and khimicheskaya technologya. 1972. V. 15, № 5. Pp. 771–773.
5. Solomko V.P. Filled crystallized polymers., Kiev: Naukova Dumka, 1980, 264 p.
6. Akatenkov R.V., Aleksashin V.N., Anoshkin I.V., Bogatov V.A., Grachev V.P., Kondrashev S.V., Rakov E.G. The influence of small additives of functionalized multilayer carbon nanotube on curing kinetics and properties of epoxy composites // Book of Thesis. Rusnanotech'09. Pp. 302–303.
7. Du H., Bai J., Cheng Y-M. // J. eXPRESS Polymer Letters. 2007. V. 1. № 5. Pp. 253–273.
8. Pomogailo A.D., Rosenberg A.S., Ufland I.E. Metal nanoparticles in polymers, M.: Khimia, 2000, 672 p.
9. Bobrishev A.N., Gharin A.A., Bobrishev A.A. Influence of epoxy modifying agent on polyurethane polymers // 7. (2005) Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (6), pp. 67–69.

УДК 6-022.532

В.В. НЕЛЮБОВА, канд. техн. наук, В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, Н.В. ПАВЛЕНКО (9103638838@mail.ru), канд. техн. наук, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, канд. геол.-мин. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

V.V. NELUBOVA, Candidate of Technical Sciences, V.V. STROKOVA, Doctor of Technical Sciences, N.V. PAVLENKO, Candidate of Technical Sciences, I.V. ZHERNOVSKY, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov

Строительные композиты с применением наноструктурированного вяжущего на основе сырья различных генетических типов

Construction composites using of nanostructured binder based on raw of varying genetic types

Высокие энергозатраты и отрицательное влияние на экологию при производстве цемента ставят задачу создания эффективных бесклнкерных вяжущих систем, на основе которых возможно производство строительных материалов различного функционального назначения и типа твердения.

Углубление знаний о строении и функционировании природных объектов на молекулярном уровне привело к разработке общетеоретического подхода к получению и использованию искусственных материалов с наноразмерной структурой [1] и основ технологии их производства. В основе создания одной из таких технологий лежит принцип формирования структуры материалов, полученных по технологии высококонцентрированной вяжущей суспензии (ВКВС). В данной системе формируется около 10% частиц наноразмерного уровня при механической активации исходных материалов.

Рассматриваемые в работе вяжущие получают мокрым измельчением при 60–80°C в оптимальной области значений pH, позволяющей осуществлять процесс в условиях предельной концентрации (максимальном разжижении) с последующей стабилизацией суспензии по реологическому принципу – механическим гравитационным перемешиванием. При этих условиях достигается как полидисперсный зерновой состав, так и низкое содержание связанной жидкости, что является определяющим в отношении плотности (пористости), прочности и усадки вяжущего [2].

Основополагающими при разработке ВКВС и разнообразных материалов на их основе, в том числе безобжиговой керамики и огнеупорных бетонов, явились работы Ю.Е. Пивинского [3].

По степени применимости для получения строительных композитов были ранжированы вяжущие вещества на основе кремнеземного или алюмосиликатного сырья (см. рисунок).

Впервые исключительно эффективная роль ультрадисперсных частиц в технологии ВКВС и материалах на их основе была установлена в [4], где отмечалось, что наличие в суспензии частиц размером 10–30 нм позволяет повысить показатели предела прочности при изгибе отливок более чем в 10 раз, а также существенно увеличить их водостойкость.

Однако недостатками суспензий, полученных по данному способу, является их недостаточная седиментационная устойчивость, неблагоприятная для формирования изделий, сильная дилатансия, пониженная механическая прочность изделий до термообработки [3].

The modern construction materials which are available at the moment are to provide cost reduction and labor inputs in building process, they are responsible for decreasing in mass of the buildings and structures and improving of it heat insulation. The main task, therefore, is a technical and economical fitting of competitive product types in order to make a dominate position for more economically effective of them.

Owing to high energy demand and negative impact on the environment of cement production, the necessity in design new materials on the base of cement-free binders, which a non-hydration nanostructured binder (NB) of can be attributed to. NB is a new generation binder, applied for construction materials production. There are quartz sand, quartzitic sandstone quartzite and perlite can be used as main raw materials in the cohesive system.

Free-cement nanostructured binder can be applied for wide range in construction materials classification such as foam-concrete, gas-concrete, micro reinforced cellular composites and silicate materials.

Application of NB is endowed in optimal effect when using of eco-friendly technology for energy effective construction materials on the base on the free-cement binder to produce.

Today, high energy costs in cement production as well as negative impact of the process on the environment force to creating new effective free-cement cohesive systems and the construction materials on it base with different-purpose and various curing types can be developed.

Extending knowledge of structure and performance of natural objects at molecular scale led to development of basic approach to producing and application of synthetic materials with nanosized structure [1] and their production principles.

A principle of structure formation of materials, obtained with high concentrated binder system (HCBS) technology underlays the conception of design the one of such a technology. In the given system it is near 10% of nanosized particles form in result of mechanochemical activation of raw materials.

The binders studied in this work are produced by wet milling process at 60–80°C in optimal pH level. All these conditions provide the milling process with critical concentration (max dilution) followed by suspension stabilization on the rheological principal, which is a mechanical gravitation mixing. At these conditions polydispersed granular composition as well as a low amount of bonded liquid is achieved. It is

Ранее были установлены закономерности регулирования реологических свойств и агрегативной устойчивости ВКВС силикатного и алюмосиликатного составов [5, 6]. Показана определяющая роль содержания нанодисперсных частиц в смешанных вяжущих на их свойства. Предложен принцип оптимизации структуры матричной фазы на примере ВКВС, основанный на комплексном проявлении трех механизмов воздействия на систему: структурно-механического, электростатического, адсорбционно-сольватного. Все это позволило расширить области использования ВКВС, стало возможным применять их в качестве активных кремнеземных добавок-модификаторов – наноструктурированно-го модификатора (НМ) и основного вяжущего компонента – наноструктурированного вяжущего (НВ).

Специфика технологии НВ позволяет использовать в качестве основного сырьевого компонента широкий спектр кремнеземных и алюмосиликатных пород природного и техногенного происхождения. Выбор того или иного материала осуществляется с учетом локализации месторождений пород в регионе, где планируется осуществлять производство вяжущего.

С точки зрения расширения сырьевой базы для получения наноструктурированных вяжущих особый интерес представляет перлит – скрытокристаллическая алюмосиликатная вулканическая порода [7].

Основными достоинствами наноструктурированного вяжущего являются низкая себестоимость и высокая технологичность. Низкая себестоимость обусловлена доступностью и широчайшей распространенностью минерального сырья для его производства и, как следствие, минимальными транспортными расходами, отсутствием энергозатрат на высокотемпературную обработку сырья при производстве вяжущего и неограниченным сроком хранения. Высокая технологичность связана с уникальными свойствами при низкой водопотребности и значительным температурным интервалом эксплуатации.

В настоящее время разработан ряд материалов с использованием наноструктурированного вяжущего. В частности, предложены составы силикатных автоклавных прессованных материалов с использованием наноструктурированного модификатора, позволяющие получать изделия с пределом прочности при сжатии до 40 МПа, морозостойкостью до 75 циклов [8, 9].

Использование наноструктурированного модификатора повышает в 1,5 раза прочность при сжатии сырья, что позволяет выпускать эффективные высокопустотные изделия с повышенной долговечностью, а также окрашенные силикатные материалы, обладающие повышенной цветостойкостью при длительном воздействии окружающей среды.

Специфика наноструктурированных вяжущих позволяет рекомендовать их для производства теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов. Полученный пенобетон имеет плотность 300–900 кг/м³; прочность при сжатии 3–12 МПа; коэффициент теплопроводности 0,08–0,12 Вт/(м·°C); коэффициент паропроницаемости 0,23–0,14 мг/(м·ч·Па); сорбционную влажность 6–10%. Производство пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего позволяет упростить, удешевить и повысить эффективность технологического процесса за счет существенного сокращения сроков изготовления пенобетонных изделий с улучшенными технико-эксплуатационными и теплофизическими характеристиками [10, 11].

Разработаны композиционные вяжущие с использованием НВ, что способствует повышению активности вяжущего до 35% при экономии клинкерной составляющей до 50%. Прирост прочности при введении объясняется формированием более плотной структуры цементного камня. При этом особенностью структуры це-

а determining factor if we speak about density (porosity), strength and shrinkage of the binder [2].

It is reputed the works of Y. E. Pivinsky [3] are the fundamental research of HCBS technology and different materials on its base including unfired ceramic and refractory concretes.

In order of application for construction composites to produce, cohesive systems on the base of silica and aluminosilica raw were classified (Fig. 1).

For the first time, the exclusive effectiveness of ultra-sized particles in the HCBS technology and the materials on its base was found in work [4]. Herein, it is determined the present of particles in the range of 10–30 nm in the suspension allows increasing in bending strength of samples over 10 times and improving their water resistance significantly.

Disadvantages of the suspension produced with this method, however, is their low sedimentary stability, low mechanical strength of items before it heat treating and high dilatancy which has unfavorable effect in molding process [3].

By recent researches, the principles of control of rheological properties and aggregative stability of HCBS based on silica and aluminosilicate raw [5, 6]. A dependence of nano-sized particles concentration in complex binders on its characteristics was shown. A principle of structural optimization of the matrix (by the example of HCBS) was suggested, which based on appearance of third mechanisms influenced the system: structural-mechanical, electrostatic and adsorptive-solvate. All of this led to extension of a field of application of the HCBS. It became possible to use one as an active silica modifier, that is, nanostructured modifier (NM) and a main binder component – nanostructured binder (NB).

The specificity of NB technology allows using wide range of natural and industrial silica and aluminosilicate rocks as a base raw component. A choice of any given material can be made in view of regional location of minerals used, where the binder production is planned.

From the viewpoint of raw materials source extension to produce nanostructured binders, it is of special interest is perlite, that is, a cryptocrystalline aluminosilicate volcanic rock [7].

The main advantages of the nanostructured binder are low cost and high workability. The low cost motivated by availability and widespread distribution of raw for its manufacturing and as a result, by fewer transportation costs, no energy costs for high temperature treatment of raw during the binder production and unlimited stock life. High workability occurs due to unique binder's properties at low water demand and wide range of exploitation temperature.

A set of NB-based materials have developed today. In particular, the silicate autoclave NB-based pressed material compositions are offered, that stress strength is 40 МПа, about 75 freeze-thaw cycles. Application of the nanostructured modifier leads to increasing in stress strength of green body is 1,5 times [8, 9]. That would allow production of high porosity items with high durability as well as colored silicate materials to produce, which have a high color resistance under long time environmental impact.

Specific properties of the NB make it possible to be recommended for heat-insulation and construction-heat-insulation cellular concretes production. The foam concrete obtained with density of 300–900 kg/m³, compressive strength of 3–12 МПа, coefficient of thermal conduction of 0,08–0,12 Вт/(м·°C), vapor permeability coefficient of 0,23–0,14 мг/(м·h·Pa), sorption humidity of 6–10% respectively. Production of foam concrete on the base of the nanostructure binder allows simplifying, reducing the price and increasing efficiency of the operating process because of production time decrease of the foam concrete with improved operational and thermo-physical characteristics [10, 11].

Вязущее сухого помола Dry milling binder	Механоактивация вязущих молотого помола Mechano-activation of wet milling binder	Высококонцентрированные вязущие системы (ВКВС) High concentrated binder systems (HCBS)	Смешанные ВКВС Complex HCBS	Пластифицированные ВКВС Plasticized HCBS	Модифицированные ВКВС Modified HCBS	Наноструктурированное вязущее (НВ) Nanostructured binder (BN)
Тонкое измельчение горных пород Fine grinding of rocks	Цементирующие связи на основе кремнезема, полу- жидкие в воднощелочной среде при всестороннем давлении Silica-based cementation material obtained in alkaline medium at hydrostatic pressure	Одностадийный мокрый помол в условиях предельной концентра- ции и повышенной температуры, дополнительная стабилизация при гравитационном перемешивании Single-stage wet milling at high tem- perature and critical concentration and additional stabilization when gravitation mixing	Системы из отдельных компо- нентов алюмосиликатного состава с заранее изученными свойствами One-component system based on aluminosilicate raw with tai- lored properties	ВКВС с глинистой составляю- щей в качестве пластифициру- ющей добавки 2–10% HCBS including clay as a plasti- fying agent (2–10% by weight)	ВКВС и комплексная органиоинеральная добавка HCBS + organomineral additive	Пространственная оптимиза- ция структуры матричной фазы. ВКВС + пластифициру- ющая добавка + органиоинне- ральная добавка Three-dimensional structural optimization of matrix phase of HCBS + plastifying agent + organomineral additive
Керамобетоны, обжиговые материалы и подвергаемые гидротермальной обработке Fired materials exposed hydrothermal treatment, ceramic concrete	Огнеупорный материал методом прессования Refractory materials produced by compacting method	Керамобетоны с заполнителем, изделия кварцевой керамики без предварительного обжига Infill ceramic concrete, silica-based ceramics items without precoat	Получение формованных и неформованных огнеупоров и вязущих для обжиговых строительных материалов Molded and unmoled refractory products and binders for fired construction materials	Получение формованных и неформованных огнеупоров и вязущих для обжиговых строительных материалов Molded and unmoled refractory products and binders for fired construction materials	Вязущее для широко- го спектра матери- алов строительного и специального назначения Binder for wide range of construction and specific-purpose materials	Вязущее для получения мате- риалов с направленно- регулируемыми свойствами и улучшенными характери- стиками Binder for production materials with controlled properties and improved performances
Вязущее, твердеющее по безгидра- тационному механизму (прочность 10 МПа) Non-hydration binder (10 MPa compressive strength)	Материал с высокой проч- ностью (54 МПа) и низкой пористостью (16%) после гидротермальной обработки Increased strength (54 MPa) and low porosity (16%) materials after hydrothermal treatment	Повышенная прочность (50–90 МПа), низкая пористость (8,5–12%) за счет образования при помолке кремнекислоты, обла- дающей связующими свойствами. Меньшее содержание щелочных добавок High strength (50–90 MPa), low porosity (8.5–12%) due to silicic acid formed after milling which has cohe- sive properties. Fewer alkaline addi- tives percentage	Увеличение времени эксплуа- тации за счет оптимизации исходного химикоинералогиче- ского состава системы Increasing of the system operat- ing time due to its chemical and mineral composition.	Повышается седиментацион- ная устойчивость ВКВС, воз- можно изменение реологиче- ского типа системы, высокое объемоустойчивость на стадии сушки Increased sedimentation stability of HCBS, possible change of the rheological system type. Volume constancy during drying process	Высокая подвиж- ность, расширение спектра практическо- го применения High workability, expanding of applica- tion field	Высокая седиментационная устойчивость при минималь- ной вязкости. Возможность управления структурой вязу- щего на микро- и наноруровне High sedimentation stability at smallest viscosity. Possibility to control binder structure in micro- and nanoscale.
Удовлетворительная прочность прес- сованных образцов достигается только после введения гидрата изве- сти. Механизм синтеза по этой типо- тезе до конца не реализован Reasonable strength the samples obtained by compactible method can be achieved only after hydrated lime adding. The synthesis mechanism upon this hypothesis not fully discovered.	Условия синтеза: всесто- роннее давление и темпе- ратура 2000°C, низкая технологичность Synthesis conditions: hydro- static pressure; tempera- ture 2000°C, low process- ability	Эффект дилатации существенно осложняет технологический процесс Dilatation is a complicating factor for production process	Отсутствие седиментационной устойчивости, высокая вяз- кость, несоответствие требова- ниям по химическому составу для огнеупорных материалов Lack of sedimentation stability, high viscosity, chemical compo- sition unavailability to refractory materials.	Низкая водостойкость изделий и невысокая подвижность формовочных систем Low water resistance of items and low workability of molding mixture.	Недостаточная седи- ментационная устой- чивость Low sedimentation stability	В настоящее время не выявлено It is not studied now
Исследователи В.Н. Юнг V. N. Young	Г.В. Ферберн G.V. Ferbern	Ю.Е. Пивинский Y.E. Pivinsky	Ю.Е. Пивинский Y.E. Pivinsky	Ю.Е. Пивинский, А.В. Череватова Y.E. Pivinsky A.V. Cherevatova	А.В. Череватова Н.А. Шаповалов A.V. Cherevatova N.A. Sharovalov	А.В. Череватова Н.А. Шаповалов В.В. Строчка A.V. Cherevatova N.A. Sharovalov V.V. Strokova

Схема эволюции бесцементных вязущих негидратационного твердения
Evolution of non-hydration free-cement binders

ментного камня с НВ является существенно меньшее количество микротрещин [12, 13].

В условиях развития и быстрого роста монолитного и малоэтажного коттеджного строительства ячеистые бетоны являются перспективным материалом для создания эффективных стеновых конструкций. Выявлено, что оптимальный зерновой состав, высокая полидисперсность твердой фазы, реологические свойства НВ оказывают положительное влияние на формирование рациональной ячеистой структуры теплоизоляционных бетонов и их технико-эксплуатационные характеристики.

Использование наноструктурированного вяжущего при получении теплоизоляционных ячеистых композитов позволяет осуществлять направленное формирование структуры ячеистых бетонов. Получение рациональной пористой структуры теплоизоляционных материалов является основополагающим при производстве ячеистых бетонов, влияет на функциональные показатели качества изделий, обеспечивает снижение теплопроводности материала без значительного уменьшения прочностных характеристик.

Применение НВ позволяет получать материалы с оптимальной ячеистой структурой, которая характеризуется равномерно распределенными, полидисперсными, замкнутыми, деформированными в правильные многогранники с глянцевой поверхностью припорового слоя порами, разделенными тонкими плотными одинаковыми по сечению межпоровыми перегородками. Уменьшение пористости межпоровой перегородки обусловлено наличием нанодисперсных частиц в НВ и формовочных системах на его основе. При использовании НВ частицы минимальных размеров располагаются в зазорах между относительно крупными частицами матричной системы, что способствует созданию тонкой пленки минерализатора на поверхности воздушного пузырька.

Обоснована повышенная огнестойкость строительных композитов с применением НВ, которая связана с составом и типом твердения вяжущего, исключаяющего гидратацию [11]. При воздействии на материал температуры свыше 1000°C его прочность возрастает, что обусловлено протеканием кристаллизационных процессов с участием кремнеземных и алюмосиликатных составляющих.

Разработка и применение нового типа наноструктурированного вяжущего дает возможность существенно снизить энергоемкость производства искусственных композитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке: Министерства образования и науки Российской Федерации, государственный контракт 16.740.11.0770, соглашение 14.В37.21.0930, государственное задание 3.4601.2011.

Ключевые слова: наноструктурированное вяжущее, ячеистые бетоны, автоклавные материалы, структурообразование.

Список литературы

1. Шаповалов Н.А., Строчкова В.В., Череватова А.В. Оптимизация структуры наносистем на примере ВКВС // Строительные материалы. 2006. № 9. С. 12–13.
2. Пивинский Ю.Е. О механизме твердения и упрочнения «керамических» вяжущих // Журн. прикл. химии. 1981. Т. 54. № 8. С. 1702–1708.
3. Пивинский Ю.Е. Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров. СПб: Стройиздат, 2003. Т. 1, т. 2. 544 с.
4. Пивинский Ю.Е. О стабилизации и старении керамических суспензий // Огнеупоры. 1983. № 8. С. 15–22.
5. Череватова А.В. Строительные композиты на основе высококонцентрированных вяжущих систем: дис. ... д-ра техн. наук. Белгород, 2008. 446 с.

The NB-base composite binders have developed. It provides enhancement of the binder chemical reactivity to 35%, while, the saving of clinker component to 50%. Increasing in strength when adding of NB can be explained with occurrence of more compact structure of cement stone. At the same time, the singularity of the structure involving NB is much less quantity of microcracks in [12, 13].

In the terms of development and rapid growth of monolithic and low cottage construction cellular concretes are a perspective material for creation of effective walling. It is revealed that the optimum grain structure, high polydispersion of a solid phase, rheological properties of the NB have positive effect to formation of rational cellular structure of heat-insulating concrete and their technical and operational characteristics.

Using of nanostructured binder when receiving heat-insulating cellular composites, allows carrying out the directed formation of structure of cellular concrete. Receiving rational porous structure of heat-insulating materials is a fundamental task when production of cellular concrete. It influences functional indicators of product quality, provides decrease in heat conductivity of a material without considerable reduction of their strength characteristics.

Application of NB allows to obtain materials with optimum cellular structure which is characterized by evenly distributed, polydispersed, locked, deformed in the correct polyhedrons porous, with a glossy surface of the near-porous layer, divided with thin dense interporous partitions-walls. Reduction of porosity of an interporous partition-wall is conditioned by existence of nanodispersed particles in NB and in moulding systems on its basis. When using NB the particles of the minimum sizes, located in gaps between relatively large particles of matrix system that promotes creation of a thin film of the binder on a surface of an air bubble.

The increased fire resistance of construction composites with application of NB which is connected with structure and curing type of the binder, excluding hydration [11] is proved. Thermal impact on material at temperature over 1000°C, its durability increases, that is caused by course of crystallization processes with participation silica and aluminosilicate components.

Thus, development and application of new type nanostructured binder and technology when construction materials production will make possible to reduce energy demand in production of synthetic composites significantly for nanomaterials in industrial and civil engineering to be produced.

The research work is accomplished under the support of Ministry of Education and Science of the Russian Federation: theStatecontract 16.740.11.0770, Agreement 14.В37.21.0930, governmentcontract 3.4601.2011.

Keywords: nanostructured binder, aerated concretes, structuring, autoclave materials.

References

1. Shapovalov N.A., Strokova V.V., Cherevatova A.V. Optimization of structure of nanosystems on the example of HCBS // (2006), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (9), Pp. 12–13.
2. Pivinsky Y.E. On mechanism of curing and reinforcing of “ceramic” binders // Appl. Chem. Journal. 1981. Vol. 54. № 8. Pp. 1702–1708.
3. Pivinsky Y.E. Theoretical aspects of ceramic and refractory materials technology // S-Peterburg: Stoiisdat 2003. Vol. 1. T. 2. 544 p.
4. Pivinsky Y.E. Some aspects of stabilization and aging processes of ceramic suspension // Refractory materials. 1983. № 8. Pp. 15–22.

6. Шаповалов Н.А., Череватова А.В., Слюсарь А.А. Комплексная модифицирующая органо-минеральная добавка для алюмосиликатных огнеупорных систем на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий // Химия и химическая технология. 2003. Т. 46. Вып. 5. С. 137–140.
7. Мирошников Е.В., Строчкова В.В., Череватова А.В., Павленко Н.В. Наноструктурированное перлитовое вяжущее и пенобетон на его основе // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 105–106.
8. Нелубова В.В. Повышение эффективности производства силикатных автоклавных материалов с применением нанодисперсного модификатора // Строительные материалы. 2008. № 9. С. 2–5.
9. Нелубова В.В., Буряченко В.А., Череватова А.В. Автоклавный газобетон с использованием наноструктурированного модификатора // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 1. С. 47–50.
10. Череватова А.В., Павленко Н.В. Пенобетон на основе наноструктурированного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 115–119.
11. Павленко Н.В., Череватова А.В., Строчкова В.В. Особенности получения рациональной поровой структуры пенобетона на основе наноструктурированного вяжущего // Строительные материалы. 2009. № 10. С. 32–36.
12. Лесовик Р.В., Топчиев А.И., Агеева М.С., Ковтун М.Н., Алфимова Н.И., Гринев А.П. Пути повышения эффективности мелкозернистого бетона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2007. № 7(102). С. 16–17.
13. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И., Ковтун М.Н. Стеновые камни из мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья // Известия вузов. Строительство. 2007. № 11. С. 46–49.
5. Cherevatova A.V. Construction composites on the base of high concentration binder suspensions: thesis. ... Dr. of Science: Belgorod, 2008. 446 p.
6. Shapovalov N.A., Cherevatova A.V., Slusar' A.A. Complex organo-mineral modifying agent for production of aluminosilicate refractory systems on the base of high concentration binder suspensions // Chemistry and chemical technology. 2003. Vol. 46, issue 5. Pp. 137–140.
7. Miroshnikov E.V., Strokova V.V., Cherevatova A.V., Pavlenko N.V. Nanostructured perlite binder and foam-concrete on its base // (2010), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (9), Pp. 105–106.
8. Nelubova V.V. Improvement of the effectiveness of silicate autoclavific materials production using nanodispersed modifier // (2008), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (9), Pp. 2–5.
9. Nelubova V.V., Burjachenko V.A., Cherevatova A.V. Autoclavific aerated concrete using of nanostructured modifier // Vestnik of BSTU named after V.G. Shoukhov. 2010. № 1. Pp. 47–50.
10. Cherevatova A.V., Pavlenko N.V. Foam concrete produced with nanostructured binder // Vestnik BSTU named after V.G. Shoukhov. 2009. № 3. Pp. 115–119.
11. Pavlenko N.V., Cherevatova A.V., Strokova V.V. Features of obtaining rational porous structure of foam concrete on the base of nanostructured cohesive // (2009), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (10), Pp. 32–36.
12. Lesovik R.V., Topchiev A.I., Ageeva M.S., Kovtun M.N., Alfimova N.I., Grinev A.N. Strategies of improving of effectiveness for fine grain concrete // Construction materials, machinery and technology of XIX century. 2007. № 7(102). Pp. 16–17.
13. Lesovik R.V., Alfimova N.I., Kovtun M.N. Wall blocks produced with fine grain concrete on the base on industrial by-products // Izvestia vuzov. Construction. 2007. № 11. Pp. 46–49.

ТОРГОВЫЙ ДОМ
ИНТА-СТРОЙ

ООО «ТД «ИНТА-СТРОЙ», 644113, Омск, ул. 1-я Путевая, 100
Тел.: (3812) 35 65 44, 35 65 45. E-mail: info@inta.ru. Http: www.inta.ru

Реклама

ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА-СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ОБЖИГА КИРПИЧА ШЛ 540



Основные характеристики:

- производительность, млн. шт./год – 5;
- установленная мощность, кВт – 47;
- габариты (дл., шир., выс.), м – 30, 7, 12;
- масса без футеровки, т – 121.

Назначение:

- Досушка сырца до влажности 2...3%.
- Обжиг кирпича в печи шахтного типа.
- Входит в состав кирпичного завода ШЛ-500, работающего по технологии полусухого прессования.

Преимущества:

- модульный принцип (сокращает монтаж);
- низкий расход условного топлива на единицу продукции;
- высокий уровень автоматизации;
- современные экологические показатели;
- компактность и удобство обслуживания;
- низкая себестоимость кирпича при сокращенном времени обжига.

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

УДК 6-022.532

В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, И.В. ЖЕРНОВСКИЙ, канд. геол.-мин. наук, Ю.Н. ОГУРЦОВА, инженер (s-nsm@mail.ru), А.В. МАКСАКОВ, инженер, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

V.V. STROKOVA, Doctor of Technical Sciences, I.V. ZHERNOVSKY, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Y.N. OGURTSOVA, engineer, A.V. MAKSAKOV, engineer, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov

Особенности проектирования строительных композитов на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя

Peculiarities of design of construction materials involving granular nanostructured aggregate

Разработка и проектирование строительных композитов с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками производится с учетом максимального количества факторов, способных оказывать влияние на энергоэффективность производства, его экологичность на всех основных стадиях получения изделий и конструкций, от добычи сырья до эксплуатации. Одним из вариантов решения данных задач является разработка и применение легкого бетона с высокими прочностными характеристиками при рациональных показателях теплопроводности и водонепроницаемости на основе гранулированного наноструктурирующего заполнителя пролонгированного действия (ГНЗ) с использованием кремнеземного сырья различного генетического типа.

Первый этап создания современного строительного композита – выбор и оценка сырья. Первоначально

Development and design of construction composites with the improved physical – and-mechanical and operational characteristics is made taking into account the maximum quantity of the factors, capable to have impact on energy efficiency of production process, its environmental friendliness at all main stages of production products and structures: from extraction of raw materials to their introduction in technological process. One of ways of the solution of these problems is development and application of light concrete with high strength characteristics at rational indicators of heat conductivity and water permeability on the basis of the granulated nanostructuring aggregate of the long-time action (GNA) with use of silica raw materials of varying genetic type.

The first stage of design of a modern construction composite is a choice and a raw materials assessment. Originally classification of silica raw materials by origin was developed (Fig. 1).



Рис. 1. Классификация природного и техногенного сырья, используемого для получения ГНЗ

Fig. 1. Classification of natural and industrial raw materials using in GNA production

была разработана классификация кремнеземного сырья по происхождению (рис. 1).

Каждый из перечисленных материалов в зависимости от условий, времени и места образования (генезиса) содержит определенное количество аморфного кремнезема, что определяет степень эффективности его использования для производства ГНЗ. Фазовый состав кремнеземного сырья играет ключевую роль в формировании свойств строительных композитов на основе ГНЗ.

На основе принципа действия ГНЗ, заключающегося в выщелачивании аморфного кремнезема и формировании раствора полисиликатов с последующей его миграцией через оболочку ГНЗ в толщу бетона [1], перспективным является природное и техногенное кремнеземное сырье, содержащее аморфизованное вещество.

В качестве основного критерия оценки кремнеземного сырья был принят коэффициент активности, который выражает способность содержащегося в составе исходного сырья аморфного SiO_2 вступать при определенной температуре в реакцию с раствором гидроксида щелочного металла с образованием растворимых полисиликатов. В частности, осадочные хемо- и биогенные кремнеземные породы с низкой степенью диagenетических преобразований, представленные в своей основе СТ-опалами (низкотемпературные наноразмерные модификации тридимита и кристобалита), – диатомит, трепел и опока характеризуются наиболее высокой активностью. Кремневые осадки и аморфные силициты из всего многообразия горных пород, отличающихся условиями генезиса, считаются особенно энергонасыщенными. Подобное сырье подготовлено геологическими процессами для технологий, синтез новообразований которых предусматривает дезинтеграцию, растворение и плавление кремнеземсодержащих пород [2].

На этапе установления критериев выбора сырья происходит постепенное пересечение первого этапа со вторым, на котором определяются условия и режимы обработки материалов. Ведь помимо присутствия высокотемпературных модификаций кварца, важным фактором снижения активности кремнеземного сырья считается присутствие значительных концентраций кристаллизованного кремнезема. Следует отметить, что на втором этапе данный фактор может быть исключен.

На втором этапе важно получить ряд граничных условий, которые будут являться необходимыми и достаточными при проектировании составов и технологии получения ГНЗ.

Активация ГНЗ, представляющая собой взаимодействие в ядре между кремнеземной породой и гидроксидом натрия с образованием водорастворимых силикатов натрия, проникающих в бетонную матрицу, может происходить как в условиях тепловлажностной обработки (ТВО) композита, так и в гидротермальных условиях. В этом и есть взаимосвязь первого и второго этапов. Выбор сырья может опираться на выбор условия твердения бетона и наоборот.

С целью экономии энергозатрат на стадии твердения бетона и выбора оптимального режима важно учесть время термической обработки кремнеземного сырья как компонента ГНЗ.

В качестве сырьевых материалов использовали активные кремнеземные породы: опока Алексеевского месторождения (Мордовия); трепел месторождения Стальное (Беларусь). Для сравнения был использован гидроксид кремния как модельная система.

Определение зависимости количества прореагировавшего вещества кремнеземного компонента от вре-

Each of the listed materials depending on conditions, time and a place of formation (genesis) contains a certain amount of amorphous silicon dioxide that defines degree of efficiency of its use for production of GNA. The phase composition of silica raw materials plays a key role in formation of properties of construction composites on the basis of GNA.

From the principle of action of GNA consisting in leaching amorphous silica and formation polysilicate solutions followed by their migration through GNA cover into deep of concrete [1], perspective natural and industrial silica raw is the amorphous substance.

A chemical activity coefficient was accepted as the basic criteria for estimation of silica raw that shows capability of amorphous SiO_2 consisting in the raw composition to react at a certain temperature to alkali hydroxide solution with formation of soluble polysilicates. In particular, sedimentary chemo- and biogenic silica rocks with low degree of diagenetic transformations, presented in it base by ST-opals (low-temperature nanosized modification of tridymite and chrysolite) – a diatomite, tripolite and opoka which characterize with more high chemical activity.

Silica sediments and amorphous silicites from all varieties of rocks differed in genesis conditions can be attributed to extra energy-saturated ones. Such raw is “prepared” by geological processes for the technologies which include disintegration, solution and melting of silica-based raw materials [2].

On the stage of criteria determination for selection of raw materials it can be observed gradual crossing of the first and the second stages, when terms and processing conditions of materials are settled. Since, beside of existing of high-temperature modifications, one more key factor to reduce a chemical activity of silica raw is availability of high percentage of crystallized silica. It should be noted, however, that the given factor can be excluded at second the stage.

At the second stage, it is important to obtain a set of edge conditions, which will be necessary and sufficient when mix design and production process of GNA.

GNA activation that is interaction into a core between silica mineral and Na hydroxide, where water-insoluble Na silicates are the products of the reaction that diffuse into concrete matrix. The reaction is able to be proceeded both at heat treatment of composite and hydrothermal conditions. That is the correlation of the first and the second stages. In other words, raw material selection is supported by curing conditions of concrete and vice versa.

To reduce energy costs on the stage of concrete preparation as well as when optimization of this process it is necessary to take into account a heat treating period of the silica material as a GNA component.

As raws herein were used following silica materials: opoka supplied by Alekssevskoe deposite Republic of Mordovia);

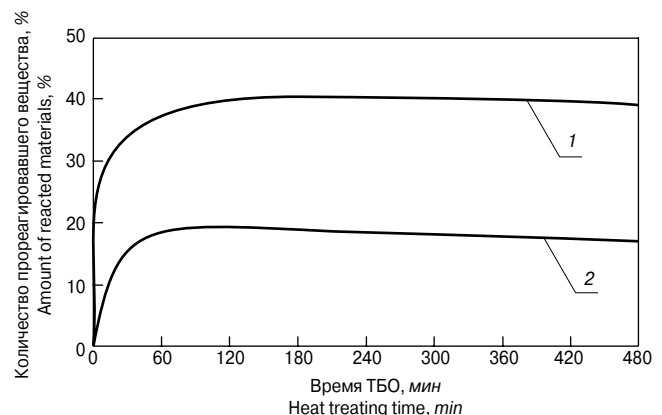


Рис. 2. Зависимость количества прореагировавшего вещества от времени ТВО: 1 – опока (Респ. Мордовия); 2 – трепел (Респ. Беларусь)

Fig. 2. Dependence of amount of reacted substance on heat treating time: 1 – Opoka (Republic of Mordovia); 2 – Tripolite (Republic of Belarus)

Свойства мелкозернистого бетона в зависимости от состава ГНЗ
 Fine grained concrete characteristics in dependent on GNA composition

Кремнеземное сырье Silica raw materials	Свойства мелкозернистого бетона на ГНЗ Fine grained concrete characteristics involving GNA			
	Средняя плотность, кг/м ³ Density, kg/m ³	Предел прочности при сжатии, МПа Compressive strength, MPa	Водопоглощение, % Water demand, %	Теплопроводность, Вт/(м·К) Heat conductivity, Wt/(m·K)
Опока (Мордовия) Орока (Republic of Mordovia)	1735	7,29	10,1	0,38
Трепел (Брянская обл.) Tripolite (Bryansk district)	1715	7,02	10,23	0,32

мени тепловлажностной обработки показало (рис. 2), что уже через 30 мин ТВО при 90°C в присутствии 30% щелочи от массы сухого вещества, около 80% активного кремнезема, входящего в состав кремнеземного сырья, растворяется, а пик наблюдается через 1,5–2 ч. При 8 ч ТВО в ядре ГНЗ в модельной системе возникает полимеризация образовавшихся полисиликатов из-за перенасыщения, поскольку кремнезем оседает на частицах непрореагировавшего вещества, т. е. происходит реструктуризация жидкости – частичное осаждение кремнегеля. В случае обработки бетона с ГНЗ количество раствора полисиликатов натрия выделяется больше вследствие того, что происходит непрерывная миграция растворившегося вещества в цементную матрицу. Таким образом, полная пропитка бетонной матрицы возможна за 2–3 ч с момента активации ГНЗ.

Таким образом, использование ГНЗ для получения бетона не требует дополнительной термической обработки ни на одной из стадий.

Третий этап – качественная и количественная оценка влияния состава и свойств заполнителей на эффективность их действия в легких бетонах с учетом генетических особенностей кремнеземного сырья.

Рассмотрим механизм модификации цементно-песчаной матрицы бетона продуктами реакции ядра ГНЗ. При тепловлажностной обработке бетона в процессе миграции полисиликатов натрия при участии жидкой фазы в цементно-песчаную матрицу, являющуюся перколяционным кластером, происходит эпикристаллизационное модифицирование цементного камня по механизму инфильтрационного кремнещелочного метасоматоза. Под эпикристаллизационным модифицированием в строительных материалах на основе неорганических вяжущих понимается инфильтрационное метасоматическое преобразование активированными функциональными (протогенетическими) минеральными системами кристаллической матрицы материала с целью образования новых парагенезисов или преобразования поверхностей минеральных индивидуальных [3]. Эпикристаллизационное модифицирование цементного камня ГНЗ пролонгированного действия приводит: к инкапсуляции минеральных частиц цементного камня и мелкого заполнителя гидрофобизирующим слоем функциональных эпигенетических 2D-наносистем натросилита, обеспечивающей возникновение новых, в частности гидрофобных, свойств материала; к монолитизации структуры мелкозернистого бетона при перколяции растворенного вещества, что ведет к снижению микропористости цементно-песчаной матрицы и, как следствие, к увеличению прочности и водостойкости мелкозернистого бетона в целом [4].

В связи с этим ключевым фактором, влияющим на свойства конечного материала, является степень пропитки матрицы образующимся раствором, которая, в

tripolite is from Stal'noe deposit (Belarus). For comparison Silica hydroxide was used as a model system.

Determination of dependence of quantity of the reacted substance of a silica component on time of heat treating process (Fig. 2) showed that after 30 min of the treating at 90°C in 30% of alkaline medium (by weight), about 80% of the active silicon dioxide is dissolved, and the extreme value is observed after 1,5–2 h in relation to genetic type of the raw . After 8 h heat treating in a core of GNA in model system, there is a polymerization of the formed polysilicates because of oversaturation, as silicon dioxide precipitates on particles of not reacted substance, i.e. there is a liquid restructuring – partial sedimentation of silica gel. In case of concrete treating involving GNA, more amount of solution of Na polysilicates is evolved. In result of it there is a continuous migration of the dissolved substance into a cement matrix. Thus, full treatment of a concrete matrix is possible for 2–3 h from the moment of GNA activation.

Thus, when using of GNA, additional heat treatment for producing concrete on one of stages is not required.

The third stage – a quality and quantitative estimation of influence of structure and properties of aggregates on efficiency of their action in light concrete taking into account genetic features of silica raw materials.

Let us consider the mechanism of modification of a cement and sand matrix of concrete with products of reaction of a GNA core. At heat treating process of concrete in when migration of Na polysilicates, with the participation of a liquid phase in the cement and sand matrix being a percolating cluster, there is an epicrystalline modification of a cement stone with the mechanism of infiltration silica-alkaline metasomatism. Epicrystalline modification in construction materials on the basis of the inorganic binders can be considered as infiltration metasomatic transformation by the activated functional (protogenetic) mineral systems of a crystal matrix of a material for the purpose of formation of new paragenesis or transformation of surfaces of mineral individuals [3]. Epicrystalline modification of a cement stone of GNA of the prolonged action gives: to encapsulation of mineral particles of a cement stone and fine aggregate with a hydrophobic layer of functional epigenetic 2D – nanosystems of natrosilite, providing appearance of new, in particular, hydrophobic properties of a material; monolitization of structure of fine-grained concrete at a percolation of the dissolved substance that leads to decrease in microporosity of a cement and sand matrix, and as a result, to increase in strength and water resistance of fine-grained concrete as a whole [4].

In this regard, the key factor that influences properties of a final material is extent of penetration a matrix with a solution formed which, in turn, depends on chemical activity of raw materials, quantity of GNA in a raw mix and diameter of granules of GNZ.

For the purpose of increase of extent of penetration of a concrete matrix and, as a result, of its strength, research of influence of pre-curing time of concrete before heat treating (on model systems) is carried out. Some portion of concrete

свою очередь, зависит от активности сырьевых материалов, количества ГНЗ в сырьевой смеси и диаметра гранул ГНЗ.

С целью повышения степени пропитки бетонной матрицы и, как следствие, прочности последней проведено исследование влияния времени предварительной выдержки бетона перед ТВО (на модельных системах). Часть бетонных образцов выдерживалась в нормальных условиях, а вторая часть – в растворе полисиликатов натрия. Образцы двух видов отправляли на ТВО после выдержки в течение 10, 24, 48 и 72 ч. Результаты (рис. 3) свидетельствуют, что положительное влияние пропитки растворами полисиликатов натрия на прочность бетонной матрицы наблюдается в образцах, предварительно выдержанных 10, 24, 48 ч. Однако оптимальное и достаточное время предварительной выдержки бетона составляет 10 и 48 ч, так как в этих образцах наблюдался прирост прочности в сравнении с обычным бетоном.

Полученные результаты исследования кремнеземного сырья и технологических параметров обработки бетонов на основе ГНЗ позволили разработать составы легких бетонов (см. таблицу), соотношение компонентов в которых составляло: цемент:песок = 1:3; количество ГНЗ – 50 об. %.

Увеличение физико-механических свойств бетона в данном случае обусловлено множеством факторов, из которых наиболее существенными являются: снижение пористости материала за счет заполнения микропор и капилляров матрицы новообразованиями на основе силикатов натрия; исправление (залечивание) дефектов структуры цементно-песчаной матрицы и, вследствие этого снижение концентрации напряжений; увеличение адгезии частиц мелкого заполнителя к цементному камню; наличие пленки натросилита на поверхности порового пространства бетона, снижающей возможность образования микротрещин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1702, программа стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

Ключевые слова: кремнеземное сырье, гранулированный наноструктурирующий заполнитель, легкий бетон.

Список литературы

1. Строчкова В.В., Соловьева Л.Н., Максаков А.В., Огурцова Ю.Н. Механизм структурообразования строительных композитов с гранулированным наноструктурирующим заполнителем пролонгированного действия // Строительные материалы. 2011. № 9. С. 64–65.
2. Лесовик В.С. Геоника. Предмет и задачи. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 213 с.
3. Жерновский И.В., Строчкова В.В. Некоторые вопросы понятийного аппарата наносистемного строительного материаловедения // Строительные материалы. 2012. № 3. С. 8–10.
4. Строчкова В.В., Жерновский И.В., Максаков А.В., Огурцова Ю.Н., Соловьева Л.Н. Последовательность процессов формирования цементно-песчаной матрицы бетона при использовании гранулированного наноструктурирующего заполнителя // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/106-7874>. (дата обращения 24.12.2012).

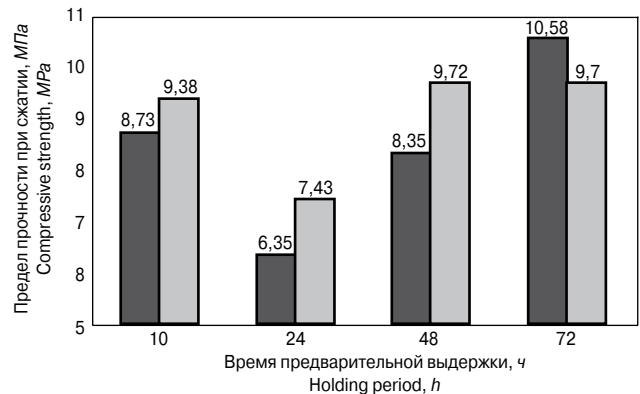


Рис. 3. Зависимость прочности цементной матрицы от времени предварительной выдержки: ■ – бетон; □ – обработанный бетон

Fig. 3. Dependence of strength of a cement matrix on time of pre-curing time: ■ – concrete; □ – treated concrete

samples was cured at normal conditions, and the other portion was plunged in solution of Na polysilicates. Samples of the two types were placed in heat treating chamber after pre-curing period for 10, 24, 48 and 72 h. The results obtained (fig. 3) shows that positive affect of treating with solutions of Na polysilicates to strength of a concrete matrix is observed in the samples which were pre-cured for 10, 24, 48 h. However, optimum and sufficient time of pre-curing of concrete takes 10 and 48 h as in these samples more high strength values was observed in comparison with usual concrete.

The obtained research results of silica raw materials and technological parameters of treating of concrete on the basis of GNA allowed to develop light concrete mixes (see table) that the ratio is cement : sand = 1:3, amount of GNA is 50% (by volume).

Improving in physical and mechanical properties of concrete in this case is caused by a set of factors from which the most essential are: decrease in porosity of a material by filling of micropores and matrix capillaries with new formations on the basis of Na silicates; «healing» of defects in structure of «cement-sand» matrix and, as a consequence, reducing of stress factor; increase in adhesion between fine aggregate particles and a cement stone; forming of natrosilite's film on a porous surface of the concrete, reducing, therefore, possibility of microcracks propagation [4].

This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Grant № 14.132.21.1702), Strategic development program of Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov.

Keywords: silica raw material, granulated nanostructuring aggregate, light-weight concrete.

References

1. Strokova V.V Solovieva L.N., Maksakov A.V., Ogurtsova Y.N. Mechanism of structure formation of construction composites with granular nano-structured aggregate. (2011), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (9), Pp. 64–65.
2. Lesovik V.S. Geonics. Objects and tasks // Belgorod: Published in BSTU. 2012. Pp. 213.
3. Zhernovskiy I.V., Strokova V.V. Some aspects of conceptual framework of nanosystems in construction material science. (2012), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (3), Pp. 8–10.
4. Strokova V.V., Zhernovskiy I.V., Maksakov A.V., Ogurtsova Y.N., Solovieva L.N. Sequence of processes in formation of a cement-sand matrix concrete involving granulated nanostructuring aggregate // Modern problems of science and education. 2012. № 6; URL: <http://www.science-education.ru/106-7874> (accepted: 24.12.2012).

УДК 666.9:539.2

Н.В. ПАВЛЕНКО, А.Б. БУХАЛО, кандидаты техн. наук, В.В. СТРОКОВА, д-р техн. наук, В.В. НЕЛЮБОВА (309991@mail.ru), канд. техн. наук, А.В. СУМИН, инженер, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

N.V. PAVLENKO, A.B. BUKHALO, Candidates of Technical Sciences, V.V. STROKOVA, Doctor of Technical Sciences, V.V. NELUBOVA, Candidate of Technical Sciences, A.V. SUMIN, engineer, Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov

Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов

Nanocrystalline components based modified binder for cellular composites

В связи с возрастающими требованиями к теплозащите ограждающих конструкций, повышению комфортности зданий и резким удорожанием энерго- и теплоносителей актуальным является создание высокоэффективных теплоизоляционных материалов нового поколения.

Анализ ранее проведенных исследований и теоретических данных [1–6] позволил определить два основных пути упрочнения материалов с сохранением теплоизоляционной способности и плотности материала: первый – это упрочнение каркаса, состоящего из вяжущего, и второй – улучшение поровой структуры.

Упрочнение каркаса ячеистого бетона возможно за счет применения различных модифицирующих добавок, в том числе наноразмерных. В последнее время широкое распространение получило использование наноразмерных добавок для управления структурообразованием строительных композитов. Их можно использовать не только как центры кристаллизации, но и как объекты, изменяющие направление и регулирующие скорость физико-химических процессов в твердеющих материалах. Рядом научных школ [7–13] обоснован тот факт, что программируемое использование наноразмерных и нанокристаллических добавок в композит может обеспечить максимальную эффективность производства материала с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Ранее был разработан способ получения нанокристаллических порошков оксидов и гидроксидов алюминия путем сжигания алюминия в водных средах с одновременным получением водорода [14]. В процессе гидротермального синтеза происходит превращение частиц алюминия размером до десяти микрон в нанокристаллические оксиды и гидроксиды. Способ позволяет менять форму и структуру частиц и получать материал высокой чистоты до 99,99 мас. % содержания основного компонента. При сжигании 1 кг алюминия в воде наряду с тепловой энергией выделяется большое количество высококачественного водорода и образуется более 2 кг твердых продуктов окисления – $\text{Al}(\text{OH})_3$, AlOOH и Al_2O_3 , – особо чистых нанокристаллических оксидов и гидроксидов алюминия, обладающих развитой поверхностной структурой (бемит и корунд). Данное техногенное нанокристаллическое и нанодисперсное сырье является невостребованным промышленностью строительных материалов.

The creation of high-performance heat-insulating materials of new generation is an actual problem. It connects with increasingly stringent requirements for heat protection of building envelopes, enhance of building convenience and appreciation of energy- and heat sources.

Earlier investigations and theoretical data [1–6] allow determining two following basic mode of material saving its heat-insulating capacity and density:

- strengthening of binder structure;
- enhancement of pore structure.

Strengthening of binder structure of cellular concrete is possible by incorporation of different modified admixtures, including nanosized ones. Recently the application of nanosized admixtures for directed control of structuring processes in construction composites. These admixtures can be used as crystallization centers as well as agents to correct direction and rate of physical and chemical processes into hardening materials. By some of research schools [7–13] was established that directed application of nanosized and nanocrystalline admixtures content in composite can make the highest production efficiency of high-performance materials.

Also the production process of nanocrystalline powder of aluminum oxide and aluminum hydroxide was pre-developed [14]. The powder are obtained when aluminum burning in water medium with subsequent hydrogen extraction. When hydrothermal synthesis the transformation of aluminum particles with dimension of until 10 μm into nanocrystalline aluminum oxide and aluminum hydroxide particles is accomplished. The procedure allow to change particle shape and structure and to obtain high-purity materials up to 99,99 % wt. When burning of 1 kg of aluminum in water medium the heat energy, a lot of high-purity hydrogen and more then 2 kg of solid oxidation products ($\text{Al}(\text{OH})_3$, AlOOH и Al_2O_3) – extra-pure nanocrystalline aluminum oxide and aluminum hydroxide particles with developed surface structure: boehmit and corundum) are formed. This industrial nanocrystalline and nanodispersed raw material is not popular in area of construction materials. Considering the mineral composition of above oxides and hydroxides resemble cement matrix, the opportunity of using of these ones as structure modifiers (namely, strengthening of interpore partitions) in cellular concretes was studied.

According to morphostructural classification of nano-systems the boehmit and corundum belong to are 3D- nanocrystalline type of substance (3D-NCM – nanocrystalline modifier) (Table 1).

**Таблица 1
Table 1**

Поскольку представленные оксиды и гидроксиды алюминия имеют минералогическое сродство с цементной матрицей, была рассмотрена возможность использования их в качестве модификаторов структуры ячеистых бетонов, а именно упрочнения межпоровых перегородок.

По морфоструктурной классификации наносистем корунд и бемит относятся к 3D-нанокристаллическому типу веществ (3D-НКМ – нанокристаллический модификатор) (табл. 1).

Для более детального анализа был проведен РФА бемита и корунда, а также с помощью расчетного представления формы кристаллитов на основе аппроксимации при помощи сферических гармоник были визуализированы морфоструктурные типы данных материалов (табл. 1).

С учетом наноструктурированного состояния оксида и гидроксида алюминия, а также размеров кристаллитов, можно предположить, что данные модификаторы, обладающие развитой поверхностью раздела фаз, при введении их в вяжущее будут оказывать влияние на гидратацию.

С точки зрения технологии получения безусадочных теплоизоляционных пеногазобетонов необходимо использовать вяжущее со стабильными реотехнологическими характеристиками смеси, пониженными сроками схватывания и повышенной прочностью при сжатии. В связи с этим для получения ТМЦ было рассмотрено несколько видов цемента различных производителей и установлено, что наиболее эффективными для изготовления ячеистых бетонов являются цементы типа ЦЕМ I в соответствии с ГОСТ 31108–2003 с высоким содержанием алита и низким содержанием трехкальциевого алюмината. Это обеспечивает достаточно быстрые сроки схватывания и интенсивное тепловыделение при гидратации. Поэтому в данной работе применялась ТМЦ на основе ЦЕМ I 42,5 Н производства ЗАО «Белгородский цемент».

Некоторыми авторами было доказано [15–17], что для получения низкоплотных ячеистых бетонов необходимо повышенное содержание мелкой фракции вяжущего, что обусловит необходимые сроки схватывания и густоту цементного теста. Поэтому для исследований использовали тонкомолотый цемент (ТМЦ). Был проведен комплекс экспериментов по изучению основных свойств ТМЦ, необходимых при производстве ячеистых композитов. При изготовлении ТМЦ помол производили при постоянной нагрузке по массе товарного портландцемента и прочих равных условиях.

Для достижения оптимальных значений физико-механических характеристик тонкомолотых цементов вяжущее получали совместным помолом товарного портландцемента и модификатора. Результаты испытаний представлены на рис. 1.

Анализ результатов испытаний позволяет рекомендовать в качестве модификатора цементной системы корунд. Этот выбор обусловлен повышенной активностью данного модификатора в системе связующего. Введение бемита показывает нестабильные и более низкие прочностные показатели вяжущего гидратационного типа твердения в сравнении с корундом. Это связано с тем, что бемит относится к метастабильным формам оксида алюминия. В его составе избыточная вода присутствует на поверхности в межслоевом пространстве бемита в физическом и химически связанном состоянии, что может вызывать неконтролируемый гидролиз компонентов и осаждение их на поверхности матрицы при синтезе соответствующих композиций.

Известно, что с увеличением тонкости помола повышаются прочностные характеристики и скорость твердения вяжущих. Такое поведение наблюдается при

Показатель Parameter	Бемит Boehmit	Корунд Corundum
Активная удельная поверхность (метод БЭТ), м ² /г Active specific surface area (BET method), m ² /g	55,9	87,5
Пористость (метод БЭТ), % Porosity (BET method), %	Не более 30 Up to 30	Не более 15 Up to 15
Расчетный размер кристаллитов (FullProf), нм Calculated crystalline particles size (FullProf), nm	10	6
Размер частиц (по данным ФЭК), нм Particles size, nm	250	140
Морфоструктурный тип Morphostructural type	3D	3D

For more detail investigation the X-ray analysis for boehmit and corundum was carried out. Also morphostructural types of these oxides were visualized by calculation of crystalline shape with approximation based on spherical harmonics (Table 1).

Taking into account nanostructured state of aluminum oxide and aluminum hydroxide as well as crystalline size it can be proposed these modifiers as component of binder system having developed phase contacting area effect hydration processes.

From the view point of technological process for non-shrinking heat-insulating foam-gas-concretes, it is necessary to use the binder mixture with stable rheotechnological characteristics, shorter setting up time and higher compressive strength value. Therefore, several types of cement, produced by different plants were observed for fine ground cement (FGC) to be obtained. Here, according to Russian standard GOST 31108–2003 was established that the most effective cements for cellular concretes production are the CEM I type, which is with high alite and low tricalcium aluminate contents. That provides short setting time and intensive liberation of heat during hydration. Fine ground cement on the base of CEM I 42,5 H supplied by CJSC «Belgorodsky cement», therefore, was used in this work.

By few authors was proved [15–17] that the higher content of fine binder fraction should be in the binder system to obtain low-density cellular concretes. Also it determines certain setting up time and consistence of cement paste. For that in this

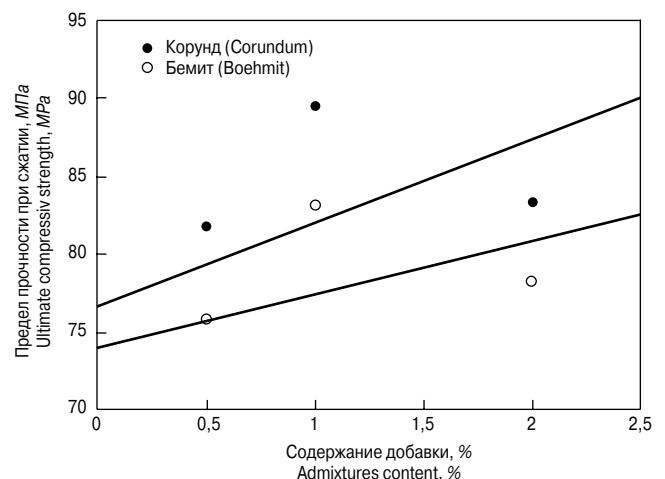


Рис. 1. Прочностные свойства вяжущих в зависимости от состава
Fig. 1. Effect of composition on binder strength properties

Таблица 2
Table 2

Удельная поверхность, м ² /кг Specific surface area, m ² /kg	Вид модификатора* Type of modifier*	Сроки схватывания, мин Setting up time, min		Нормальная густота цементного теста, % Water consistency of cement paste, %	Прочность, МПа, в возрасте 28 сут Strength, MPa, at 28 days	
		начало Initial setting	конец Final setting		при изгибе Tensile	при сжатии Compressive
500	–	45	120	26,3	9,5	71,3
400	Корунд Corundum	38	95	26,4	12,8	89,5

* Содержание модификатора – 1% от массы ТМЦ.
* Modifier content – 1% wt. of FGC.

удельной поверхности в пределах 700–800 м²/кг. Далее наблюдается ухудшение прочностных показателей затвердевшего цемента. Традиционные тонкомолотые цементы при удельной поверхности 500 м²/кг применяют ввиду их повышенной активности, что обеспечивает превышение прочности на 20–30% по сравнению с исходным цементом. При этом стоимость такого вяжущего увеличивается за счет энергозатрат на помол. В связи с этим в работе использовали ТМЦ с различными значениями удельной поверхности (400 и 500 м²/кг).

Анализ влияния нанокристаллического модификатора корунда на кинетику изменения прочности цементной системы позволил установить рациональное значение удельной поверхности ТМЦ, которая составляет 400 м²/кг (табл. 2).

Помол товарного цемента совместно с модификатором позволяет добиться гомогенизации компонентов в системе и обеспечить повышение прочностных характеристик вяжущего.

Анализ микрофотоснимков модифицированного цементного камня показал (рис. 2), что при введении 3D-НКМ корунда появляются дополнительные очаги роста новообразований. Такой процесс роста гидросиликатов не является традиционным для цементных систем.

Как видно при детальном рассмотрении отдельных агрегатов (рис. 2), твердая фаза представлена исключительно кристаллическими зернами столбчатого габитуса, которые образуют ростки и друзы. Несмотря на то что эти зерна не всегда хорошо огранены и ввиду размера практически не поддаются идентификации с помощью рентгенофазового анализа, так как их большая часть является рентгеноаморфной, их кристаллическое строение не вызывает сомнений.

Вводимые нанокристаллические модификаторы существенно влияют на ход гидратации в системе цемент–вода–модификатор. Известно, что при введении микроколичеств веществ, как имеющих сродство с синтезируемыми фазами, так и не обладающих таковым, они влияют на скорость кристаллизации, морфологию минеральных индивидов и агрегатов. Нанокристаллический корунд, находящийся в дисперсном состоянии в активно гидратируемой среде, конденсируется на ребрах, вершинах и сколах кристаллов исходных клинкер-

paper (FGC) was used and the set of experiments of basic properties of FGC based cellular composites were carried out.

The grinding process was accomplished under continuous cement loading (by mass) and other conditions being equal when production FGC.

To achieve optimal values of physical and mechanical characteristics of FGC, the binder was obtained by joint milling of commercial Portland cement and modifier. Results of the experiment are shown in Fig. 1.

Analysis of experimental data allows recommending corundum as modifier of cement system. It can be explained by higher reactivity of this modifier in the bonding system. Adding of boehmit to cement systems leads to unstable and lowlier strength values compared with corundum. It can be explained corundum is metastable form of aluminum. That content extra water, which is at surface in interlayer space in physically and chemically bounded state. It can result in uncontrolled hydrolysis of components and their precipitation at matrix surface when synthesis of appropriate compositions.

It is known, strength characteristics and hardening rate of the binder raises.

The behavior like above is observed at specific surface area values in range of 700–800 м²/кг. Subsequently the decreasing of strength characteristics of hardened cement paste takes place. Ordinary FGCs with specific surface area of 500 м²/кг due to their enhanced reactivity are used. It supply strength enhance for 20–30% comparing with initial cement. Meanwhile cost of this binder grows due to grinding power consumption. So in this paper the FGCs with different specific surface area (400 and 500 м²/кг) were used.

Study of influence of nanocrystalline modifier on kinetics of cement system strength allows determining an optimal value of FGC specific surface area, which is 400 м²/кг (Table 2).

Finished cement grinding with modifier allows achieving components homogenization in the binder system as well as enhancing strength properties of the binder.

SEM micrographs of modified cement paste (Fig. 2) show the adding of 3D-NCM corundum initiates additional centers of growth, which is not ordinary for traditional cement systems.

When studying of certain aggregates it can be observed at Fig. 2, that solid phase consist of crystalline radial columnar grains in form of crystal-jams and druse.

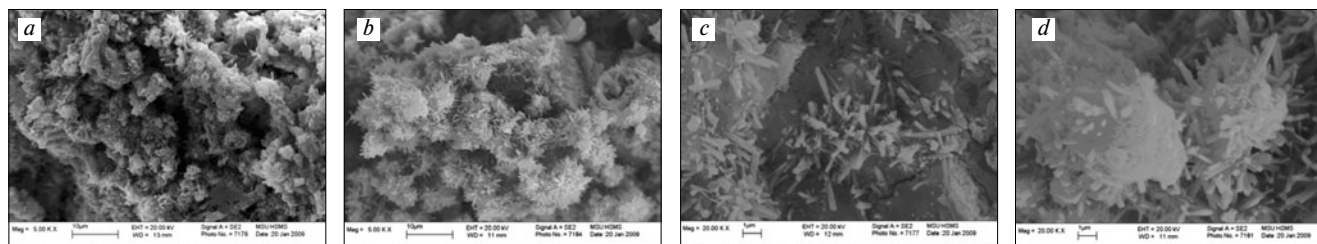


Рис. 2. Микроструктура цементного камня в возрасте 3 сут: а – 100% ТМЦ, увеличение 5000 раз; б – ТМЦ + корунд, увеличение 5000 раз; в – 100% ТМЦ, увеличение 20000 раз; д – ТМЦ + корунд, увеличение 20000 раз

Fig. 2. Microstructure of cement paste at 3 day: а – 100% FGC, magnification of 5000 times; б – FGC+ corundum, magnification of 5000 times; в – 100% FGC, magnification of 20000 times; д – FGC+ corundum, magnification of 20000 times

ных минералов и образует дополнительные центры кристаллизации, вокруг которых группируются новообразованные кристаллы в виде друз, хорошо идентифицируемые на микрорентгенограммах трехсуточных образцов (рис. 2, *b, d*).

Таким образом, введение в состав ТМЦ в качестве модификатора корунда позволяет уже на ранних сроках создать более плотную структуру цементного камня (рис. 2, *b, d*), полностью проросшую столбчатыми новообразованиями. Размер отдельных кристаллов достигает 3–5 мкм. Не покрытых новообразованным веществом зерен цемента в отличие от бездобавочного ТМЦ (рис. 2, *a, c*) не наблюдается.

В результате проведенных исследований установлен рациональный состав модифицированного вяжущего с удельной поверхностью 400 м²/кг на основе тонкомолотого цемента (100 %) с использованием 3D-нанокристаллического модификатора корунда (1% массы вяжущего). Такой состав позволяет повысить прочность модифицированного вяжущего на 15–20%, что объясняется изменением кинетики синтеза продуктов гидратации цементного камня, связанного с использованием корунда, имеющего сродство с минералами цементного клинкера, что позволяет повысить характеристика теплоизоляционного материала и приводит к его конкурентоспособности на рынке строительных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке: Министерства образования и науки Российской Федерации; соглашение 14.В37.21.1218; программа стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; РФФИ, договор 12-08-97603/12.

Ключевые слова: *вяжущее, тонкомолотый цемент, нанокристаллическость, модификатор, прочность.*

Список литературы

1. Шахова Л.Д., Самборский С.А., Палалане Ж.А. Причины деформационных усадок пенобетонов // Строительные материалы. 2010. № 3. С. 84–86.
2. Шахова Л.Д., Лесовик В.С. Особенности получения теплоизоляционного пенобетона на синтетических пенообразователях // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. № 3. С. 51–56.
3. Шахова Л.Д., Лесовик В.С. Модели образования пеноцементноминеральных систем // Строительные материалы. 2008. № 1. С. 31–33.
4. Моргунов Л.В. Анализ структурных особенностей пенобетонных смесей // Строительные материалы. 2005. № 12. С. 44–48.
5. Кондратьев В.В., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Структурно-технологические основы получения сверхлегких пенобетонов // Строительные материалы. 2002. № 11. С. 35–37.
6. Величко Е.Г., Комар А.Г. Рецептнo-технологические проблемы пенобетона // Строительные материалы. 2004. № 3. С. 26–29.
7. Королев Е.В., Баженов Ю.М., Береговой В.А. Модифицирование строительных материалов нанотрубами и фуллеренами // Строительные материалы. 2006. № 9 / Наука. № 8. С. 76–79.
8. Баженов Ю.М., Королев Е.В. Оценка технико-экономической эффективности нанотехнологий в строительном материаловедении // Строительные материалы. 2009. № 6. С. 66–67.
9. Пухаренко Ю.В., Никитин В.А., Летенко Д.Г. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей // Строительные материалы. 2006. № 8. С. 11–13.

In spite of the grains have good faceting not always, they can't be studied with X-ray analysis due to most of all of them are X-ray amorphous, however they have crystalline structure.

Nanocrystalline modifiers entered effect hydration process in system cement–water–modifier significantly.

Adding of micro-contents component with phases similar to formed hydrate phases and dramatically different of ones effects crystallization rate, morphology of mineral units and aggregates.

Dispersed nanocrystalline corundum placed in intensively hydrated medium is condensed at edges, tips and chips of crystals of initial clinker minerals and forms additional crystallization centers. Around of the centers collect new crystal formation like druse, which are clearly recognized in micrographs for 3-day samples (Fig. 2, *b, d*).

Thus, using of corundum as modifier in FGC allow to create more compact structure of cement paste fully covered by radial columnar formations at early stages of hardening (Fig. 2, *b, d*). Size of individual crystals is 3–5 μm. Cement particle without surface radial columnar formations are not observed comparing with free-admixture FGC (Fig. 2, *a, c*).

Thus, as a result of research carried out is the optimal mix of the modified binder, having specific surface area of 400 m²/kg based on FGC (100%) with 3D-NCM corundum (1% wt. of binder).

Such composition allows increasing in strength values of modified binder by 15–20 %, due to changing of kinetic of hydration process and formation of hydrate phases in cement paste. It can be explained by similarity of corundum with minerals of cement clinker.

This effect allows to enhance properties of heat-insulating materials, that makes these ones competitive in market of construction materials.

The research work is accomplished under the support of Ministry of Education and Science of the Russian Federation the Agreement 14.В37.21.1218, Strategic development program of Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov and Russian Foundation for Basic Research the Agreement 12-08-97603/12.

Keywords: *binder, fine powder, nanocrystalline, modifier, strength.*

References

1. Shakhova L.D., Samborsky S.A., Palanane G.A. Courses of deformational shrinkages in foam concretes // (2010), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (3), Pp. 84–86.
2. Shakhova L.D., Lesovik V.S. New aspects in heat insulating foam concrete production with synthetic foam agents // Izvestiya vuzov. Construction. 2008. № 3. Pp. 51–56.
3. Shakhova L.D., Lesovik V.S. The forming of foam-cement system modeling // (2008), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (1), Pp. 31–33.
4. Morgun L.V. Analysis of structural features of foam-concrete mixtures // (2005), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (12), Pp. 44–48.
5. Kondratjev V.V., Morozova N.N., Khozin V.G. Structural and technological foundations in ultralightweight foam-concrete production // (2002), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (11), Pp. 35–37.
6. Velichko E.G., Komar A.G. Some aspect on design and technology in foam concrete production // (2004), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (3), Pp. 26–29.
7. Korolev E.V., Bazhenov Y.M., Beregovoy V.A. Modifying of construction materials with nanosized carbon tubes and fullerenes // (2006), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (9), Pp. 76–79.
8. Bazhenov Y.M., Korolev E.V. Estimation of technical and economical efficiency of nanotechnologies in construction material science // (2009), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (6), Pp. 66–67.

10. Шаповалов Н.А., Строчкова В.В., Череватова А.В. Управление структурой и свойствами высококонцентрированных дисперсных систем с использованием нанопроцессов и технологий // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 8. С. 17–18.
11. Лесовик В.С., Высоцкая М.А., Ядыкина В.В., Кузнецов Д.А. Нанотехнологии в дорожно-строительной отрасли // Строительные материалы. 2007. № 1. С. 52–54.
12. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Х.Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 99.
13. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачулайтис Р. Модификация ангидридных композиций многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2010. № 7. С. 25–27.
14. Берш А.В., Иванов Ю.Л., Мазалов Ю.А., Глухов А.В., Трубачев О.А. Способ получения гидрооксидов и оксидов алюминия и водорода и устройство для его осуществления // Патент России № 22278077. Заявл. 11.07.2005. Оpubл. 20.06.2006. Бюл. № 17. 12 с.
15. Шахова Л.Д., Рахимбаев Ш.М., Черноситова Е.С., Самборский С.А. Роль цемента в технологии пенобетонов // Строительные материалы. 2005. № 1. С. 42–44.
16. Бернацкий А.Ф., Машкин А.Н., Петров И.И., Зибницкая Н.Е. Особенности активирования цемента в технологии тяжелого и ячеистого бетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 2. С. 33–37.
17. Строчкова В.В., Ерохина И.А., Бухало А.Б. Неавтоклавный ячеистый бетон на основе сухой строительной смеси // Строительные материалы. 2008. № 1. С. 4–5.
9. Pukharensko Y.V., Nikitin V.A., Letenko D.G. Nanostructurization of tempering water is as a way of enhancement of effectiveness of plastifying agent in concrete mixtures // (2006), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (8), Pp. 11–13.
10. Shapovalov N.A., Strokova V.V., Cherevatova A.V. Control of structure and properties of high concentrated dispersed systems using processes and technologies // Industrial and Civil Engineering. 2007. № 8. Pp. 17–18.
11. Lesovik V.S., Visotskaya M.A., Yadikina V.V., Kuznetsov D.A. Nanotechnology in road construction industry // (2007), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (1), Pp. 52–54.
12. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Burjanov A.F., Kjdolov V.I., Krutikov V.A. Fisher H.B., Kerene Y. Modification of porous cement matrix with carbon nanotubes // (2009), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (3), Pp. 99.
13. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Яковлев Г.И., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачулайтис Р. Modification of anhydride – based composites with multi-walled carbon nanotubes // (2010), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (7), Pp. 25–27.
14. Bersh A.V., Ivanov Y.L., Mazalov Y.A., Glukhov A.V., Trubachev O.A. Production process of oxides and hydroxides of aluminium and hydrogen and an installation for their production // Russian Patent № 22278077. Received. 11.07.2005. Published. 20.06.2006. P. 12.
15. Shakhova L.D., Rakhimbaev Sh.M., Chernositova E.S., Samborsky S.A. The role of cement in foam concrete production // (2005), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (1), Pp. 42–44.
16. Bernatsky A.F., MASHkin A.N., Petrov I.I., Zibnitskaya N.E. Features of cement chemical reactivity in production of heavy and aerated concrete // Izvestia vuzov. Construction. 2012. № 2. Pp. 33–37.
17. Strokova V.V., Erokhina I.A., Bukhalo A.B. Non-autoclaved cellular concrete on the base of dry building mix // (2008), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (1), Pp. 4–5.



3–4 апреля 2013 г. в подмосковном Красногорске на территории производственного предприятия «КНАУФ ГИПС» пройдет первый деловой форум «Дни КНАУФ: Мировой опыт. 20 лет в России».

В форуме примут участие профессионалы, определяющие тенденции в современной архитектуре, проектировании и строительных технологиях, а также руководители строительной отрасли России, Московской области, ведущих общественных организаций российского стройкомплекса. Деловая программа первого дня форума будет посвящена теме инновационных строительных материалов и технологий. Ее модератором выступит Институт менеджмента инноваций НИУ «Высшая школа экономики». В мероприятиях примут участие представители государственной власти и бизнеса, общественные деятели и участники строительного рынка.

Ключевым событием второго дня форума станет конференция с участием мировых звезд архитектуры и дизайна, лауреатов Притцкеровской премии. Среди приглашенных иностранных экспертов Дэвид Чипперфильд, Даниэль Либескинд. Модератором проекта в России выступит Институт медиа, архитектуры и дизайна «Стрелка». Зарубежные коллеги выступят с лекциями и проведут мастер-классы, примут участие в дискуссиях на самые острые и актуальные темы в области архитектуры и дизайна. Для проведения форума будет оборудован специальный павильон «Пятитысячник», простран-

ство которого разделят на несколько функциональных зон: деловую, интерактивную, выставочную и развлекательную.

Интерактивное пространство форума будет сформировано экспозициями, представляющими знаковые строительные объекты из различных стран: России, Германии и т. д. Каждая инсталляция покажет, какие новаторские технологии применялись для создания этих зданий и сооружений. В ходе работы форума пройдут разнообразные ворк-шопы и мастер-классы, которые проведут российские и зарубежные специалисты КНАУФ. Гости мероприятия смогут опробовать продукты и технологии КНАУФ в действии: акустические плиты – в студии звукозаписи, влагозащитные плиты – на гоночной трассе для моделей катеров.

В зоне отдыха и развлечений посетителей ждут различные шоу, здесь же – лаунж-пространство для живого общения и проведения переговоров, а также фуд-корт. На форуме с интересом и пользой можно будет провести целый день.

«Дни КНАУФ» обещают стать знаковым событием года для строительной индустрии. Ожидается, что в Форуме примут участие около 3000 профессионалов.

www.dniknauf.ru

УДК 691.332.5:539.2

Г.И. ЯКОВЛЕВ, Г.Н. ПЕРВУШИН, доктора техн. наук, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова; А. КОРЖЕНКО, канд. техн. наук, Исследовательский центр корпорации «Аркема» (г. Лак, Франция); А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук, Московский государственный строительный университет; Я. КЕРЕНЕ, д-р, профессор, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса (Литва); И.С. МАЕВА, канд. техн. наук, Д.Р. ХАЗЕЕВ, магистр, И.А. ПУДОВ, инженер, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова; С.А. СЕНЬКОВ, канд. техн. наук, Пермский государственный национальный исследовательский политехнический университет

G.I. YAKOVLEV, Dr., G.N. PERVUSHIN, Doctors of Technical Sciences, Izhevsk Kalashnikov State Technical University (Russia); A. KORZHENKO, Candidate of Technical Sciences, Groupement de Recherche de Lacq, «Arkema» (France);

A.F. BURYANOV, Doctor of Technical Sciences, National Research University Moscow State University of Civil Engineering; JA.K. KERIENE, Dr., Vilnius Gediminas Technical University, (Lithuania); I.S. MAEVA, Doctor of Technical Sciences, D.R. CHAZEEV, master, I.A.PUDOV, engineer, Izhevsk Kalashnikov State Technical University; S.A. SENKOV, Candidate of Technical Sciences, State National Research Politechnical University of Perm (Russia)

Применение дисперсий многослойных углеродных нанотрубок при производстве силикатного газобетона автоклавного твердения

Applying multi-walled carbon nanotubes dispersions in producing autoclaved silicate cellular concrete

Структурирование вяжущих матриц углеродными нанотрубками в бетонах как плотной [1], так и пористой структуры [2] показало высокую эффективность модификации строительных композитов наноструктурированными добавками. В статье зарубежных исследователей [3] показана возможность существенного изменения физико-механических свойств цементных бетонов добавками сверхмалых доз (0,006–0,042% от массы вяжущего), диспергированных многослойных углеродных нанотрубок. При этом значительное влияние на эффективность использования углеродных нанотрубок оказывают их геометрические параметры. В работе [4] показано, что использование многослойных углеродных нанотрубок с разным соотношением между их диаметром и длиной позволяет получить прирост прочности цементных паст до 269% в сравнении с контрольными образцами.

Известна работа литовских исследователей [5], в которой использовался нанодисперсный диоксид кремния для улучшения свойств автоклавных газобетонов. Эти же авторы [6] предложили для структурирования гидросиликатов кальция в газобетонах автоклавного твердения добавлять углеродное волокно, дополнительно активированное помолом. Ранее в работе [7] они установили, что введение углеродных волокон в количестве 0,3% повысило прочность при сжатии для газобетона средней плотностью 450 кг/м³ на 42%, прочность при изгибе на 143%. Авторы предположили, что разрушенная при помолке поверхность углеродных волокон является центром кристаллизации гидросиликатов кальция, а сформированная структура улучшенной кристалличности повысила не только механические характеристики, но и улучшила тепловое сопротивление изделий.

Приготовление и анализ водных дисперсий МУНТ. Повышение механических и теплофизических характери-

Structuring binding matrices with carbon nanotubes in concretes both dense [1] and porous structure [2] has shown the high efficiency of modifying construction composites with nanostructured additives. The article by foreign researchers [3] shows the possibility of considerable change of physical and mechanical properties of cement concretes by means of adding ultra-small doses of dispersed multi-walled carbon nanotubes, up 0,006–0,042% of the mass of the binder. The geometric parameters of carbon nanotubes have a significant influence on the efficiency of their application. The work [4] shows that using multi-walled carbon nanotubes with different ratio between their diameter and length provides the increase of strength of cement pastes up to 269% in comparison with the check samples.

There is a well-known work of the Lithuanian researchers [5] in which nanodispersed silicon dioxide was used to enhance the properties of autoclaved cellular concretes. The same authors [6] suggested adding carbon fiber additionally activated with grinding in order to structure calcium hydrosilicates in autoclaved cellular concretes. Earlier they established [7] that adding 0,3% of carbon fiber increases the compressive strength of cellular concrete with the average density of 450 kg/m³ by 42%, the bending strength by 143%. The authors assumed that the surface of carbon fiber destroyed while grinding is the center of crystallization of calcium hydrosilicates, and the formed structure with the enhanced crystallinity has improved not only its mechanical properties but the thermal resistance as well.

Preparation and analysis of aqueous MWCNT dispersions. The mechanical and thermophysical characteristics can be enhanced by means of modifying macro- and microstructure of autoclaved silicate cellular concretes by multi-walled carbon nanotubes dispersions. The task requires solving two problems which present the main condition for producing cellular concrete with the enhanced physical and technical properties.

стик может быть достигнуто модификацией макро- и микроструктуры силикатных газобетонов автоклавной обработки дисперсиями многослойных углеродных нанотрубок. Для достижения поставленной задачи необходимо решить две проблемы, которые являются основным условием получения газобетона с улучшенными физико-техническими свойствами.

Первая проблема связана с получением устойчивой дисперсии многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) с максимальным разделением исходных гранул на дискретные волокна нанометровых размеров. Вторая проблема связана с равномерным распределением углеродных нанотрубок в объеме газобетонной смеси. Введение дисперсии должно обеспечивать непосредственный контакт углеродных нанотрубок с гидратирующим минеральным вяжущим, при этом МУНТ должны обеспечивать создание модифицированной структуры силикатного газобетона созданием центров кристаллизации кристаллогидратных новообразований.

Проблема получения устойчивой дисперсии на основе многослойных углеродных нанотрубок решалась использованием коммерческого продукта Masterbatch CW2-45 французской корпорации «Аркема». Продукт представляет гранулированную диспергированную смесь МУНТ в среде карбоксиметилцеллюлозы, содержащей 45% многослойных углеродных нанотрубок (рис. 1, а, б). Masterbatch CW2-45 при механическом перемешивании с водой превращается в малоустойчивую дисперсию с включениями частиц микрометровых размеров (рис. 2, а). Для достижения устойчивой дисперсии необходимо использование высокоскоростных смесителей роторного типа [8].

Приведенные на рис. 2, а данные дисперсионного анализа частиц были получены на лазерном анализаторе Horyba Analyzer LA-950, который способен определять размеры компактных непротяженных частиц, что привносит погрешности при установлении истинных размеров углеродных наночастиц в водной дисперсии.

Проведенный параллельно анализ дисперсий, полученных с использованием высокоскоростных смесителей на лазерном анализаторе CILAS 1090 Liquid, показал наличие в водной дисперсии кроме частиц в микрометровом диапазоне и частиц со средним размером 230 нм до 20% от всего объема. Анализ дисперсий МУНТ показал необходимую устойчивость в течение семи дней при приготовлении газобетона опытно-промышленных образцов изделий.

Структура и свойства модифицированного газобетона. Содержание модифицирующих многослойных углеродных нанотрубок принималось исходя из установленного значения при приготовлении цементных тяжелых бетонов [9] и соответствовало 0,006% от массы вяжущего. В пересчете на массу 1 м³ газобетона при расходе вяжущего 300 кг расход нанотрубок составил 18 г. Такая гомеопатическая доза МУНТ должна быть при этом равномерно

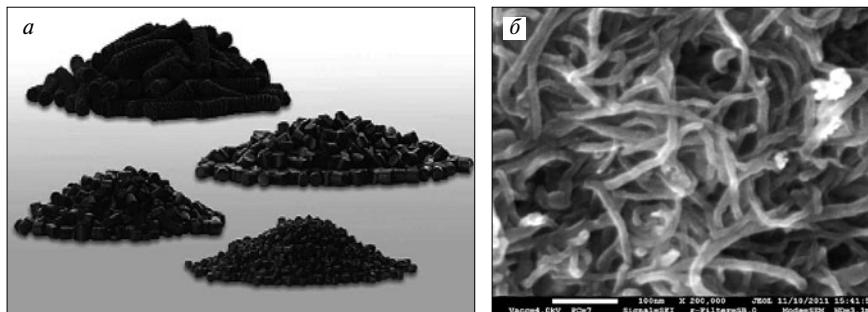


Рис. 1. Промышленные образцы углеродных нанотрубок с привитыми функциональными группами на основе карбоксиметилцеллюлозы из серии Masterbatch CW 2-45: а – общий вид; б – МУНТ при 200000-кратном увеличении

Fig. 1. Industrial samples of carbon nanotubes with grafted carboxymethyl cellulose-based functional groups from Masterbatch CW 2-45 series: а – general view; б – MWCNTs at the magnification of 200000 times

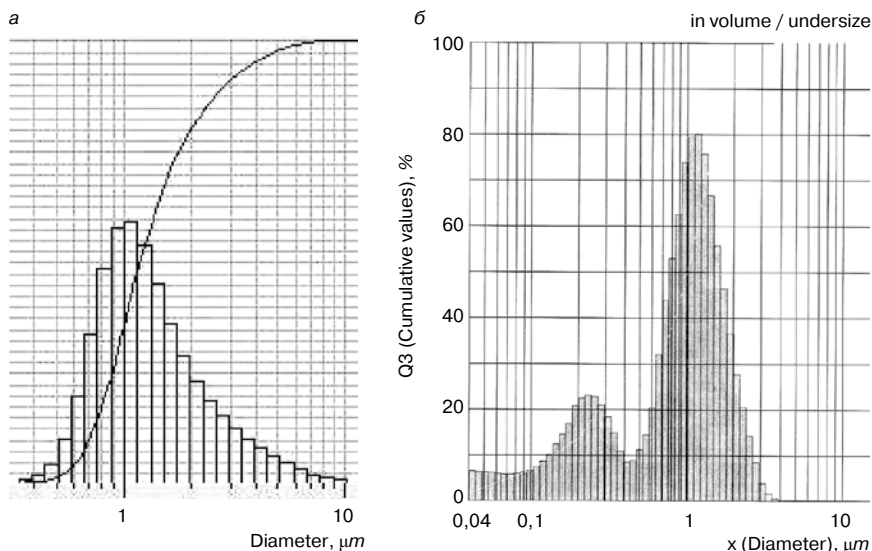


Рис. 2. Результаты диспергации углеродных нанотрубок Masterbatch CW2-45: а – определенные на лазерном анализаторе Horyba Analyzer LA-950 (через четыре дня хранения средний диаметр частиц составляет 1198 нм); б – распределение частиц в дисперсии углеродных нанотрубок, определенное на лазерном анализаторе CILAS 1090 Liquid (через семь дней хранения)

Fig. 2. Results of dispergation of «Masterbatch CW2-45» carbon nanotubes: а – determined with Horyba Analyzer LA-950 laser analyzer (after 4 days of keeping the average particle size is 1198 nm); б – distribution of particles in dispersion of carbon nanotubes determined with CILAS 1090 Liquid laser analyzer (after 7 days of keeping)

The first problem is connected with producing a stable MWCNTs dispersion with the maximum splitting of virgin granules into discrete nanosized fibers. The second problem concerns the uniform distribution of carbon nanotubes in cellular concrete mixture. Adding dispersion is supposed to provide the direct contact of carbon nanotubes with hydrating mineral binder, while MWCNT are supposed to provide the modified structure of silicate cellular concrete by means of forming crystallation centers of crystalhydrate neoformations.

The problem of producing a stable MWCNTs-based dispersion was solved by means of «Masterbatch CW2-45» commercial product of «Arekma» French corporation. The product is a pelleted dispersed mixture of MWCNT in carboxymethylcellulose medium with 45% of multi-walled carbon nanotubes (Fig. 1, а, б). Being mechanically mixed with water, «Masterbatch CW2-45» turns into an unstable dispersion with inclusions of micrometer particles (Fig. 2, а). In order to get a stable dispersion high speed rotor mixers are required [8].

The data of the dispersion analysis of the particles given in Fig. 2. а were obtained with Horyba Analyzer LA-950 laser analyzer that can determine the size of compact non-extended particles, which leads to some imprecision while assessing real sizes of carbon nanoparticles in aqueous dispersion.

распределена в объеме газобетонной смеси. Однородное распределение частиц во всем объеме приготовленной смеси газобетона достигалось при предварительном совместном смешивании алюминиевой суспензии и дисперсии МУНТ. Учитывая, что суспензия алюминиевой пудры готовится с использованием ПАВ в виде сульфанола, а дисперсия МУНТ включает карбоксиметилцеллюлозу, при перемешивании этих компонентов достигается получение однородной, не подвергающейся седиментации суспензии, которая вводится в газобетонную смесь при ее перемешивании в смесителе.

Сравнительный анализ макро-структуры пор в силикатном газобетоне показывает, что применение дисперсий МУНТ позволяет стабилизировать макроструктуру, при этом отмечается лучшая однородность пор по размерам, отсутствие перколяции пор (рис. 3, а, б), что неизбежно должно повлиять как на прочность, так и на теплотехнические характеристики газобетона.

Микроструктура контрольных образцов характерна повышенной неоднородностью структуры межпоровой перегородки (рис. 4, а, б), что приводит к их низкой прочности и соответственно к пониженной прочности изделий из газобетона (см. таблицу).

Исходя из снимков микро-структуры модифицированного газобетона можно предположить, что углеродные нанотрубки служат центрами кристаллизации гидросиликатов кальция в твердеющем газобетоне и стимулируют формирование структуры твердеющего извлектово-силикатного вяжущего с высокой кристалличностью в сравнении с бездобавочным контрольным образцом. Уплотнение и повышение кристалличности наблюдается в стенках пор (рис. 5, а), при этом наряду с кристаллическими образуются аморфные новообразования (рис. 5, б), дополнительно уплотняющие и упрочняющие стенки пор в газобетоне.

Проведенный анализ микро-структуры подтверждает ускорение гидратации извлектово-кремнеземистого вяжущего с последующим формированием плотных кри-

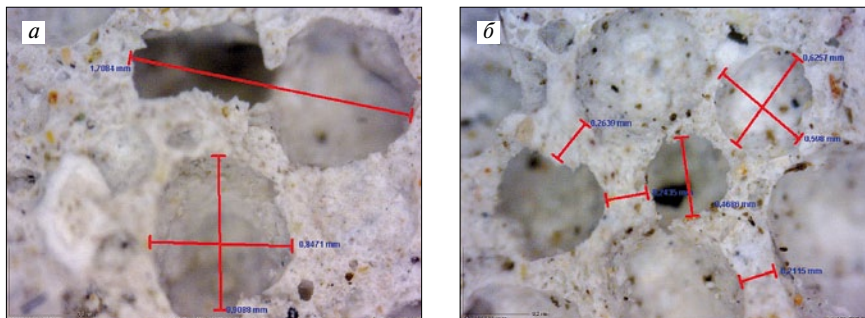


Рис. 3. Макроструктура пор в газобетоне при 50-кратном увеличении: а – без дисперсии МУНТ; б – модифицированном дисперсией МУНТ
Fig. 3. Pore macrostructure of cellular concrete at the magnification of 50 times: а – without MWCNTs dispersion; б – modified with MWCNTs dispersion

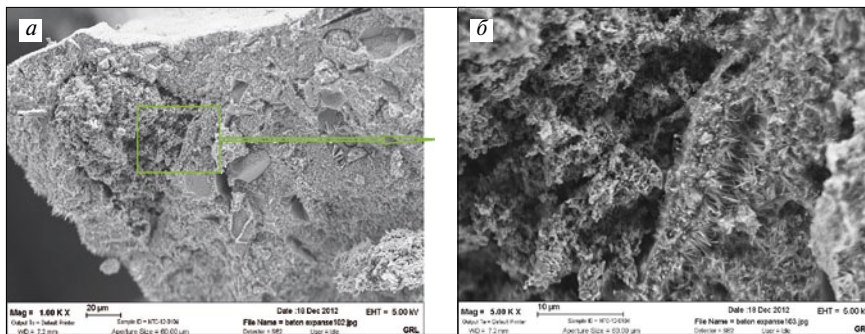


Рис. 4. Микроструктура межпоровой перегородки в контрольном образце газобетона: а – общий вид при 1000-кратном увеличении; б – фрагмент скола при 5000-кратном увеличении
Fig. 4. Microstructure of interporous wall in the check sample of cellular concrete: а – general view at the magnification of 1000 times; б – spall fragment at the magnification of 5000 times

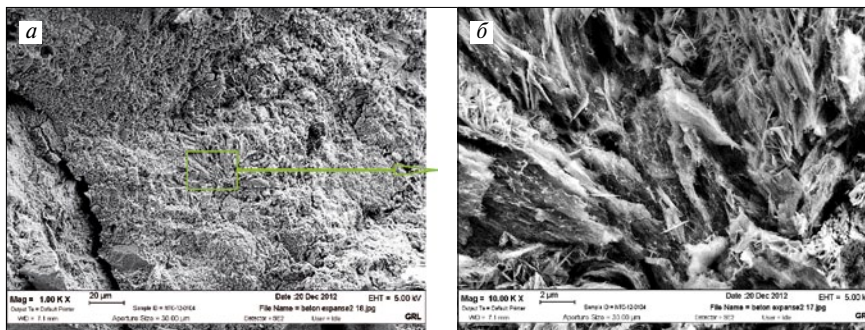


Рис. 5. Микроструктура газобетона, модифицированного дисперсией МУНТ: а – общий вид межпоровой перегородки при 1000-кратном увеличении; б – фрагмент микро-структуры со спутанно-волоконистыми новообразованиями при 10000-кратном увеличении
Fig. 5. Microstructure of cellular concrete modified with MWCNTs dispersion: а – general view of interporous wall at the magnification of 1000 times; б – fragment of the microstructure with entangled fiber neoformations at the magnification of 10000 times

The parallel analysis of dispersions produced by means of high speed mixers with Liquid CILAS 1090 laser analyzer has shown the presence of up to 20% of medium-sized particles of 230 nm except the particles of a micrometer range in the aque-

Наименование изделия, дата заливки Denomination of product, date of casting	Плотность в сухом состоянии, кг/м ³ Density in the dry state, kg/m ³		Прочность при сжатии в сухом состоянии, МПа Compressive strength in the dry state, MPa		Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) Thermal-conductivity coefficient, Watt/(m·°C)	
	Изделие с нанотрубками Product with nanotubes	На филиале ЗЯБ № 822 In the branch of Cellular Concrete Plant № 822	Изделие с нанотрубками Product with nanotubes	На филиале ЗЯБ № 822 In the branch of Cellular Concrete Plant № 822	Изделие с нанотрубками Product with nanotubes	На филиале ЗЯБ № 822 In the branch of Cellular Concrete Plant № 822
Блок D500 13.06.2012 г. Block D500 13.06.2012	544	530	2,5	2,3	0,117	0,106
Панель Н 15-14-7г 22.11.2012 г. Panel H 15-14-7г 22.11.2012	590	548	5	3,8	0,123	0,119

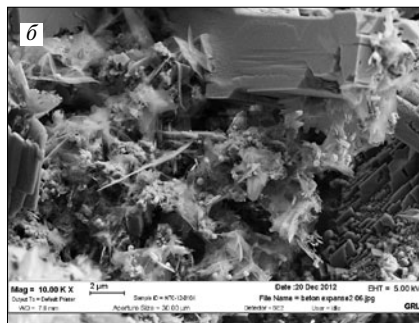
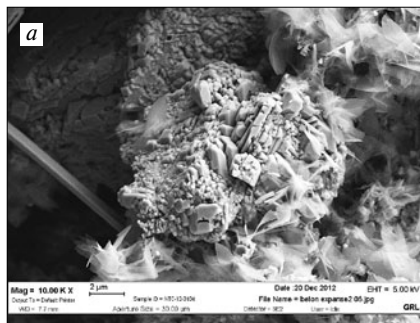


Рис. 6. Микроструктура газобетона, модифицированного углеродными нанотрубками: а – формирование новообразований повышенной плотности; б – комбинированная структура, включающая блоки пластинок гидроксида кальция, кристаллов гидросиликатов кальция и аморфные новообразования

Fig. 6. Microstructure of cellular concrete modified with carbon nanotubes: а – the forming of neoformations of increased density; б – a composite structure including blocks of calcium hydroxide plates, calcium hydrosilicate crystals and amorphous neoformations

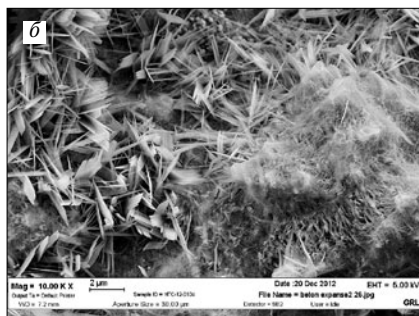
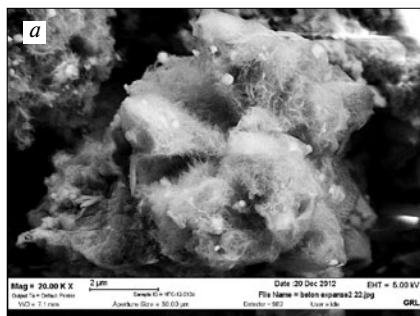


Рис. 7. Новообразования аморфной структуры в газобетоне, модифицированном многослойными углеродными нанотрубками: а – частично закристаллизованный тоберморитовый гель; б – гидросиликаты кальция в сочетании с тоберморитовым гелем

Fig. 7. Neoformations of amorphous structure in cellular concrete modified with multi-walled carbon nanotubes: а – partially crystallized tobermorite gel; б – calcium hydrosilicates combined with tobermorite gel

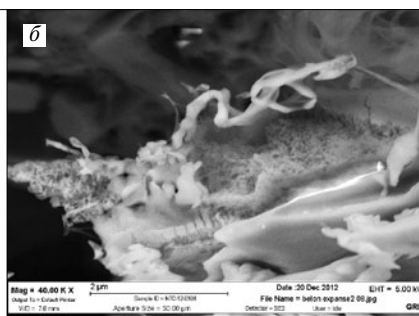
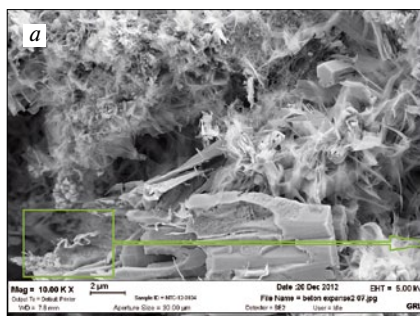


Рис. 8. Микроструктура газобетона, модифицированного углеродными нанотрубками: а – фрагмент структуры межпоровой перегородки; б – углеродные нанотрубки (отмечены стрелкой), покрытые слоем гидросиликатов кальция

Fig. 8. Microstructure of cellular concrete modified with carbon nanotubes: а – fragment of interporous wall structure; б – carbon nanotubes (marked with the arrow) coated with a layer of calcium hydrosilicates

сталлических блоков (рис. 6, а), состоящих из пластинок гидроксида кальция. При этом образуется комбинированная структура, включающая блоки пластинок гидроксида кальция, игольчатых кристаллов гидросиликатов кальция, окутанных аморфными новообразованиями (рис. 6, б; 7, а и 8, а).

Роль аморфной структуры, которая отмечена при исследовании микроструктуры, сводится к двум действующим факторам: в процессе старения тоберморитовый гель кристаллизуется с формированием гидросиликатов кальция (рис. 8, б); в то же время аморфные новообразования уплотняют структуру межпоровых перегородок в газобетоне, повышая механическую прочность изделий.

Исследуемая структура включает также одиночные спутанные углеродные нанотрубки, покрытые слоем гидросиликатов кальция (рис. 7, б). Изменения морфо-

ous dispersion. The analysis of MWCNTs dispersions has shown the required stability within 7 days during the preparation of cellular concrete in the experimental industrial product samples.

Structure and properties of modified cellular concrete. The content of modifying multi-walled carbon nanotubes was taken up considering the set value for preparing cement heavy concretes [9] and was 0,006% of the mass of the binder. In terms of the mass of 1 m³ of cellular concrete at the consumption of 300 kg of the binder the consumption of nanotubes was 18 g. This homeopathic dose of MWCNTs should be uniformly distributed in the volume of cellular concrete mixture. The uniform distribution of particles in the prepared cellular concrete mixture was due to the preliminary mixing of aluminum suspension and MWCNTs dispersion. Taking into account the fact that aluminum powder suspension is prepared with the surfactant of sulphanol and MWNTs dispersion has carboxymethylcellulose, mixing these components provides a uniform not exposed to sedimentation suspension which is added in cellular concrete mixture while its stirring in a mixer.

The comparative analysis of pore macrostructure in cellular concrete shows that the use of MWCNTs dispersions stabilizes macrostructure, at the same time there is better uniformity of pores according to their size, a lack of pore “percolation” (Fig. 3, а, б), which inevitably affects both the strength and the thermotechnical properties of cellular concrete.

The microstructure of the check samples has the increased inhomogeneity of the interporous wall structure (Fig. 4, а, б), which leads to their low strength and correspondingly to the decreased strength of products made from cellular concrete (Table).

The images of the microstructure of modified cellular concrete let us assume that carbon nanotubes serve as centers of crystallization of calcium hydrosilicates in hardening cellular concrete and stimulate the structure forming of hardening lime-silicate binder with high crystallinity in comparison with the

plain check sample. Densification and increase of crystallinity are observed in the pore walls (Fig. 5, а), at the same time along with crystalline neoformations amorphous ones appear (Fig. 5, б) that provide additional densification and strengthening of the pore walls in cellular concrete.

The conducted analysis of the microstructure confirms the acceleration of hydration of silica-lime binder followed with the formation of dense crystalline blocks (Fig. 6, а) consisting of calcium hydroxide plates. At the same time a composite structure appear which includes blocks of calcium hydroxide plates, calcium hydrosilicate acicular crystals coated with amorphous neoformations (Fig. 6, б; 7, а and 8, а).

The role of amorphous structure noticed during the studying of the microstructure comes to two factors: during the aging process tobermorite gel crystallizes with calcium hydrosilicates formed (Fig. 8, б), at the same time amorphous neo-

логии новообразований приводят к существенному повышению механической прочности автоклавного газобетона, модифицированного сверхмалыми количествами нанотрубок (в пределах 0,006% от массы известково-кремнеземистого вяжущего).

Модификация автоклавного газобетона дисперсией многослойных углеродных нанотрубок ускоряет процессы гидратации известково-кремнеземистых смесей при запарке в условиях автоклавной обработки.

В процессе формирования силикатного камня в межпоровых перегородках газобетона образуется комбинированная структура, включающая блоки пластинок гидроксида кальция, игольчатых и пластинчатых кристаллов гидросиликатов кальция, окутанных аморфными новообразованиями, которые способствуют увеличению площади контактов между кристаллами и снижению объема пор в структуре вяжущей матрицы.

Гидросиликаты кальция повышенной плотности формируют пространственный каркас, обеспечивающий создание автоклавного газобетона с улучшенными физико-техническими свойствами: повышение прочности изделий на сжатие достигает более 30%, обеспечивается более однородная, равномерная по размерам структура пор без перколяции и схлapyвания.

Ключевые слова: многослойные углеродные нанотрубки, газобетон автоклавного производства, гидросиликаты кальция, морфология новообразований.

Список литературы

1. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Пудов И.А., Дулесова И.Г., Бурьянов А.Ф., Сабер М. Структуризация цементных вяжущих матриц многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 22–24.
2. Yakovlev G., Kerien Ja., Plechanova T., Krutikov V. Nanobewehrung von Schaumbeton. Beton- und Stahlbetonbau, Vol. 102, Is. 2, 2007. Pp. 120–124.
3. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – a review. Construction and Building Materials 2010;24(11):2060–71.
4. Abu Al-Rub, R.K., Ashour A.I., Tyson B.M. On the aspect ratio effect of multi-walled carbon nanotube reinforcements on the mechanical properties of cementitious nanocomposites. Construction and Building Materials. Vol. 35, 2012. Pp. 647–655.
5. Laukaitis A., Keriene J., Kligys M., Mikulskis D., Lekunaitė L. Influence of amorphous nanodispersible SiO₂ additive on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete. Mater Sci (Medžiagotyra) 2010;16(3):257–63.
6. Laukaitis A., Keriene J., Kligys M., Mikulskis D., Lekunaitė L. Influence of mechanically treated carbon fibre additives on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete. Construction and Building Materials 26 (2012) 362–371.
7. Laukaitis A., Kerienė J., Mikulskis D., Sinica M., Sezemanas G. Influence of fibrous additives on properties of aerated autoclaved concrete forming mixtures and strength characteristics of products. Construction and Building Materials 23 (2009) 3034–42.
8. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Пудов И.А., Лушников А.А. Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 47–51.
9. Korzhenko A., Havel M., Gaillard P., Yakovlev G.I., Pervuchin G.N., Oreshkin D.V. Procédé D'introduction de nanocharges carbonées dans un inorganique durcissable. Patent № 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00. Bulletin 12/25 pub. 22.06.12.

formations densify the structure of interporous walls in cellular concrete increasing the mechanical strength of products.

The structure under study also includes single entangled carbon nanotubes coated with a layer of calcium hydrosilicates (Fig. 7, б). The changes in the morphology of neoformations lead to a significant increase of the mechanical strength of autoclaved cellular concrete modified with ultra-small amount of nanotubes (within 0,006% of the mass of the lime-silica binder).

Modifying autoclaved cellular concrete with multi-walled carbon nanotubes dispersion accelerates the hydration processes of lime-silica mixtures while steaming during autoclave treatment.

In the lime stone formation process a composite structure is formed in interporous walls of cellular concrete, which includes blocks of calcium hydroxide plates, acicular and plate crystals of calcium hydrosilicates coated with amorphous neoformations that facilitate the increase of the contact area between the crystals and the decrease of the pore volume in the binding matrix structure.

Calcium hydrosilicates of the increased density form a space frame that provides autoclaved cellular concrete with the enhanced physical and technical properties: the compressive strength of products exceeding 30% and a homogeneous uniform in size pore structure without percolation or collapsing.

Keywords: multi-walled carbon nanotubes, autoclaved cellular concrete, calcium hydrosilicates, morphology of neoformations.

Reference

1. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Pudov I.A., Dulesova I.G., Buryanov A.F., Saber M. Structuring cement binding matrices with multi-walled carbon nanotubes // (2011), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (11), P. 22–24.
2. Yakovlev G., Kerien Ja., Plechanova T., Krutikov V. Nanobewehrung von Schaumbeton. Beton- und Stahlbetonbau, Vol. 102, Is. 2, 2007. Pp. 120–124.
3. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – a review. Construction and Building Materials 2010;24(11):2060–71.
4. Abu Al-Rub, R.K., Ashour A.I., Tyson B.M. On the aspect ratio effect of multi-walled carbon nanotube reinforcements on the mechanical properties of cementitious nanocomposites. Construction and Building Materials. Vol. 35, 2012. Pp. 647–655.
5. Laukaitis A., Keriene J., Kligys M., Mikulskis D., Lekunaitė L. Influence of amorphous nanodispersible SiO₂ additive on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete. Mater Sci (Medžiagotyra) 2010;16(3):257–63.
6. Laukaitis A., Keriene J., Kligys M., Mikulskis D., Lekunaitė L. Influence of mechanically treated carbon fibre additives on structure formation and properties of autoclaved aerated concrete. Construction and Building Materials. 26 (2012). Pp. 362–371.
7. Laukaitis A., Kerienė J., Mikulskis D., Sinica M., Sezemanas G. Influence of fibrous additives on properties of aerated autoclaved concrete forming mixtures and strength characteristics of products. Construction and Building Materials. 23 (2009). Pp. 3034–42.
8. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., Buryanov A.F., Pudov I.A., Lushnikova A.A. Modifying cement concretes with multi-walled carbon nanotubes // (2011), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (2), Pp. 47–51.
9. Korzhenko A., Havel M., Gaillard P., Yakovlev G.I., Pervuchin G.N., Oreshkin D.V. Procédé D'introduction de nanocharges carbonées dans un inorganique durcissable. Patent № 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00. Bulletin 12/25 pub. 22.06.12.

УДК 6-022.532

Е.В. КОРОЛЕВ, д-р техн. наук, директор НОЦ «Нанотехнологии»;

А.Н. ГРИШИНА, канд. техн. наук (GrishinaAN@mgsu.ru),

Московский государственный строительный университет

E.V. KOROLEV, Doctor of Technical Sciences, director of SEC «Nanotechnologies»,

A.N. GRISHINA, Candidate of Technical Sciences,

Moscow State University of Civil Engineering

Синтез и исследование наноразмерной добавки для повышения устойчивости пен на синтетических пенообразователях для пенобетонов*

Development and research of a nanodimensional stabilizer additive for foams based on synthetic foamers for foam concretes¹

Внедрение нанотехнологии в строительное материаловедение осуществляется прежде всего посредством введения в материал различных первичных наноматериалов, таких как фуллерены, углеродные нанотрубки, нанокремнезем, астралены, а также золей.

Использование золей имеет преимущество из-за равномерности распределения наночастиц в объеме среды-носителя. В технологии пенобетонов для повышения устойчивости пен, увеличения паропроницаемости и повышения прочностных характеристик используют золь кремниевой кислоты [1], а для повышения прочности, морозостойкости и снижения истираемости рекомендуется использование золя гидроксида железа [2] как составной части добавки к бетонам различного назначения.

Указанные золи, безусловно, имеют очевидные преимущества по причине распространенности и доступности, а совместное их использование приводит в возникновению синергетического эффекта.

Традиционно синтез золя кремниевой кислоты осуществляется путем добавления неорганических кислот в раствор гидросиликатов натрия или их пропусканием через ионообменную колонку [3]. Разработан новый способ получения золя кремниевой кислоты, который осуществляется посредством введения в золь гидроксида железа доступного прекурсора – гидросиликатов натрия. Образование золя кремниевой кислоты происходит при химическом связывании ионов натрия, стабилизирующих кремнекислородный каркас водных растворов гидросиликатов натрия (рис. 1). Химическое связывание положительно заряженных ионов натрия реализуется за счет их взаимодействия с отрицательно заряженными наноразмерными частицами золя гидроксида железа.

Указанная гипотеза практически подтверждается увеличением размера частиц гидроксида железа при использовании стехиометрического количества ионов натрия

Realization of nanotechnology in materials science is carried out first of all by means of injection in a material of various primary nanomaterials, such as fullerenes, carbon nanotubes, nanosilicon dioxide, astralenes, and also sols.

Application of sols has advantage due to the uniform distribution of nanoparticles in volume of carrier medium. In foam concretes technology for the purpose of foams' stability increase, increase in vapor permeability and increase of strength characteristics sol of silicon acid can be recommended [1], and for increase of durability, frost resistances and decrease in an abrasability sol of iron hydroxide can be used [2], as a constituent of an additive to concrete of different function.

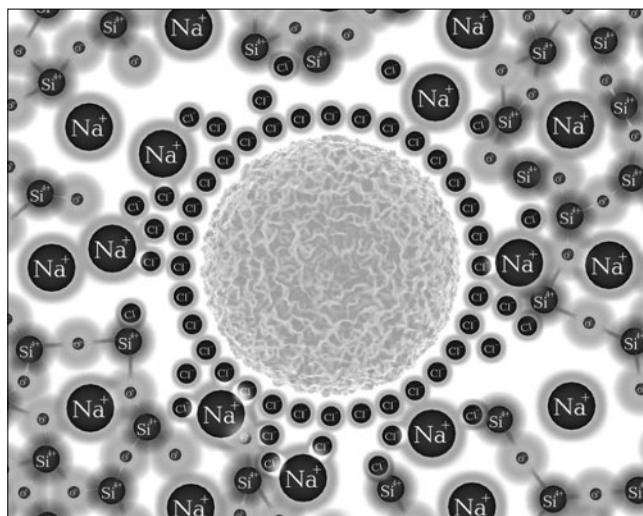


Рис. 1. Модель структуры двухкомпонентной наноразмерной добавки
Fig. 1. Model of the structure of two-component nanoscale admixture

* При поддержке гранта Президента РФ МД-6090.2012.8.

¹ Supported by Grant of President of Russian Federation MD-6090.2012.8.

в среднем от 6,5 до 8,5 нм при концентрации золя 0,17–0,5%. Также увеличение диаметра частиц в 1,1 раза установлено при введении меньшего количества гидросиликатов натрия, а при использовании гидросиликатов натрия в 1,5 раза больше стехиометрического количества диаметр увеличивается в 2 раза (рис. 2).

Стабильность золя кремниевой кислоты определяется количеством используемого раствора гидросиликатов натрия, а также его концентрацией и модулем. Известные данные о скорости поликонденсации указывают, что скорость этого процесса определяется значением pH системы, но экспериментальные данные К. Оккерсе, К. Гото, Г. Окамото, Т. Окура, Г.Б. Александра [3] и других исследователей противоречивы: максимальная скорость поликонденсации варьируется от pH=2 до pH=9, что свидетельствует о специфичности поведения системы в зависимости от способа ее получения и концентрации. Однако авторами указывается, что минимальная скорость поликонденсации кремниевой кислоты совпадает с изоэлектрическим интервалом pH=2,2.

Изменения вязкости такой наноразмерной добавки приведены на рис. 3.

Анализ результатов исследования вязкости наноразмерной добавки при концентрации золя гидроксида железа $S=0,17-0,5\%$ показывает, что в системе не наблюдается гелеобразования (гелеобразование наблюдается при вязкости около 9 мПа·с), ее возможно транспортировать на объекты строительства и ЖБИ для использования в качестве добавки для конструкционных бетонов.

Результаты исследования стабильности наноразмерной добавки показывают, что при концентрации золя гидроксида железа более 0,66% гелеобразование кремниевой кислоты происходит в течение суток и менее, что обусловлено величиной pH и концентрацией

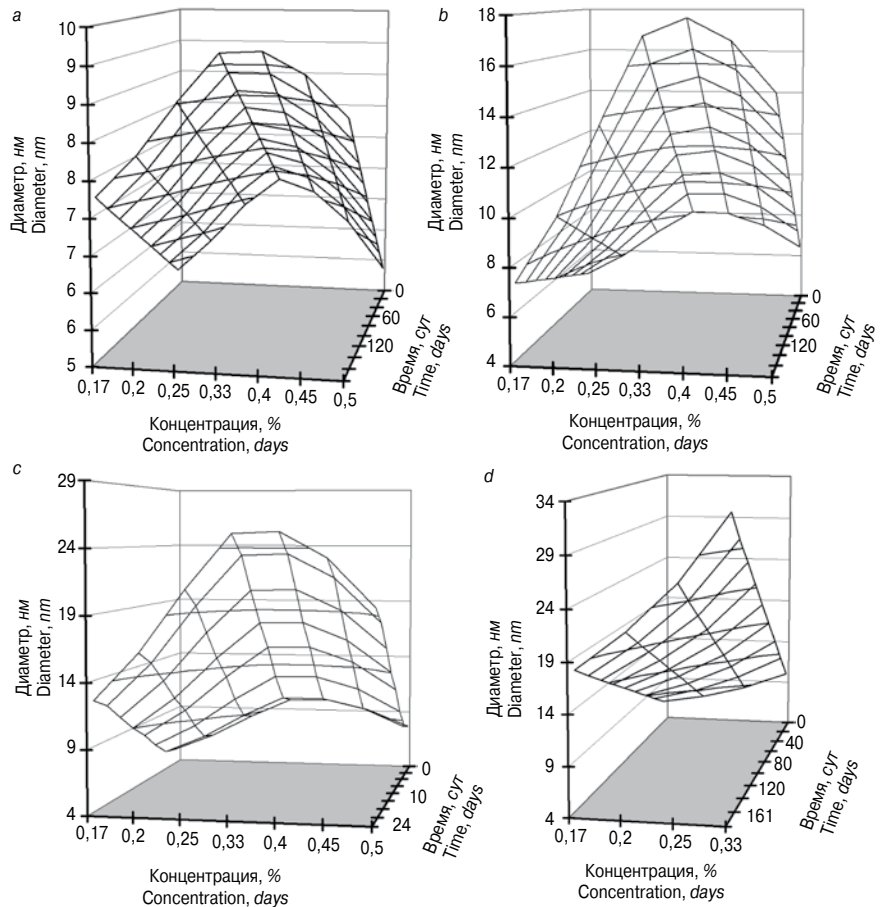


Рис. 2. Кинетика изменения размера частиц двухкомпонентной наноразмерной добавки (определение проводили на ZetaTrac (см. www.nocnt.ru): а – контрольный состав; б – $\alpha=0,5$; с – $\alpha=1$; д – $\alpha=1,5$. α – массовая доля жидкого стекла, вводимого в золь гидроксида железа, от стехиометрического количества, рассчитанного по количеству катионов натрия, связываемых анионами хлора адсорбционным и диффузионным слоями мицеллы гидроксида железа

Fig. 2. Kinetics of a dimensional change of particles of a two-component nanodimensional additive (measurements carried out on ZetaTrac (see www.nocnt.ru): а – reference mixture; б – $\alpha=0,5$; с – $\alpha=1$; д – $\alpha=1,5$. α – mass ratio of water glass injected in iron hydroxide sol (found for stoichiometric quantity, which, in turn computed taking into account the amount of sodium cations bound with chlorine anions in adsorptive and diffusive layers of iron hydroxide micelle)

The specified sols certainly have obvious advantages because of availability. Simultaneous use of sols brings the synergistic effect in emergence.

Traditionally synthesis of sol of silicon acid is carried out by means of mineral acids addition in solution of sodium hydrosilicates. Another well known way of synthesis is to pass the aforementioned components through an ion-exchange column [3]. We have developed the new way of silicon acid sol's synthesis. The synthesis is carried out by means of injection of an available precursor – sodium hydrosilicates – in iron hydroxide sol. Formation of silicon acid sol occurs during chemical binding of sodium ions stabilizing of silicon-oxygen framework of aqueous solutions of sodium hydrosilicates (fig. 1). Chemical binding of positively charged sodium ions is realized by means of their interaction with negatively charged nanodimensional particles of sol of iron hydroxide.

The specified hypothesis is practically confirmed by observed increase in particle size of iron hydroxide when using stoichiometric quantity of sodium ions. The average size increased from 6,5 nanometers to 8,5 nanometers at concentration of sol 0,17–0,5%. There is also the increase in diameter of particles by 1,1 times occurs during injection of smaller amount of sodium hydrosilicates, and when using sodium hydrosilicates in concentration 1,5 (compared with stoichiometric quantity) the diameter increases twice (fig. 2).

Таблица 1

Значение α / α Value	pH
0	1,4
1,1	4,84
1,2	6,81
1,3	8,07
1,4	8,83
1,5	9,18
1,6	9,55
1,7	9,74
1,8	9,83
1,9	10,02
2	10,09

Примечание. pH указаны при температуре раствора 28°C.
Note. pH are for solution's temperature 28°C.

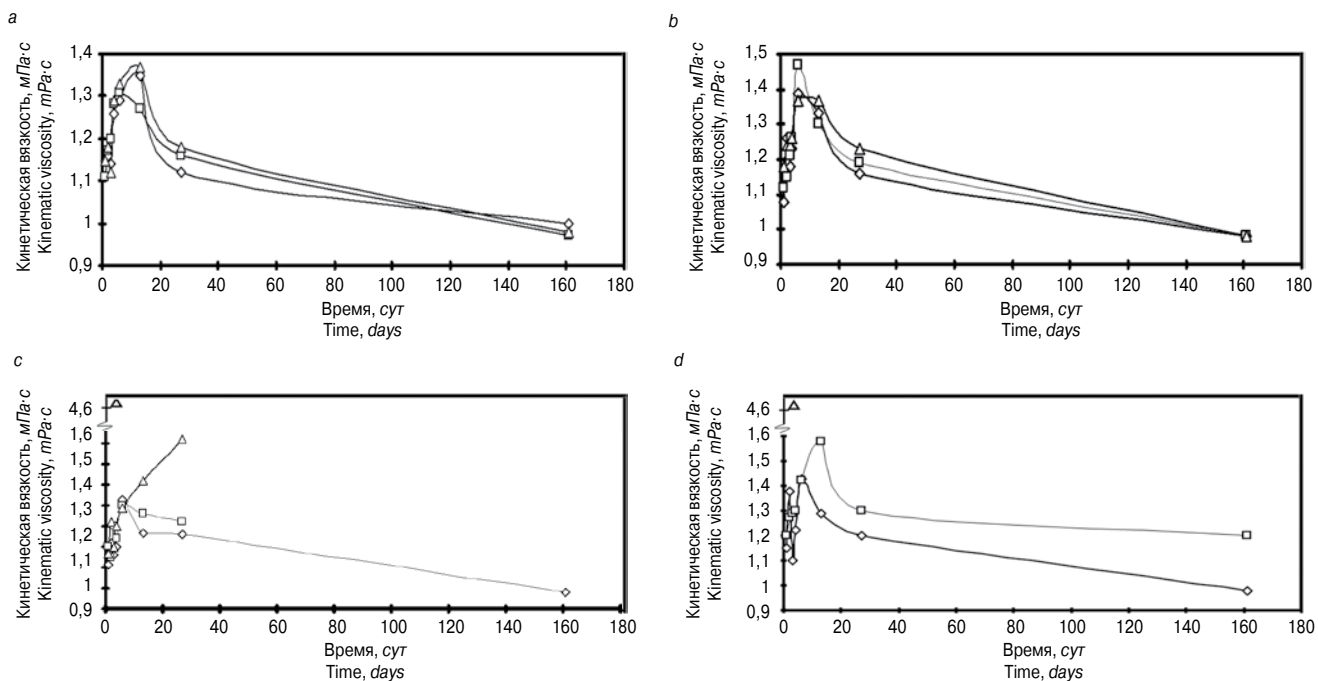


Рис. 3. Кинетика изменения кинематической вязкости двухкомпонентной наноразмерной добавки: а – контрольный состав; б – $\alpha=0,5$; в – $\alpha=1$; д – $\alpha=1,5$; \diamond – при $C=0,17\%$; \square – при $C=0,33\%$; Δ – при $C=0,5\%$.

Fig. 3. Kinetics of variation of kinematic viscosity of two-component nanoscale admixture: a – reference mixture; б – $\alpha=0,5$; в – $\alpha=1$; д – $\alpha=1,5$; \diamond – for $C=0,17\%$; \square – for $C=0,33\%$; Δ – for $C=0,5\%$.

золя кремниевой кислоты [4]. Такую систему целесообразно использовать для стабилизации пен для пенобетонов, что обосновано особенностями технологии. В отличие от низкоконцентрированных систем введение в такие наноразмерные добавки ПАВ не приводит к коагуляции, что можно объяснить следующим образом. При увеличении количества геля кремниевой кислоты он стабилизирует золь гидроксида железа, препятствуя агрегации мицелл золя гидроксида железа и присоединению анионов ПАВ к положительно заряженным мицеллам [4]. Введение ПАВ приводит к увеличению скорости гелеобразования из-за изменения pH (табл. 1). Зависимость носит экстремальный характер, что связано изначально с увеличением количества кремниевой кислоты, а затем ее растворением в сильнощелочной среде. Анализ табл. 1 и 2 показывает, что минимальный синерезис наблюдается при pH до 9. Это соответствует результатам исследования влияния pH на скорость поликонденсации [3] и объясняется снижением концен-

Stability of silicon acid sol depends on amount of solution of sodium hydrosilicates, and also on concentration and the module of sodium hydrosilicates. Known information concerning the speed of polyfunctional condensation specify that the speed of this process rely on pH value in system. At the same time, experimental results obtained by K. Okkerse, Gotha K., Okamoto G., Okura T., Alexander G.B. [3] and other researchers are inconsistent: the maximal speed of polyfunctional condensation varies from pH=2 to pH=9 that testifies to specificity of behavior of system depending on a way of its synthesis and concentration. However authors specify that the minimum speed of polyfunctional condensation of silicon acid coincides with an isoelectric interval pH=2,2.

Kinetics of variation of kinematic viscosity of two-component nanoscale admixture is shown on fig. 3.

The analysis of results of research of viscosity of a nanodimensional additive at concentration $C=0,17-0,5\%$ of sol of iron hydroxide shows that there is no gelation in system (gelation is observed at viscosity about 9 mPa·s). Thus, it is possible to transport the system to construction objects and concrete goods for use as an additive for constructional concrete.

Results of research of stability of a nanodimensional additive show that at concentration of sol of iron hydroxide more than 0,66% gelation of silicon acid happens within a day and less. This is caused by pH value and concentration of sol of silicon acid [4]. It is expedient to use such system for stabilization of foams for foam concretes that is caused by today technology. Unlike low concentrated systems injection of surfactants in such nanodimensional additives does not lead to coagulation. It is possible to explain this as follows. With the increase in amount of gel of silicon acid it stabilizes sol of iron hydroxide, interfering with aggregation of micelles of sol of iron hydroxide and accession of anions of surfactants to positively charged micelles [4]. Injection of surfactants leads to increase of speed of gelation because of change in pH (table 1). Dependence has extreme character that is initially caused by increase in amount of silicon acid, and then by dissolution in strongly alkaline condition. The

Таблица 2

Пенообразователь Foaming agent	Значение α α Value	Устойчивость, % Stability, %
Ареком Aresom	Контрольный Reference	80,23
	1,12	82,17
	1,22	84,88
	1,25	100
	1,48	97,83
	1,52	94,56
	1,77	84,13
	2	78,92

трации недиссоциированных силанольных групп на поверхности зародышей и ростом скорости деполимеризации [3].

Таким образом, разработан способ получения двухкомпонентного золя кремниевой кислоты в среде, содержащей наночастицы. Показана стабильность получаемого золя кремниевой кислоты и невысокая скорость агрегирования модифицированных частиц золя гидроксида железа (III) при его низких концентрациях, исследовано изменение вязкости при увеличении концентрации золя гидроксида железа и показана эффективность применения золя кремниевой кислоты в среде, содержащей наночастицы, в строительной отрасли.

Ключевые слова: наночастицы, золь гидроксида железа, золь кремниевой кислоты, гелеобразование, пена, устойчивость.

Список литературы

1. Патент № 2393127 Комплексная добавка для пенобетонной смеси / Л.Б. Сватовская, А.М. Сычева, Н.Н. Елисеева Заявитель и патентообладатель: ФГОУ ВПО Петербургский государственный университет путей сообщения. Опубл. 27.06.2010.
2. Сватовская Л.Б., Сычева А.М., Елисеева Н.Н. Повышение качества неавтоклавно бетона добавками наноразмера // Нанотехнологии в строительстве. № 1. 2011. С. 50–62.
3. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 208 с.
4. Гришина А.Н., Королев Е.В. Эффективная наноразмерная добавка, повышающая устойчивость пен для пенобетонов // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 159–165.

analysis of tables 1 and 2 shows that the minimal syneresis is observed at pH less then 9. It corresponds to results of research of pH influence on the speed of polyfunctional condensation [3] and is explained by lowering of not dissociated silanol groups at a surface of nuclei and increase of speed of a depolymerization [3].

Thus, the method of synthesis of two-component sol of silicon acid in the environment containing nanoparticles is developed. Stability of synthesized sol of silicon acid and low speed of aggregation of the modified particles of sol of iron (III) hydroxide is shown at its low concentration, viscosity change is investigated at increase in concentration of sol of iron hydroxide and effectiveness of application of sol of silicon acid in the environment containing nanoparticles in construction is shown.

Keywords: nanoparticles, sol of iron hydroxide, silica sol, sol forming, foam, stability.

Bibliography

1. RU2393127. Complex admixture for foam concrete mixture / Svatovskaya L.B., Sycheva A.M., Eliseeva N.N. Applicant and patent holder: FGOU VPO Petersburg state university of communications. publ.: 27.06.2010.
2. Svatovskaya L.B., Sycheva A.M., Eliseeva N.N. Improving the quality of non-autoclave concrete by means of nanoscale admixtures // Nanotechnology in construction. № 1. 2011. Pp. 50–62.
3. Shabanova N.A., Sarkisov P.D. Basis of sol-gel technology of nanodisperse silica. M.: IKTSE «Akademkniga», 2004. 208 p.
4. Grishina A.N., Korolev E.V. Effective nanoscale foam stabilizer admixture for foam concretes // Vestnik MGSU. 2012. № 10. Pp. 159–165.

СИБИРСКАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ

**Омск 2013
22-24 мая**

В ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭКСПОЗИЦИИ

СТРОЙПРОГРЕСС

ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЖКХ

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ДЕРЕВО И МЕТАЛЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ДОРСТРОЙТЕХ. ДОРОГИ И МОСТЫ

ЛИФТЫ

Организатор:



ИнтерСиб
международный выставочный центр

При поддержке и участии:



Российский союз
промышленников и предпринимателей

Министерство строительства
и ЖКК Омской области

Омская торгово-промышленная палата

Союз строителей Омской области

Тел./факс:
(3812) 25-84-87, 23-23-30
e-mail: stroy@intersib.ru
www.intersib.ru

УДК 666.941.4:539.2

А.Ф. ГОРДИНА (afspirit@rambler.ru), магистр, Ю.В. ТОКАРЕВ, канд. техн. наук, Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова; Я. КЕРЕНЕ, д-р техн. наук, Э. СПУДУЛИС, доктор-инженер, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса

A.F. GORDINA, master, Yu.V. TOKAREV, Candidate of Technical Sciences, G.I. YAKOVLEV, Doctor of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov (Russia); Ya. KERIENE, Doctor of Technical Sciences, E. SPUDULIS, Doctor- engineer, Vilnius Gediminas Technical University (Lithuania)

Различия в формировании структуры гипсового вяжущего, модифицированного углеродными нанотрубками и известью

Differences in forming the structure of gypsum binder modified by carbon nanotubes and lime

Свойства гипсовых материалов во многом определяются состоянием и структурой матрицы. Добавки частиц с нанометровым размером обладают высокой поверхностной энергией и химической активностью и оказывают более сильное влияние на формирование структуры граничных слоев минеральных матриц. Так, использование наночастиц в полимерных матрицах позволяет повысить прочность до двух раз и теплостойкость на 40–50°C за счет заполнения структурных дефектов межфазных границ композитов, образования физических и химических связей и создания эффекта уплотнения [1]. Использование нанокремнезема в бетонах позволяет повысить прочность, стойкость к воде и коррозии за счет уменьшения пор и формирования плотной структуры [2]. При использовании углеродных нанотрубок в силикатных матрицах изменяется морфология кристаллогидратных новообразований с формированием гидросиликатов кальция повышенной основности [3]. Между тем при совместном использовании ультра- и нанодисперсных добавок достигаются более глубокие преобразования в структуре матриц. В [4] показано, что при совместном использовании ультрадисперсной металлургической пыли и углеродных нанотрубок за счет проявления синергетического эффекта формируется структура с повышенной площадью контактов в межфазных поверхностях со значительным повышением механических показателей. Также известно [5], что изменение величины водородного показателя среды (рН) изменяет структуру кластеров воды, что приводит к изменению морфологии гидратных фаз. В связи с этим было сделано предположение, что эффективность действия углеродных наноструктур увеличится при использовании добавки, повышающей водородный показатель среды.

Целью данной работы являлось установление различий в формировании структуры гипсового вяжущего при использовании наноструктур и извести, вводимых совместно и раздельно, а также их влияния на механические свойства.

В качестве вяжущего использовали гипс марки Г-4 предприятия ООО «Прикамская гипсовая компания» (Пермь). В качестве наноструктур были использованы

The properties of gypsum materials are mainly defined by the matrix state and structure. The additives with nanosized particles possess a high surface energy and chemical activity, and have a stronger influence on the formation of the structure of boundary layers of mineral matrix. Thus the use of nanoparticles in polymeric matrices allows increasing the durability in up to 2 times and heat resistance by 40–50°C due to filling the structural defects of interface boundaries of composites, forming physical and chemical bonds, and creating packing effect [1]. The application of nanosilica in concretes allows increasing durability, water and corrosion resistance due to decreasing the pores and forming the dense structure [2]. When carbon nanotubes are used in silicate matrices, the morphology of crystalline hydrate new-formations changes with the formation of calcium hydrosilicates with elevated basicity [3]. In the meantime, when ultra- and nanoadditives are used together, greater transformations in the matrix structure are achieved. In [4] we demonstrated that when the ultra-fine metallurgical dust and carbon nanotubes are used to-

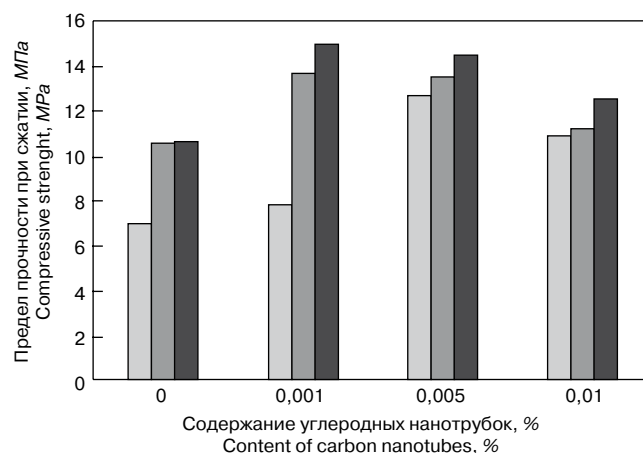


Рис. 1. Прочность гипсовой матрицы с добавлением многослойных углеродных нанотрубок: ■ – 7 дней; ■ – 14 дней; ■ – 28 дней
Fig. 1. Gypsum matrix durability with the addition of multilayer carbon nanotubes: ■ – 7 days; ■ – 14 days; ■ – 28 days

многослойные углеродные нанотрубки на основе Masterbatch CW2-45 французской корпорации «Аркема», вводимые в виде дисперсии. Дисперсия представляет собой гранулированную диспергированную смесь углеродных нанотрубок в среде карбоксиметилцеллюлозы, содержащей 45% многослойных углеродных нанотрубок. Masterbatch CW2-45 при механическом перемешивании с водой превращается в малоустойчивую дисперсию с включениями частиц микрометровых размеров.

Гипсовые образцы, модифицированные известью и углеродными наноструктурами, выдерживали в течение 7, 14 и 28 сут при $T = 20^\circ\text{C}$ с последующим проведением механических испытаний. Количество воды варьировали от 50 до 60% массы вяжущего. Содержание многослойных углеродных нанотрубок принимали в количестве 0,001–0,01%, а концентрация извести составляла 1–2% массы вяжущего.

Механические испытания гипсовых образцов-балочек $40 \times 40 \times 160$ мм проводили по стандартной методике с последующим изучением состава и структуры образцов методами рентгенофазового анализа (РФА) и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

На рис. 1 представлены результаты механических испытаний гипсового вяжущего с добавлением углеродных нанотрубок в количестве 0–0,01% через 7, 14 и 28 сут. Анализ результатов механических испытаний показал, что введение нанодобавки в количестве до 0,001% способствует повышению прочности при сжатии, но при дальнейшем повышении концентрации наблюдается постепенное снижение механических показателей гипсового вяжущего (рис. 1). Результаты механических испытаний образцов с введением нанотрубок могут быть объяснены с позиций синергетики дисперсно-наполненных тел [6]. Нанотрубки, обладая высокой поверхностной энергией, играют роль центров кристаллизации, по поверхности которых происходит интенсивная кристаллизация новообразований. С увеличением содержания нанотрубок увеличивается количество центров кристаллизации, что способствует большему превращению полуводного гипса в двуводный и приводит к повышению прочности. Однако при превышении оптимального значения нанотрубок (больше 0,001%) наблюдается постепенное падение прочности, что связано с дефицитом вяжущего в граничных слоях и образованием повышенной пористости структуры. Из рис. 1 можно видеть, что при содержании нанотрубок в количестве 0,001% прочность гипсовой матрицы через 28 сут повышается до 40%, а в 7-суточном возрасте – до 80%. Оптимальное значение добавки находится в интервале 0,001–0,005%.

На рис. 2 представлены результаты испытаний гипсового вяжущего, модифицированного известью и углеродными нанотрубками через 7, 14 и 28 сут. Анализ механических испытаний гипсовой матрицы показал, что при содержании извести 1% и нанотрубок 0,001% достигается больший прирост прочности гипсовой матрицы, чем при введении нанотрубок.

Для выявления изменений в минералогическом составе образцов проводили рентгенофазовый анализ. Основные отражения на рентгенограммах соответствующим линиям двуводного гипса ($d_\alpha = 7,55-7,67$; $d_\alpha = 4,29-4,3$; $d_\alpha = 3,8-3,81$; $d_\alpha = 3,07$; $d_\alpha = 2,88$; $d_\alpha = 2,68-2,69$), но также присутствуют линии ангидрита с $d_\alpha = 3,5$. При раздельном введении углеродных нанотрубок и извести незначительно увеличивается интенсивность отражений, соответствующих двуводному гипсу ($d_\alpha = 3,07$; 2,88), что свидетельствует об улучшении условий протекания гидратации. Однако при добавлении извести появляется линия ангидрита с $d_\alpha = 3,5$, появление которой может

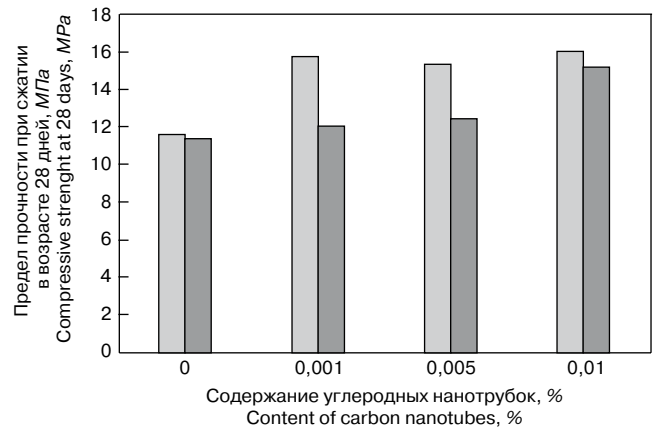


Рис. 2. Прочность гипсовой матрицы при совместном введении извести и углеродных нанотрубок. Содержание извести: ■ – 1%; ■ – 2%
Fig. 2. Gypsum matrix durability with the addition of lime and carbon nanotubes: ■ – 1%; ■ – 2%

gether, the structure with elevated area of contacts in interface layers with significantly improved mechanical properties is formed due to the synergetic effect. It is also known [5] that the change in the medium pH value changes the structure of water clusters that results in the modification of hydrated phase morphology. In this regard, we presume that the action efficiency of carbon nanostructures increases if the additive elevating the medium pH value is applied.

The objective of this work is to establish the differences in the formation of gypsum binder structure when nanostructures and lime are introduced together and separately, as well as their influence on mechanical properties.

Materials and methods of investigation. Gypsum of the grade G-4 produced by LLC “Prikamskaya gypsum company” (Perm) is used as a binder. The multilayer carbon nanotubes based on “Masterbatch CW2-45” by the French corporation “Arkema” introduced as dispersion are applied as nanostructures. The dispersion represents the granulated dispersed mixture of carbon nanotubes in the medium of carboxymethyl cellulose containing 45% of multilayer carbon nanotubes. In the process of mechanical stirring with water “Masterbatch CW2-45” transforms into the fragile dispersion with the inclusion of microsized particles.

The gypsum samples modified by lime and carbon nanostructures are kept during 7, 14 and 28 days at $T = 20^\circ\text{C}$ with further mechanical tests. The amount of water varies between 50 and 60% of the binder weight. The content of multilayer carbon nanotubes is taken from 0,001 up to 0,01%, and lime concentration is 1–2% of the binder weight.

The mechanical tests of gypsum samples-beams $40 \times 40 \times 160$ mm are carried out following the standard technique with further investigation of the composition and structure by the methods of X-ray phase analysis (XPA) and raster electronic microscopy (REM).

In Fig.1 you can see the results of gypsum binder mechanical tests with the addition of carbon nanotubes in the amount between 0 and 0.01 % after 7, 14 and 28 days. The analysis of the results of mechanical tests demonstrated that the introduction of nanoadditive in the amount of up to 0,001% improves the compressive strength, but with further concentration increase the gradual decrease in the mechanical properties of the gypsum binder is observed (Fig. 1). The results of mechanical tests of the samples with the introduction of nanotubes can be explained from the point of synergetics of disperse-filled bodies [6]. The nanotubes have high surface energy and play the role of crystallization centers with the intensive crystallization of new-formations along their surfaces. With the increase of nanotube content the number of crystallization centers goes up that contributes to the

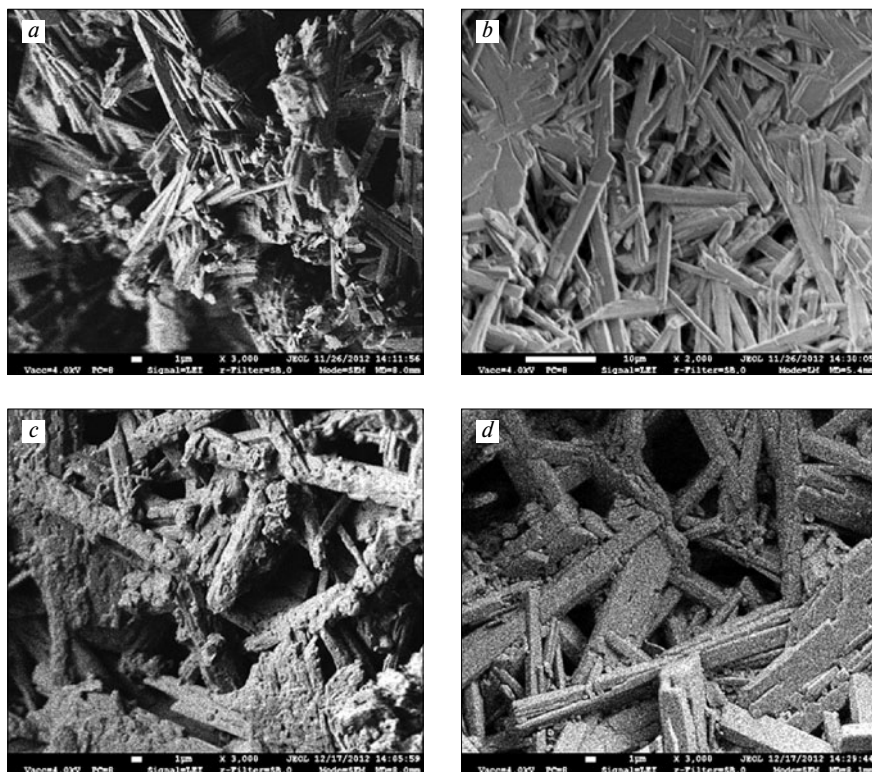


Рис. 3. Микроструктура гипсовой матрицы: а – без добавок; б – с углеродными нанотрубками; с – с известью; д – с известью и углеродными нанотрубками

Fig. 3. Gypsum matrix microstructure: (a) – without additives; (b) – with carbon nanotubes; (c) – with lime; (d) – with lime and carbon nanotubes

быть связано с взаимодействием гипса и извести при растворении, либо наличием ангидрита в гипсовом вяжущем. При совместном введении нанотрубок и извести линия ангидрита исчезает, что можно объяснить лучшими условиями для растворимости вяжущего. Таким образом, при введении добавок создаются лучшие условия для гидратации, что приводит к большему преобразованию гипсового вяжущего в двуводный гипс и обеспечивает повышение механических показателей гипсовой матрицы.

Микроструктурный анализ образцов без добавок показал (рис. 3, а), что в структуре гипсовых образцов преобладают призматические и пластинчатые кристаллы, хаотично распределенные в объеме матрицы, длиной до 15 мкм, достигающие в поперечнике 1–2 мкм. В этом случае образуется структура с повышенной пористостью, которая приводит к снижению механической прочности образцов. В гипсовой матрице с добавлением углеродных нанотрубок (рис. 3, б) формируется упорядоченная и однородная структура с более крупными кристаллами длиной до 20 мкм, что приводит к увеличению площади межфазной поверхности, снижению пористости и повышению физико-механических показателей. При введении извести (рис. 3, с) кроме кристаллической структуры создаются условия для организации аморфных структур, которые формируются в межфазных слоях и дополнительно связывают кристаллогидратные образования. Совместное использование извести и углеродных нанотрубок приводит к формированию очень крупных кристаллов с аморфной составляющей на их поверхности (рис. 3, д).

Кроме того, на снимке образца с добавлением углеродных нанотрубок (рис. 4, а) можно видеть скомпонованную блочную структуру без микрощелей. Вероятно, нанотрубки за счет высокой поверхностной

greater transformation of calcined gypsum into calcium sulfate dihydrate and results in durability durability. However when the optimal value of nanotubes is exceeded (over 0,001 %), the gradual durability decrease is observed that is connected with the binder deficiency in the boundary layers and formation of the structure with the increased porosity. In Fig. 1 you can see that when the content of nanotubes is 0,001%, the gypsum matrix porosity elevates up to 40% after 28 days, and up to 80% after 7 days. The optimal value of the additive is in the interval between 0,001 and 0,005%.

In Fig. 2 you can see the test results of the gypsum binder modified by lime and carbon nanotubes after 7, 14 and 28 days. The analysis of the gypsum matrix mechanical tests demonstrates that when the lime content is 1 % and nanotubes – 0,001%, the gypsum matrix durability grows more than when nanotubes are introduced.

The X-ray diffraction analysis is applied to reveal changes in the mineralogical composition of samples. The main reflections on the X-ray diffraction patterns correspond to the lines of calcium sulfate dihydrate ($d_{\alpha}=7.55-7.67$; $d_{\alpha}=4.29-4.3$; $d_{\alpha}=3.8-3.81$; $d_{\alpha}=3.07$; $d_{\alpha}=2.88$; $d_{\alpha}=2.68-2.69$), but there are also anhydrite lines with $d_{\alpha}=3.5$. We can see that when we introduce carbon nanotubes and lime separately, the intensity of reflections corresponding to calcium sulfate dihydrate ($d_{\alpha}=3.07$; 2.88) slightly increases that demonstrates the improvement of hydration process conditions. However, when we add lime, the anhydrite line with $d_{\alpha}=3.50$ appears, which can be either connected with the interaction of gypsum and lime in the dissolving process or anhydrite availability in the gypsum binder. When the additives are introduced together, the anhydrite line disappears that can be explained by better conditions for the binder solubility. Thus, the introduction of additives results in better conditions for hydration followed by more extensive transformation of gypsum binder into calcium sulfate dihydrate providing the improvement of mechanical properties of the gypsum matrix.

The microstructural analysis of the samples without additives demonstrates (Fig. 3, а) that prismatic and lamellar crystals up to 15 μm long and up to 1–2 μm in diameter randomly spread in the matrix volume prevail in the structure of gypsum samples. In this case, the structure with the elevated porosity that results in decreased mechanical durability of the samples is formed. The ordered and homogeneous structure with larger crystals (up to 20 μm long) is formed in the gypsum matrix with carbon nanotubes added (Fig. 3, б) that leads to the increased interface surface area, decreased porosity and improved physic and mechanical properties. When lime is introduced (Fig. 3, с), the conditions for the formation of amorphous structures in interface layers are created apart from the crystalline structure which additionally bind crystalline hydrate formations. The joint application of lime and carbon nanotubes results in the formation of very large crystals with amorphous component on their surface (Fig. 3, д).

Besides, in the picture of the sample with carbon nanotubes added (Fig. 4, а) we can see the packed block structure without microslots. Probably the nanotubes attract crystals due to high surface energy forming denser structures. That is,

энергии притягивают к себе кристаллы, формируя при этом плотные блочные структуры. Иными словами, нанотрубки выступают в качестве центров кристаллизации, по поверхности которых формируется большее количество кристаллов двуводного гипса, что обеспечивает повышение механических показателей. На снимке образца с добавлением извести и углеродных нанотрубок (рис. 4, *b*) видно напластование крупных кристаллов с плотными участками межфазной поверхности.

Таким образом, при комплексном использовании добавок формируется упорядоченная структура с блочной упаковкой крупных кристаллов с дополнительным склеиванием кристаллов аморфной составляющей.

Углеродные наноструктуры выступают как центры кристаллизации, по поверхности которых происходит формирование упорядоченной структуры с блочной упаковкой кристаллов с увеличением плотности межфазной поверхности, в результате чего достигается повышение физико-механических показателей гипсовой матрицы. А при введении извести в гипсовую матрицу создаются условия для организации аморфной фазы, которая склеивая кристаллы, обеспечивает дополнительное повышение механических показателей гипсового вяжущего. Таким образом, при совместном введении добавок обеспечиваются лучшие условия для формирования прочной структуры.

Ключевые слова: гипсовое вяжущее, многослойные углеродные нанотрубки, известь, микроструктура.

Список литературы

1. Хозин В.Г., Низамов Р.К., Абдрахманова Л.А. Полимерные нанокомпозиты строительного назначения: Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии: материалы XV академических чтений РААСН, Казань, 14–17 апреля, 2010. Казань, 2010. Т. II. С. 304–307.
2. Hela R., Marsalova J. Possibilities of nanotechnology in concrete: The II International Conference «Nanotechnology for green and sustainable construction», Cairo (Egypt), 14–17 march, 2010. Cairo, 2010. Pp. 8–15.
3. Яковлев Г.И., Керене Я., Маева И.С., Хазеев Д.Р., Пудов И.А. Влияние дисперсий многослойных углеродных нанотрубок на структуру силикатного газобетона автоклавного твердения // Интеллектуальные системы в производстве. 2012. № 2. / Нанотехнологии. С. 180–186.
4. Gordina A.F., Tokarev Yu.V., Maeva I.S., Keriene Ya. Gypsum compositions with ultra- and nanodispersed modifiers: The Fourth International Conference «Nanotechnology for green and sustainable construction», Cairo (Egypt), 23–27 march 2012. Cairo, 2012. Pp. 15–21.
5. Яковлев Г.И. Структурная организация межфазных слоев при создании кристаллогидратных композиционных материалов: Дис. ... д-ра техн. наук. Пермь, 2004. 350 с.
6. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Авдеев Р.И., Соломатов В.И. Синергетика дисперсно-наполненных композитов. М.: ЦКТ, 1999. 252 с.

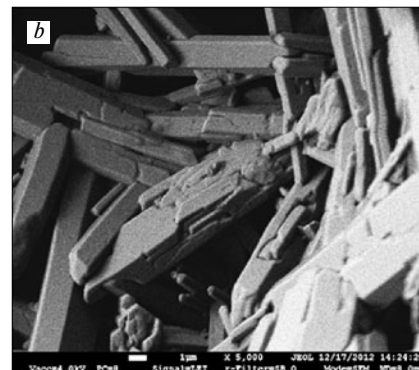
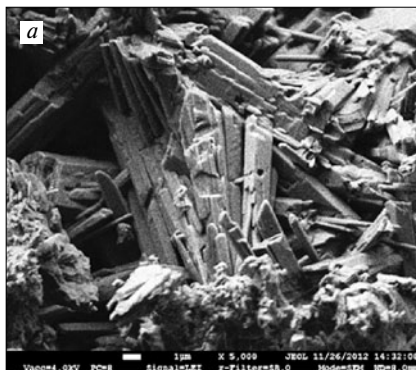


Рис. 4. Микроструктура гипсовой матрицы (×5000): *a* – с углеродными нанотрубками; *b* – с известью и углеродными нанотрубками

Fig. 4. Gypsum matrix microstructure (×5000): (*a*) – with carbon nanotubes, (*b*) – with lime and carbon nanotubes

the nanotubes act as crystallization centers with more crystals of calcium sulfate dihydrate along their surface which provide the improved mechanical properties. In the picture of the sample with lime and carbon nanotubes added (Fig. 4, *b*) we see the lamination of large crystals with dense areas of interface surface.

Thus, in the complex use of additives the ordered structure with block packing of large crystals with additional gluing of crystals of the amorphous component is formed.

Carbon nanostructures act as crystallization centers with the formation of ordered structure with block packing of crystals with the elevated density of interface surface, as a result, the improved physic-mechanical properties of gypsum matrix are obtained. When lime is introduced into the gypsum matrix, the conditions for the formation of amorphous phase are created which, gluing the crystals, provides the additional improvement of mechanical properties of the gypsum binder. Thus, when the additives are introduced together, the better conditions for the formation of durable structure are provided.

Keywords: gypsum binder, multilayer carbon nanotubes, lime, microstructure.

References

1. Khozin V.G., Nizamov R.K., Abdrakhmanova L.A. Constructional polymeric nanocomposites: Proceedings of XV Academic Readings of Russian Academy of Architecture and Constructional Science. Volume II. Kazan, 2010. Pp. 304–307.
2. Hela R., Marsalova J. Possibilities of nanotechnology in concrete: The II International Conference «Nanotechnology for green and sustainable construction», Cairo (Egypt), 2010. Pp. 8–15.
3. Yakovlev G.I., Kerene J., Maeva I.S., Khazeev D.R., Pudov I.A. Influence of the dispersions of multilayer carbon nanotubes on the structure of silicate gas concrete of autoclave hardening // Intellectual systems in manufacturing. 2012. №2. / Nanotechnologies. Pp. 180–186.
4. Gordina A. F., Tokarev Yu.V., Maeva I.S., Keriene Ya. Gypsum compositions with ultra- and nanodispersed modifiers: The Fourth International Conference «Nanotechnology for green and sustainable construction», Cairo (Egypt), 2012. Pp. 15–21.
5. Yakovlev G.I. Structural organization of interface layers during the creation of crystalline hydrate composite materials: Thesis of the Doctor of Technical Science. Perm: Perm State Technical University, 2004. 350 p.
6. Bobryshev A.N., Kozomazov V.N., Avdееv R.I., Solomатов V.I. Synergetics of disperse-filled composites. M.: Center of Computer Technologies, 1999. 252 p.

М.С. ГАРКАВИ, д-р техн. наук, С.А. НЕКРАСОВА (snek-mgn@mail.ru), инженер,
Е.А. ТРОШКИНА, канд. техн. наук, Магнитогорский государственный
технический университет

M.S. GARKAVI, Doctor of Technical Sciences; S.A. NEKRASOVA, engineer; E.A. TROSHKINA,
Candidate of Technical Sciences, Magnitogorsk State Technical University

Кинетика формирования контактов в наномодифицированных гипсовых материалах Kinetics of contact formation in nano-modified gypsum materials

Разнообразная номенклатура гипсовых материалов и изделий позволяет широко использовать их как в новом строительстве, так и при реконструкции и модернизации старых зданий и сооружений.

Свойства материалов определяются их структурой, поэтому за счет ее направленного изменения можно добиться существенного улучшения их физико-механических и эксплуатационных характеристик. Структура искусственного камня образуется при твердении вяжущего вещества, причем в течение этого процесса происходит смена различных структурных состояний. Для них характерно преобладание определенного типа межчастичных контактов, формирование которых составляет сущность процесса структурообразования.

Структурообразование может быть выражено в терминах химических реакций, поэтому представим изменение структурного состояния гипсовой дисперсии в виде следующих квазиреакций:



где A_1 – точечные контакты в исходном вяжущем; A – коагуляционные контакты; B – коагуляционно-конденсационные контакты.

В приведенной системе квазиреакций не рассматривается образование в гипсовой дисперсии конденсационно-кристаллизационных контактов. Это обусловлено отсутствием как термодинамических, так и кинетических условий формирования указанного типа контактов.

Реакция (1) описывает образование истинных коагуляционных контактов при смешении вяжущего вещества с жидкостью затворения. Эта реакция представляет собой обычную реакцию первого порядка, кинетика которой описывается уравнением:

$$A(\tau) = A_{01}[1 - \exp(-k_1\tau)], \quad (4)$$

где A_{01} – концентрация точечных контактов в исходном вяжущем; k_1 – константа скорости реакции.

В пределе число образующихся коагуляционных контактов стремится к величине A_{01} , т. е. идеальная гипсовая дисперсия представляет собой систему, в которой все частицы окружены жидкими оболочками. Эта величина определяется соотношением [1]:

$$A_{01} = \frac{x_o \cdot \gamma_x^2 \cdot s_o^3}{m_x^3}, \quad (5)$$

The diverse range of gypsum materials and products allow to use them widely in new construction and renovation and modernization of old buildings.

The properties of materials are determined by their structure, so the significant improvement of physical-mechanical and operational characteristics of materials can be achieved due to the directional change of their structure. The structure of artificial stone forms during the hardening of the binder, and the change of different structural states takes place during this process. They are characterized by the domination of a particular type of inter-particle contacts, the formation of which is the nature of the process of structure formation.

The structure formation can be expressed in terms of chemical reactions, and therefore the change of the structural state of gypsum dispersion can be represented in the form of the following quasireactions:



where A_1 – the spot contacts in the initial binder; A – coagulation contacts; B – coagulation-condensation contacts.

The formation of condensation-crystallization contacts in gypsum dispersion is not considered in the given system of quasireactions. It is due to the absence of both thermodynamic and kinetic conditions for the formation of this type of contacts.

The reaction (1) describes the formation of true coagulation contacts when the binder is mixed with water. This reaction is the usual first-order reaction, kinetics of which is described by the equation:

$$A(\tau) = A_{01}[1 - \exp(-k_1\tau)], \quad (4)$$

where A_{01} – the concentration of spot contacts in the initial binder; k_1 – the constant of reaction rate.

The number of forming coagulation contacts tends to the value A_{01} , i.e., the ideal gypsum dispersion is a system, in which all the particles are surrounded by liquid shells. This value is determined by the equation [1]:

$$A_{01} = \frac{x_o \cdot \gamma_x^2 \cdot s_o^3}{m_x^3}, \quad (5)$$

where x_o – the consumption of binder per unit volume of dispersion; s_o – the specific surface of binder; γ_x – the den-

где x_0 – расход вяжущего на единицу объема дисперсии; s_0 – удельная поверхность вяжущего; γ_x – плотность частиц вяжущего; $m_x = 6-10$ – коэффициент конфигурации частиц.

Очевидно, что при введении в гипсовую дисперсию наноразмерных частиц значение A_{01} возрастает вследствие повышенной удельной поверхности этих частиц, что закономерно отражается на кинетике образования коагуляционных контактов (рис. 1).

Превращение коагуляционных контактов в промежуточные коагуляционно-конденсационные контакты по реакции (2) связано с увеличением в системе количества твердой фазы и соответствующего изменения соотношения твердое/жидкое (Т/Ж). Это превращение можно рассматривать как образование псевдоконденсационной структуры, контакты в которой при оводнении могут разрушаться, поэтому в реакции (2) предельно обратимое ее развитие. Кинетика образования коагуляционно-конденсационных контактов по реакции (2) описывается уравнением:

$$B(\tau) = \frac{k_2(A_0 + B_0)}{k_2 + k_3} \cdot \{1 - \exp(-(k_2 + k_3)\tau)\}, \quad (6)$$

где A_0 и B_0 – исходные концентрации коагуляционных и коагуляционно-конденсационных контактов соответственно; k_2 и k_3 – константы скорости прямой и обратной реакций.

Согласно уравнению (6) предел, к которому стремится число коагуляционно-конденсационных контактов, зависит от соотношения констант скоростей прямой и обратной реакций. Если же обратная реакция отсутствует, что соответствует закрытой системе, которая не взаимодействует с окружающей средой, то данное уравнение превращается в уравнение, аналогичное (4).

Возникшие по реакции (2) коагуляционно-конденсационные контакты стимулируют свое «размножение» вследствие взаимодействия с имеющимися коагуляционными контактами и их уничтожения. Этот процесс описывается автокаталитической реакцией (3), т. е. в вяжущей системе реализуется механизм положительной обратной связи. Формирование коагуляционно-конденсационных контактов связано с возникновением в вяжущей системе контактных зародышей, образование которых стимулируется наличием в системе наноразмерных частиц [2, 3]. Следует отметить, что наибольший эффект достигается при использовании наноразмерных частиц, обладающих кристаллохимическим подобием гипсовой матрице (природные гидросиликаты магнезия, известняка, доломит и т. п.).

Кинетика образования коагуляционно-конденсационных контактов по реакции (3) описывается уравнением:

$$B(\tau) = \frac{B_0(A_0 + B_0)}{B_0 + A_0 \cdot \exp[-(A_0 + B_0)k_4\tau]}, \quad (7)$$

где k_4 – константа скорости реакции.

Как показано в [4], присутствие в гипсовой дисперсии природного гидросиликата магнезия (хризотила) приводит к значительному увеличению в системе числа контактных зародышей. Это закономерно сопровождается как возрастанием исходной численности коагуляционных контактов A_0 , так и константы скорости процесса k_4 . Увеличение последней обусловлено возрастанием КПД превращения активных поверхностных центров в контактные зародыши. Все это отражается на кинетике автокаталитического образования коагуляционно-конденсационных контактов в соответствии с уравнением (8) (рис. 2).

Образование этой структуры связано с фиксацией частиц твердой фазы в положении ближней и дальней

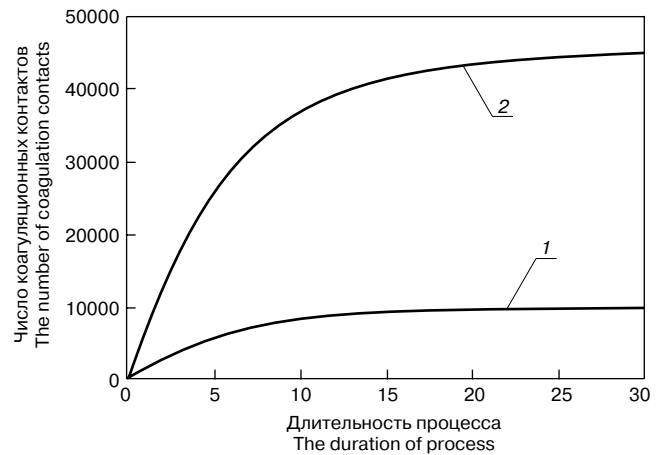


Рис. 1. Кинетика образования коагуляционных контактов: 1 – исходная гипсовая дисперсия; 2 – гипсовая дисперсия с наноразмерными частицами

Fig. 1. Kinetics of formation of coagulation contacts: 1 – the initial gypsum dispersion, 2 – gypsum dispersion with nano-sized particles

связи с образованием наноразмерных частиц; $m_x = 6-10$ – модуль конфигурации частиц.

It is obviously, that at the introduction of nano-sized particles in gypsum dispersion the A_{01} value increases due to the higher specific surface of these particles, and it naturally has an effect on the kinetics of formation of coagulation contacts (Fig. 1).

The transformation of coagulation contacts into intermediate coagulation-condensation contacts according to the reaction (2) is connected with the increase of solid phase in the system and the corresponding change in the solid-liquid ratio. This transformation can be considered as the formation of pseudo-condensation structure, in which the contacts can be destroyed, so the reversible development of the reaction is taken into account in the reaction (2). Kinetics of formation of coagulation-condensation contacts according to the reaction (2) is described by the equation:

$$B(\tau) = \frac{k_2(A_0 + B_0)}{k_2 + k_3} \cdot \{1 - \exp(-(k_2 + k_3)\tau)\}, \quad (6)$$

where A_0 and B_0 – the initial concentrations of coagulation and coagulation-condensation contacts correspondingly; k_2 and k_3 – the constants of direct and reverse reactions rates.

According to the equation (6), the limit of the number of coagulation-condensation contacts depends on the correlation of the constants of the direct and reverse reactions rates. If there is no reverse reaction, which corresponds to a closed system (the system which does not interact with the environment), the given equation becomes similar to the equation (4).

The formed according to the reaction (2) coagulation-condensation contacts stimulate their «reproduction» as a result of interaction with the available coagulation contacts and their destruction. This process is described by the autocatalytic reaction (3), i.e. the positive feedback mechanism is realized in the binding system. The formation of coagulation-condensation contacts is connected with the initiation of contact seeds in the binding system, the formation of which is stimulated by the presence of nano-sized particles in the system [2, 3]. It should be noted that the greatest effect is achieved by the use of nano-sized particles, which have crystal-chemical similarity with gypsum matrix (natural hydrosilicates of magnesium, limestone, dolomite, etc.).

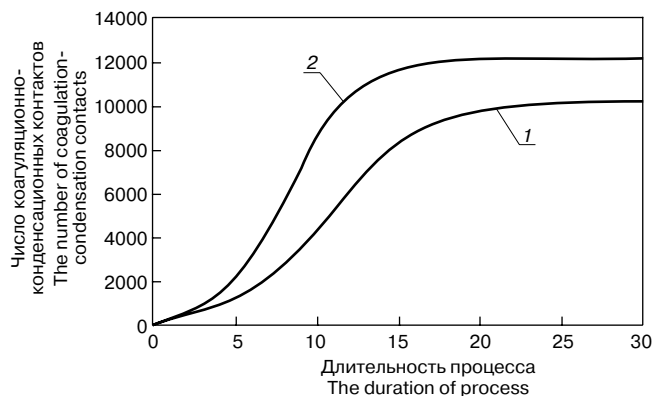


Рис. 2. Кинетика образования коагуляционно-конденсационных контактов: 1 – исходная гипсовая дисперсия; 2 – гипсовая дисперсия с наноразмерными частицами

Fig. 2. Kinetics of formation of coagulation-condensation contacts: 1 – the initial gypsum dispersion, 2 – gypsum dispersion with nano-sized particles

коагуляции [1]. При полной гидратации гипсового вяжущего в тесте нормальной густоты в соответствии со стехиометрией реакции гидратации в единице объема гипсового камня содержится около 41% физически связанной воды. Эта вода образует оболочки вокруг частиц твердой фазы, которые можно считать равномерными с толщиной около $1,3 \cdot 10^{-8}$ м, что соответствует фиксации частиц двуводрата сульфата кальция в положении дальней коагуляции. Если в гипсовой дисперсии присутствуют частицы с характерным размером 100 нм, то расстояние между ними уменьшается на порядок и более, что соответствует фиксации частиц на расстоянии ближней коагуляции.

В результате этого происходит возрастание силы сцепления между частицами в контакте, что сопровождается и ростом его прочности, а также увеличением физико-механических характеристик гипсового камня [4].

Полученные результаты хорошо согласуются с данными численного моделирования формирования контактов из контактных зародышей, возникающих на активных поверхностных центрах [2, 4].

Проведенный анализ кинетики формирования межчастичных контактов показал, что введение наноразмерных компонентов в гипсовую дисперсию является действенным средством управления ее структурообразованием.

Ключевые слова: кинетика, контакт, наноразмерный компонент, гипсовая дисперсия.

Список литературы

1. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ. М.: Стройиздат, 1966. 208 с.
2. Гаркави М.С., Некрасова С.А., Панферова А.Ю. Влияние искусственного старения на формирование структуры гипсового камня // Строительные материалы. 2012. № 7. С. 24–25.
3. Чернышов Е.М. Нанотехнологические исследования строительных композитов: общие суждения, основные направления и результаты // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 29.04.2009. URL: nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_1_2009.pdf (дата обращения 15.11.2009).
4. Гаркави М.С., Панферова А.Ю., Некрасова С.А., Михайлова К.А. Формирование структуры наномодифицированного гипсополимерного материала // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: материалы VI междунар. науч.-практич. конф., Пермь, 5–8 сент. 2012 г. Пермь, 2012. С. 30–35.

Kinetics of formation of coagulation-condensation contacts according to the reaction (3) is described by the equation:

$$B(\tau) = \frac{B_0(A_0 + B_0)}{B_0 + A_0 \cdot \exp[-(A_0 + B_0)k_4\tau]}, \quad (7)$$

where k_4 – the constant of reaction rate.

As shown in the work [4], the presence of natural magnesium hydrosilicate (chrysotile) in gypsum dispersion results in the significant increase of the number of contact seeds in the system. It is accompanied by the increase of the initial number of coagulation contacts A_0 and of the constant of reaction rate k_4 . The increase of the constant of reaction rate is a result of the increase of efficiency of transforming of active surface centers into the contact seeds. It has an affect on the kinetics of the autocatalytic formation of coagulation-condensation contacts in accordance with the equation (8) (Fig. 2).

The formation of this structure is connected with the fixation of particles of solid phase in the position of the near and far coagulation [1]. When the hydration of gypsum binder of normal consistency is complete, the gypsum stone contains about 41% of physically-bounded water per unit volume in accordance with the stoichiometry of the hydration reaction. Water forms the shells around the solid particles. These shells can be considered uniform with the thickness of about $1,3 \cdot 10^{-8}$ m. It corresponds to the fixation of the particles of two-hydrate of calcium sulfate in the position of far coagulation. If there are particles with a typical size of 100 nm in gypsum dispersion, the distance between them is reduced by an order or more, and it corresponds to the fixation of the particles in the position of near coagulation.

As a result, there is the increase of adhesive strength between the particles in the contact, and it is accompanied by the increase of its strength, and the increase of physical and mechanical properties of gypsum stone [4].

The received results are in good agreement with the data of numerical modeling of the process of formation of contacts from the contact seeds, generated on the active surface centers [2, 4].

The analysis of kinetics of formation of inter-particle contacts has shown that the introduction of nano-sized components in gypsum dispersion is the effective method of regulation of its structure formation.

Keywords: kinetics, contact, nano-sized component, gypsum dispersion.

References

1. Polak A.F. The hardening of monomineral binders. Moscow: Stroyizdat, 1966. 208 p.
2. Garkavi M.S., Nekrasova S.A., Panferova A.Yu. The influence of accelerated aging on the formation of the structure of gypsum stone // (2012), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (7), Pp. 24–25.
3. Chernyshov E.M. Nanotechnology researches of building composites: general observations, the main directions and results // Nanotechnology in Construction: Research online magazine. 2009. № 1. Pp. 45–58.
4. Garkavi M.S., Panferova A.Yu., Nekrasova S.A., Mikhailova K.A. The structure formation of nanomodified gypsum polymeric materials // Proceedings of the 6 international scientific-practical conference «The increase of efficiency of the production and application of gypsum materials and products.» Perm, 2012. Pp. 30–35.

А.В. ШАЙБАДУЛЛИНА (arina_pislegina@mail.ru), магистр,
Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, В.С. БУРДИН, бакалавр,
Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
A.V. SHAIBADULLINA, master, G.I. YAKOVLEV, Doctor of Technical Sciences,
V.S. BURDIN, bachelor, Izhevsk State Technical University after M.T. Kalashnikov

Отделочная фасадная композиция, модифицированная углеродными нанотрубками, для защиты от электромагнитных полей

Research of the electromagnetic absorption of finish facade composition modified with carbon nanotubes

В настоящее время активное использование электромагнитных полей, связанное с развитием радиосвязи, телевидения, мобильной связи, радиолокации, приводит к появлению дополнительного электромагнитного фона. Сложная электромагнитная обстановка складывается в крупных городах, где источниками электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона являются радиочастотные центры связи, вещания, телевидения, радиолокационные станции, средства сухопутной подвижной радиосвязи и другие источники [1].

Основным методом защиты человека от электромагнитного излучения является экранирование. Экранирование также является основным методом защиты в различных областях техники [2].

При разработке конструкций экранов, поглощающих электромагнитные волны (ЭМВ), используются различные материалы, обладающие способностью отражать или поглощать электромагнитные излучения (ЭМИ) в определенном диапазоне частот. Следует отметить, что в природе не существует ни идеально отражающих, ни идеально поглощающих электромагнитную энергию материалов, поэтому подавление ЭМИ чаще всего обеспечивается за счет обоих процессов.

Одним из актуальных направлений является создание отделочных составов на основе силикатной матрицы, модифицированной углеродными наносистемами.

Для приготовления отделочных составов использовали в качестве связующего жидкое натриевое стекло (модуль 2,7–2,9; средняя плотность 1,45 г/см³). Учитывая его недостатки как связующего, в состав композиций вводили в качестве отвердителя белый портландцемент, способный нивелировать эти недостатки. Для предотвращения мгновенного твердения системы вводили замедлитель, который способен временно нейтрализовать действие портландцемента за счет образования труднорастворимой пленки на поверхности его частиц. Для улучшения физико-технических характеристик силикатного покрытия и одновременно для повышения плотности структуры использовали тонкомо-

Nowadays, the active use of electromagnetic fields connected with the development of radio, television, mobile communication, and radiolocation leads to creating an additional electromagnetic background. Complex electromagnetic environment is formed in large cities, where the sources of electromagnetic fields (EMF) of radio frequency band are radio centers of communication, broadcasting, television, radar stations, means of land mobile radio and other sources [1].

The main method of human protection from electromagnetic radiation is shielding. Shielding is also the main method of protection in various fields of technology [2].

In the design of shields absorbing electromagnetic waves (EMW) various materials are used that have the ability to reflect or absorb electromagnetic radiation (EMR) in a certain range of frequencies. It should be noted that naturally there are no materials perfectly reflecting or perfectly absorbing electromagnetic energy, so EMR suppression is often achieved due to both processes.

One of the important trends is creating finishing compositions based on silicate matrix modified with carbon nanosystems.

While preparing the finishing compositions liquid sodium glass was used as a binder (module 2.7–2.9, average density of 1.45 g/cm³). Its disadvantages as a binder being taken into consideration, and white Portland cement was added in the composition as a hardener which can neutralize these disadvantages. To prevent instant curing of the system an inhibitor was added which can temporarily neutralize the effect of Portland cement by forming hardly soluble film on the surface of its particles. To improve the physical and technical characteristics of the silicate coating and at the same time to increase the density of the structure limestone powder with the particles of a diameter of 45 microns was used. Multi-walled carbon nanostructures (carbon nanotubes) Graphistrength™ by Arkema company, France were used for the structure forming of the finishing silicate composition and the shielding effect.

The shielding properties of the composition were examined with the measuring equipment with a generator of ultra-

лотый известняк с диаметром частиц 45 мкм. Для структурообразования отделочной силикатной композиции и создания экранирующего эффекта использовали многослойные углеродные наноструктуры (УНТ) Graphistrength™ фирмы Arkema, Франция.

Экранирующие свойства композиции исследовали с помощью измерительной установки с генератором излучения сверхвысокой частоты (СВЧ) на частоте 1 ГГц. Для проведения эксперимента была выбрана зигзагообразная антенна.

В экспериментах использовали метод прошедшего радиоволнового излучения, основанный на регистрации параметров прошедшей волны. Объект контроля и генерирующая антенна располагались неподвижно. Детекторная антенна перемещалась на определенном расстоянии от контролируемого объекта. Таким образом, снималась зависимость детектируемого напряжения от расстояния до контролируемого объекта. По значению напряжений детектора по тарировочным данным строили зависимость напряженности электромагнитного поля от расстояния до контролируемого объекта.

В силикатной краске, модифицированной многослойными углеродными нанотрубками, определяли зависимость эффективной поглощающей способности от концентрации УНТ. В серии образцов распределение УНТ в объеме было равномерным, а ориентация их случайной. Такие образцы можно считать однородными и изотропными при измерениях в сантиметровом диапазоне длин волн. Концентрация УНТ в образцах варьировалась от 0 до 3 мас. % [3].

Удельное сопротивление силикатного покрытия, модифицированного УНТ, уменьшается возрастанием концентрации углеродных нанотрубок (рис. 1). Как видно из рис. 1, при уменьшении удельного сопротивления силикатного покрытия следует ожидать уменьшение отражающей способности покрытия для электромагнитного излучения, что позволит создать экранирующий эффект при нанесении покрытия на защищаемую поверхность.

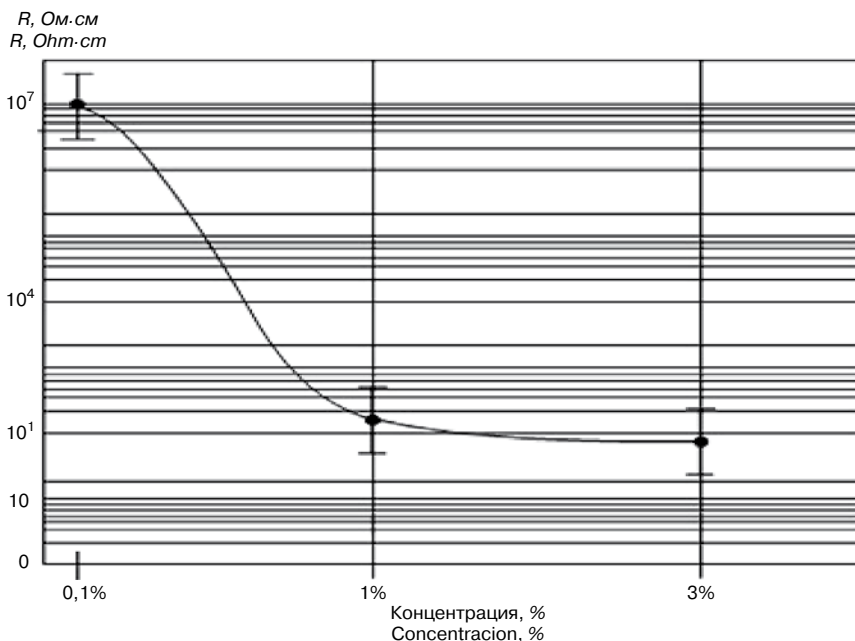


Рис. 1. Зависимость сопротивления от концентрации нанотрубок в составе покрытия
 Fig. 1. Dependence of resistivity on carbon nanotubes concentration in the coating composition

high frequency radiation (UHF) at a frequency of 1 GHz. A zigzag antenna was selected for the experiment.

The method of the transmitted radio wave radiation based on registering the parameters of the transmitted wave was applied in the experiments. The tested object and the generating antenna were fixed. The detector antenna was moving over a certain distance from the tested object. Thus, the dependence of the detected voltage on the distance over the tested object was read. Basing on the values of the detector and calibration data, the intensity dependence of the electromagnetic field on the distance over the tested object was constructed.

In the silicate paint modified with multi-walled carbon nanotubes the dependence of the effective absorption capacity on the concentration of CNTs was determined. In a series of samples the CNTs distribution in the volume was uniform, and their orientation was random. Such samples can be considered as homogeneous and isotropic, being measured at the centimeter range of wavelengths. The CNT concentration in the samples ranged from 0 to 3% from the mass [3].

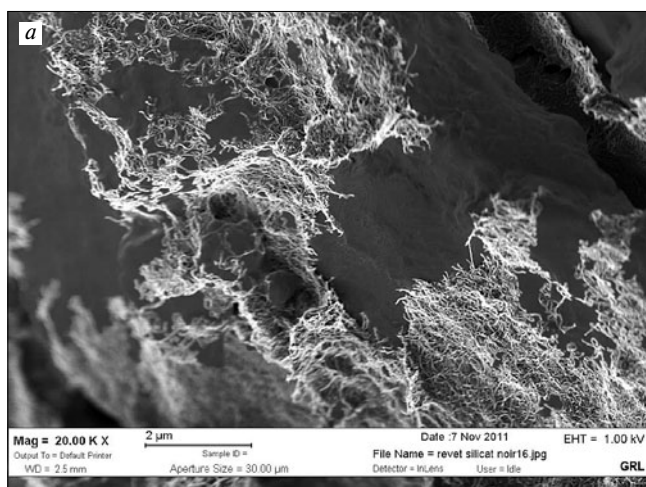
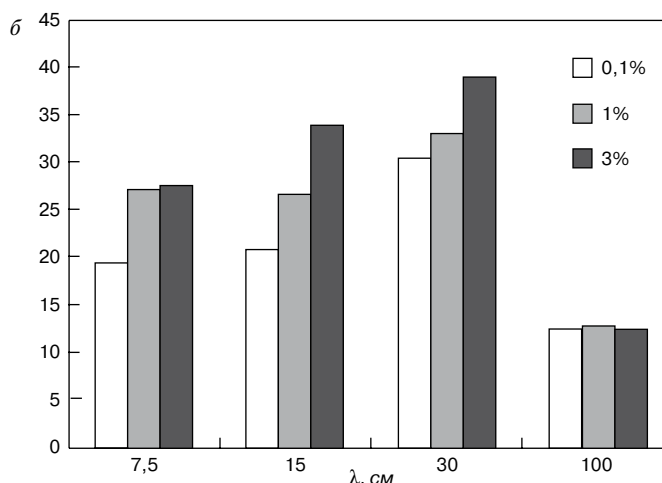


Рис. 2. Микроструктура скола модифицированного силикатного покрытия (а); зависимость поглощения электромагнитного излучения от содержания углеродных нанотрубок (б)

Fig. 2. Microstructure of spall of the modified silicate coating (a), dependence of electromagnetic radiation absorption on the content of carbon nanotubes (b)



Поглощение электромагнитного излучения подтверждается структурой модифицированного силикатного покрытия. Проведенные физико-химические исследования с использованием ИК-спектрального анализа, ДТА [4] и растровой электронной микроскопии показали существенное изменение структуры и состава композиции при модификации ее углеродными нанотрубками (рис. 2, а).

Экранирующие свойства УНТ обеспечиваются их хорошей проводимостью. Модификация силикатного покрытия дисперсией углеродных нанотрубок приводит к поглощению электромагнитного излучения до 38% [5]. Эффективная поглощающая способность увеличивается с ростом концентрации проводящего нанодисперсного наполнителя (рис. 2, б).

Результаты исследований могут быть использованы при создании высокоэффективных слабоотражающих радиопоглощающих покрытий, снижающих общий уровень электромагнитного излучения.

Введение в силикатную композицию нанодисперсных структур типа углеродных многослойных нанотрубок позволяет стимулировать структурообразование композиций и улучшать ее физико-технические свойства. Физико-химические исследования структуры модифицированного силикатного покрытия показали возможность регулирования морфологии кристаллогидратных фаз и увеличения контактной поверхности между ними за счет формирования структуры повышенной прочности и водостойкости.

Добавление в состав композиционного материала углеродных наносистем одновременно приводит к росту значений поглощения с повышением количества вводимых нанотрубок. Введение в состав композиционного материала углеродных нанотрубок приводит к увеличению значения поглощения на 31% при добавке УНТ в виде суспензий в количестве 0,1% массы и на 38% при добавке УНТ в виде суспензий в количестве 3 мас. %.

Ключевые слова: многослойные углеродные нанотрубки, жидкое стекло, портландцемент, модифицирование, экранирование, электромагнитное излучение.

Список литературы

1. Козловский В.В., Софиенко И.И. Экранирующие свойства современных материалов // Вісник ДУІКТ. 2009. № 7 (3). С. 233–245.
2. Барсуков В.С. Персональная энергозащита. Средства защиты от вредных излучений и не только. М.: Амрита-Русь, 2004. 325 с.
3. Бурдин В.С., Шайбадуллина А.В., Яковлев Г.И. Отделочная фасадная композиция с эффектом поглощения электромагнитных волн // Строительная наука и производство глазами молодых: Материалы научно-технической конференции молодых ученых инженерно-строительного факультета. Ижевск, 21–22 февраля 2012. Ижевск, 2012. С. 301–305.
4. Пислегина А.В., Яковлев Г.И., Пустовгар А.П., Мостафа К. Модифицированное фасадное покрытие на основе жидкого стекла: Сб. трудов II междунар. конф. «Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства»: Каир, Египет, 14–17 марта 2010. Ижевск, 2010. С. 39–45.
5. Shaybadullina A.V., Yakovlev G.I., Fisher H.-B., Buryanov A.F. The role of carbon nanotubes in formation of silicate surface microstructure: Proceed. of the III International conf. «Nanotechnology for eco-friendly and durable construction», Cairo, 2011.

The specific resistance of the silicate coating modified with CNTs decreases with the increase of carbon nanotubes concentration (Fig. 1). As Fig. 1 shows, a decrease in the specific resistance of the silicate coating should be expected to be accompanied with a decrease of the reflectivity of the coating for the electromagnetic radiation which will create a shielding effect while applying the coating on the protected surface.

The absorption of electromagnetic radiation is confirmed with the structure of the modified silicate coating. The conducted physical and chemical studies using infrared spectral analysis, differential thermal analysis [4] and scanning electron microscopy have showed a significant change in the structure of the composition modified with carbon nanotubes (Fig. 2, a).

The shielding properties of CNTs are due to their good conductivity. Modification of the silicate coating with carbon nanotubes dispersion leads to the absorption of electromagnetic radiation up to 38% [5]. The effective absorption capacity increases with the concentration of the conducting nanosized filler (Fig. 2, b).

The research results can be used to create high-efficient low-reflective radio absorbing coatings that reduce the overall level of the electromagnetic radiation.

Adding nanosized structures like carbon multi-walled nanotubes to the silicate composition can induce composition structure forming and improve its physical and technical properties. Physical and chemical studies of the structure of the modified silicate coating have shown the possibility of regulating the morphology of crystalline hydrate phases and increase of the contact area between them due to forming the structure of the increased strength and water resistance.

Adding carbon nanosystems to the composite material increases the absorbance values with an increase of the amount of added nanotubes. Adding carbon nanotubes to the composite material increases the absorption value by 31% with the addition of CNTs in the form of a suspension in the amount of 0,1% from the weight and 38% with the addition of CNTs in the form of a suspension in the amount of 3% from the weight.

Keywords: multi-walled carbon nanotubes, liquid glass, Portland cement, modifying, shielding, electromagnetic radiation.

Reference

1. V.V. Kozlovskiy, I.I. Sofienko. Shielding properties of modern materials. // Visnik of DUIKT. 2009. № 7 (3). Pp. 233–245.
2. V.S. Barsukov. Individual power protection. Means of protection from harmful radiation and not only. M.: Amrita-Rus, 2004. 325 p.
3. V.S. Burdin, A.V. Shaibadullina, G.I. Yakovlev. Finishing façade composition with the effect of absorbing electromagnetic waves. // “Construction science and manufacture seen by youth”: Proceedings of scientific and technical conference of young scientists of Construction Engineering faculty, Izhevsk, February 21–22, 2012. — Izhevsk: ISTU publishing house, 2012. Pp. 301–305.
4. A.V. Pislegina, G.I. Yakovlev, A.P. Pustovgar, K. Mustafa. Modified façade coating based on liquid glass // Proceeding of II International conference “Nanotechnology for eco-friendly and durable construction”: Cairo, Egypt, March 14–17 2010. — Izhevsk: ISTU publishing house, 2010. Pp. 39–45.
5. Shaybadullina A.V., Yakovlev G.I., Fisher H.-B., Buryanov A.F. The role of carbon nanotubes in formation of silicate surface microstructure // Proceedings of III International conference “Nanotechnology for eco-friendly and durable construction”, Cairo, 2011.

М. МОРСИ (solidstate_physics@yahoo.com), С.А. ЭЛКОДАРИ, С.С. ШЭБЛ,
Национальный исследовательский центр жилья и строительства (НИЦЖИС) (Каир, Египет)
M. MORSY, S.A. ELKHODARY, S.S. SHEBL, Housing & Building National Research Center,
(Cairo, Egypt)

Свойства термостойких углеродных нанотрубок, полученных методом электродугового синтеза (МЭДС)

Synthesis and Characterization of Thermally Stable Carbon Nano-Tubes using ARC-Discharge Technique

С момента открытия углеродных нанотрубок (УНТ) Сумио Ииджимой [1, 2], многие ученые занимались вопросами синтеза УНТ и исследованием их свойств. УНТ были впервые получены в качестве побочного продукта при синтезе фуллеренов электродуговым методом. В настоящее время УНТ производят различными способами, включая химическое осаждение из газовой фазы, лазерную абляцию и электродуговой метод [2, 3]. Были предприняты попытки поиска и других возможностей для синтеза УНТ, но они не получили достаточного распространения.

Электродуговой метод, как правило, предполагает использование двух встроенных графитовых электродов высокой чистоты. Электроды при подключении к ним электрического тока мгновенно вступают в контакт с образованием дуги [3]. Как правило, анод – длинный стержень около 6 мм в диаметре, в то время как катод – стержень намного короче диаметром 9 мм. Эффективность водяного охлаждения катода имеет важное значение в производстве УНТ хорошего качества. Анод также часто охлаждают.

Положение анода должно быть регулируемым внешне, так чтобы постоянный зазор между электродами поддерживался в течение всего процесса. Обычно используется стабилизированный источник питания постоянного тока и разряд, как правило, проводят при напряжении 20 В. Сила тока зависит от диаметра стержней и расстояния между ними и находится в диапазоне 20–100 А. Очень большой ток приводит к спеканию материала с образованием малого количества свободных УНТ. Таким образом, ток должен быть настолько низким, насколько это возможно, для поддержания стабильности плазмы. Эффективное охлаждение электродов и камеры также позволяет избежать спекания. Если МЭДС был проведен правильно, на катоде должно появиться однородное отложение. Некоторые указания на качество продукта можно получить путем простого физического осмотра произведенных УНТ. Плохо синтезированный образец имеет рыхлую текстуру, в то время как образец хорошего качества имеет пластинчатую структуру с серым металлическим блеском [1, 4].

МЭДС в воде является простым и экономичным, поскольку не требует вакуумных устройств.

Introduction

Since the discovery of CNTs by Iijima [1, 2], many researchers have been attracted to this material and a large number of studies have been piled up. CNTs was first synthesized as a by-product in arc-discharge (ARCD) method in synthesis of fullerenes and are currently being prepared by different methods including chemical vapor deposition (CVD), laser ablation (LA) and ARCD [2, 3]. Some efforts were also made to look for other possibilities to grow CNTs but they had less success.

The ARCD technique generally involves the use of two high-purity graphite electrodes inline. The electrodes are momentarily brought into contact and an arc is struck [3]. Typically, the anode is the longer rod with approximately 6 mm in diameter while the cathode is the much shorter rod with 9 mm in diameter. Efficient water-cooling of the cathode is essential in producing good quality CNTs, and the anode is also frequently cooled. The position of the anode should be adjustable from outside the chamber, so that a constant gap can be maintained during arcing process. A voltage-stabilized DC power supply is normally used, and discharge is typically carried out at a voltage of 20 V. The current depends on the diameter of the rods and their separation, but is usually in the range of 20–100 Amp. Very high current will result in a hard, sintered material with few free CNTs. Therefore, the current should be kept as low as possible, consistent with maintaining stable plasma. Efficient cooling of the electrodes and the chamber has also been shown to be essential in producing good quality CNTs and avoiding excessive sintering. If ARCD has been carried out correctly, a cylindrical and homogenous deposit should form on the cathode. Some indication of the quality of the product is gained by a simple physical examination of the produced CNTs. A poor produced sample that containing few CNTs will generally have a powdery texture, while good quality material can be smeared to produce sheet-like flakes with a grey metallic luster [1, 4].

ARCD in water is particularly simple and cost-effective because it does not require vacuum devices. So, our current research is aimed to develop an ARCD technique to synthesis of thermally stable CNTs. Characterization of the modified product is also focused. As the current research is extracted from an expanded research project at housing and building national research center HBRC which represents in three

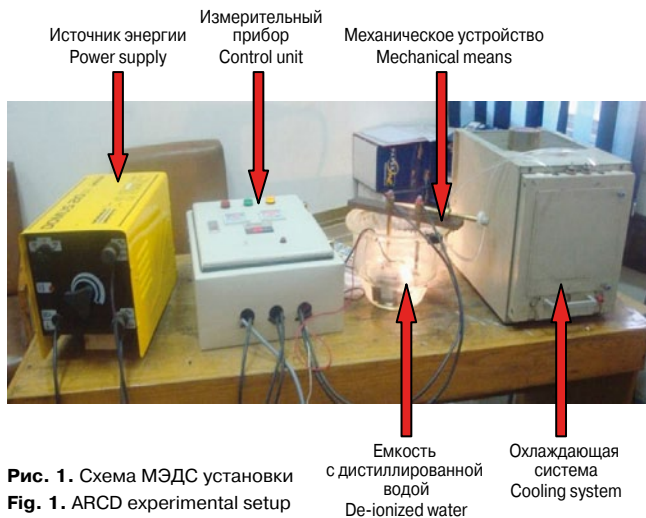


Рис. 1. Схема МЭДС установки
Fig. 1. ARCD experimental setup

Экспериментальные работы

На рис. 1 показан экспериментальный МЭДС аппарат, который разработан и изготовлен в лаборатории НИЦЖИС. Он состоит из стабилизатора постоянного напряжения с источником питания (22 В), поддерживающего токи до 160 А, системы охлаждения, состоящей из циркуляционного насоса и холодильника. Механические средства используются для регулировки зазора между графитовыми электродами так, чтобы поддерживалась дуга в реакционной камере, содержащей дистиллированную воду.

1000 мл дистиллированной воды наливают в эксикатор, который снабжен системой охлаждения (циркуляционный насос и холодильник). Два графитовых стержня диаметром 6 и 9 мм (анод и катод соответственно) погружают в дистиллированную воду, а затем подключают к источнику питания постоянного тока. Зазор между графитовыми электродами 1–2 мм. После разряда на поверхности катода оседает плотная черная масса, а жидкость в эксикаторе окрашивается в черный цвет.

Продукты реакции были отфильтрованы с помощью системы вакуумной фильтрации. Отфильтрованные продукты сушили при 100°C в течение 10 ч.

Отфильтрованные и очищенные продукты были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM Philips inspect-s FEI Company) и дифференциального сканирующего калориметра (DSC Shimadzu-50).

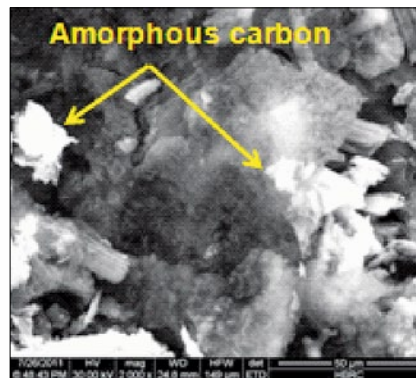
Сочетание физических и химических методов было применено для получения УНТ, чтобы стенки и длина трубок остались неизменными.

Суть метода очистки состоит в удалении фуллеренов и растворимых примесей, затем жидкофазного окисле-



Рис. 2. Обработанный толуолом образец УНТ

Fig. 2. SEM photomicrograph of toluene treated CNTs sample



over night at 100°C. Suspension of the CNTs in water to use it directly in mixing the cement mortar was finally tried as one of the main target in this study.

Results

Fig. 2 illustrates the SEM micrograph for the toluene treated CNTs sample. It can be seen that the appearance of loose curly CNTs together with some amorphous-like particles. These nanotubes seemingly have a broad length distribution. In addition to the bundle of CNTs, the white spot, carbonaceous particles, mainly amorphous carbons, are shown in the toluene treated CNTs sample.

Fig. 3. shows the DSC thermo-gram of the as grown and purified CNTs sam-

previous reports, it was exploring the effect of CNTs as additives to Portland cement pastes with different ratios.

Experimental work

Fig. 1 shows a photographic picture of the experimental ARCD apparatus which completely designed and fabricated at HBRC lab. The system is basically consists of four main parts, voltage stabilized DC power supply (22 V) generate currents up to 160 Amp, cooling system consisting of circulating pump and refrigerator, mechanical means used to adjust distance between two graphite electrodes such that arcing is initiated and reacting chamber containing deionized water.

A 1000 mL of deionized water was poured in a glass desiccator, which was cooled in cooling system (circulating pump and refrigerator). Two graphite rods of 6 and 9 mm in diameter (anode and cathode respectively) were submerged in the deionized water and then connected to DC power supply. The gap between the graphite electrodes was kept at 1–2 mm (this is the optimum distance to generate plasma), and we maintained this gap constant manually via mechanical means. Immediately after ARCD process, carbon soot was deposited on the surface of the cathode electrode, and thus the liquid in the desiccator turns into black.

The products in the desiccator were filtered using a vacuum filtration system. The filtered products then dried at 100°C over night.

The filtered residues were characterized by scanning electron microscope (SEM Philips inspect-s FEI Company) and differential scanning calorimetry (shimadzu DSC-50).

A combination of physical and chemical methods was applied to as grown CNTs powder to allow the wall and length of tubes intact.

The method consists initially of the removal of fullerenes and soluble impurities, followed by liquid-phase oxidation of amorphous carbon. Then, an acid treatment to remove the unprotected metallic particles was finally occurred. This method is very interesting because it allows for the selective extraction of impurities from CNTs samples without causing damage to the tube walls.

In order to purify the as grown sample of CNTs; a 500 mg of untreated as-synthesized raw sample was added to 50 mL of toluene, the solution was steered at room temperature at low steering rate for 2 hrs, then filtered and dried at 100°C over night. Toluene was used to remove only hydrophobic graphite nano-particles, small polyaromatic carbon chains and fullerenes in the raw sample [5, 8]. A 400 mg of the toluene treated sample was dissolved in 30% hydrogen peroxide and steered at room temperature for a long time, filtered, washed several times with deionized water and dried over night at 100°C. Finally 400 mg of hydrogen peroxide treated sample was dissolved in concentrated H₂NO₃ to remove unprotected metallic particles and steered for 0.5 hr and finally filtered, washed several times with deionized water and dried

ния аморфного углерода перекисью водорода и, наконец, обработке азотной кислотой. Этот метод интересен тем, что позволяет производить селективное извлечение примесей из образцов УНТ без повреждения стенок трубок.

Для очистки УНТ в 500 мг необработанного синтезированного исходного образца было добавлено 50 мл толуола, раствор перемешивали при комнатной температуре около 2 ч. Затем его фильтруют и сушат 10 ч при 100°C. Толуол используется только для удаления гидрофобных графитовых наночастиц, полиароматических цепей углерода и фуллеренов в сыром образце [5, 8]. 400 мг образца, обработанного толуолом, растворяют в 30% перекиси водорода и оставляют при комнатной температуре в течение длительного времени, фильтруют, промывают несколько раз дистиллированной водой и сушат в течение 10 ч при 100°C. Для удаления ионов металлов полученный образец помещают в концентрированную H₂NO₃ и оставляют на 30 мин. И наконец, фильтруют, промывают несколько раз, дистиллированной воде и сушат в течение 10 ч при 100°C. Суспензия УНТ в воде используется для приготовления цементного раствора.

Результаты

На рис. 2 показан образец УНТ, обработанный толуолом. Можно увидеть появление свободной УНТ вместе с аморфоподобными частицами. Полученные нанотрубки имеют широкий диапазон длины. Наряду с пучками УНТ в образце присутствуют углеродные частицы, в основном аморфного углерода.

Неочищенный образец был исследован с помощью shimadzu DSC-50 анализатора при температуре от 20 до 700°C в атмосфере воздуха (рис. 3). Два пика определяют рост УНТ; первый пик находится в 562,7°C и может быть отнесен к уменьшению стабильности аморфного углерода, во время как второй пик появляется при 645,8°C, что объясняется появлением УНТ.

Для сравнения, очищенный УНТ образец показал только один пик при 634,2°C. Увеличение температуры происходит из-за устранения аморфного углерода и функциональных групп на очищенную УНТ. Синтезированный образец УНТ имеет более высокую термическую стабильность, чем полученный Леоном Д. Пересом и соавторами [6].

После очистки были получены УНТ высокой чистоты, как показано на рис. 4.

Считается, что термическая стабильность УНТ зависит от дефектов на боковых стенках и примесей в образце. С уменьшением количества примесей повышается качество УНТ, что способствует высокой термической стабильности [4, 7].

УНТ не образует суспензий в чистой воде и органических растворителях. Поэтому важно найти способ получения однородной и стабильной суспензии УНТ в воде. С этой целью добавляют поверхностно-активное вещество и используют ультразвук. Молекулы ПАВ имеют хвост из 12 атомов углерода, прикрепленных к сульфатной группе, придавая молекулам свойства, необходимые для моющего средства. Полярный конец притягивается к молекулам воды, а неполярный конец отталкивается. При наличии УНТ этот продукт придает стенке трубы гидрофобные свойства, что позволяет избежать контакта между ними и получить суспензию УНТ в воде [9, 10].

Ультразвук необходим как источник внешней энергии, которая помогает частицам преодолеть силы

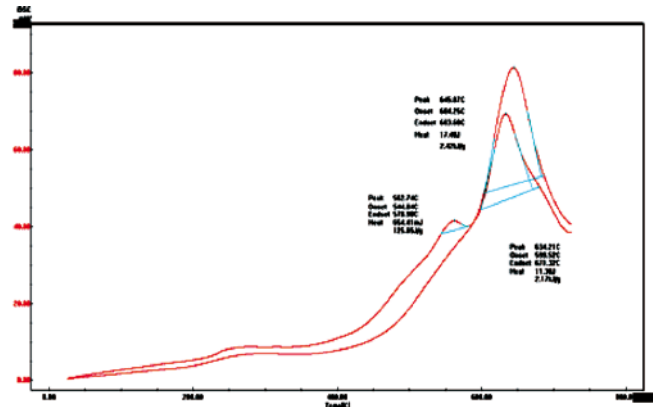


Рис. 3. DSC термограмма роста и очистки образца УНТ
Fig. 3. Thermogram of as grown and purified CNT sample

ple. A 4.7 mg of purified sample were measured using shimadzu DSC-50 analyzer from room temperature up to 700°C under air atmosphere. Two peaks can be identified for the as grown CNTs sample, the first DSC peak located at 562.7°C may be attributed to the degradation of less stable amorphous carbon, while the second peak appearing at 645.8°C which is attributed to CNTs themselves.

In contrast, the purified CNTs sample showed only a single peak at 634.2°C. The increasing in the degradation temperature is due to the elimination of amorphous carbon and functional groups on the purified CNTs. The location of the second peak is high compared to that obtained by Leon D. Perez [6] which was about 572.5°C So, this means that the synthesized CNTs sample has higher thermal stability than that prepared by Leon D. Perez et al.

After purification process amorphous carbon and other unwanted species were removed and high purity sample of CNT were obtained as shown in Fig. 4. It is believed that the thermal stability of CNTs depends on the defects on the side walls and impurities in the sample. With the reduced amount of impurities, the high quality of CNTs with few defects contributes to the high thermal stability [4, 7].

The main target during the manufacturing of the CNTs in this research program is to get a homogenous and stable suspension of the CNTs in water. CNTs are insoluble in water and organic solvents. However, if a surfactant is added, with the use of sonication, a homogeneous and stable suspension can be obtained. A surfactant molecule has a tail of 12 carbon atoms, attached to a sulfate group, giving the molecule the amphiphilic properties required for a detergent as seen in Fig.6. The polar end is attracted to the water molecules, while the non-polar end is repelled. By the presence of CNTs this product attaches to the wall of the tube (hydrophobic molecule) thus avoiding the contact between them and allowing a free standing suspension of the CNTs in the water [9, 10].

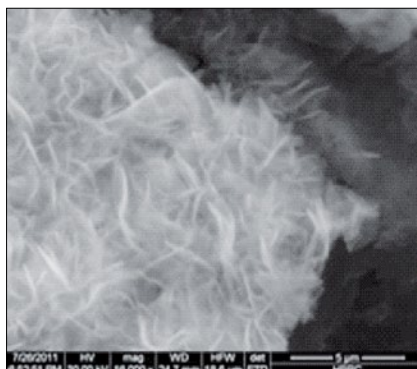


Рис. 4. УНТ высокой чистоты после очистки

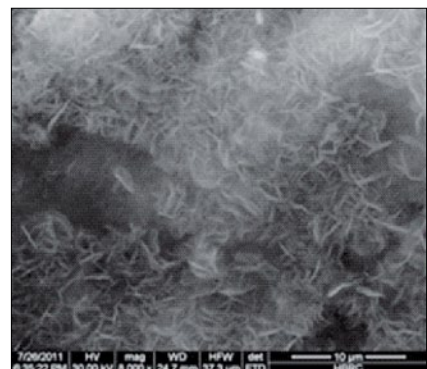


Fig. 4. High purity CNTs sample after purification process

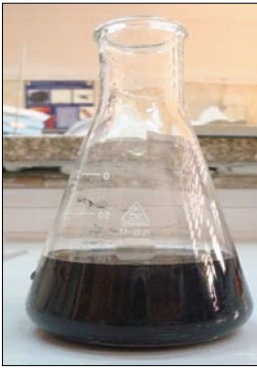


Рис. 5. Суспензия УНТ, полученная с использованием ПАВ и ультразвука

Fig. 5. CNT suspension was prepared using ultrasonic waves and surfactant

притяжения Ван-дер-Ваальса. Процесс приготовления суспензии проводился с концентрацией поверхностно-активного вещества в дистиллированной воде до 1%. Концентрация УНТ составляла примерно 0,3 мг/мл. Суспензия УНТ (рис. 5) может использоваться непосредственно в цементном растворе для обеспечения оптимального распределения УНТ в матрице цемента и, следовательно, для достижения высоких механических свойств.

Заключение

Использование перекиси водорода в удалении аморфного углерода очень эффективно,

так как SEM микрофотография показывает, что образец свободен от аморфного углерода и первый пик DSC термограммы был ликвидирован.

Термическая стабильность УНТ зависит от дефектов на боковых стенках и содержания примесей в очищенном образце, а также от эффективности системы охлаждения, используемой в устройстве. Подготовленные очищенные нанотрубки, полученные МЭДС, имеют более высокую термическую стабильность, чем образцы, синтезированные Леоном Д. Пересом методом каталитического пиролиза.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, сканирующий электронный микроскоп, дифференциальный сканирующий калориметр, электродуговой синтез, цементный раствор.

генеральный информационный партнер
Промышленные страницы Сибири

ВЫСТАВКА
БАЙКАЛЬСКАЯ
СТРОИТЕЛЬНАЯ
НЕДЕЛЯ
21-24 мая 2013

г. Иркутск, ул. Байкальская, 253-а,
тел.: (3952) 352-900, 352-239,
факс: (3952) 358-223, 353-033
e-mail: sibexpo@mail.ru,
www.sibexpo.ru

СибэкспоЦентр

The sonication process is necessary as a source of external mechanical energy which helps the particles to overcome the attractive Van Der Waals forces. The dispersion preparation process was carried out with a concentration of surfactant in de-ionized water of 1%. The concentration of CNTs was approximately 0.3 mg/mL. The suspended CNTs (as shown in Fig. 5.) can be used directly with cement mortar to ensure good distribution of CNTs in cement matrix and hence optimum mechanical properties can be achieved.

Conclusion

It can be concluded that the using of hydrogen peroxide in removing amorphous carbon is very effective, as SEM micrograph of hydrogen peroxide treated sample shows that it is free of amorphous carbon and the first peak of DSC thermogram was eliminated as indicated.

The thermal stability of CNTs depends on the defects on the side walls and impurities in the purified sample and it can be attributed to efficient cooling system used in the apparatus. The prepared purified CNTs sample with ARCD method has higher thermal stability than the sample obtained from CVD method and to that obtained by Leon D. Perez.

The authors would like to thank all members of thermal lab at HBRC and specially Prof. Magdy Helal prim head of physics department and Prof. Mohamed Saad for their cooperation during this work.

Keywords: CNTs, SEM, Arc discharge, DSC, Cement mortar.

Список литературы References

1. Peter J. F. Harris; "Carbon Nanotube Science Synthesis, Properties and Applications"; Cambridge University Press (2009).
2. Kazuyoshi Tanaka, Tokio Yamabe and Kenichi Fukui; "The Science and Technology of Carbon Nanotubes"; Elsevier (1999).
3. Szabó, A.; C. Perri, A. Csató, G. Giordano, D. Vuono, and J.B. Nagy, «Synthesis Methods of Carbon Nanotubes and Related Materials»; Materials (2010), Vol. 3. Pp. 3092–3140.
4. Djordjević, V., J. Djustebek, J. Cveticanin, S. Velićković, M. Veljković, M. Bokorov, B. Babić Stojić and O. Nešković "Methods of purification and characterization of carbon Nanotubes" Journal of Optoelectronics and Advanced Materials; (2006); Vol. 8, No. 4. Pp. 1631–1634.
5. Hone, J., "Carbon Nanotubes: Thermal Properties"; in Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology, edited by Marcel Dekker (New York, 2004).
6. Jose Mauricio Rosolen, Luciano Andrey Montoro, Elaine Yoshiko Matsubara, Marcel Silva Marchesin, Leandro Fontanetti do Nascimento and Simone Tronto "Step-by-Step Chemical Purification of Carbon Nanotubes Analyzed by High Resolution Electron Microscopy"; (2006), Carbon, Vol. 44. Pp. 3293–3301.
7. Mukul Kumar and Yoshinori Ando; "Chemical vapor deposition of carbon nanotubes: a review on growth mechanical and mass production" journal of nano science and technology»; (2010) vol. 10. Pp. 3739–3758.
8. Willem Jacobus Perold; "Nanoscale sensors using graphene and carbon nanotubes"; May (2011), University of Stellenbosch, South Africa.
9. Caterina Leone; "High performance synthesis and purification of carbon nanotubes" Ph.D. Course in Chemical Engineering Programma Operativo Nazionale (2006).
10. Dresselhaus M.S., G. Dresselhaus, J.C. Charlier and E. Hernández, "Electronic, thermal and mechanical properties of carbon nanotubes"; Phil. Trans. R. Soc. Lond. A (2004); Vol. 362. Pp. 2065–2098.

УДК 6-022.532

Г.Д. ФЕДОРОВА, А.Е. САВВИНА, кандидаты техн. наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова; Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, И.С. МАЕВА, канд. техн. наук, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова; С.А. СЕНЬКОВ, канд. техн. наук, Пермский государственный национальный исследовательский политехнический университет

G.D. FEDOROVA, A.E. SAVVINA, Candidates of Technical Sciences, North-Eastern Federal University of M.K. Ammosov; G.I. YAKOVLEV, Doctor of Technical Sciences, I.S. MAEVA, Candidate of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University of M.T. Kalashnikov; S.A. SENKOV, Candidate of Technical Sciences, Perm State National Research Polytechnic University

Оценка полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации углеродных нанотрубок*

Estimation of the multifunctional modifier of PFM-NLK concrete as surfactant at carbon nanotubes dispersion*

Анализ результатов исследований по разработке высокопрочных высококачественных бетонов на местных заполнителях для производства монолитного бетона показал необходимость поиска новых дополнительных технологических приемов. Применение известных методов, например выбор вида заполнителей, оптимизация их зернового состава, применение пуццолановых наполнителей (цеолита, микрокремнезема и других активных минеральных добавок) или использование эффективных водоредуцирующих добавок – суперпластификатора С-3 и полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК позволяет получить бетоны класса по прочности на сжатие В35–В45 [1].

Одним из новых приемов регулирования свойств бетонных смесей и бетонов является управление структурообразованием цементного бетона на наноуровне. Для регулирования свойств цементной матрицы, как показывает анализ применения нанотехнологий, наиболее перспективным является применение многослойных углеродных нанотрубок.

Анализ специальной литературы также показал, что мнение ученых о влиянии углеродных нанотрубок на повышение цементной матрицы и бетона пока неоднозначно [2–5]. Авторы работы [2] отмечают, что у цементных композитов, модифицированных УНТ, прочность выше, чем у контрольных образцов без УНТ при определенных условиях: повышение прочности наблюдается только в раннем возрасте (до 14 сут) при В/Ц=0,5 и В/Ц=0,4. В работе [3] прочность при сжатии мелкозернистого бетона, модифицированного УНТ, повысилась почти в два раза в 28 сут-возрасте, а прочность на изгиб – в 1,5 раза. Повышение прочности модифицированного УНТ цементного камня в трехсуточном возрасте в 1,9 раза, в 28 сут-возрасте – в 1,3 раза отмечают ав-

The analysis of results of researches on working out of high-strength high-quality concrete on local fillers for manufacturing of monolithic concrete has shown necessity of searching new additional processing methods. Application of known methods, for example, the choice of fillers types, optimization of their grain structure, application of pozzolanic fillers (zeolite, microsilica and other active mineral additives), use of effective water reducing additives – super softener S-3 and multifunctional modifier of PFM-NLK concrete allows to receive class concrete on compression strength of В35–В45 [1].

One of the new regulation techniques of concrete mixes and concretes behaviors is management for structurization of cement concrete on a nanolevel. The application of multi-walled carbon nanotubes is most perspective for the regulation of cement matrix properties as shows the analysis of nanotechnology application.

Analysis of the published literature has also shown that the opinion of the scientists on influence of carbon nanotubes on increase of a cement matrix and concrete is still unambiguous [2–5]. Authors of this work [2] notice that the durability of the cement composites modified by UNT is higher, than at control samples without UNT under certain conditions: durability increase is observed only at early age (till 14 days) at W/C=0,5 and W/C=0,4. Compressive strength of fine-grained concrete modified by UNT has raised almost twice at 28 day-age, and bending strength – in 1,5 times [3]. Authors of work [4] mark about increase of durability a cement stone modified by UNT at three-day age in 1,9 times, at 28 day-age – in 1,3 times. The carbon nanostructured material Taunit in number of 0,0006% from weight of cement is provided stable growth of concretes structural characteristics more than on 30% [5]. Apparently, it is possible to explain discrepancy of results different researchers by various

* Работа выполняется в рамках проекта «Разработка высокопрочного бетона, модифицированного углеродными нанотрубками, при производстве железобетонных конструкций на Севере». Регистрационный номер: 7.4868.2011.

* Work is carried out within the framework of the project «Working out of high-strength concrete modified carbon nanotubes, at manufacturing of reinforced concrete constructions in the North. Registration number: 7.4868.2011.

**Таблица 1
Table 1**

торы работы [4]. Результаты в работе [5] свидетельствуют, что углеродный наноструктурный материал «Таунит» в количестве 0,0006% от массы цемента обеспечивает стабильный рост прочностных характеристик бетона более чем на 30%. Несоответствие результатов у разных исследователей, по-видимому, можно объяснить различной степенью диспергации углеродных нанотрубок в водной дисперсионной среде.

При синтезе углеродные нанотрубки объединяются в клубки, размеры которых в среднем достигают 400–900 мкм, обладая при этом высокой поверхностной энергией. В настоящее время получены углеродные наносистемы с эффективным диаметром до 168,3 нм, с наименьшим значением диаметра 73,3 нм [6], при этом при диспергации многослойных углеродных нанотрубок применялись в качестве сурфактанта Graphistrength™ французской корпорации Arkema суперпластификатор С-3. После выдержки суспензии в течение 30 дней в результате коагуляции эффективный диаметр наносистем составил 403,7 нм, в то же время в суспензии наблюдаются отдельные нанотрубки, равномерно распределенные в объеме сурфактанта.

Можно предположить, для того чтобы изменить структуру цементной матрицы и соответственно ее свойства, диаметр нанотрубок должна быть близким к толщине слоев С–S–Н. Известно, что толщина пластинок гидросиликатов составляет около 3 нм, а размеры продуктов гидратации цемента при температуре менее 100°C колеблются в пределах 5–20 нм. Получение ультрадисперсных частиц УНТ в дисперсии и уменьшение их коагуляции и является основной трудностью в получении качественной суспензии углеродных наноструктур.

В связи с этим на начальном этапе были выполнены поисковые экспериментальные исследования по получению дисперсии многослойных углеродных трубок (далее МУНТ) с использованием в качестве сурфактанта полифункциональный модификатор бетона ПФМ-НЛК, который наиболее широко применяется в Якутии для получения бетонов повышенной прочности и морозостойкости.

Характеристики многослойных углеродных нанотрубок, использованных в эксперименте, даны в табл. 1.

Исследование на степень диспергации МУНТ на первоначальном этапе проводилось с помощью визуального анализа суспензии на предметном стекле на наличие видимых включений углеродного материала с помощью оптического микроскопа. Идеальная суспензия с углеродными нанотрубками должна иметь однородный черный цвет, без примесей. После первого этапа визуального исследования степень диспергации углеродного наноматериала в водной дисперсионной среде оценивалась путем непосредственного применения суспензии в качестве добавки в плотные цементные бетоны.

Для изготовления контрольных образцов бетона размером 10×10×10 см были использованы следующие материалы: портландцемент ЦЕМ II/A-III 32,5 Н завода «Невьянский цементник»; природный песок с $M_k=2,1$ (поставщик «Порт Сарапул»); щебень гранитный смесь фракции от 5 до 20 мм, марка по дробимости 1200 (поставщик «Качканар»).

Результаты эксперимента по оценке полифункционального модификатора бетона ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации многослойных углеродных нанотрубок представлены в табл. 2. Образцы твердели в камере нормально-влажностного хранения ($t=21\pm 2^\circ\text{C}$; $W_{\text{отн}}=98\%$).

Данные табл. 2 свидетельствуют, что введение в бетонную смесь полифункционального модификатора ПФМ-НЛК при одинаковой удобоукладываемости ПЗ позволяет снизить водопотребность на 29,4% по сравнению с эталонным составом (без добавки) или соответственно снижает В/Ц от 0,39 до 0,3. За счет этого прочность бетона в возрасте 28 сут повышается на 21%.

Параметры	Graphistrength C-100	Masterbatch CW2-45 (MWCNTs)
Средний диаметр, нм Average diameter, nm	10–15	10–15
Длина, мкм Length, μm	0,1–10	0,1–2
Общий объем примесей, % (после очистки) Total admixture volume, % (after cleaning)	До 10 (до 3) Till 10 (till 3)	–
Насыпная плотность, кг/м ³ Apparent density, kg/m ³	120–150	800

degree dispersion of carbon nanotubes in the water dispersive environment.

In the process of synthesis carbon nanotubes unite in the balls the average size of which reaches 400–900 μm, possessing thus high superficial energy. Now carbon nanosystems with effective diameter to 168,3 nm with the least value of diameter of 73,3 nm are received [6], thus in surfactant quality at dispersion of multiwalled carbon nanotubes Graphistrength™ of French Corporation «Arkema» superplasticizer S-3 were applied. After endurance of suspension within 30 days as a result of coagulation effective diameter of nanosystems has made 403,7 nm, at the same time separate nanotubes in regular intervals distributed in surfactant volume are observed in suspension.

One may expect that a cement matrix structure and its property can be changed, if nanotubes diameter should be close to a thickness of C–S–H layers. It is known that the thickness of plates of hydrosilicates makes about 3 nm, and the sizes of hydration products of cement at temperature less 100°C fluctuates in limits of 5–20 nm. Reception of UNT ultradisperse particles in dispersion and reduction of their coagulation is the basic difficulty in reception of qualitative suspension of carbon nanostructures.

In this connection at the initial stage of researches search experimental studies on dispersion reception of multiwalled carbon tubes (further MCNT) with use in surfactant quality the multifunctional modifier PFM-NLK of concrete which is most widely applied in Yakutia for concrete reception of raised durability and frost resistance have been executed.

The characteristics of multiwalled carbon nanotubes, used in experiment, are given in table 1.

Research of the degree dispersion of MCNT at an initial stage was made by means of visual analysis of suspension with subject glass on presence of visible inclusions of a carbon material by means of an optical microscope. Ideal suspension with carbon nanotubes should have homogeneous black color, without impurity. After the first stage of visual research, dispersion degree of carbon nanomaterial in the water dispersive environment was estimated by direct application of suspension as an additive in dense cement concrete.

Following materials have been used for control samples manufacturing of concrete with the size of 10×10×10 cm: portland cement CEMII/A-III 32,5 N «Neviansky Tsementnik» plant; natural sand with $M_k=2,1$ (the supplier «Port Sarapul»); a mixture of granite chip of fraction from 5 to 20 mm, crushing mark «1200» (the supplier «Kachkanar»).

Results of experiment according to the multifunctional modifier of PFM-NLK concrete as surfactant quality at multiwalled carbon nanotubes dispersion are presented in table 2. Samples hardened in the concrete moist room storage ($t=21\pm 2^\circ\text{C}$, $W_{\text{rel}}=98\%$).

As table 2 shows, inclusion into concrete mixture of multifunctional modifier PFM-NLK in comparison with the standard (structure without additive) at identical workability of P3 allows to lower the water requirement on 29,4% in com-

Таблица 2
Table 2

Вид состава Mix type	Характеристика состава Mix characteristic	Номер серии образцов Sample series number	Марка бетонной смеси по удобоукладываемости Concrete mix workability mark	Плотность бетона, кг/м ³ Concrete density, kg/m ³	Прочность бетона, R ₂₈ , МПа / % от прочности эталона Concrete density, R ₂₈ , МПа / % of standard density	
					серии series	средняя mean
Эталон Standard	Ц (C) = 570 кг/м ³ ; В/Ц (W/C) = 0,39	1	ПЗ (P3)	2586	34,7	30,6/100
		3	ПЗ (P3)		26,5	
Контрольный Control	Ц (C) = 570 кг/м ³ ; В/Ц (W/C) = 0,39; 0,006% MWCNTs	2	ПЗ (P3)	2640	28,5	28,5/93
Контрольный Control	Ц (C) = 570 кг/м ³ ; В/Ц (W/C) = 0,3 0,7% ПФМ-НЛК	1	ПЗ (P3)	2576	36,6	36,9/121
		2	ПЗ (P3)	2582	37,2	
Исследуемый Research	Ц (C) = 570 кг/м ³ ; В/Ц (W/C) = 0,3 0,006% MWCNTs + 0,7% ПФМ-НЛК (PFM-NLK)	1	ПЗ (P3)	2528	44,8	39,6/129
		2	ПЗ (P3)	2568	37,9	
		3	ПЗ (P3)		36,1	
Контрольный Control	Ц (C) = 570 кг/м ³ ; В/Ц (W/C) = 0,3 0,006% MWCNTs + 0,7% С-3	3	ПЗ (P3)		40	40/131

Прочность бетона с добавкой 0,006% MWCNTs + 0,7% ПФМ-НЛК выше прочности бетона без добавок на 29%, а с добавкой 0,006% MWCNTs + 0,7% С-3 – на 31%. В целом полученные результаты сопоставимы с данными других исследователей.

Дополнительное введение суспензии МУНТ в бетонную смесь с пластифицирующей добавкой (модификатор бетона ПФМ-НЛК или суперпластификатор С-3) на удобоукладываемость бетонной смеси не оказывает влияния, при этом прирост прочности бетона в проектном возрасте составляет 8–10%.

Положительные результаты о возможности применения модификатора ПФМ-НЛК в качестве сурфактанта при диспергации MWCNTs подтверждаются результатами изучения микроструктуры цементной матрицы бетона с помощью растровых электронных микроскопов FEI Quanta 200, XL 30 ESEM-FEG фирмы PHILIPS и JSMJC 25S фирмы «JEOL».

Структурирование цементной матрицы после введения дисперсии углеродных нанотрубок в сочетании с полифункциональным модификатором ПФМ-НЛК приводит к формированию высокоплотных образований толщиной от 1 до 5 мкм (рисунок, а). При этом микроструктура в промежутках между плотными агрегатами новообразований характерна формированием кристаллогидратов повышенной плотности (рисунок, б), что приводит к увеличению плотности всей структуры модифицированного цементного бетона дисперсией УНТ с полифункциональным модификатором ПФМ-НЛК.

Проведенный рентгеновский микроанализ элементного состава структурированного слоя цементной матрицы на поверхности твердой фазы показал изменение соотношения между содержанием атомов кремния и кальция по толщине слоя [3].

По мере отдаления от граничного слоя нарастает интенсивность пиков, соответствующих атомам кремния. На границе между твердой фазой и цементной матрицей отмечено существенное повышение интенсивности пиков, соответствующих атомам кальция, что позволяет говорить о повышении основности гидросиликатов кальция. Следовательно, можно говорить об изменении не только морфологии гидросиликатов кальция, но и о наличии на границах межфазного слоя гидросиликатов разной основности.

comparison with reference structure (without additive) or accordingly reduces introduction W/C from 0,39 to 0,3. By means of it the durability of concrete in 28 days-age raises on 21%. Durability of concrete with additive of 0,006% MWCNTs + 0,7% PFM-NLK is higher than durability of concrete without additives on 29 %, and with additive of 0,006 % MWCNTs + 0,7% S-3 – on 31%. As a whole the received results are comparable to the data of other researchers.

Additional inclusion of suspension MWCNT into concrete mixture with plasticizing additive (PFM-NLK concrete modifier or supersoftener S-3) on concrete mixture workability doesn't influence, thus the gain of durability of concrete at design age makes 8–10%.

Positive results about possibility of PFM-NLK modifier application as surfactant at MWCNTs dispersion prove by results of microstructure studying of cement matrix of concrete by means of raster electronic microscopes FEI Quanta 200, XL 30 ESEM-FEG of PHILIPS firm and JSM JC 25S of «JEOL» firm.

The structurization of a cement matrix after inclusion of carbon nanotubes dispersion in combination with multifunctional modifier PFM-NLK leads to forming of high density formations with thickness from 1 to 5 μm (fig. 1, a). Thus the microstructure in intervals between dense units of new growths is characteristic formation of crystalline hydrates of raised density (fig. 1, b) that leads to increase in density of all structure of modified cement concrete dispersion UNT with multifunctional modifier PFM-NLK.

Carried out X-ray microanalysis of element structure of cement matrix structured layer on a surface of firm phase has shown change between the maintenance of atoms of silicon and calcium on a layer thickness [3].

The intensity of the peaks corresponding to atoms of silicon increases in process of distance from a boundary layer. There is an essential increase of intensity of the peaks corresponding to atoms of calcium on the border between firm phase and cement matrix, that allows to speak about increase of basicity of hydrosilicates of calcium is noticed. Thus, it is possible to speak about change not only morphology of hydrosilicates of calcium, but also about presence on borders of an interphase layer of hydrosilicates of different basicity.

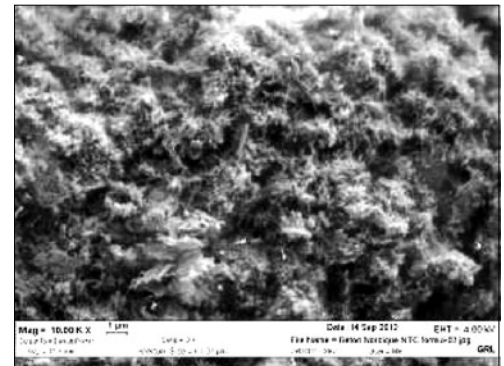
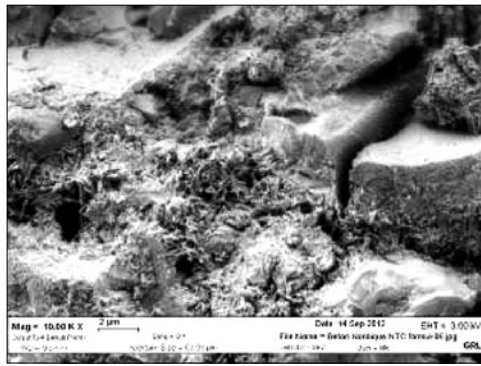
Thus, on the basis of carried out experimental researches basic possibility of application of multifunctional modifier established as surfactant multiwalled carbon nanotubes dispersion of Masterbatch CW2-45 series, produced by French

Таким образом, на основании проведенных экспериментальных исследований установлена принципиальная возможность применения полифункционального модификатора в качестве сурфактанта при диспергации многослойных углеродных нанотрубок серии MasterbatchCW 2-45, выпускаемого французской фирмой Arkema. Для получения высококачественной суспензии необходимо оптимизировать эффективный средний размер диаметров многослойных углеродных нанотрубок в суспензиях с целью получения максимального эффекта по повышению прочности и регулирования темпов твердения бетонов в начальные сроки и исходя из этого оптимизировать технологические режимы получения суспензии и параметры контроля качества суспензии.

Ключевые слова: многослойные углеродные нанотрубки, сурфактант, дисперсия, технология, бетон, цементная матрица, микроструктура.

Список литературы

1. *Матвеева О.И., Федорова Г.Д.* Обеспечение долговечности бетонов в суровых условиях Севера // Современные инновационные технологии изысканий, проектирования и строительства в условиях Крайнего Севера: Материалы международной конференции, посвященной 50-летию создания института ОАО «ЯкутПНИИС», 8–10 августа 2012 г. Якутск: ООО «Смик-мастер Полиграфия», 2012. С. 6–16.
2. *Makar J., Margeson J., Luh J.* Carbon nanotube-cement composites – early results and potential applications // 3rd International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, B.C., Aug. 22–24, 2005, pp. 1–10.
3. *Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Корженко А. и др.* Модификация цементных бетонов многослойными углеродными нанотрубками // Строительные материалы. 2011. № 2. С. 47–51.
4. *Gabidulin M.G., Rakhimov R.Z., Khuzin A.F., Seleymanov N.M., etc.* Manufacturing technology of CNT-based nanomodifier and its effect on the strength of cement stone / Nanotechnology for ecological and long-term construction. Nanotechnology for Green and Sustainable Construction: сб. тр. IV Международной конференции (23–27 марта 2012 г., Каир, Египет). Ижевск: ИжГТУ, 2012. С. 30–34.
5. *Толчков Ю.Н., Михалева З.А., Ткачев А.Г., Попов А.И.* Модифицирование строительных материалов углеродными нанотрубками: актуальные направления разработки промышленных технологий // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2012. № 6. С. 57–66. Гос. регистр. № 0421100108. URL: <http://www.nanobuild.ru>
6. *Белов В.В., Бурьянов А.Ф., Яковлев Г.И. и др.* Модификация структуры и свойств строительных композитов на основе сульфата кальция: монография / Под общей ред. А.Ф. Бурьянова. М.: Де Нова, 2012. 196 с.



Микроструктура цементной матрицы модифицированной дисперсией углеродных нанотрубок в сочетании с полифункциональным модификатором ПФМ-НКЛ: а – структурированные фрагменты цементной матрицы; б – межфазные заполнения цементной матрицы тонкодисперсными гидросиликатами кальция

Microstructure of cement matrix modified by dispersion of carbon nanotubes in combination with multifunctional modifier PFM-NLK: a – structured fragments of cement matrix, b – interphase fillings of cement matrix by finely dispersed calcium hydrosilicates

firm «Arkema». For production of high-quality suspension it is necessary to optimize the effective average size of multiwalled carbon nanotubes diameters in suspensions for the purpose of production of the maximum effect on increase of durability and regulation of concrete hardening rates in initial terms and, thus to optimize technological modes of production of suspension and parameters of quality assurance of suspension.

Keywords: multiwalled, carbon nanotubes, surfactant, dispersion, technology, concrete, a cement matrix, a microstructure.

References

1. *Matveeva O.I., Fedorova G.D.* Durability maintenance of concrete in severe conditions of the North / Modern innovative technologies of researches, designing and construction in the conditions of the Far North: Materials of International conference devoted to the 50th anniversary of «YakutPNIIS» Institute foundation, August 8–10th, 2012. Yakutsk: Publishing house «Smik-master Polygraphy», Ltd., 2012. Pp. 6–16.
2. *Makar J., Margeson J., Luh J.* Carbon nanotube-cement composites – early results and potential applications // 3rd International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, Vancouver, B.C., Aug. 22–24, 2005, pp. 1–10.
3. *Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Korzhenko A., etc.* Updating of cement concrete by multiwalled carbon nanotubes // (2011), Stroitel'nye Materialy (Construction materials), (2), Pp. 47–51.
4. *Gabidulin M.G., Rakhimov R.Z., Khuzin A.F., Seleymanov N.M., etc.* Manufacturing technology of CNT-based nanomodifier and its effect on the strength of cement stone / Nanotechnology for Green and Sustainable Construction: col. pap. IV Inter. conf. (March 23–27th 2012, Cairo, Egypt). Izhevsk: IzhSTU Publishing House, 2012. Pp. 30–34.
5. *Tolchkov Y.N., Mikhalev Z.A., Tkachev A.G., Popov A.I.* Modification of construction materials by carbon nanotubes: actual directions of working out of industrial technologies // Nanotechnologies in construction: scientific Internet magazine. M.: CNT «NanoStroitelstvo». 2012. № 6. Pp. 57–66. State register. № 0421100108. URL: <http://www.nanobuild.ru>
6. *Belov V.V., Burianov A.F., Yakovlev G.I., etc.* Modification of structure and properties of building composites on the basis of calcium sulfate: monography under A.F. Burianov's general edition. M: Publishing house De Nova, 2012. 196 p.

4 – 8 ИЮНЯ 2013

РОССИЯ / МОСКВА / МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»



реклама



14-я Международная специализированная выставка
«СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ'2013»

 **СТТ'2013**

СПЕЦИАЛИСТЫ ЗНАЮТ!

Организатор



Международные партнеры выставки



fairs
around the
world



При поддержке



Генеральные информационные спонсоры



Информационные спонсоры



Тел.: +7 (495) 961-22-62

E-mail: ctt@mediaglobe.ru

Web: www.ctt-expo.ru, www.mediaglobe.ru

techtexsil

RUSSIA symposium

Международный симпозиум по техническому текстилю, нетканым материалам и защитной одежде

«Строительные и защитные материалы на волокнистой основе: новые технологии, опыт применения в России»

18-19 апреля 2013 года, г. Москва
«Ренессанс Москва Монарх Центр»

 messe frankfurt

Разделы симпозиума в 2013 году:

- Защитный текстиль
- Строительный текстиль
- Промышленный текстиль



Agrotech



Buildtech



Clothtech



Geotech



Homotech



Indutech



Medtech



Mobiltech



Oekotech



Packtech



Protech



Sporttech



Контакты:

Тел.: +7 (495) 649 87 75
techtextil@messefrankfurt.ru
www.techtextil.ru
www.messefrankfurt.ru

15-я ЮБИЛЕЙНАЯ КАЗАХСТАНСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «СТРОИТЕЛЬСТВО»



AstanaBuild

22-24 мая • 2013

ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР "КОРМЕ"
АСТАНА • КАЗАХСТАН



www.astanabuild.kz

• СТРОИТЕЛЬСТВО

• ИНТЕРЬЕР

• ДОРОЖНОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО



• ОТОПЛЕНИЕ И
ВЕНТИЛЯЦИЯ

• ОКНА И ДВЕРИ,
ФАСАДЫ

• КЕРАМИКА И КАМЕНЬ



ITE Group Plc: London, UK, Tel.: +44 (0) 207 596 5004; Fax: +44 (0) 207 596 5204;
E-mail: building@ite-exhibitions.com

Итека (Астана) - Астана, Казахстан, 010000, ул. Агыбай батыра, 5, оф. 23,
Тел.: +7 7172 58 02 55; Факс.: +7 7172 58 02 53; E-mail: astanabuild@iteca.kz



Итека (Алматы) - Алматы, Казахстан, 050057, ул. Тимирязева, 42, 2 этаж,
Тел.: +7 727 2583434; Факс: +7 727 2583444; E-mail: build@iteca.kz



С.К. ДОРОГАНИЧ, д-р техн. наук, заслуженный строитель РФ, генеральный директор ОАО «Гипроцемент» (Санкт-Петербург)

Гипроцемент

90 лет с цементной промышленностью

В конце 2012 г. коллектив научно-исследовательского и проектно-го института цементной промышленности «Гипроцемент» отметил 90-летие. В торжественном мероприятии приняли участие сотрудники и ветераны института, представители промышленных предприятий, проектных и научных организаций. В докладах и выступлениях участников собрания отмечалась важная роль института в развитии цементной промышленности России, стран бывших союзных республик и зарубежных стран.

В 1922 г. в Москве был образован Государственный экспериментальный институт силикатов, который и стал родоначальником института «Гипроцемент». Впоследствии этот институт был несколько раз преобразован, а в 1934 г., когда именовался Всесоюзным научно-исследовательским институтом цементов (ВНИЦ), был переведен в Ленинград.

Проектная часть института берет свое начало от созданного в 1926 г. института «Стромбюро», реорганизованного в 1930 г. в Цемпроект. В 1937 г. институты «ВНИЦ» и «Цемпроект» были объединены в комплексный Всесоюзный государственный научно-исследовательский и проектный институт цементной промышленности «Гипроцемент».

На всех этапах развития нашей страны институт «Гипроцемент» успешно решал вопросы проектирования и строительства предприятий цементной и шиферной промышленности. По проектам института построено и реконструировано более 100 технологических линий на цементных заводах России и во многих странах мира. Институту принадлежит авторство на многие виды инновационного оборудования и технологий, которые в разные годы внедрялись и успешно эксплуатировались на цементных предприятиях.

В связи с переходом цементной промышленности мира на сухой способ производства и необходимостью коренной реконструкции отечественных цементных заводов институт «Гипроцемент» активно включился в разработку новых технологических процессов и оборудования.

Первая в нашей стране печная установка сухого способа производства с циклонными теплообменниками была спроектирована «Гипроцементом» и пущена в эксплуатацию еще в 1958 г. на Спасском цементном заводе. В дальнейшем были разработаны проекты более мощных технологических линий с печами $\varnothing 7,0 \times 95$ м с запечными теплообменниками, а также с печами $\varnothing 4,5 \times 80$ м с циклонными теплообменниками и реакторами-декарбонизаторами.

В настоящее время институт «Гипроцемент» продолжает активно и плодотворно участвовать в модернизации цементной промышленно-

сти страны. За последние годы разработаны шесть современных высокоэффективных технологических линий полусухого и сухого способов производства мощностью от 1 до 2,5 млн т цемента в год.

Успешными примерами комплексного решения сложных проблем, возникающих при использовании высоковлажного сырья, являются проекты **Белорусского цементного завода** (печь $\varnothing 4,5 \times 80$ м) и завода **ОАО «Мордовцемент»** (печь $\varnothing 5,2 \times 65$ м).

Впервые на ОАО «Мордовцемент» проектом предусмотрена и построена собственная мини-электростанция суммарной мощностью более 100 МВт, обеспечивающая завод существенно более дешевой электро- и тепловой энергией при максимально эффективном использовании отработанных газов турбин для сушки сырьевой смеси в вертикальной мельнице. Еще одной важной особенностью проекта новой технологической линии ОАО «Мордовцемент» явилось строительство первых в России современных автоматизированных складов клинкера и цемента силосного типа, обладающих большой емкостью (95–140 тыс. т).

Институт «Гипроцемент» активно участвует в реконструкции цементных заводов **ОАО «Новоросцемент»**. На цементном заводе «Первомайский» этого комбината запроектирована и успешно строится технологическая линия с печью производительностью 6 тыс. т клинкера в сутки. На этом же заводе вместо существующих двух печей типа «Леполь» предусмотрено строительство второй современной технологической линии производительностью 2 тыс. т клинкера в сутки.

В настоящее время институт «Гипроцемент» выполняет рабочее проектирование данной линии. После ввода в эксплуатацию двух новых технологических линий завод «Первомайский» будет обладать общей годовой производительностью порядка 3 млн т цемента.

Институт «Гипроцемент» активно участвует в реконструкции еще одного завода ОАО «Новоросцемент» – цементного завода «Пролетарий». Разработана комплексная программа реконструкции этого предприятия с переводом технологических линий на сухой способ производства.

В настоящее время разрабатывается проект реконструкции печи № 10 с переводом ее на сухой способ производства производительностью 6 тыс. т клинкера в сутки. Печные агрегаты № 6–8 мокрого способа производства намечено вывести из эксплуатации. В итоге реконструируемая технологическая линия будет представлять собой самостоятельное производство, связанное с сохраняемой девятой линией общим переделом дробления сырья, клинкерного и цементного силосных складов.



С 1934-го по 1940 г. институт возглавлял В.И. Аксенов (1899–1946) – один из первых руководителей советской цементной промышленности, председатель Цемтреста и один из руководителей Союзцемента



Общий вид Белорусского цементного завода

Институт «Гипроцемент» плодотворно сотрудничает в области модернизации производства с ОАО «Себряковцемент».

В конце 1980-х гг. по проекту «Гипроцемента» на этом предприятии была построена первая в нашей стране технологическая линия полусухого способа производства производительностью 2,3 тыс. т клинкера в сутки. На этом же заводе построена и успешно введена в эксплуатацию самая мощная в России цементная мельница, работающая по замкнутому циклу помола, проектной производительностью 120 т/ч.

В настоящее время идет активная реализация первого этапа масштабной модернизации всего производства — реконструкция печи № 5 с переводом ее на сухой способ производства клинкера производительностью 3575 тыс. т в сутки. Институтом «Гипроцемент» разработана вся необходимая проектная и рабочая документация, выполняются строительно-монтажные работы, которые должны быть завершены в середине 2013 г.

Работы по реконструкции технологических линий ОАО «Себряковцемент» представляют большой интерес для цементной промышленности нашей страны, так как ставят своей целью отработать технологии перевода линий мокрого способа производства на сухой способ с минимальными капитальными затратами и в минимальные сроки.

Все эти достижения стали возможны благодаря вкладу многих поколений инженеров и научных сотрудников института, которые в разные периоды вдохновенно и с большой творческой отдачей трудились в его составе, продолжают работать и сегодня.

Они являются главным богатством и гордостью института. Многие добились выдающихся профессиональных достижений, стали признанными авторитетными специалистами в отрасли, среди них лауреаты Государственной премии СССР — Ю.С. Лурье, А.Н. Боков, К.М. Гринев, А.Е. Добровольский, Е.И. Ходоров, Ю.Н. Гинзбург, В.В. Товаров, Б.В. Волконский, В.А. Арёфьев, В.Ф. Гладков, Н.В. Мухин; соавторы научного открытия: И.Г. Абрамсон, А.Ф. Вайман, Б.В. Волконский, С.И. Данюшевский, Г.Б. Егоров, Ю.В. Никифоров.

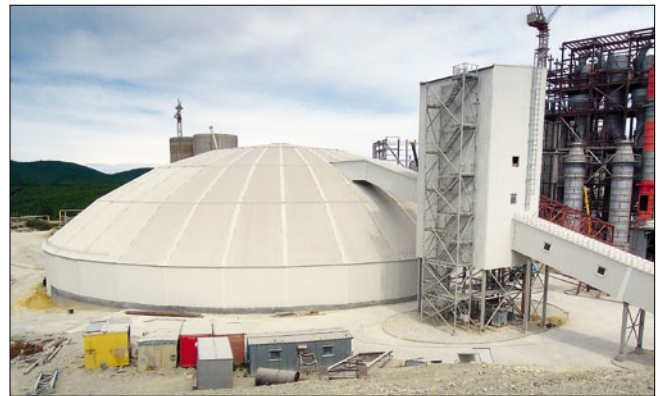
Большая группа сотрудников была награждена орденами: В.И. Аксенов, Ю.С. Лурье, А.Ф. Семендяев, Н.А. Олесов, Н.Ф. Ананенко, Ю.А. Макеев, И.П. Бровар, В.И. Боровиков, И.З. Вортман, Л.Я. Кошкин.

Заслуги института неоднократно на протяжении всех 90 лет работы высоко оценивались его заказчиками и государственными органами. Институт награжден орденом Трудового Красного Знамени, многочисленными почетными грамотами различных министерств и ведомств. Три его разработки были удостоены Государственной премии СССР.

Профессиональная работа института «Гипроцемент» и его ведущих сотрудников в год юбилея была высоко оценена Министерством регионального развития Российской Федерации, Правительством Санкт-Петербурга, Российским союзом строителей.

ОАО «Гипроцемент» был награжден несколькими грамотами и дипломами. Трем сотрудникам — Л.Л. Дмитриченко, И.Д. Ромашевой и Ю.Н. Тентлеру присвоено звание «Почетный строитель России». И.З. Вортман и С.К. Дороганич награждены почетным знаком «Строительная слава», А.В. Досталь награжден почетным знаком «Строителю Санкт-Петербурга». Большая группа сотрудников института отмечена почетными грамотами.

Вечер в честь юбилея института завершился салютом из 90 залпов.



Усреднительный склад сырья на заводе «Первомайский» ОАО «Новоросцемент»



Новая технологическая линия сухого способа производства на «Мордовцементе»



Печь № 8 на ОАО «Себряковцемент»



Вручение начальнику отдела И.Д. Ромашевой знака «Почетный строитель России»



На торжестве, посвященном 90-летию института, выступает И.З. Вортман

ОРГАНИЗАТОР КОНФЕРЕНЦИИ
научно-технический и производственный журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

Спонсоры конференции:



BEDESCHI S.p.A.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«РАЗВИТИЕ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ»

КЕРАМТЭКС

30–31 мая 2013 г.

РОССИЯ, МОСКВА

RENAISSANCE

MOSCOW MONARCH CENTRE HOTEL



30.05.2013

**Посещение нового современного предприятия
ОАО «Гжельский кирпичный завод»**

Visit to Gzhel brick-plant



31.05.2013

**Торжественный Гала-ужин керамиков России в легендарном ресторане «Ярь»
с вручением профессиональных наград**
Ceramic awards dinner at legendary restaurant «Yar»

Руководитель проекта – Юмашева Елена Ивановна

Менеджер проекта – Лескова Елена Львовна

Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3
Тел./факс: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36, моб. +7 (910) 437-03-98

www.rifsm.ru

mail@rifsm.ru

www.keramtex.ru

СТРОИТЕЛЬНАЯ ВЫСТАВКА



АРХИТЕКТУРА. СТРОИТЕЛЬСТВО. БЛАГОУСТРОЙСТВО. ЖКХ
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ
КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ТЕПЛО-, ГАЗО-, ВОДОСНАБЖЕНИЕ
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
СТРОЙСПЕЦТЕХНИКА. ДОРОГА. ТОНNELЬ
ДОМ. ДАЧА. КОТТЕДЖ. ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ.
ЛАНДШАФТНЫЙ ДИЗАЙН
ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА, ЭКСТЕРЬЕРА. ДЕКОР
ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ

24-27 АПРЕЛЯ 2013, МОРПОРТ

СТРОИТЕЛЬНАЯ ИНДУСТРИЯ 2013



ВЫСТАВОЧНЫЕ ПАВИЛЬОНЫ

СОЧИ

Генеральный информационный спонсор: **Стройка**

Генеральный Интернет-партнер: **А. пульс цен**

Главный информационный партнер: **СТРОИТЕЛЬНАЯ**

Специальный информационный партнер: **ОРЕБИТА**

Региональный информационный партнер: **Business S**

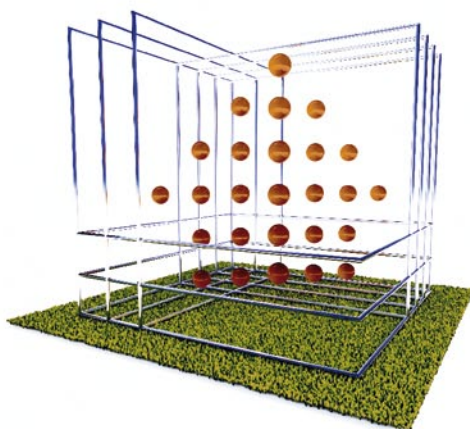


Выставочная компания «Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»
тел./факс: (862) 264-87-00, 264-23-33, (495) 745-77-09
e-mail: M.Lepikova@sochi-expo.ru; www.sochi-expo.ru

Партнер:



ПОСТРОЙ СВОЙ МИР!



24-26 апреля ВОРОНЕЖ 2013

ул. Ворошилова, 1а
Спортивный комплекс
“ЭНЕРГИЯ”

36-я межрегиональная специализированная
ВЫСТАВКА с международным участием

СТРОИТЕЛЬСТВО

ОРГКОМИТЕТ:



Вeтa
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР

КОНТАКТЫ: тел: (473) 251-20-12, 277-48-36
e-mail: stroy@veta.ru

Подробная информация
на www.veta.ru

Строительный комплекс как отражение реальной экономической ситуации в стране



Генеральным партнером конференции, как и в прошлом году, стала фирма «КНАУФ» – крупнейший производитель экологичных материалов для отделки помещений, которая в 2013 г. отмечает 20-летие деятельности в России. За прошедшие годы компания «КНАУФ» стала не только одним из крупнейших инвесторов в промышленности строительных материалов, но и активным заинтересованным субъектом российской строительной отрасли, принимая участие в разработке нормативно-технических документов, учебных программ для вузов и средних специальных образовательных учреждений, занимаясь благотворительностью.

Традиционно в своей организационной работе редакция опирается на поддержку Российской гипсовой ассоциации, Ассоциации производителей керамических стено-

вых материалов, Некоммерческого партнерства производителей извести, Ассоциации производителей силикатных изделий, Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона, Союза производителей сухих строительных смесей.

1 февраля 2013 г. состоялась V конференция «Текущее состояние строительного комплекса и перспективы развития промышленности строительных материалов», организаторами которой выступили редакция научно-технического и производственного журнала «Строительные материалы»® и маркетинговая компания «ГС-Эксперт». Конференция была включена в деловую программу XIV специализированной выставки «Отечественные строительные материалы».

В работе конференции приняли участие около 70 руководителей и ведущих специалистов строительных организаций, девелоперских компаний, производителей строительных материалов, финансовых структур из Москвы и Московской области, Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Владимирской, Воронежской, Нижегородской, Томской, Ульяновской, Челябинской и Ярославской областей, Краснодарского и Приморского краев, Республики Татарстан. Широкая география участников показывает актуальность проведения аналитического мероприятия в начале года. Информация об итогах работы отрасли за год и тенденциях ее развития, полученная из первых рук независимых экспертов и аналитиков, позволяет руководителям и специалистам, определяющим стратегию развития компаний, разрабатывать и корректировать управленческие решения.

Традиционно открывает конференцию базовый доклад об итогах работы строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2012 г. и прогнозе на 2013 г. Его подготовил генеральный директор маркетинговой компании «ГС-Эксперт» канд. техн. наук **А.А. Семенов**. Он отметил, что строительная отрасль по абсолютным показателям демонстрирует рост по многим позициям. Однако тревогу вызывает существенное замедление темпов роста, в первую очередь инвестиций. Это означает, что отрасль ожидает период стагнации (*читайте статью на стр. 62*).

В выступлении вице-президента Российского союза строителей **С.Н. Кучихина** было отмечено, что к оптимистическим показателям постоянно растущего объема жилищного строительства следует относиться с осторожностью, так как, по данным РСС, только около 60% вводимого жилья построено с помощью индустриальных методов, остальное жилье построено индивидуально, часто с ис-



Выступает Л.М. Лось. Слева С.Н. Кучихин

пользованием «новых, скоростных» технологий, поэтому трудно оценивать его качество и долговечность, то есть достоверно неизвестно, пополнится ли за его счет в ближайшие годы ветхий и аварийный жилой фонд. При этом Сергей Николаевич напомнил коллегам позицию руководства страны, озвученную накануне на расширенном заседании правительства премьер-министром Д.А. Медведевым, который заявил, что в ближайшие годы объем строительства жилья должен вырасти до 100 млн м² в год, а его стоимость должна снизиться.

Достижению заявленных показателей призвана способствовать государственная программа «Об обеспечении доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан Российской Федерации», утвержденная Правительством РФ 30 ноября 2012 г., которая предусматривает строительство жилья эконом-класса и объектов инфраструктуры на земельных участках, примыкающих к крупным городам, а также на неиспользуемых или используемых неэффективно земельных участках, предоставленных государственным организациям. Если исходить из реальности выполнения задач, которые ставит правительство перед строительным комплексом, то, по расчетам экспертов РСС, производство строительных материалов должно быть увеличено в 3–3,5 раза.

Поучительную историю развития производства в России современных экологических строительных и отделочных материалов компанией – иностранным инвестором представил директор по общественным связям Центрального управления группы «КНАУФ СНГ» **Л.М. Лось**. Немецкая фирма «КНАУФ» начала инвестиционную деятельность в России на первом этапе социально-экономических преобразований – в 1993 г. Точкой отсчета для развития бизнеса стало Красногорское предприятие ТИГИ. А в настоящее время высококачественную продукцию КНАУФ производят 13 заводов, расположенных в России. Но главной заслугой иностранного инвестора, и это признает профессиональное сообщество, можно считать мощный импульс развития, приданный гипсовой отрасли России в целом (читайте статью на стр. 73).

За пять лет проведения на конференции сложилась определенная традиция представления информации в соответствии с технологией нашей промышленности, все подотрасли которой начинаются с сырья.

О проблемах использования и восполнения сырьевой базы промышленности строительных материалов рассказал заместитель директора по науке института ЦНИИгеолнеруд (Казань) канд. геол. наук **Р.К. Садыков**. Было отмечено, что насчитывается более 70 видов полезных ископаемых, которые для нужд строительного комплекса добывают около 5 тыс. предприятий. Однако для резкого увеличения объемов строительства жилья и дорог разведанных запасов сырья недостаточно. В результате геолого-разведочных работ в 2005–2010 гг. получен существенный прирост запасов, особенно по стекольным пескам и цементному сырью, включая карбонатные и глинистые породы. Проблемой является неравномерность размещения сырьевых ресурсов на территории России. Например, в ряде регионов, имеющих стратегическое значение, цементного сырья нет вообще либо его крайне мало.

Равиль Касимович отметил, что динамичному развитию минерально-сырьевой базы промышленности строительных материалов в значительной



Генеральный директор КБ им. А.А. Якушева (Москва) П.Г. Афанасьев представил концепцию пилотных жилых домов нового поколения (читайте статью в № 3–2013 г.)



Р.К. Садыков

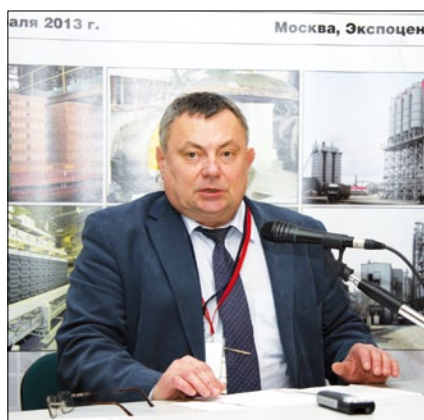


В.А. Сергеев





Р.Ф. Галиахметов



Н.В. Сомов



В.Н. Герашченко



Л.М. Шахнес

мере мешают недостатки действующего налогового законодательства и законодательства о недропользовании, недостаточный объем геолого-разведочных работ, слабое использование техногенных ресурсов (статью Р.К. Садыкова читайте в № 3–2013 г.).

Проблемные вопросы промышленности нерудных строительных материалов были затронуты в выступлении руководителя направления «Машиностроение» Ассоциации «Недра» **В.А. Сергеевым**. Поддержав актуальность проблем, затронутых в выступлении Р.К. Садыкова, Владимир Анатольевич отметил необходимость объединения основополагающих документов, регламентирующих недро- и землепользование, Горный кодекс. Также были отмечены проблемы предприятий нерудной промышленности, среди которых – определение границ земельного отвода, неритмичность финансирования поставок продукции на бюджетные и крупные инфраструктурные объекты, длительная процедура возврата НДС, взаимоотношения с операторами железнодорожных перевозок.

Как показали дальнейшие выступления, данные проблемы в той или иной мере актуальны практически для всех подотраслей ПСМ.

Цемент называют хлебом строительства. Действительно, без цемента не обходится ни одна большая или малая стройка. Динамичное развитие жилищного и промышленно-гражданского строительства в докризисный период и последовавший дефицит цемента, обусловивший рост его стоимости, стимулировали массовую реконструкцию действующих цементных заводов и строительство новых. В кризисные годы техническое перевооружение цементной промышленности не прекращалось, поэтому уже с 2009 г. начался рост производства цемента. В 2012 г. выпуск цемента в России увеличился по сравнению с 2011 г. на 10%. Об этом сообщил директор по маркетингу компании «СМПро» **Е.В. Высоцкий**. Он представил структуру и динамику потребления цемента, проанализировал экспортную и импортную составляющие рынка, а также факторы, влияющие на развитие отрасли (читайте статью на стр. 66).

Высокие темпы роста демонстрирует известковая промышленность в целом и в сегменте выпуска строительной извести в частности. Директор Некоммерческого партнерства производителей извести **Р.Ф. Галиахметов** отметил, что по абсолютным показателям выпуск строительной извести достиг докризисных объемов еще в 2011 г. В 2012 г. рост производства продолжился и составил более 116%. В известковой промышленности также идет модернизация и строительство производственных мощностей.

Как и другие коллеги, Ранис Фанистович отмечал неувязки «громадьи» планов по увеличению объемов строительства с реальными возможностями их выполнения, включающими информационный разрыв между властными структурами и промышленностью строительных материалов, противоречивость правовой и нормативно-технической базы.

Развитие гипсовой отрасли России после мирового кризиса 2008–2009 гг. отличается положительной динамикой по всем позициям – добыче гипсового камня, производству гипсовых вяжущих, гипсокартонных листов (ГКЛ), перегородочных плит (ПГП), сухих смесей (ССС) и др. Докризисные показатели выпуска продукции были достигнуты уже в 2010 г. Об этом рассказал исполнительный директор Российской гипсовой ассоциации **А.Ф. Бурьянов**. Он рассмотрел ключевые факторы успешного развития отрасли гипсовых материалов (читайте статью на стр. 70).

Как показывают статистические данные, производство силикатного кирпича и блоков в 2012 г. увеличилось по сравнению с 2011 г. на 10%. Однако по этому виду продукции докризисные показатели объемов производства не достигнуты. Относительно невысокие темпы роста выпуска силикатного кирпича обусловлены как объективными, так и субъективными причинами, которые подробно рассмотрел в докладе председатель ассоциации производителей силикатных материалов **Н.В. Сомов**. Одной из главных проблем промышленности строительных материалов Николай Викторович назвал практически полную зависимость российских предприятий от технологий, оборудования и запасных частей иностранного производства. И это касается практически всех подотраслей промышленности строительных материалов.

Техническое перевооружение с применением импортного оборудования существенно увеличивает стоимость модернизации за счет высоких процентных ставок по банковским кредитам, необходимости оплачивать работу ино-



Управляющий Союза производителей сухих строительных смесей (Санкт-Петербург) Е.В. Беляев затронул актуальную проблему контрафакта на российском рынке сухих строительных смесей (читайте статью в № 3–2013 г.)



Постоянный, активный участник конференций и дискуссий советник Департамента развития секторов экономики Минэкономразвития РФ В.Д. Горбунов

странных специалистов, обучать российских ИТР и рабочих за рубежом. Эти расходы ложатся на себестоимость продукции, увеличивая ее цену и снижая рентабельность всего проекта модернизации.

На этом фоне оптимистичные планы по строительству ежегодно 100 млн м² экологичного жилья с требованием снижения его стоимости, в том числе за счет снижения цены на строительные материалы, выглядят, мягко говоря, недостаточно обоснованными (статья Н.В. Сомова читайте в № 3–2013 г.).

Самой динамично развивающейся подотраслью промышленности строительных материалов является производство автоклавного ячеистого бетона. Бурный рост производства обусловлен, прежде всего, новым строительством предприятий большой единичной мощности. Выпускаемая подотраслью продукция обладает принципиально новыми качественными характеристиками, отвечающими современным требованиям, прежде всего по энергосбережению. Это позволяет газобетону теснить на рынке другие традиционные штучные стеновые материалы. Подробно о состоянии российского рынка автоклавного газобетона читайте в статье исполнительного директора Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона **Г.И. Гринфельда** на стр.76.

Производство керамических стеновых материалов в 2012 г. составило около 7,3 млрд шт. условного кирпича и достигло уровня 2008 г. В докризисный период в отрасли были начаты крупные инвестиционные проекты, поэтому годы кризиса отмечены постоянным вводом новых производственных мощностей. Однако модернизация существующих предприятий, особенно средней и малой мощностей, существенно затормозилась. Техническое оснащение кирпичной промышленности также осуществляется за счет зарубежного оборудования. Это позволяет предприятиям выпускать новые виды керамических стеновых материалов высокого качества и вполне конкурентоспособных на рынке стеновых материалов как по теплозащитным свойствам, так и по экологичности, технологичности.

В докладе директора Ассоциации керамических стеновых материалов **В.Н. Герашенко** были обозначены основные направления деятельности ассоциации с целью дальнейшего развития отрасли и способствования увеличению объемов потребления керамической стеновой продукции.

Участники рынка листового стекла также ориентируются на контрольные показатели развития жилищного и гражданского строительства, устанавливаемые государством. В до-

кладе заместителя исполнительного директора Союза стекольных предприятий **Л.М. Шахнеса** отмечено, что в 2000–2010 гг. в России сформировалась практически новая подотрасль по выпуску листового стекла. Суммарная мощность стекольных заводов составляет порядка 2,48 млн т листового стекла в год. В разной степени реализации находятся еще четыре проекта строительства стекольных заводов общей мощностью около 1 млн т листового стекла в год. Параллельно с развитием производства в отрасли формируется подотрасль промышленной переработки стекла.

Однако темпы роста производственных мощностей существенно опережают темпы роста строительства, что обостряет конкуренцию на рынке. Кроме того, заявленный курс на энергосбережение прежде всего в жилищно-коммунальном секторе до настоящего времени сводится к борьбе за утепление стен. Инновационная энергосберегающая стекольная продукция остается маловостребованной.

В связи с существенной корректировкой целевых показателей государственных программ со 140 млн м² к 2020 г. до 92 млн м² для переработчиков листового стекла особое значение приобретает сегмент ЖКХ.

О развитии рынка мягких кровельных материалов рассказал лучший эксперт в этой области генеральный директор НТЦ «Гидрол-Кровля» И.Я. Зельманович (читайте статью на стр. 78).

Резюмируя итоги конференции, можно отметить, что постепенно промышленность строительных материалов оправляется от последствий финансово-экономического кризиса. Более того, в ряде отраслей годы кризиса были полезно использованы для массового технического перевооружения. В настоящее время практически по всем основным видам строительных материалов существует запас мощности, который сможет в значительной мере обеспечить заявленные показатели государственных программ по строительству жилья. Тревогу вызывает тот факт, что на фоне замедления роста инвестиций в строительство началась корректировка целевых показателей по вводу жилья на перспективу до 2020 г. в сторону существенного уменьшения. Следовательно, построенные мощности промышленности строительных материалов могут оказаться невостребованными.

В этой связи как никогда важно, чтобы отраслевые объединения, эксперты промышленности были привлечены к реальной разработке государственных программ социально-экономического развития.

УДК 630*381.2

А.А. СЕМЁНОВ, канд. техн. наук,
генеральный директор ООО «ГС-Эксперт» (Москва)

Итоги развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2012 году, прогноз на 2013 год



Приведенная в статье оценка состояния строительного комплекса и промышленности строительных материалов базируется в основном на анализе данных официальной статистики. Однако необходимо отметить, что эти данные не всегда вполне корректно отражают действительную ситуацию в отечественной экономике, что неоднократно отмечалось в ряде публикаций и выступлений [1, 2]. Как правило, данные официальной статистики носят более оптимистичный характер. Однако, несмотря на это, данные по прошедшему году не позволяют говорить об окончательном выходе отрасли из кризиса и ее устойчивом развитии. Основные макроэкономические показатели, характеризующие состояние строительного комплекса России, приведены в табл. 1.

Эти данные показывают, что на протяжении всего минувшего года темпы роста инвестиций в основной капитал в целом по российской экономике стабильно сокращались. По итогам 2012 г. этот показатель составил 12279 млрд р., увеличившись на 6,7% по сравнению с 2011 г.; в 2011 г. инвестиции в основной капитал выросли на 8,3%. В общем это согласуется с прогнозными оценками, озвученными на IV конференции «Текущее состояние строительного комплекса и перспективы посткризисного развития промышленности строительных материалов» [3].

Однако если проанализировать отраслевую структуру инвестиций, то можно отметить, что начиная со II квартала 2012 г. наблюдается не только снижение тем-

пов роста инвестиций по виду деятельности «Строительство» (на данную отрасль российской экономики приходится около 2% от общего объема инвестиций в основной капитал), но и сокращение объемов инвестиций в абсолютном выражении по сравнению с предыдущим годом. По итогам 9 месяцев 2012 г. объем инвестиций в основной капитал по виду деятельности «Строительство» сократился почти на 20% по сравнению с 2011 г., что даже превысило темпы снижения объемов инвестиций в 2011 г.

Если проследить динамику изменения этих показателей за последние пять лет, то можно увидеть, что уровень инвестиций в основной капитал только по итогам прошедшего года достиг докризисного уровня (рис. 1, а). А инвестиции в основной капитал по виду деятельности «Строительство» после незначительного роста в 2010 г. продолжают сокращаться. В 2012 г. объем инвестиций в строительство составил всего 56% от уровня 2008 г. (рис. 1, б).

Темпы роста объемов работ, выполненных по виду деятельности «Строительство», по данным Росстата, в 2012 г. также существенно уступали уровню 2011 г. По итогам прошедшего года объем работ по этому виду деятельности составил 5711,8 млрд р., увеличившись всего на 2,7% в сопоставимых ценах по сравнению с 2011 г., а в 2011 г. рост этого показателя составлял 5,1%. По отношению к принятому за базу 2008 г. можно констатировать реальное падение объемов работ по виду деятельности «Строительство» — 94% в сопоставимых ценах (рис. 2).

Таблица 1
Макропоказатели состояния строительства в РФ в 2012 г.*
(в % к соответствующему периоду 2011 г.)

Макропоказатель	2012				2011/ 2010
	январь-март	январь-июнь	январь-сентябрь	январь-декабрь	
Инвестиции в основной капитал	116,8	109,6	108,6	106,7	108,3
Инвестиции в основной капитал по виду деятельности «Строительство»	134,5	97,4	80,2	нет данных	89,9
Объемы работ, выполненных по виду деятельности «Строительство»	105	104,7	102,3	102,4	105,1
Ввод в действие жилых домов (общая площадь)	105,7	101,9	102,7	104,7	106,6

* Источник: Росстат.

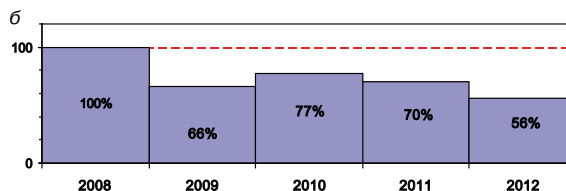
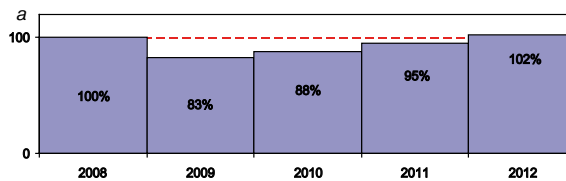


Рис. 1. Динамика инвестиций в основной капитал в 2008–2012 гг. (2008 г. = 100%): а – всего; б – по виду деятельности «Строительство». Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

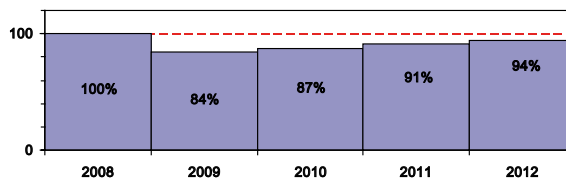


Рис. 2. Динамика объемов работ по виду деятельности «Строительство» в 2008–2012 гг. (2008 г. = 100%). Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

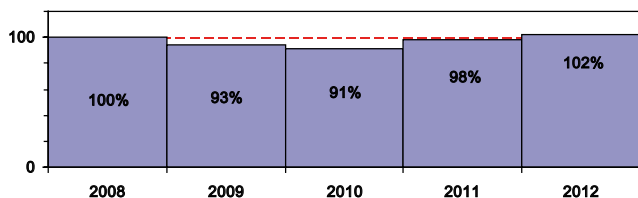


Рис. 3. Динамика объемов ввода в действие жилых домов в 2008–2012 гг. (2008 г. = 100%). Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

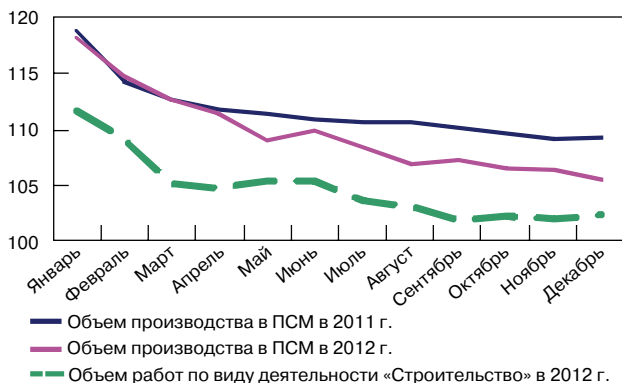


Рис. 4. Темпы роста объемов производства в промышленности строительных материалов в 2011–2012 гг. (% к аналогичному периоду с начала предыдущего года)

Реальную ситуацию в жилищном строительстве в 2012 г. также нельзя назвать оптимистичной. А статистические данные у специалистов-аналитиков вызывают множество вопросов. В первом полугодии 2012 г. темпы роста объемов ввода жилья в стране стабильно сокращались, а в отдельные месяцы сокращались и объемы ввода по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. Однако в IV квартале 2012 г. Росстат зафиксировал существенный рост объемов ввода жилья. Например, в октябре–ноябре темпы роста этого показателя превышали 11%, что вызывает значительные сомнения. Налицо противоречие между данными по инвестициям в строительство и объемом ввода жилья. В результате согласно официальным данным Росстата по итогам года в стране было введено 65,2 млн м² жилья – на 4,7% больше, чем годом ранее. Темпы роста ввода жилья в 2012 г., даже по данным официальной статистики, также существенно снизились по сравнению с 2011 г., когда этот показатель увеличился на 6,6%. При сопоставлении данных за прошедший пятилетний период можно отметить, что по объему строительства жилья мы наконец пре-

высили уровень 2008 г., когда было введено около 64 млн м² (рис. 3).

По оценкам «ГС-Эксперт», в 2013 г. ситуация в строительстве не претерпит кардинальных изменений. Даже при благоприятном развитии экономической ситуации в стране в отрасли будет наблюдаться дальнейшее снижение темпов роста объемов строительства, прежде всего жилищного, которые по нашим оценкам не превысят 2–4%, т. е. объем ввода жилья в 2013 г. составит 66,5–67,5 млн м².

Итоги работы промышленности строительных материалов в 2012 г. отражают реальное состояние строительства.

После достаточно динамичного роста производства в отрасли в 2010 г., когда спешно завершалось строительство объектов, начатых в докризисный период, на протяжении 2011 г. отмечалось постепенное снижение темпов роста производства [4]. Эта ситуация сохранилась и в 2012 г. При этом темпы роста производства в отрасли в 2012 г. были существенно ниже, чем годом ранее. Достаточно высокие темпы роста производства наблюдались только в начале года – свыше 10% в январе–апреле, что было связано с надеждами на рост объемов строительных работ в стране. Однако надежды на рост в строительстве не оправдались: на протяжении всего 2012 г. темпы роста объемов строительных работ в стране, как уже отмечалось, стабильно сокращались. По итогам 2012 г. рост производства в промышленности строительных материалов составил всего 5,6% против 9,3% в 2011 г. (рис. 4).

В 2012 г. на фоне снижения темпов роста объемов производства в отрасли также сократился и ввод новых производственных мощностей в некоторых подотраслях ПСМ. Исключение составляют производители блоков из ячеистых бетонов, керамического кирпича, щебня и теплоизоляционных материалов. В этих подотраслях в 2012 г. ввод производственных мощностей, по предварительным оценкам, превысил прошлогодний уровень (табл. 2).

Если проследить динамику изменения объемов производства некоторых видов строительных материалов в 2012 г. и сопоставить ее с данными за 2011 г. [4], то можно увидеть отчетливую тенденцию сокращения темпов роста по большинству товарных позиций. Однако в целом, несмотря на сокращение темпов роста производства, объем выпуска большинства видов строительных материалов в 2012 г. на 5% и более превысил прошлогодний уровень (табл. 3). При этом необходимо отметить, что наиболее высокие темпы роста показывают те сегменты строительных материалов, которые использу-

Таблица 2

Ввод производственных мощностей в 2008–2012 гг.

Продукция	Ед. изм.	2008	2009	2010	2011	9 мес. 2012
Материалы строительные нерудные	млн м ³	6,5	7	5,4	4,7	5,2
Цемент	млн т	0,3		7,3	9	5,9*
Сборные железобетонные конструкции и изделия	тыс. м ³	106	173	358	87	38
Кирпич керамический	млн шт. усл. кирп.	223	536	272	135	225
Кирпич силикатный	млн шт. усл. кирп.	24		224	80	
Блоки из ячеистых бетонов	млн шт. усл. кирп.	236	300	1225	1045	1700*
Стекло листовое	млн м ²	35		14		35*
Плитки керамические	млн м ²	6,1		0,3	3,1	0,01
Теплоизоляционные материалы	млн м ³	4,3	0,7	4,3	0,7	1,8

* – Оценка по итогам 2012 г.

Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт».

Таблица 3

Динамика производства основных видов строительных материалов в 2012 г.*

Продукция	Темпы роста производства, %				
	2012				2011
	январь–март	январь–июнь	январь–сентябрь	январь–декабрь	
В целом по виду деятельности «Прочие неметаллические минеральные продукты»	112,7	108,5	107,3	105,6	109,3
Нерудные стройматериалы, в том числе: щебень песок строительный	120,4	116,8	112,8	111,4	114,3
	123,3	113,5	109,8	109,3	117,1
	115,7	120,3	115	112,7	109,1
Цемент	118,5	114,4	110,7	109,5	111,4
Известь строительная	123	119,5	116,9	116,7	116,4
Гипс	108,3	106,6	109,1	108,0	113,7
Кирпич керамический	120,7	116	112,2	109,6	117,2
Кирпич силикатный	125,1	117	113,5	110,6	111,6
Блоки из ячеистого бетона	146,1	129,5	122,5	120	129,8
ЖБИ	116,3	113,4	111,2	109,6	111,2
Товарный бетон	122,4	90,5	97,6	106,8	119,3
Стекло листовое	108,4	109,4	106,4	106,3	103,2
Плитки керамические	113,2	110,5	111,3	108,5	114,9
Сухие строительные смеси	122	122	119	117	119
Строительные гипсовые изделия	114,5	104,1	106	106,4	109,3
Минераловатные теплоизоляционные материалы	130,1	128,4	125,9	123,6	118,9

*Источник: Росстат.

Таблица 4

Объемы производства некоторых видов строительных материалов в 2007–2012 гг.*

Продукция	Единицы измерения	Объемы производства						% от докризисного объема производства		
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2010	2011	2012
Материалы строительные нерудные	млрд м ³	392,4	415,8	261,2	311,9	375,8	411,5	75	90	99
Щебень и гравий	млрд м ³	184,7	199,8	151,6	172,9	207,8	223,6	87	104	112
Песок строительный	млрд м ³	146,7	165,2	94,3	120,5	142,3	157,4	73	86	95
Цемент	млн т	59,9	53,5	44,2	50,4	56,2	61,5	84	94	103
Известь строительная	млн т	1,9	1,9	1,1	1,7	2	2,2	89	105	116
Гипс	млн т	4	4,1	3,3	4,1	4,6	5	100	113	122
Сборные ЖБИ	млн м ³	29,1	28,4	17,5	20,3	23,2	24,9	70	80	86
Кирпич керамический	млрд шт. усл. кирп.	6,8	7,3	5	5,3	7	7,3	73	96	100
Кирпич силикатный	млрд шт. усл. кирп.	5	4,9	2,6	2,7	2,9	3	54	58	60
Блоки стеновые из ячеистого бетона	млрд шт. усл. кирп.	4,4	5	4,2	5,4	6,7	8	108	134	160
Стекло листовое (флоат)	млн м ²	140,5	156,4	165,9	201,6	209,2	213,7	129	134	146
Плиты и плитки керамические	млн м ²	137,6	148,1	117,5	127,6	143,9	156,1	86	97	105
Керамзит	млн м ³	4,8	4,8	3,2	3,3	3,4	4	69	71	83

*Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт».

ются в индивидуальном жилищном строительстве и при ремонте существующих зданий и сооружений.

Если сопоставить объемы производства в натуральном выражении, то можно отметить, что большинство подотраслей ПСМ по итогам 2012 г. достигли докризисных объемов производства (табл. 4), но ряд подотраслей еще очень далеко от преодоления последствий кризиса.

Несмотря на снижение темпов объемов строительства в стране, сохранившаяся положительная динамика спроса на большинство видов строительных материалов в прошедшем году обусловила возобновление инвестиционной активности в отрасли. Начата реализация нескольких новых проектов строительства заводов по выпуску цемента, извести, гипса, листового стекла и различных видов стеновых материалов. Также заявлено

о планах по строительству подобных производств в ближайшие годы.

Однако, по нашим оценкам, в 2013 г. ситуация в отрасли не претерпит существенных изменений, так как состояние промышленности строительных материалов полностью зависит от ситуации в строительстве. Можно прогнозировать, что в отрасли будет наблюдаться стагнация с минимальным ростом, обусловленная дальнейшим снижением темпов роста в экономике страны в целом и объемов строительных работ в частности. По итогам года рост производства в промышленности строительных материалов составит не более 3–5%.

Ключевые слова: итоги работы за 2012 г., строительство, промышленность строительных материалов, макроэкономические показатели, темпы роста, динамика производства, стагнация, прогноз.

Список литературы

1. Пономарев И.Г. Преодолен ли кризис в строительном комплексе? // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 57–59.
2. Зельманович Я.И. Состояние рынка мягких кровельных и гидроизоляционных материалов России в 2009–2010 гг. // Строительные материалы. 2011. № 3. С. 63–67.
3. Пономарев И.Г. Итоги работы строительного комплекса России в 2011 г. и прогноз развития строительства в 2012 г. // Строительные материалы. 2012. № 2. С. 6–8.
4. Семёнов А.А. Текущее состояние и тенденции развития промышленности строительных материалов // Строительные материалы. 2012. № 2. С. 9–11.



Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

Выполнены работы по:

- минеральному сырью: гипсовому камню, полевому шпату, различным видам глин, стекольным и формовочным пескам, карбонатным породам (доломиту, мелу, известняку), кварцу, бентониту, волластониту, диатомиту и др.;
- строительным материалам: цементу, извести, гипсу, листовому стеклу, щебню, гравии, теплоизоляционным и кровельным материалам, архитектурному профилю из алюминиевых сплавов и ПВХ, кирпичу, ячеистому бетону и др.

125047, Москва,
1-й Тверской-Ямской пер., д. 18, оф. 230
Тел: (499) 250-48-74, (916) 507-83-77,
факс: (499) 250-48-74
www.gs-expert.ru E-mail: info@gs-expert.ru

группа компаний
нефтегазхимкомплект.рф

Высокотемпературные пигменты для кирпича и керамики

MnChemical

Грузия

Марганца диоксид

Состав: марганца диоксид MnO_2 (>80%),
в том числе марганца Mn >47%.

PRINCEMINERALS®

Великобритания

BRICKMAX® CR, P

Состав: тримарганца тетраоксид Mn_3O_4 (95%),
в том числе марганца Mn > 65%

Kimpe

Франция

MANGA-K

Состав: марганца диоксид MnO_2 (80%),
в том числе марганца Mn >47%

COLOR-K

Состав: тримарганца тетраоксид Mn_3O_4 (95%),
в том числе марганца Mn > 65%

COLOR GREY

Состав: оксид хрома (III) Cr_2O_3 (>44%),
оксид железа FeO (>26,5%)

COLOR YELLOW

Состав: оксид титана TiO_2 (>85%),
оксид алюминия Al_2O_3 (>5%),
оксид кремния SiO_2 (<8%)

COLOR RED

Состав: триоксид железа Fe_2O_3 (>98%)

Русский хром 1915

Россия

Хрома окись ОХП-2

Состав: оксида хрома Cr_2O_3 (>99%)

R&G International

Китай

Барий карбонат

Состав: карбонат бария $BaCO_3$ (>99%)
Предотвращает образование высолов
на поверхности готовых изделий и кладки

Все это и еще более 150 наименований химической продукции всегда в наличии на складах в Москве и Санкт-Петербурге.

+7 (495) 727-22-87

info@iodine.ru www.iodine.ru

УДК 666.94



Е.В. ВЫСОЦКИЙ, директор по маркетингу, ООО «СМ Про» (Москва)

Тенденции и перспективы развития рынка цемента Российской Федерации

Прошедший 2012 г. ознаменовался для цементной промышленности рекордными в современной истории России показателями объемов потребления цемента (табл. 1). По расчетам специалистов СМ Про, производство цемента в России в прошлом году увеличилось на 10% до 61,5 млн т, что лишь на 134 тыс. т меньше, чем в 1992 г., когда был достигнут максимум производства в постсоветский период. Однако исторический рекорд производства цемента устоял: в 1989 г. было произведено 85 млн т.

Потребление цемента в 2012 г. опережало производство и выросло на 13,2%, до 65,2 млн т. Однако темпы роста потребления цемента несколько снизились по сравнению с 2011 г., когда рост потребления составил 15,5% к уровню 2010 г.

В достижении столь значимых показателей потребления сыграли импортные поставки цемента в Россию, которые в 2012 г. увеличились на 81%. Однако отраслевой «рекорд» по импорту не был побит: в 2008 г. в Россию было ввезено 7,3 млн т цемента (без клинкера) — на 5,1 млн т больше, чем в 2007 г.

Беларусь вышла на второе место по импорту цемента в Россию. Не обошлось на цементном рынке без курьезов: турецкий цемент достиг берегов Баренцева моря, и доля его на рынке Мурманска в 2012 г. составила 30%.

В настоящее время в цементной промышленности успешно внедряются энергосберегающие технологии. В 2012 г. 76% прироста производства цемента достигнуто за счет выпуска клинкера по сухому способу. В связи с этим средний удельный расход топлива на обжиг 1 т клинкера сократился с 198 до 188 кг. При средней цене газа экономия в отрасли составила более 2 млрд р.

Также в цементной отрасли России произошли важные изменения, повлиявшие на рост объема производства. В начале года в Краснодарском крае успешно запущен после реконструкции Верхнебаканский цементный завод мощностью 2,3 млн т. В Чеченской Республике вос-

становлено производство на ГУП «Чеченцемент» мощностью 0,6 млн т.

Позиции российских и мировых цементных корпораций в производстве цемента в 2011–2012 гг.

В 2012 г. в пятерку лидеров не вошли зарубежные производители цемента, общая доля которых колеблется в пределах 20%. По прогнозам экспертов компании «СМ Про», ситуация в среднесрочной перспективе не изменится (рис. 1).

Бесспорным лидером в производстве цемента остается гигант отечественной промышленности строительных материалов холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ групп». Помимо российских заводов в холдинг входят два производства в Украине и одно в Узбекистане, компания также владеет существенной долей в компании Holcim, являющейся в свою очередь одним из мировых лидеров по производству цемента. Однако доля Евроцемента в общем выпуске цемента снижается.

Существенный рост производства в 2012 г. к уровню 2011 г. наблюдался на заводах Heidelberg Cement:

Таблица 1

Основные параметры рынка цемента РФ в 2011–2012 гг.

Показатель	2012 г.	2011 г.	Δ, %
Производство, млн т	61,5	55,9	10
Импорт, млн т	5,1	2,8	80,7
Экспорт, млн т	1,4	1,2	20,2
Потребление, млн т	65,2	57,5	13,2
Цена приобретения, р./т, с НДС и доставкой	4041	3577	12,9
Объем рынка, млрд р.	263,3	205,9	27,9

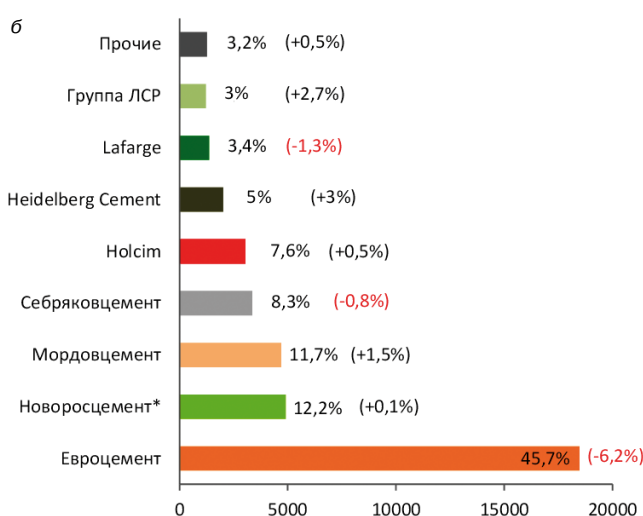
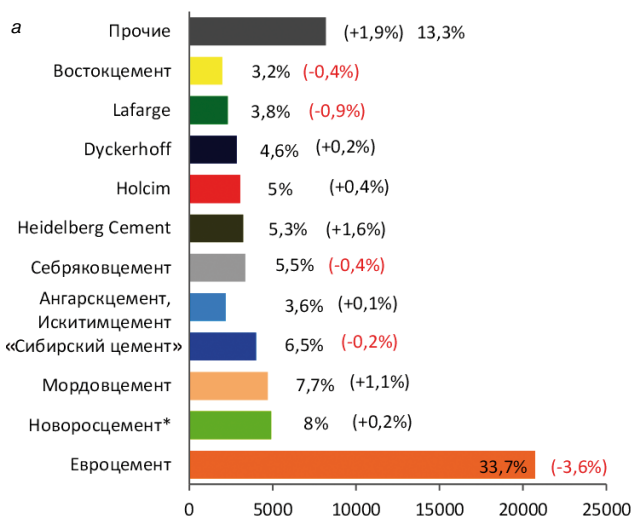


Рис. 1. Производство цемента в 2012 г. ведущими предприятиями отрасли: а – в Российской Федерации (тыс. т), доля (%) от общего производства цемента в РФ; б – в Европейской части РФ, доля (%) от производства цемента в Европейской части; в скобках – изменение долей в % к 2011 г.

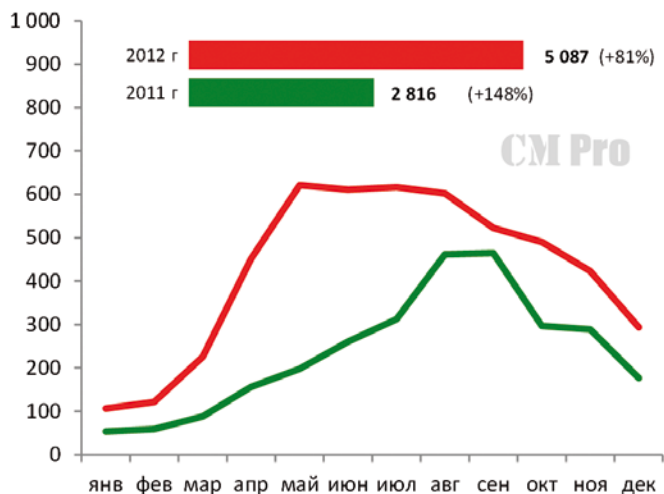


Рис. 2. Динамика импорта цемента в РФ в 2012 г., тыс. т



Рис. 3. Зарубежные страны – основные поставщики цемента в РФ в 2012 г.

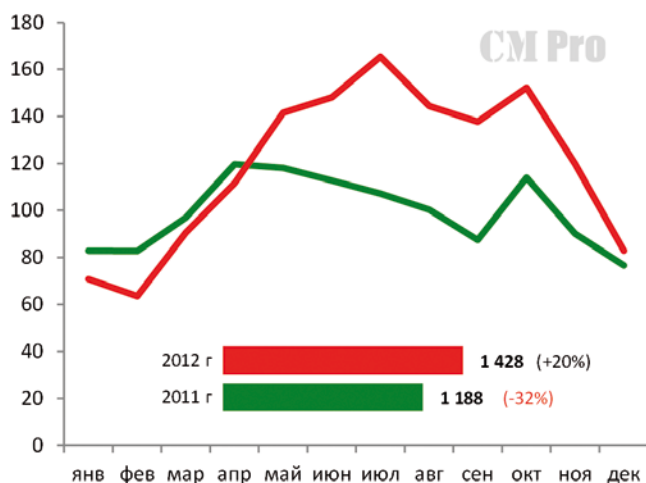


Рис. 4. Динамика экспорта цемента из РФ в 2011–2012 гг., тыс. т



Рис. 5. Основные страны – потребители цемента РФ в 2012 г.

Таблица 2
Отгрузка цемента железнодорожным транспортом в 2011–2012 гг., тыс. т

Регионы РФ	2012 г.	2011 г.	Δ, %
Россия всего, тыс. т	35,1	34,3	2,2
Центральный ФО	12,1	11,2	8,2
Приволжский ФО	5,7	5,2	11
Южный ФО	3,6	4,1	-13,3
Уральский ФО	3	2,9	3,0
Северо-Западный ФО	3,1	3,5	-11,6
Сибирский ФО	4,1	3,8	6
Северо-Кавказский ФО	2,6	2,7	-5,2
Дальневосточный ФО	1	0,9	2,9

Таблица 3
Потребление цемента по регионам РФ в 2011–2012 гг., тыс. т

Регионы РФ	2012 г.	2011 г.	Δ, %
Россия всего, тыс. т	65,2	57,6	13,2
Центральный ФО	19,3	16,8	14,9
Приволжский ФО	11,2	9,3	20,5
Южный ФО	9,2	8,1	13,7
Сибирский ФО	7,2	6,7	8,4
Уральский ФО	6,7	5,8	14,9
Северо-Западный ФО	5,8	5	14,7
Северо-Кавказский ФО	3,5	3,3	4,1
Дальневосточный ФО	2,3	2,5	-8,2

+1209 тыс. т (+60%) до 3235 тыс. т; Мордовцемента: +1032 тыс. т (+28%) до 4707 тыс. т (существенное увеличение производства произошло благодаря вводу в конце 2011 г. новых производственных мощностей в размере 2,4 млн т цемента в год); Новоросцемента*: +560 тыс. т (+13%) до 4911 тыс. т; Holcim: +512 тыс. т (+20%) до 3053 тыс. т; Duskerhoff: +391 тыс. т (+16%) до 2850 тыс. т.

Падение производства за данный период было отмечено на заводах Lafarge: 298 тыс. т (-11%) до 2317 тыс. т; Евроцемента: 127 тыс. т (-1%) до 20723 тыс. т и Востокцемента: 63 тыс. т (-3%) до 1977 тыс. т.

Интеграция в мировой цементный рынок

В 2012 г. в РФ было завезено более 5 млн т цемента из 30 стран мира (рис. 2, 3).

Поставки импортного цемента в РФ водным транспортом в 2012 г. увеличились на 86,3% к 2011 г. и составили 3,4 млн т (67% от общего объема импорта). Основными странами – поставщиками цемента в РФ водным путем являются Турция – 1837 тыс. т (53,5%); Иран – 462 тыс. т (13,5%) и Китай – 206 тыс. т (6%).

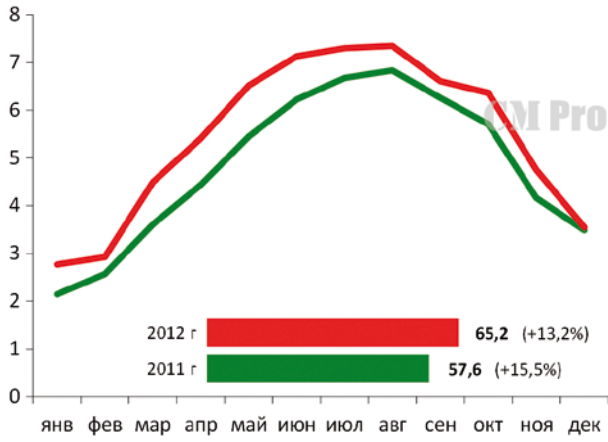


Рис. 6. Потребление цемента на рынке РФ в период 2011–2012 гг., млн т

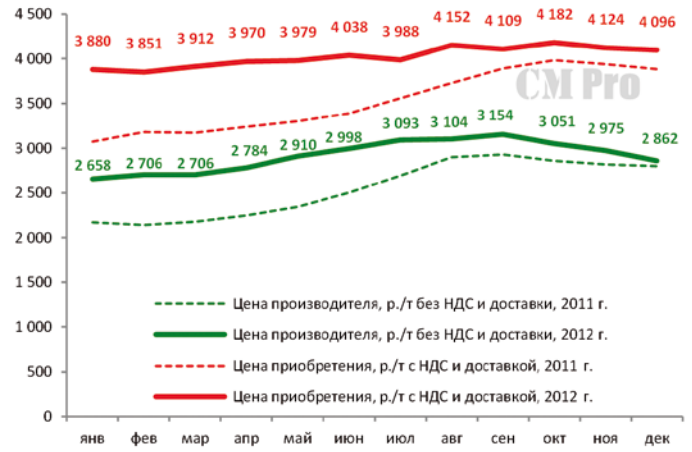


Рис. 7. Средние цены производителей и приобретения цемента, р./т

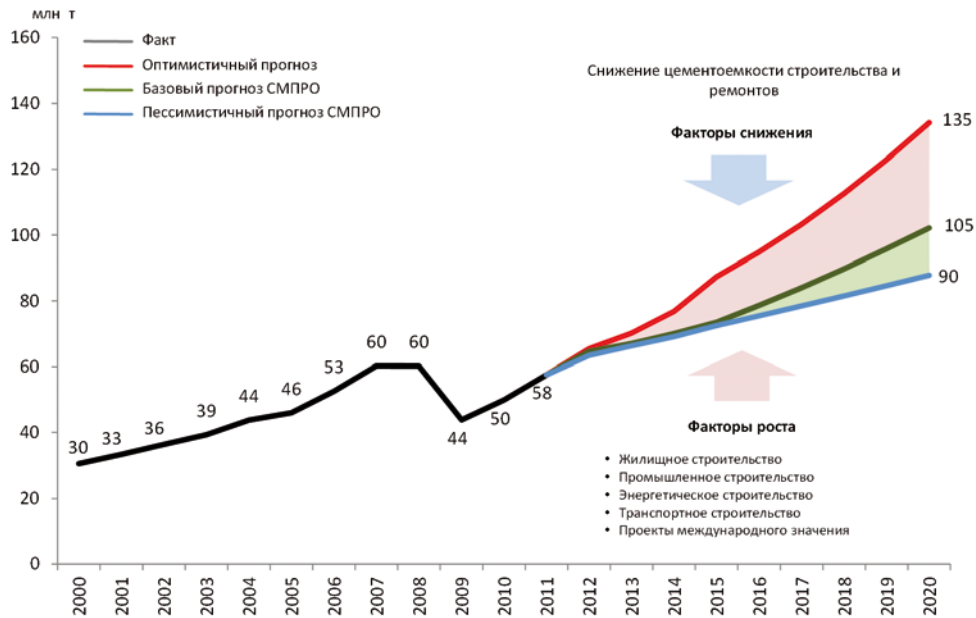


Рис. 8. Динамика потребления цемента в РФ и прогноз до 2020 г.

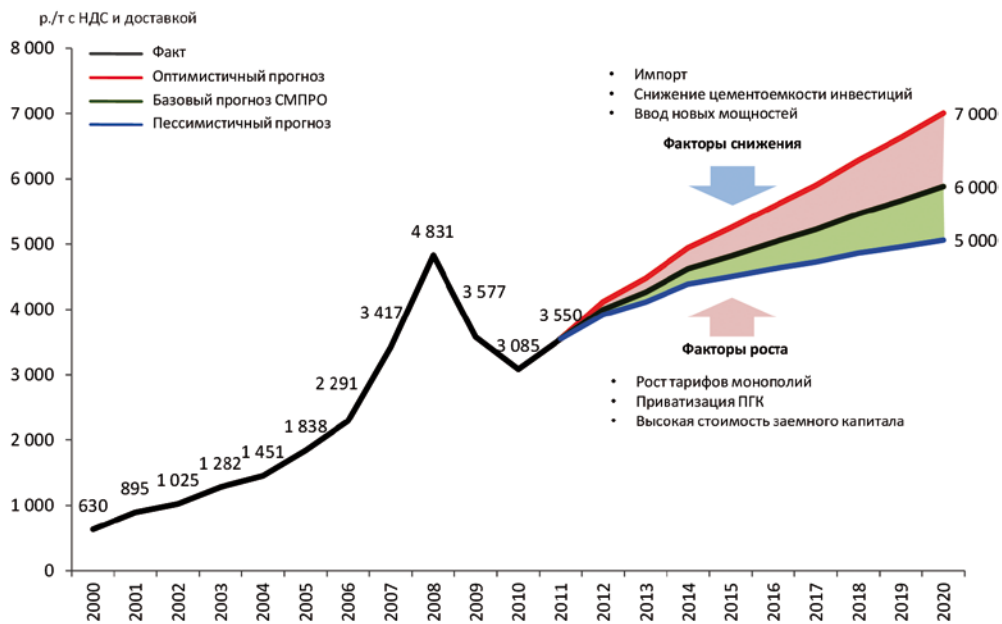


Рис. 9. Динамика стоимости приобретения цемента в среднем по России и прогноз до 2020 г.

Железнодорожным транспортом было поставлено 1,4 млн т (27%), что на 60,2% больше, чем в 2011 г. Основными странами – поставщиками цемента в РФ железнодорожным транспортом являются Республика Беларусь – 655 тыс. т (48%) и страны Балтии – 486 тыс. т (35,6%).

Импорт цемента автотранспортом из Беларуси в 2012 г. увеличился более чем в 2,3 раза к 2011 г. и составил 0,3 млн т.

Необходимо отметить, что увеличение объемов импорта происходит, несмотря на ввод новых цементных производств в России. В прошлом году введена в эксплуатацию новая линия на Верхнебаканском цементном заводе мощностью 2,3 млн т. Тем не менее в регионе расположения завода ощущается негативное влияние дешевого импортного цемента, который снижает прибыльность отечественного цементного бизнеса. По нашей оценке, в 2012 г. объем импорта цемента в Краснодарский край составил более 1 млн т, что сопоставимо с объемом производства цемента на ВБЦЗ. Более 50% емкого рынка Ростовской области также обеспечивают поставки импортного цемента из Турции (0,9 млн т) и других стран (0,3 млн т).

Аналитики компании «СМ Про» прогнозируют дальнейшее увеличение импорта цемента в Россию.

В 2012 г. российские производители цемента увеличили его экспорт до 1,4 млн т, что на 20% больше, чем в 2011 г. (рис. 4). При этом основной объем был отгружен во второй половине года. Главными потребителями российского цемента являются страны – бывшие советские республики: (рис. 5) Казахстан (54%), Азербайджан (25%) и Беларусь (19%). Интересно отметить, что Беларусь также является одним из крупнейших поставщиков цемента в Россию.

Отгрузка цемента железнодорожным транспортом в регионы РФ

Одна из важнейших задач любого цементного предприятия – стабильные поставки цемента потребителям, поэтому в условиях ограниченного количества специализированного подвижного состава многие предприятия приобретают автоцементовозы. Для сравнения, доля отгрузки цемента железнодорожным транспортом в 2011 г. сократилась с 65 до 60%, в 2012 г. – снизилась до 55%, а в начале 2000-х гг. доля железнодорожной отгрузки составляла около 75%.

В регионах ситуация с железнодорожными перевозками цемента весьма неоднородна (табл. 2).

Динамика отгрузки цемента железнодорожным транспортом наряду с существенным увеличением доли отгрузки цемента автомобильным и прочим транспортом свидетельствует о проблемах, которые испытывают цементники в строительный сезон. Максимальная месячная отгрузка цемента железнодорожным транспортом зафиксировалась на уровне 3,7 млн т. Увеличению перевозок в пик строительного сезона препятствуют нехватка вагонов и изношенность железнодорожной инфраструктуры.

Потребление и цена цемента

Потребление цемента в 2012 г. увеличилось на 13,2% к прошлому году и составило 65,2 млн т. Максимальный рост потребления в абсолютном выражении зафиксирован в Центральном федеральном округе: +2,5 млн т (+14,9%), а также в Приволжском федеральном округе: +1,9 млн т (+20,5%). Падение потребления в 2012 г. наблюдалось только в Дальневосточном федеральном округе: -0,2 млн т (-8,2%) (табл. 3).

Как правило, в период активного строительства, с июня по сентябрь, появляется спрос со стороны частных и мелких застройщиков (рис. 6). В это время цемент

можно продавать по предоплате, а также повышать цены до 10% в месяц, что являлось нормой до недавнего времени: в 2011 г. сезонное повышение цен составило около 40%. В 2012 г. сезонное повышение составило всего 15% (рис. 7).

На рис. 8 представлены различные варианты развития рынка цемента в России на перспективу до 2020 г. Пессимистичный и оптимистичный варианты разработаны на основе макроэкономических прогнозов развития нашей страны. Ведущие специалисты компании «СМ Про» со сдержанным оптимизмом считают, что темпы роста потребления цемента будут снижаться и к 2020 г. объем потребления составит 90–105 млн т в год при условии бескризисного развития экономики. Если это неблагоприятное событие произойдет, то целевые показатели сдвинутся на 3–5 лет.

Прогноз средней цены приобретения цемента в РФ Бескризисный сценарий

По оценке «СМ Про» стоимость цемента, как и других ресурсов, будет увеличиваться. В условиях стабильного развития российской экономики, продолжающегося давления импортного цемента и усиления конкуренции за счет ввода в эксплуатацию новых цементных производств резких колебаний средней стоимости цемента не предвидится (рис. 9). Тем не менее, в различных регионах страны цена может существенно отличаться в зависимости от ряда факторов, таких как, удаленность потребителя от производителей цемента, количество поставщиков цемента в регионе, наличие посредников, объем регионального потребления, доступность товара для потребителя, логистика, давление импорта и других факторов.

В этих условиях возрастает роль качественной аналитической информации для принятия оперативных и стратегических решений, как для предприятий-производителей цемента, так и для потребителей цемента.

СМ Pro	Ваш партнер в промышленности строительных материалов	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Управление проектами и предприятиями ✓ Сопровождение и реализация сделок M&A ✓ Технический аудит предприятий и проектов ✓ ТЭО инвестиционных проектов ✓ Экономический и бухгалтерский аудит ✓ Правовая поддержка реализации проектов ✓ Маркетинговые исследования рынков 	
www.cmpro.ru	info@cmpro.ru	+7 (495) 722-09-59
<p><i>ООО «СМ Про» - независимая инвестиционно-консалтинговая компания в промышленности строительных материалов России и стран СНГ</i></p> <p><i>Мы управляли второй по величине цементной группой в СНГ, с объемом производства более 10 млн. тонн в год, крупнейшей транспортной компанией по перевозке строительных материалов, производством нерудных материалов, кирпича и бетона</i></p> <p><i>Мы провели более десятка успешных сделок по продаже и покупке активов в РСМ суммарной стоимостью более 1,5 млрд долларов.</i></p>		
<p>Рынки</p> <ul style="list-style-type: none"> • Цемент • Нерудные материалы • Стеновые материалы • ЖБИ и ЖБК • Бетоны и растворы • Известь строительная • Гипс строительный 	<p>Решения</p> <ul style="list-style-type: none"> • Годовые и квартальные аналитические отчеты по рынкам строительных материалов • Оперативный мониторинг рынков строительных материалов, анализ конкуренции • On-line консультации экспертов 	

УДК 666.913.2



А.Ф. Бурьянов выступает на конференции 1 февраля 2013 г.

Ю.А. ГОНЧАРОВ, президент, А.Ф. БУРЬЯНОВ, исполнительный директор, Российская гипсовая ассоциация

Ключевые факторы успешного развития отрасли гипсовых материалов

Развитие гипсовой отрасли России после мирового кризиса 2008–2009 гг. отличается положительной динамикой по всем позициям — добыче гипсового камня, производству гипсовых вяжущих, гипсокартонных листов (ГКЛ), перегородочных плит (ПП), сухих смесей (ССС) и др. Уже в 2010 г. объемы производства гипса и материалов на его основе достигли показателей 2008 г. В 2011 г. рост производства составил 13%, в 2012 г. — 22% (в натуральном выражении 5 млн т).

На успешное развитие отрасли и ее более устойчивое положение в период экономической нестабильности влияет ряд факторов, которые были проанализированы на всемирной конференции Global Gypsum, прошедшей в октябре 2012 г. в Стамбуле. Выводы и рекомендации мирового профессионального сообщества, без сомнения, будут полезны российским компаниям, особенно после вступления нашей страны в ВТО.

Конечно, нельзя сказать, что мировой экономической кризис обошел стороной гипсовую отрасль. В Северной Америке закрылось несколько заводов по переработке гипсового сырья, наблюдается спад объемов потребления на развитых рынках (Европа, США); из гипсовой отрасли ушла компания Lafarge; мировой лидер по производству бумаги и упаковки продуктов компания International Paper приобрела компанию Tempel Inland — производителя ГКЛ и других строительных материалов на территории США.

Независимо от экономической ситуации и страны локализации производства, результаты деятельности предприятия гипсовой отрасли прямо зависят от следующих ключевых факторов.

- **Гипс.** Необходимо заключать соглашения о гарантированных поставках гипсового сырья по конкурентным ценам.
- **Облицовочный картон** или химические добавки. Необходимо заключать соглашения о гарантированных поставках сырья по конкурентным ценам.
- **Продукция.** Производимые строительные материалы должны соответствовать потребностям местного рынка.
- **Себестоимость.** Себестоимость должна быть конкурентной на местных рынках и более низкой на прочих.
- **Влияние рынка.** Необходимо находить способы воздействия на конечного потребителя.
- **Масштаб деятельности.** Необходимо максимально использовать преимущества крупной компании.

Понятно, что для работы любого гипсового предприятия на первом месте всегда стоит вопрос обеспеченности основным сырьем — гипсом. Для устойчивого развития запасов гипсового камня разрабатываемого месторождения должно хватать не менее чем на 25 лет непрерывной работы предприятия. При этом гипс должен быть высокого качества (соответствовать требованиям к составу и содержанию примесей). Поэтому месторождения гипсового камня приобретают все большую значимость.

Альтернативой натуральному гипсовому камню является искусственный гипс. В США и многих странах Европы для производства строительных материалов достаточно широко используют гипс, который получают при очистке дымовых газов угольных электростанций. В Северной Америке он называется FGD гипс (flue gas desulfurization), в Германии — REA гипс. Объемы производства FGD гипса намного превышают объемы его потребления в США. Это связано с ростом себестоимости производства, тенденцией снижения использования угля и возрастанием использования альтернативных источников энергии.

На постсоветском пространстве искусственный гипс практически отсутствует. Он может появиться в будущем при изменении природоохранного законодательства.

Больше половины мирового потребления гипсового вяжущего приходится на производство ГКЛ, поэтому вопрос поставки облицовочного картона стоит на втором месте в ряду приоритетов важности. Договоры на поставку облицовочного картона должны носить долгосрочный характер и заключаться не менее чем на пять лет.

При разработке ассортимента выпускаемой продукции следует иметь в виду, что в настоящее время сложилась устойчивая тенденция роста спроса на высокотехнологические строительные материалы и системы на всех рынках — новых, занимаемых и уже давно занятых. В условиях жесткой конкуренции рост потребления будет поддерживаться за счет удовлетворения вновь выявленных потребностей и предпочтений.

Возможные пути влияния на рынке — производство (предоставление) уникальных продуктов (услуг); конкурентоспособность; осуществление совместного производства. Тенденции на будущее предполагают большую консолидацию, наличие на рынке нескольких крупных игроков. При этом необходимо иметь каналы сотрудничества с конечным потребителем напрямую, без посредников.



Завод «КНАУФ ГИПС БАЙКАЛ» (Иркутская обл.)

Компания	Территориальная локализация	Вид продукции	Мощность	Планируемый ввод
Проекты новых заводов от глобальных компаний				
КНАУФ	г. Новомосковск Тульской обл.	ССС	270 тыс. т	2013 г.
Сен-Гобен	Нижегородская обл.	ГКЛ	30 млн м ²	2015 г.
	Башкортостан	ГКЛ	30–45 млн м ²	
Проекты новых заводов местных игроков				
Корпорация «ВОЛМА»	Оренбургская обл.	Гипсовое вяжущее		
		ССС	220 тыс. т	
		ПГП	550 тыс. т	
ГК «ЮНИС»	Пермский край	ССС	180 тыс. т.	2013–2014 гг.
ООО «Аракчинский гипс» («Абдуллингипс»)	Татарстан	ГКЛ	15 млн м ²	
ОАО «Гипсополимер» (Прикамская гипсовая компания)	Пермский край	ГКЛ, ПГП ССС	500 тыс. т (по гипсовому вяжущему)	2018 г.
ООО «Фоника-Гипс»	Татарстан	ГКЛ	15 млн м ²	2013–2014 гг.
		ПГП	550 тыс м ²	
		ССС	350 тыс т	
ОАО «Мордовцемент»	Мордовия	ГКЛ	30 млн м ²	2013 г.
ОАО «Хабезский гипсовый завод»	Карачаево-Черкесия	ГКЛ	20 млн м ²	
ООО «Каббалгипс»	Кабардино-Балкария	ССС	100 тыс. т	2013 г.
		Фиброплита	2,5 млн м ²	
ООО «Уралгипс»	Пермский край	Гипсовое вяжущее		
		ГКЛ	30 млн м ²	
		ПГП (3-я линия)		

Крупные компании должны осуществлять финансирование рыночных исследований, а также научную деятельность, разработку новых технологий и инновационных продуктов. Действовать быстро и локально, развивать сотрудничество и быть открытыми к обмену опытом.

Каждый из вышеперечисленных факторов играет свою роль в зависимости от этапа и масштаба развития компании.

При возникновении компании для нее важнейшими задачами будут обеспеченность гипсовым сырьем и организация продажи готовой продукции в ближайших регионах. По мере роста производства и продаж на местном рынке будет повышаться актуальность вопросов, связанных со снижением себестоимости продукции.

Выход на межрегиональный рынок, как правило, означает переход к эксплуатации нескольких заводов. Это потребует выстраивания более тесных отношений с производителями сырья. Кроме того, осуществляя продажи на значительной территории, не удастся избежать обострения конкуренции с крупными игроками.

Преждевременный (неподготовленный) выход на мировой рынок чреват риском повышения себестоимости результатов деятельности из-за ухудшения управляемости удаленными заводами. То есть готовность к глобализации оценивается не по количеству денег, а по готовности организационной структуры.

Статус глобальной компании обязывает вкладывать значительные средства в разработку новых продуктов, отличных от предложений других глобальных игроков.

Таким образом, по мере роста компании управление усложняется не только пропорционально объемам производства и количеству заводов, но и за счет вовлечения в сферу особого внимания все новых ключевых факторов успеха.

С удовлетворением отметим, что наиболее активно развивающиеся российские компании могут служить примером применения современных маркетинговых технологий и технических инноваций. В последние годы гипсовая промышленность России уверенно наращивает мощность.



Компания «КНАУФ» (Московская обл.) завершила строительство завода в Иркутской области «КНАУФ ГИПС БАЙКАЛ» мощностью 60 млн м² по ГКЛ и 200 тыс. т по гипсовым ССС.

Корпорация «ВОЛМА» (Волгоград) в Челябинской области ввела линию ПГП мощностью 550 тыс. м²; в Московской области запустила новое гипсоварочное производство, линию ПГП мощностью 300 тыс. м² и линию гипсовых ССС мощностью 220 тыс. т.

ОАО «Гипсополимер» (Пермь) запустило две линии ПГП общей годовой мощностью 1,1 млн м².

ОАО «Хабезский гипсовый завод» (Карачево-Черкесская Республика) ввело завод ПГП годовой мощностью 700 тыс. м².

ОАО «Мордовцемент» построило линию ПГП мощностью 550 тыс. м².

На достигнутом игроки российского гипсового рынка не останавливаются. В разной степени реализации находится несколько новых производственных проектов (см. таблицу).

Таким образом, гипсовая отрасль России в 2012 г. продолжала развиваться значительными темпами, создан задел на будущее. Однако уже в конце 2012 г. было отмечено некоторое замедление роста потребления строительных материалов, в том числе гипсовых. Участникам рынка нужно быть готовыми к тому, что в ближайшие годы (по мере насыщения рынка) темпы роста гипсовой отрасли будут падать, а конкуренция ужесточаться. Российский гипсовый рынок в ближайшие пять–восемь лет превратится из развивающегося в развитый. У российских игроков осталось совсем немного времени, чтобы научиться конкурировать с глобальными компаниями. Тем, кто не подготовится к жесткой борьбе, придется уйти с рынка.

В 2013 году исполняется

20 лет

с момента прихода в Россию
одного из крупнейших
мировых производителей
гипсовых материалов –
немецкой компании «КНАУФ».

От всех членов Российской гипсовой ассоциации поздравляем коллег с этим знаменательным событием! Желаем сотрудникам компании дальнейших успехов, процветания, новых профессиональных и личных достижений, крепкого здоровья и всего самого наилучшего!



**14-17
МАЯ
2013**
КРАСНОЯРСК

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



**МАЛОЭТАЖНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ.
СТРОИТЕЛЬНЫЕ
И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

0+

- Строительные и отделочные материалы
- Технологии и оборудование
- Печи, бани, сауны, бассейны
- Ландшафтная архитектура
- Загородная недвижимость

Приглашаем принять участие!

Организатор – ВК «Красноярская ярмарка»



Официальная поддержка:



**МВДЦ «Сибирь», ул. Авиаторов, 19
тел./факс: (391) 22-88-405, 22-88-611 (круглосуточно)
stroyka@krasfair.ru, www.krasfair.ru**



Л.М. ЛОСЬ, директор по общественным связям Центрального управления группы КНАУФ СНГ (г. Красногорск Московской обл.)

Группа «КНАУФ»:

20 лет инвестиций в России – уроки и перспективы



«Мы стремились доказать преимущество для экономики страны свободного предпринимательства над административно-командной системой» *Nikolaus Knauf*

В 1993 г. немецкая семейная компания «КНАУФ» приобрела пакет акций подмосковного Комбината термоизоляционных и гипсовых материалов (ТИГИ). С этого времени начался отсчет истории фирмы «КНАУФ» в России. Однако научные и деловые связи между компанией и российским научным сообществом начали складываться с 1970-х гг., когда был налажен регулярный обмен опытом с ведущими научными институтами, а в конце 1970 г. в Москве открыто представительство компании «КНАУФ Инжиниринг».

В начале 1990-х гг., после запуска процессов либерализации российской экономики, у зарубежных компаний появилась возможность вести бизнес в России. Компания «КНАУФ» стала одним из пионеров инвесторов в российскую промышленность строительных материалов. Принимая такое рискованное бизнес-решение руководство фирмы, в первую очередь совладелец и управляющий партнер господин Николаус Кнауф, руководствовались чисто предпринимательским расчетом. Планируя развивать производственный бизнес предполагалось, что выпускаемая продукция найдет сбыт, так как Россия – страна с огромной территорией, большой численностью населения и колоссальной потребностью в ремонте старого и строительстве нового жилья. С приходом к руководству страной В.В.Путина политическая стабильность и низкий уровень государственного долга были оценены как факторы долгосрочного развития страны и возможности масштабного инвестирования в производство.

Однако в первые годы социально-экономических преобразований еще не были решены основополагающие вопросы развития частного капитала: существовала неопределенная ситуация с собственностью на землю; отсутствовал закон об акционерных обществах.

Не развит был и рынок продукции, на которую ориентировалась фирма «КНАУФ»: не было культуры применения высокотехнологичных модифицированных сухих строительных смесей, не было как такового «сухого строительства».

Прошло 20 лет. За это время инвестиции фирмы «КНАУФ» в российскую промышленность строительных материалов составили около 1 млрд евро. Модернизировано или вновь построено 14 производственных предприятий, создана развитая сеть маркетинговых компаний, учебных и ресурсных центров. Фирма «КНАУФ» стала признанным лидером гипсового рынка и материалов на его основе.

Стратегическим принципом компании «КНАУФ» в России стало производство высококачественной инновационной продукции из

российского сырья для российского рынка с привлечением российских специалистов. Следует отметить, что в период, когда создавались предприятия «КНАУФ», это были важнейшие социально-экономические проекты, реализация которых обеспечивала пополнение бюджетов, создание новых рабочих мест, улучшение инфраструктуры. Примерами успешных региональных проектов «КНАУФ» являются предприятия «КНАУФ ГИПС Новомосковский» (Тульская обл.), «КНАУФ ГИПС Кубань» (Краснодарский край), «КНАУФ ГИПС Дзержинск» (Нижегородская обл.), «КНАУФ ГИПС Кунгур» (Пермская обл.), «КНАУФ ГИПС Баскунчак» (Астраханская обл.), «КНАУФ ГИПС Байкал» (Иркутская обл.) и др.

На всех предприятиях «КНАУФ» применяются новейшие технологии, начиная от разработки карьера, включая рекультивацию, до упаковки готовой продукции. Например, на крупнейшем гипсовом руднике Европы новомосковского предприятия в 2009 г. запущен в эксплуатацию новый технологический комплекс шахты,



Комбинат термоизоляционных и гипсовых изделий (ТИГИ) – теперь хоть и славная, но все-таки история



На многих карьерах компании «КНАУФ» добыча гипсового камня ведется по наиболее щадящей технологии безвзрывным способом. Для первичного дробления и транспортировки применяется новейшая карьерная техника ведущих мировых производителей



Первый учебный центр компании «КНАУФ» был создан в 1995 г. на базе красногорского предприятия



В учебном центре слушатели получают как теоретическую, так и практическую подготовку

включающий подземный комплекс дробления камня, погрузочно-складское и транспортное хозяйство на поверхности, а также не имеющий аналогов в мировой гипсовой отрасли вертикальный конвейер Pocketlift. Инвестиции в проект составили 42 млн евро. На красногорском предприятии установлено новейшее оборудование для производства гипсокартона с высокоскоростным конвейером, а также оборудование для производства жидких грунтовок, шпаклевочных и клеевых составов.

В настоящее время на 50 горнодобывающих, производственных и маркетинговых предприятиях «КНАУФ» трудится около 6 тыс. человек, более 99% из которых россияне.

Руководство фирмы «КНАУФ», принимая решение о широкомасштабных инвестициях в России на неразвитом в сегменте отделочных материалов рынке, ставило не только производственную, но также маркетинговую и просветительскую задачи. Ведь если в стране нет специалистов, которые готовы грамотно применять высокотехнологичные продукты, то обеспечить их сбыт будет затруднительно.

Для решения поставленных задач с первых лет работы в России фирма «КНАУФ» начала создание сети маркетинговых компаний и учебных центров. Большим направлением работы стало сотрудничество с высшими и средними специальными учебными заведениями с целью введения в учебные планы курсов по сухому строительству и применению высокотехнологичных отделочных материалов.

Первый учебный центр был создан в 1995 г. на базе производственного предприятия «КНАУФ ГИПС Красногорск». В нем обучаются не только рабочие-отделочники, но также архитекторы и проектировщики.

Затем стали создаваться учебные центры в Санкт-Петербурге, Краснодаре, Перми, Дзержинске, Челябинске, Хабаровске. Всего за период с 1995 г. в учебных центрах получили подготовку более 70 тыс. человек.

Отдельно следует отметить сотрудничество фирмы «КНАУФ» с вузами, где оборудуются специализированные лекционные аудитории, в которых наглядно представлена продукция КНАУФ, а также примеры конструкций с ее применением. На базе ряда вузов созданы консультационные центры, например, при МГСУ (Москва) и ДВФУ (Владивосток), КазГАСУ (Казань), ЮУрГУ (Челябинск), НГАСУ (Новосибирск), ННГАСУ (Нижний Новгород).

Кроме того, группа «КНАУФ» оказывает финансовую поддержку издания учебной и специальной технической литературы.

В настоящее время с уверенностью можно сказать, что благодаря годам кропотливой работы, в которую со временем включились и другие игроки гипсового рынка, в России создан развитый рынок продуктов на основе гипса. Практически создано новое направление в отделке, так называемое сухое строительство, появился спрос на высокотехнологичные и специальные продукты. Например, на листовые материалы КНАУФ-акустика, КНАУФ-файерборд, КНАУФ-сейфборд, КНАУФ-аквапанель.

Как лидер отрасли, группа «КНАУФ» всегда является проводником современных мировых трендов. В строительной отрасли она стала пионером движения за экоустойчивое (зеленое) строительство. И хотя изменение технологии в сторону повышения экологичности, как правило, ведет к ее удорожанию, руководство компании идет на них сознательно, понимая, что одна из важнейших задач современного поколения – оставить потомкам комфортную и безопасную среду обитания.

С этой целью на ряде горнодобывающих предприятиях «КНАУФ», расположенных в непосредственной близости к населенным пунктам, отказались от взрывной технологии добычи гипсового камня, проводится рекуль-



тивация карьеров с использованием новейших природоохранных разработок. На производствах установлено оборудование для получения гипсового вяжущего, позволяющее максимально использовать природное сырье. В Санкт-Петербурге начат широкомасштабный проект по сбору у населения и переработке макулатуры.

Вся продукция КНАУФ проходит многоступенчатый контроль качества от приемки сырья до упаковки готовой продукции. Фирма гарантирует своим потребителям, что вся продукция КНАУФ абсолютно экологически безопасна. Важно отметить, что для предприятий КНАУФ по всему миру существуют единые стандарты качества на выпускаемую продукцию.

Группа «КНАУФ» известна своей нормотворческой деятельностью. С целью разработки новых отраслевых нормативно-технических документов и гармонизации их с Еврокодами специалисты компании участвуют в научных исследованиях и рабочих группах по актуализации и созданию ГОСТов, СНИПов и других документов. Кроме того, фирма содействует совершенствованию налогового и таможенного законодательства, ведет непримиримую борьбу с производством контрафактной продукции.

За 20 лет работы в России сделано немало. Однако на достигнутом группа «КНАУФ» не останавливается. В настоящее время очередной импульс развития получило новомосковское предприятие «КНАУФ», на базе которого ведется строительство нового производства сухих строительных смесей, а также первой в России линии по выпуску КНАУФ-аквапанель.

Такое стремительное развитие данного предприятия стало результатом реализации концепции частно-государственного партнерства в регионе. Совместно с другими крупными компаниями региона группа «КНАУФ» увеличивает производственные мощности, а государство реализует в этом регионе инфраструктурные проекты, в частности, по развитию энергетического хозяйства, строительству автомобильных дорог и железнодорожных подъездных путей.

За годы работы в России группа «КНАУФ» стала равноправным субъектом российской промышленности строительных материалов. При реализации инвестиционных проектов в регионах компания, как правило, встречала доброжелательное отношение и поддержку региональных властей. Однако руководители группы «КНАУФ» не со стороны, а в рамках ежедневной работы сталкиваются также с негативными результатами социально-экономических преобразований, происходящих в России, многие из которых являются следствием чрезмерной бюрократизации, перекосами в развитии различных секторов экономики. Не только компании «КНАУФ», но всей отрасли большой вред наносит неразвитая транспортная инфраструктура, отсутствие единой нормативной базы. Особо следует отметить негативные последствия практически полного разрушения системы начального и среднего специального образования, повлекшие жесткий дефицит квалифицированных рабочих кадров.

Компания «КНАУФ» – семейная компания, развившаяся до масштаба транснациональной корпорации. Тем не менее, принципы ведения бизнеса, заложенные ее основателями более 80 лет назад, бережно сохраняются и подтверждаются не на словах, а на деле. Как крупная компания, крупный инвестор, группа «КНАУФ» всегда принимает на себя высокую социальную ответственность в регионах, где расположены ее предприятия. В сфере ее внимания детские учреждения и предприятия культуры. Компания поддерживает социально значимые проекты, талантливую молодежь.

За 20 лет работы в России фирма «КНАУФ» стала неотъемлемой частью российской промышленности. Ею она останется на долгие годы.



«КНАУФ ГИПС Новомосковск» самое динамично развивающееся предприятие группы «КНАУФ» в России



Усадебная церковь Успения Пресвятой Богородицы была построена в 1778 г. и прослужила четырем поколениям семьи Тютчевых. После смерти Ф.И.Тютчева усадьба стала приходить в упадок. Весной 1930 г. церковь была закрыта и пустовала, а во время Великой Отечественной войны взорвана. К 200-летию Ф.И. Тютчева по проекту института «Спецпроектреставрация» (архитекторы О.В. Клемапова, М.Г. Болот-никова, О.А. Грозева) церковь Успения Пресвятой Богородицы была заново построена на новом месте. Финансирование постройки взяла на себя группа «Кнауф»



Компания «КНАУФ» активно участвовала в работах по строительству жилья после страшных пожаров 2010 г. Благодаря использованию высококачественной теплоизоляции и листовых материалов темпы строительства удалось существенно увеличить



С первых лет работы в России компания «КНАУФ» уделяла особое внимание помощи детским учреждениям.



Г.И. ГРИНФЕЛЬД, исполнительный директор,
Национальная ассоциация производителей автоклавного газобетона
(Санкт-Петербург)

Производство автоклавного газобетона в России: состояние рынка и перспективы развития

Общий объем строительства в России за последнее десятилетие вырос более чем в два раза [1], достигнув в 2012 г. 97 млн м², и сопровождался существенными структурными изменениями: выросла доля индивидуального и мало-этажного строительства, сократилась доля промышленного строительства, изменились конструктивные решения. Общий объем рынка штучных стеновых материалов вырос в 1,5 раза (с 15 до 21 млн м³).

За то же время производство автоклавного газобетона увеличилось почти в 6 раз (с 1,2 до 6,9 млн м³), а его удельное потребление в строительстве – более чем в 2,5 раза. В среднем по России удельное потребление газобетона достигло 50 м³ на 1000 жителей в год, или 7 м³ на 100 м² вводимой в эксплуатацию площади (рис. 1). При этом в Санкт-Петербурге с Ленинградской областью и Московском регионе потребление составляет около 150 м³ на 1000 жителей, или до 20 м³ на 100 м² вводимых площадей.

Доля газобетона выросла за десять лет с 6 до 30% от объема рынка стеновых материалов, и тенденция к увеличению доли сохраняется.

Ввод новых мощностей по производству автоклавного газобетона опережает оптимистичные сценарии, сделанные 2–3 года назад. Также и прирост фактических объемов производства происходит быстрее, чем прогнозировалось рядом аналитиков. Однако текущая загруженность установленных мощностей снижается. Данные графика по текущей загруженности (рис. 2) отражают несколько фактов: неполный вывод установ-

ленных мощностей на проектную производительность; высокая сезонность спроса, ведущая к зимней недозагрузке; явный избыток установленных мощностей над текущей емкостью рынка.

В связи с этим ожидается увеличение мощностей с существующих 13 до 17,5 млн м³ в ближайшие 2–3 года чревато обострением конкуренции, снижением загруженности, соответствующим ростом себестоимости и, как следствие, снижением рентабельности (табл. 1, 2). Для предотвращения возможных негативных последствий избытка установленных мощностей предприятиям следует уделять особое внимание увеличению суммарной емкости рынка изделий из автоклавного газобетона.

Темпы роста производства автоклавного газобетона опережают темпы роста остальных значимых для рынка штучных материалов. В настоящее время наиболее массовым стеновым материалом по валовому выпуску является керамический кирпич всех видов. Однако уже в ближайшие годы следует ожидать смены лидера по валовому выпуску материалов для каменной кладки [2].

Таблица 1

Распределение заводов автоклавного газобетона по годам запуска

Период	Установленная мощность, млн м ³
До 1995 г.	3,5
1995–2012 гг.	9
Строящиеся	4,5

Таблица 2

Распределение заводов, запущенных после 1995 г., по производителю оборудования

Производитель	Действующие заводы	Строящиеся заводы
Wehrhahn	20	8
Masa-Henke	9	4
Hess	3	2
WKB	2	1
Hebel	2	-
Ytong	2	-

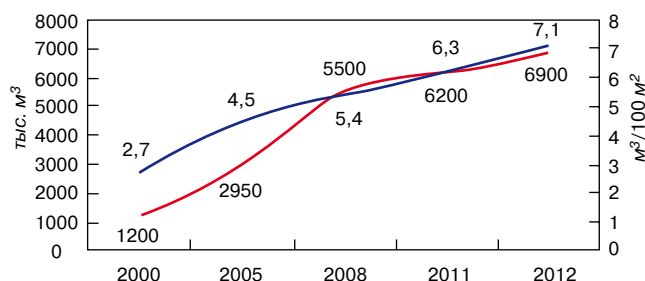


Рис. 1. Объемы производства (тыс. м³) и уровень потребления (м³/100 м²) автоклавного газобетона в строительстве Российской Федерации

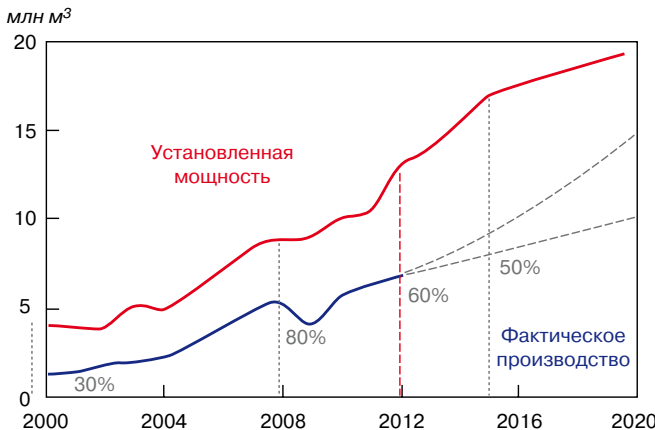


Рис. 2. Установленные мощности, фактический объем производства и текущая загруженность заводов по производству автоклавного газобетона

Таблица 3

Характеристики массово выпускаемого газобетона

Марка по средней плотности	Класс по прочности при сжатии
D300	B1,5–B2,0
D400	B1,5–B2,5
D500	B2,5–B3,5
D600	B3,5–B5,0
D700	B3,5–B5,0

На первое место по объему производства к 2015–2017 гг. при сохранении существующих тенденций выйдет автоклавный газобетон.

Наряду с ростом производства штучных стеновых материалов доля кладки из штучных материалов в строительстве снижается. Такая тенденция была отмечена в 1960–1980-е гг. в связи с развитием панельного строительства. Панели нового поколения на основе легкого каркаса (ЛСТК, дресины), однослойные железобетонные панели с построечным наружным утеплением – это конструктивные решения, получающие все большее распространение.

Чтобы обосновать качественные показатели российской автоклавного газобетона, рассмотрим несколько фиксирующих ситуацию и тенденции положений.

Характеристики газобетона, выпускаемого российской промышленностью, которые могут считаться ориентирами при оценке перспектив отрасли, сведены в табл. 3.

Газобетон и кладка из него на клею обладают низкой теплопроводностью, что отражено в современных нормативно-технических документах (ГОСТ 31359–2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия», СТО НААГ 87313302.13330-001-2012 «Конструкция с применением автоклавного газобетона в строительстве», EN 1745: 2002 Masonry and masonry products – Methods for determining design thermal values).

Энергоемкость производства газобетона относительно низкая в сравнении с другими материалами для каменной кладки. На основании расчетов, так как объективных данных по энергоёмкости их производства в открытых источниках не приводится, можно утверждать, что энергоёмкость производства автоклавного газобетона существенно ниже большинства видов минераловатных и полимерных утеплителей. При этом чем ниже плотность газобетона, тем ниже удельные энергозатраты на его производство и тем выше теплотехнические характеристики конструкций из него.

Если оценивать конструкции не только по предотвращенным теплопотерям, но и по экономии затраченной на производство и монтаж энергии, оправданность снижения плотности становится особенно наглядной. Поэтому пределом развития конструкционно-теплоизоляционной функции газобетона как единственного принимаемого в расчет конструктивного слоя стены можно принять марку по плотности D300. При толщине стены в пределах 500 мм кладка из такого материала позволит достичь сопротивлений теплопередаче по глади стены до $6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$.

Производство газобетона в мире со временем перераспределяется между странами и регионами (табл. 4). Циркумбалтийские страны, ставшие родоначальниками коммерчески успешного производства автоклавного газобетона, сокращают его производство. Члены Европейской ассоциации производителей газобетона производят в настоящее время около 15 млн м^3 в год [3]. В то же время в КНР выпуск автоклавного ячеистого бетона превысил 100 млн м^2 в год [4]. В России и со-

Таблица 4

Изменение объемов выпуска автоклавного ячеистого бетона за последние 20 лет, млн м^3

1990		2011	
СССР	6	Россия	6,9
		Белоруссия	3
		Украина	2,3*
		Казахстан	0,8
			13
Евросоюз	25	Евросоюз	15
Китай, Индия, Иран и др.	<10	Китай, Индия, Иран и др.	>100

* До 2007 г. рынка газобетона на Украине практически не было. Менее 500 тыс. м^3 блоков производилось на устаревшем советском оборудовании, менее 300 тыс. м^3 завозилось из Белоруссии, Польши и Турции. За последние четыре года произошел стремительный рост рынка блоков, пригодных для кладки с тонким швом, – с 300 тыс. м^3 импортируемых до 2,3 млн м^3 местного производства. Доля газобетона на рынке стеновых материалов Украины за пять лет выросла с 5 до 31%. Отсутствие устоявшихся традиций и стереотипов позволило сформировать спрос, ориентированный на низкую плотность: марка D300 получила в Киевском регионе больший спрос, чем в Петербурге.

предельных странах экспоненциальный рост производства АЯБ происходит только сейчас.

В настоящее время во всем мире стала актуальной задача всемерного повышения эффективности потребляемых ресурсов, их рационального использования и обоснованной экономии. Применительно к теплозащитной оболочке ограждающих конструкций зданий важным показателем становится соотношение энергоёмкости производства материалов к энергосберегающему эффекту конструктивных решений. Поскольку автоклавный газобетон обладает низкой удельной энергоёмкостью производства и монтажа и высокой прогнозной долговечностью в большинстве конструктивных решений, можно утверждать, что он весьма перспективен в современных условиях и при современных тенденциях развития строительной отрасли. Однако производителям автоклавного газобетона следует пристально следить за конъюнктурой, не допускать существенного перепроизводства продукции, поддерживать загруженность мощностей, позволяющую обеспечивать высокую рентабельность и восприимчивость производства к инновациям, направленным на повышение качества и долговечности продукции.

Список литературы

1. Электронный ресурс (официальный сайт Федеральной службы государственной статистики): http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/stroiti/stroi111.xls
2. Жиронкин П.В., Геращенко В.Н., Гринфельд Г.И. История и перспективы промышленности керамических стеновых материалов в России // Строительные материалы. 2012. № 4. С. 13–18.
3. Электронный ресурс (официальный сайт Европейской ассоциации производителей автоклавного газобетона): <http://eaaca.com/>
4. Сажнев Н.П., Бухта Д.П., Федосов Н.Н., Кацынель Р.Б., Кузьмичев Р.В. Производство ячеисто-бетонных изделий в Беларуси на современном этапе // Белорусский строительный рынок. 2011. № 5. С. 8–16.



Я.И. ЗЕЛЬМАНОВИЧ,
канд. хим. наук, директор НТЦ «Гидрол-Кровля» (Москва)

Рынок рулонных битуминозных материалов: предварительные итоги 2012 года

В конце января 2013 г. Росстат обнародовал предварительные данные о работе отраслей экономики России в 2012 г. В дальнейшем показатели работы будут уточнены, однако уже сейчас можно подвести предварительные итоги деятельности в отраслях и подотраслях промышленности, в том числе промышленности кровельных и гидроизоляционных материалов.

В самой острой фазе кризиса – 2009 г. видимое потребление рулонных битуминозных материалов (далее РБМ) в России, рассчитанное по формуле: видимое потребление = производство + импорт – экспорт, сократилось на 20%. В 2010 г. продажи в РБМ возросли лишь на 1,4%, в следующие два года темпы роста рынка не превышали 3–4% (рис. 1). Видимое потребление РБМ в России в 2005–2012 гг. (млн м²/год) приведено в таблице.

В результате в прошедшем 2012 г. объем внутреннего рынка был на 13,5% ниже, чем в предкризисном 2007 г., т. е. таким же, как в 2005 г. (рис. 2, 3).

Представленные в таблице значения объемов производства РБМ в 2009–2011 гг. получены автором на основе уточненных данных Росстата по коду ОКПД 26.82.12.110 «Материалы кровельные и гидроизоляционные рулонные из асфальта или аналогичных материалов (нефтяного битума, каменноугольного пека и т. д.)». Эти данные были дополнены информацией по объемам выпуска РБМ на предприятиях, не отчитывающихся по каким-либо причинам об их производстве.

Содержащиеся в таблице сведения о производстве РБМ за 2012 г. основаны на оперативных данных Росстата, опубликованных в конце января 2013 г. Эти данные весьма неточны, содержат значительное коли-

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Производство	494,5	523,3	574,3	567,1	460,9	474,7	495,5	521,9
Экспорт	57,1	65,2	73,2	69	58,6	63,2	68,9	80,2
Импорт	11,1	8,6	12	11,3	4,8	1,4	2	1,94
Видимое потребление	448	461	513,1	509,4	407,1	412,9	428,6	443,6

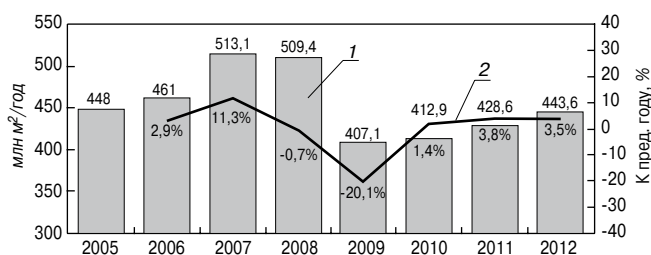


Рис. 1. Динамика видимого потребления РБМ в 2005–2012 гг. (источники: Росстат, ФТС России, собственные данные): 1 – видимое потребление; 2 – процент к предыдущему году

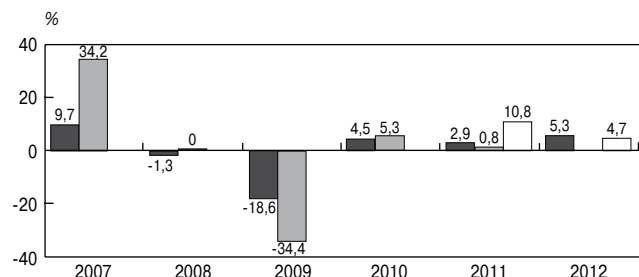


Рис. 3. Изменение объемов производства РБМ в 2007–2012 гг. (в натуральном выражении, % к предыдущему году; источники: Росстат – уточненные и оперативные данные, НТЦ «Гидрол-Кровля»): ■ – собственные данные; ■ – Росстат; □ – Росстат – оперативные данные

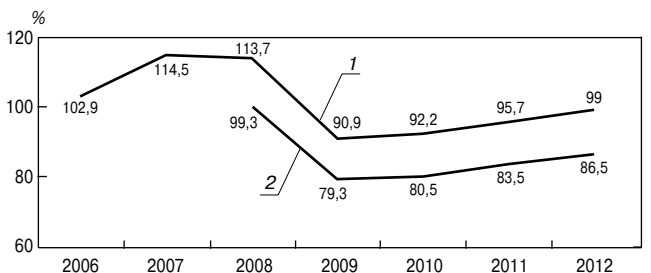


Рис. 2. Индексы потребления РБМ в 2006–2012 гг. (источники: Росстат, ФТС России, собственные данные): 1 – индекс (2005 г. = 100%); 2 – индекс (2007 г. = 100%)

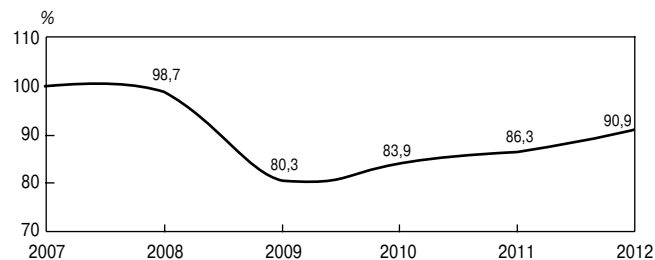


Рис. 4. Индекс производства РБМ в 2008–2012 гг. (в натуральном выражении, %; 2007 г. = 100%; источник – собственные данные)

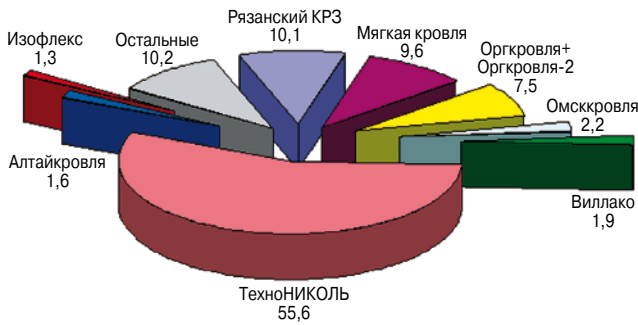


Рис. 5. Доля предприятий в общероссийском производстве РБМ в 2012 г. (в натуральном выражении, % от общего объема производства; источник: оперативные данные Росстата, НТЦ «Гидрол-Кровля»)

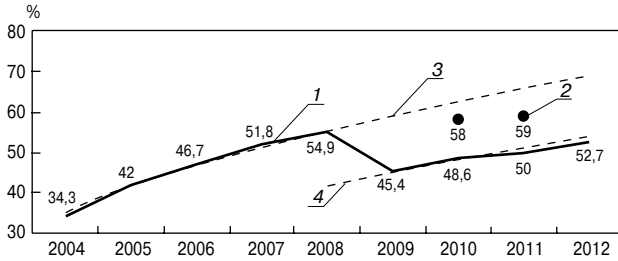


Рис. 6. Изменение коэффициента использования мощностей по производству РБМ в 2004–2012 гг. (показатель за 2012 г. рассчитан на основании оперативных данных Росстата; источники: Росстат; НТЦ «Гидрол-Кровля»): 1 – собственные данные; 2 – данные Росстата; 3 – тренд (2004–2008 гг.); 4 – тренд (2009–2012 гг.)

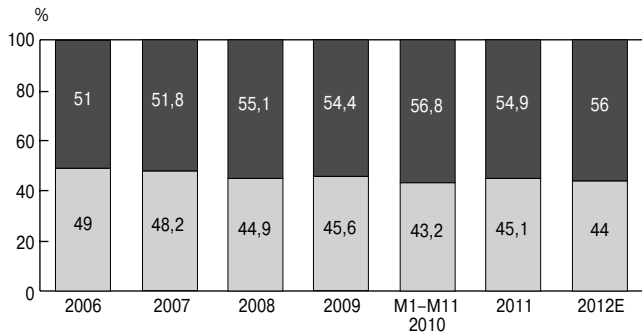


Рис. 7. Соотношение между потреблением РБМ на основе картона и негниющих основ в 2006–2012 гг. (% от общего объема потребления в соответствующем году; источник: НТЦ «Гидрол-Кровля»): ■ – картон; □ – негниющая основа

чество ошибок и, как правило, корректируются впоследствии самим статистическим ведомством в сторону уменьшения значения показателя. Автором проведена предварительная коррекция оперативных данных Росстата путем опроса представителей значительного числа предприятий – производителей РБМ, в результате чего полученные значения объема производства РБМ весьма существенно стали отличаться от данных официальной статистики (рис. 3). Следует отметить, что описанный порядок уточнений официальных статистических данных является обычной практикой для экспертов, анализирующих данные Росстата, по крайней мере тех, что касаются информации о производстве строительных материалов.

Таким образом, приведенные в таблице данные по производству и потреблению РБМ за 2012 г. следует рассматривать лишь как предварительную оценку, принимая во внимание, что итоговые (уточненные) результаты будут, как чаще всего бывает, несколько выше.

По данным, полученным автором на основании анализа, в 2010–2012 гг. темпы роста производства РБМ со-

ставляли 3–5% в год (по оперативным данным Росстата, объемы выпуска РБМ увеличивались на 5–10% в год). При этом показатели кризисного 2009 г. по итогам 2012 г. были превышены лишь на 11–13%, а индекс производства в 2012 г. по сравнению с предкризисным 2007 г. снизился на 9% (рис. 4).

Заводами группы компаний ТехноНИКОЛЬ в 2012 г. было произведено чуть более 290 млн м² РБМ (56% всего объема выпуска в РФ). Второе по объему производства предприятие – ЗАО «Многоотраслевая производственная компания КРЗ» (Рязань) выпустило в 2012 г. в 5,5 раз меньше РБМ (52,6 млн м², или 10%); третье – ЗАО «Мягкая кровля» (Самара) произвело 50,3 млн м² РБМ (9,5%). Таким образом, доля трех крупнейших производителей РБМ составила 75% от всего производства в РФ в 2012 г. (рис. 5).

Коэффициент использования мощностей в подотрасли (рис. 6) после быстрого роста в 2004–2008 гг. драматически снизился в результате кризиса 2009 г.: в 2010 г. загруженность мощностей соответствовала уровню 2006 г. (даже с учетом выбытия мощностей). В целом в 2009–2012 гг. этот показатель вышел на новую траекторию, на которой ежегодные показатели оказываются на 14–15% ниже траектории докризисного роста.

Несмотря на фактическую стагнацию, в подотрасли в 2012 г. имели место и положительные тенденции. В предыдущем году был превышен предкризисный объем экспорта РБМ, причем сразу на 10% (см. таблицу). Совершенствовалась ассортиментная структура производства/потребления: продолжилось снижение объемов производства материалов на основе кровельного картона (при одновременном росте выпуска РБМ на негниющих основах) (рис. 7), увеличилась доля современных битумно-полимерных материалов с высокими показателями тепло- и морозостойкости, долговечности и т. п.

Знаковым для подотрасли событием явился ввод в 2012 г. новых мощностей по производству современных материалов.

В Саратовской области открылось новое предприятие – ЗАО «РБМ» по производству битумных листов типа «шингл» и рулонных материалов. На заводе установлено высокоэффективное американское и итальянское технологическое оборудование, производство, складирование и отгрузка продукции максимально автоматизированы. Предполагается, что новый завод является самым современным предприятием подотрасли не только в России, но и в Европе в целом.

На ЗАО «Многоотраслевая производственная компания КРЗ» (Рязань) запущена новая, изготовленная в США технологическая линия по производству битумных листов, а на предприятии ООО «ТехноНиколь-Выборг» – третья по счету производственная линия по выпуску современных рулонных материалов. Последняя будет использована для производства РБМ, направляемых преимущественно на экспорт в Скандинавские страны и Данию.

Полагается, что при условии отсутствия каких-либо макроэкономических и/или политических катаклизмов на рынке рулонных битуминозных материалов в ближайшие 2–3 года сохранится тенденция умеренного роста (3–5% в год) объемов производства и потребления. Предкризисный объем внутреннего рынка восстановится не ранее 2014 г.

Ключевые слова: промышленность кровельных и гидроизоляционных материалов, производство, потребление, экспорт, использование мощностей, структура производства.

РОССИЯ, НИЖНИЙ НОВГОРОД, Всероссийское ЗАО
"НИЖЕГОРОДСКАЯ ЯРМАРКА"

А РХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ



исполнительная дирекция форума:

603036, Нижний Новгород, Совнаркомовская, 13
Телефоны/факсы: +007(831) 277-51-86
Телефон: +007(831) 277-55-69, 277-66-38, 277-55-91
E-mail: tikhonov@yarmarka.ru
srp2012@yarmarka.ru
anisimov@yarmarka.ru
selena@yarmarka.ru
<http://www.yarmarka.ru>

15-18 МАЯ 2013 ГОДА

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ,
ВСЕХ ВИДОВ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ И МАТЕРИАЛОВ ЛЮБОЙ ПРОЧНОСТИ

■
Дробильно-сортировочное оборудование

■
Лабораторное оборудование

■
Технологии получения кубовидного щебня

■
Поставляемое нами оборудование обеспечивает реализацию
современных малозатратных, высокоэффективных и
экологически чистых технологий

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
 **МЕХАНОБР
ТЕХНИКА**

Россия, 199106, С.-Петербург, 22 линия, 3
Телефоны: (812) 331 0242, 331 0257
Факс: (812) 327 7515
E-mail: sales@npk-mt.spb.ru
www.mtspb.com; www.mtspblab.ru



УДК 69

В.А. ДУБОВ, д-р экон. наук, ЗАО «Волгоцемсервис» (г. Тольятти, Самарская обл.);
 А.А. ЖУРАВЛЕВ, президент ассоциации «НЕДРА» (Москва);
 А.С. КНЯЗЕВ, Д.Ю. КОПЫЛОВ, кандидаты техн. наук, ЗАО «Волгоцемсервис»

Природосберегающие технологии производства строительных материалов

Проблема рационального использования природных ресурсов остается актуальной на всех этапах природопользования. При этом эффективность использования меняется в зависимости от уровня развития человека и удовлетворения его потребностей, а также от оборудования для добычи и переработки этих ресурсов.

Переработку карбонатных пород в Центральном и Поволжском регионах России можно вести круглый год. Однако требования, предъявляемые к качеству продукции из данного сырья, ограничивают разработку и освоение месторождений. Например, щебень менее марки 300, получаемый из горной породы, снижает перспективность месторождений. Метод избирательного дробления, преваляровавший в последние годы при переработке неравнопрочных пород на щебень, привел к созданию большого количества отсевов дробления, направляемых чаще всего в отвалы. В то же время производство известняковой муки, например для раскисления почв, не нашло широкого применения в сельском хозяйстве указанных регионов.

В последние годы значительно увеличился спрос на активированный и неактивированный минеральные порошки, применяемые в качестве заполнителя для асфальтобетона в дорожном строительстве и при производстве сухих строительных смесей. Несмотря на сезонность потребления, предпочтение пока отдается заполнителям для асфальтобетона. Если в прежние времена одним из ограничителей применения отсевов дробления являлась высокая влажность, то после разработки и реализации технологии переработки горных пород с влажностью до 50% единственным ограничением для применения в дорожном строительстве является содержание глинистых примесей, которое согласно стандарту не должно превышать 7%.

Технология переработки основана на применении молотковых тангенциальных мельниц типа ММТ. Она запатентована и позволяет перерабатывать высоковлажные материалы, вплоть до шлама. При этом возможна круглогодичная или сезонная эксплуатация установок в зависимости от использования продуктов переработки.

Первый практический опыт измельчения и сушки отсевов дробления известняка был получен на ЗАО «Жигулевский известняковый завод» (г. Жигулевск, Самарская обл.). Для переработки планировалось ис-

пользование щебня фракции 5–20 мм. Щебень подается в молотковую мельницу ММТ1300/2030/750К. Установка обеспечивает получение до 10 т/ч минерального порошка, отвечающего требованиям ГОСТ Р 52129–2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей. Технические условия» по влажности (не более 1%) и по тонине помола (остаток на сите 71 мкм не более 30%). В летнее время продукция используется в основном в качестве заполнителя асфальтобетона, в зимнее – в качестве наполнителей сухих строительных смесей. В дальнейшем щебень был заменен отсевами дробления фракции 0–5 мм.

Положительный опыт эксплуатации использован при создании помольно-сушильной установки производительностью до 20 т/ч. Для этого на ОАО «Тяжмаш» создана мельница молотковая ММТ2000/2590/750К, снабженная сепаратором динамического типа СД1700 с диаметром ротора 1700 мм, применяемая для производства минерального порошка в ГУП «Владимирское КУ» (п. Мелехово, Владимирская обл.). Мельница сконструирована таким образом, что позволяет выводить сверхмерный материал наружу. При этом появилась возможность получить одновременно два готовых продукта, отвечающих требованиям ГОСТ Р 52129–2003 и 26826–83. В табл. 1 представлен зерновой состав продуктов измельчения известняка Полотнянозаводского месторождения Калужской обл., полученных с применением сепаратора динамического типа в модели молотковой мельницы Ø250 мм на экспериментальном стенде ЗАО «Волгоцемсервис».

Сепаратор динамического типа позволяет регулировать максимальную крупность сверхмерного материала, обеспечивая широкую область его применения, от муки для сельского хозяйства до комбикормов и подкормки для кур и сельскохозяйственных животных.

Во Владимирском КУ установка используется для переработки отходов фракции 0–20 мм марки не менее 150, а также отсевов, скопившихся в результате длительной работы предприятия.

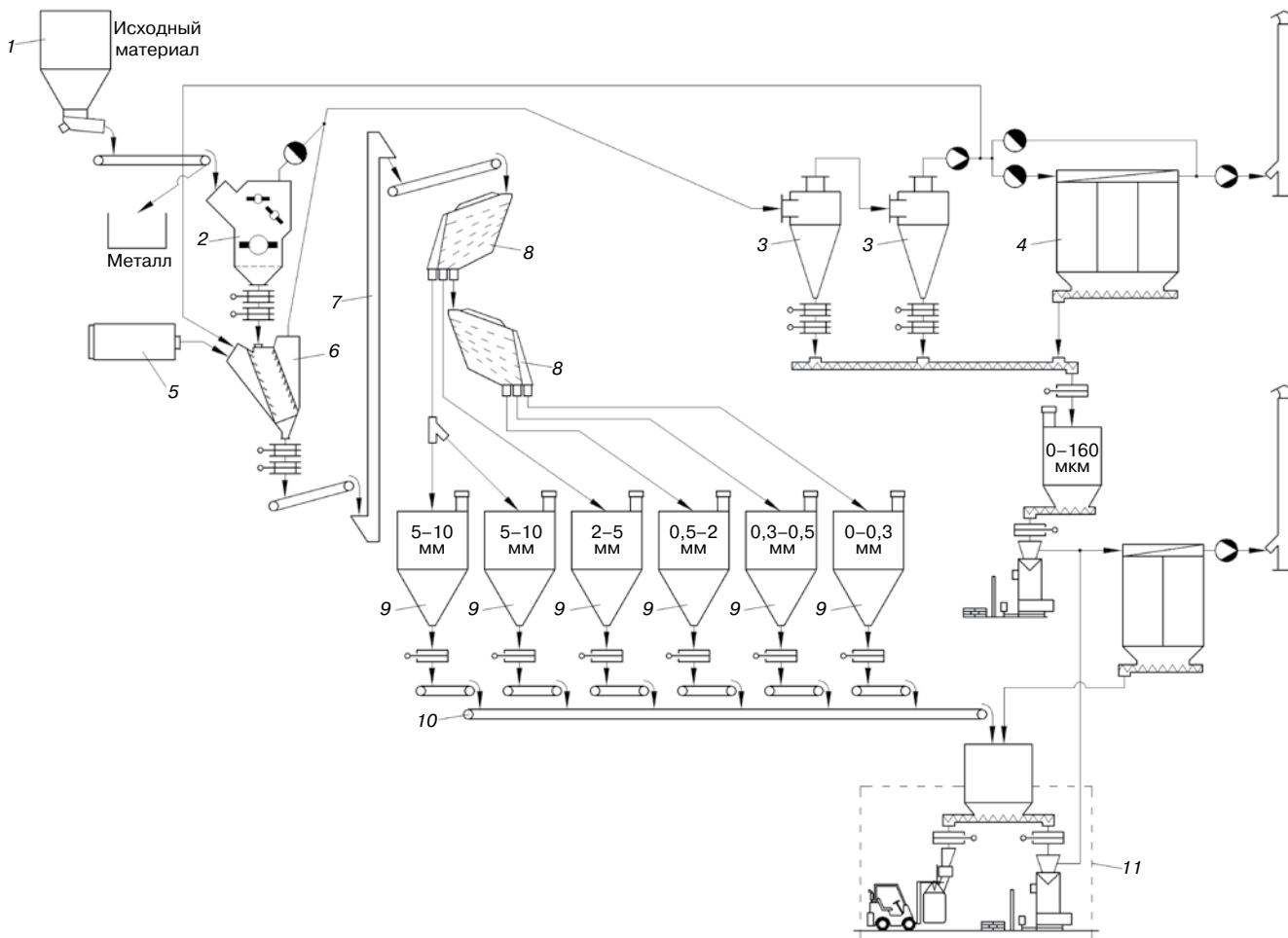
Новая технология переработки отсевов дробления карбонатных горных пород реализована в ОАО «Пятовское КУ» (Калужская обл.). В 2012 г. там введен в эксплуатацию цех по производству минерального порошка мощностью до 20 т/ч, построенный по проекту ЗАО «Волгоцемсервис». В цехе смонтированы две технологические линии с мельницами ММТ 1300/2030/750К. Они обеспечивают переработку отсевов дробления влажностью до 8%. Высокая эффективность новой технологии позволила за один сезон окупить затраты на строительство цеха и сделать вывод о целесообразности расширения производства минерального порошка за счет введения в строй еще одного цеха мощностью 60 т/ч. Дополнительная мощность обеспечивается за счет применения одной

Таблица 1

Происхождение	Зерновой состав продукта измельчения, мм					
	3–5	1–3	0,5–1	0,315–0,5	0,315–0,7	-0,071
Сверхмерный материал	4,29	26,31	19,84	15,81	32	1,25
Минеральный порошок				0,06	27,68	72,26

Таблица 2

	Крупность готового продукта, мм					
	-0,071	0,3–0,071	0,315–0,5	0,5–0,7(1)	0,7(1)–3	3–5
Выход, %	4,5	34,96	15,7	17,69	22,59	4,56



Технологическая схема производства фракционированного щебня и песка из мрамора Еленинского месторождения в Челябинской обл. производительностью 18 т/ч: 1 – накопительный бункер с вибропитателем; 2 – дробилка роторная; 3 – осадительный циклон; 4 – рукавный фильтр; 5 – теплогенератор; 6 – сепаратор каскадный; 7 – элеватор; 8 – грохот крутонаклонный СМД-226; 9 – силосный склад; 10 – ленточный транспорт; 11 – отделение упаковки

мельницы ММТ 2000/2590/750, снабженной динамическим сепаратором СД1700 с диаметром ротора 1700 мм, и двух мельниц ММТ 1500/2500/750, также снабженных динамическими сепараторами.

Конструкция мельниц позволяет осуществлять вывод сверхмерного материала (крупки) из процесса и получать дополнительно продукт, пользующийся спросом. Мельница ММТ 2000/2590/750, работающая в замкнутом цикле с указанным выше сепаратором, выпускает 28 т/ч минерального порошка. При работе на два продукта мельница с сепаратором может обеспечить выпуск 15 т/ч минерального порошка и дополнительно 30 т/ч муки, т. е. всего 45 т/ч готового продукта. Мельницы ММТ 1500/2050/750 также могут быть настроены на выпуск минерального порошка или муки или одновременно двух продуктов, например 10 т/ч минерального порошка и 17 т/ч муки. Таким образом, производительность строящегося цеха по выпуску готовой продукции составит 99 т/ч, а по переработке отсевов дробления 107 т/ч. Вся инфраструктура цеха рассчитана на переработку такого объема горной массы. Для складирования и отгрузки готовой продукции проектом предусмотрен силосный склад, состоящий из шести силосных банок емкостью по 450 т каждая. Отгрузка навалом может осуществляться как автомобильным, так и железнодорожным транспортом. Проектом предусмотрена также упаковка готовой продукции в биг-беги.

Перед проектной организацией была поставлена задача поиска исходного материала для обеспечения одновременной работы обоих цехов. При максимальной мощ-

ности по производству только минерального порошка, равной 80 т/ч, требуется 86,4 т/ч исходного материала, а по производству порошка и муки – 119 т/ч. Фактически действующая технологическая линия обеспечивает выход всего 50 т/ч отсевов дробления фракции 0–5 (20) мм.

Исследования влияния крупности исходного материала на процесс измельчения в молотковой мельнице, изложенные в [1], показали следующее. Крупность исходного материала оказывает незначительное влияние на степень измельчения и производительность в молотковой мельнице. Максимальная крупность исходного материала определяет лишь ресурс работы мельницы. Исследования по измельчению керамзита, проведенные на модели мельницы на экспериментальной базе ЗАО «Волгоцемсервис», подтвердили результаты исследований. Более того, наличие в исходном материале крупных кусков благоприятно сказывается на доизмельчении мелкого материала, обеспечивая более ровный зерновой состав продукта и значительно снижая объем материала, циркулирующего в замкнутом цикле. Поэтому принято решение об использовании в качестве исходного материала дополнительно отсевов дробления крупностью до 40 мм.

Производительность фабрики по готовому продукту поднята за счет использования слабых разностей, направляемых ранее в отвал, содержание которых составляет 70,2 т/ч. Содержание глинистых примесей в составе слабых разностей в указанной фракции не превышает требований стандарта. Общая потребность в исходном материале будет покрываться за счет нали-

Таблица 3

	Крупность готового продукта, мм				
	5–10	2–5	0,5–2	0,3–0,5	0–0,3
Выход, %	14,75	16,35	28	13,5	21,4

чия отсевов дробления (50 т/ч) и использования слабых разностей в количестве 70,2 т/ч.

Качество минерального порошка и муки по содержанию глинистых примесей в этом случае не страдает, поскольку схемой технологической линии карьероуправления предусмотрен отбор глинистых примесей в барабанном грохоте и на грохотах ГИТ-42 и ГИЛ-52 по зерну 40 и 70 мм. Поэтому фракция -40 мм, получаемая как подрешетный материал грохота ГИЛ-52, наиболее подошла в качестве исходного материала.

Проектом предусмотрена также рециркуляция горячих газов – около 50% газов, нагретых до температуры 110°С и прошедших две стадии очистки в циклонах. Данная технология обеспечивает снижение расхода природного газа на 14% за счет экономии потребляемого производственной линией тепла, облегчение режима работы рукавного фильтра и снижение количества выбрасываемого через дымовую трубу готового продукта.

Проблема повышения эффективности использования полезных ископаемых и снижения экологической нагрузки на окружающую среду удачно решена в технологической линии по производству минерального порошка и муки на ЗАО «Волжские промышленные технологии» (п. Междуреченск, Самарская обл.) [2]. В технологической линии для помола и сушки используется мельница молотковая ММТ 1300/2030/750К с сепаратором динамическим (диаметр ротора 2200 мм) и нижней подачей продукта измельчения. Вынесенный сепаратор позволяет получать два продукта: минеральный порошок для асфальтобетона и муку для сельского хозяйства крупностью до 3 мм. В данном проекте также применяется рециркуляция горячих газов.

В качестве исходного материала предполагается использовать отсевы дробления фракции 0–5 мм, текущие или слежавшиеся отвалы от переработки известняков и доломитов на предприятиях Самарской Луки. Исходный материал подается на переработку водным транспортом (баржами). Упаковка продукции и ее отгрузка планируется в биг-бегах автомобильным и железнодорожным транспортом. Проектирование линии, осуществляемое ЗАО «Волгоцесервис» параллельно со строительством, позволило построить цех в течение года.

Экологическая безопасность проектируемых помольно-сушильных установок обеспечивается применением рукавных фильтров и устройств беспылевой загрузки фирмы «Спейс-Моторс» (Санкт-Петербург). Содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, не превышает 10 мг/м³ при норме 50 мг/м³. Точечные фильтры, установленные на оборудовании, создают комфортные условия на рабочих местах, а использование аспирационных рукавов при отгрузке навалом снижает потери готового продукта и негативное влияние на экологическую обстановку на предприятии и соседних с ним зонах.

Не менее перспективным представляется расширение области применения разработанной технологии при производстве фракционированных песков для сухих строительных смесей. В ближайшей перспективе планируется переработка муки фракции 0–3 (5) мм на песок фракций 5–3; 3–1; 1–0,5 (0,3); 0,5–0,2; -0,315 или 0–0,2 мм для производства сухих строительных смесей. Для рассева планируется применение каскада крутонаклонных грохотов СМД-226 производства ЗАО «Волгоцесервис». В табл. 2 приведена номенклатура готовой

продукции и ее выход. Выход сверхмерного материала составил 48% при влажности 0,71%.

В ОАО «Феникс» (г. Магнитогорск, Челябинская обл.) по проекту ЗАО «Волгоцесервис» построена и несколько лет эксплуатируется установка по производству фракционированных кальцитов из мрамора Еленинского месторождения мощностью до 18 т/ч. Установка обеспечивает выпуск широкой номенклатуры фракционированных песков. На рисунке представлена технологическая схема переработки мрамора, а в табл. 3 номенклатура поставляемой продукции.

Суть технологии состоит в каскадном исполнении крутонаклонных грохотов СМД-226 – одного на предварительной сортировке для получения крупного продукта и двух параллельно установленных для получения более мелких фракций.

Пылевидная фракция 0–160 мкм, выделенная в циклонах и рукавном фильтре, составляет 5,9% и может реализоваться как готовый продукт.

Ключевые слова: минеральный порошок, известняковая мука для подкормки кур и животных, отсевы дробления карбонатных пород, мельница молотковая тангенциальная, помол, сушка.

Список литературы

1. *Осокин В.П.* Молотковая мельница. М.: Энергия. 1980. 176 с.
2. *Дубов В.А.* и др. Повышение эффективности и сохранение экологии при переработке горных пород. Сб. докладов XV международной конференции «Технологии, оборудование, сырьевая и нормативная базы предприятий промышленности строительных материалов». Москва, 25–26 октября 2012. С. 76–81.



ЗАО «ВОЛГОЦЕСЕРВИС»

ЭТО:



- ✓ 20 лет на рынке строительных материалов.
- ✓ Работа «под ключ».
- ✓ Более 30 действующих производств, построенных по проектам ЗАО.
- ✓ Энергосберегающие и экологически безопасные технологии переработки строительных горных пород.
- ✓ запатентованные технологии производства тонкодисперсных материалов и щебня для дорожного строительства.
- ✓ Приборы для оперативного контроля тонины помола материалов на уровне нанотехнологий.
- ✓ Лауреат национальной премии ТПП РФ «Золотой Меркурий» в сфере строительства.
- ✓ Надежный партнер в сфере торговли, в т.ч. в области экспортных поставок.



Россия, 445030, Самарская обл., г.Тольятти, ул. 40 лет Победы, 48, сек. 4
 тел. (8482) 73-33-02, 73-09-33, факс (8482) 75-94-15, e-mail: vcszao@yandex.ru
 www.vcszao.narod.ru

Л.А. ВАЙСБЕРГ, д-р техн. наук, член-корр. РАН, К.С. ИВАНОВ, научный сотрудник, НПК «Механобр-техника» (Санкт-Петербург)

Новые методы моделирования вибрационных грохотов

Грохочение – важнейший технологический процесс переработки минерального сырья для строительной промышленности и самый массовый процесс подготовки полезных ископаемых к обогащению. При переработке нерудных полезных ископаемых, а также строительных отходов грохочение является основным переделом, обеспечивающим выделение товарных классов крупности щебня и строительного песка.

Непосредственно на операции грохочения затрачивается 6–8% общих расходов электроэнергии в циклах обогащения. Кроме того, операции грохочения прямо влияют на расход электроэнергии в открытых и особенно в замкнутых циклах дробления, поскольку точность классификации по крупности определяет суммарную нагрузку на энергоемкое дробильное оборудование [1]. Таким образом, правильный расчет и выбор регулируемых параметров грохочения и конструкции грохотов обеспечивают реальное энергосбережение при переработке нерудных полезных ископаемых и гарантируют товарное качество конечных продуктов дробильно-сортировочных предприятий.

Благодаря возросшим возможностям вычислительной техники многие исследования, на которые еще совсем недавно потребовалось бы длительное время, могут быть проведены в считанные минуты. Это не только помогает упростить процесс разработки машин и механизмов, но и освобождает ресурсы, которые могут быть направлены на совершенствование процесса проектирования в целом, выводя его на принципиально новый уровень. Среди таких исследований перспективно применение так называемых эволюционных стратегий. Эффективность применения этих подходов может быть рассмотрена в контексте эволюционной парадигмы: при разработке нового устройства далеко не всегда можно знать наперед, в чем могут оказаться его преимущества, а процесс совершенствования в значительной степени определяется тем, что более эффективные образцы вытесняют конкурентов. Возможности современной вычислительной техники позволяют вынести заметную часть эволюционного отбора на уровень компьютерного моделирования, минимизируя тем самым часто дорогостоящие натурные эксперименты.

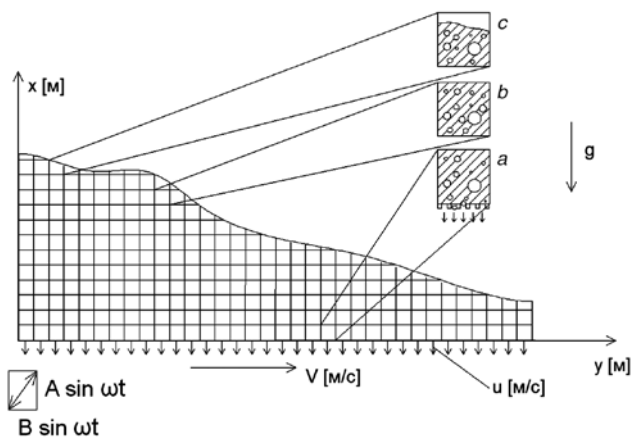


Рис. 1. Продольное сечение слоя материала на грохоте, разбиение на ячейки: а – ячейка из области контакта материала и сита; б – ячейка из толщи материала; с – ячейка поверхностного слоя

Важным условием для применения эволюционных стратегий при проектировании нового оборудования является адекватная параметризация задачи: необходимо представлять, какие параметры следует варьировать для максимизации заранее выбранной целевой функции. С помощью эволюционных методов и соответствующей модели процесса сепарации сыпучих материалов по крупности можно найти оптимальное сочетание конструктивных и технологических параметров для соответствующих устройств. Например, в НПК «Механобр-техника» в рамках работ по совершенствованию методов проектирования вибрационных грохотов созданы и непрерывно совершенствуются соответствующие методы компьютерного моделирования.

Параметризация задачи, важная роль которой отмечена выше, определяется выбранной моделью технологического процесса. Для процесса вибрационного грохочения существует множество альтернативных моделей, которые могут быть в основном отнесены к трем классам. В первую очередь это так называемые феноменологические модели, базирующиеся на разнообразных теориях процесса просеивания; эмпирические модели, выработанные на основе опыта разработки и эксплуатации оборудования; численные методы, основанные на классическом компьютерном моделировании механики взаимодействий частиц сепарируемого материала и контактирующих с ними деталей оборудования.

Классические компьютерные модели при исключительной точности и универсальности являются слишком ресурсоемкими для массовых вычислений, которые требуются для применения методов численной оптимизации; более того, оперируя геометрическими моделями, компьютерные методы не позволяют эффективно параметризовать задачу.

При построении эмпирических моделей учитывается опыт применения уже разработанных устройств, а значит, в процессе разработки принципиально нового оборудования такие модели могут играть только вспомогательную роль. Феноменологические модели недостаточно точны и учитывают слишком мало факторов. Развитие кинетических моделей проходило преимущественно по пути совершенствования частных представлений о процессах, протекающих в слое материала и в области контакта материала с просеивающей поверхностью. Дальнейшее совершенствование этих моделей привело к формированию континуального представления сыпучей среды. Новым шагом в обобщении полученных ранее результатов было предложение общего дифференциального соотношения, сводящееся при некоторых допущениях к дифференциальным уравнениям базовых моделей [1]:

$$\frac{d\varepsilon_D}{dy} = \frac{u\varphi}{v} \left(1 - \frac{D}{d_0}\right)^2 P_{D,y}(0)(1 - \varepsilon_D),$$

где ε_D – извлечение в подрешетный продукт узкого класса D ; v – скорость движения слоя материала по ситам, а выражение $\varphi(1 - D/d_0)^2$, где φ – живое сечение сита, d_0 – размер отверстий, соответствует формуле Годена для вероятности прохождения одиночной частицы отверстия сита; u – скорость движения материала через отверстия сита, $P_{D,y}(x)$ – функция распределения частиц класса D по толщине сечения.

Дальнейшие исследования в НПК «Механобр-техника» привели к созданию программы для модели-

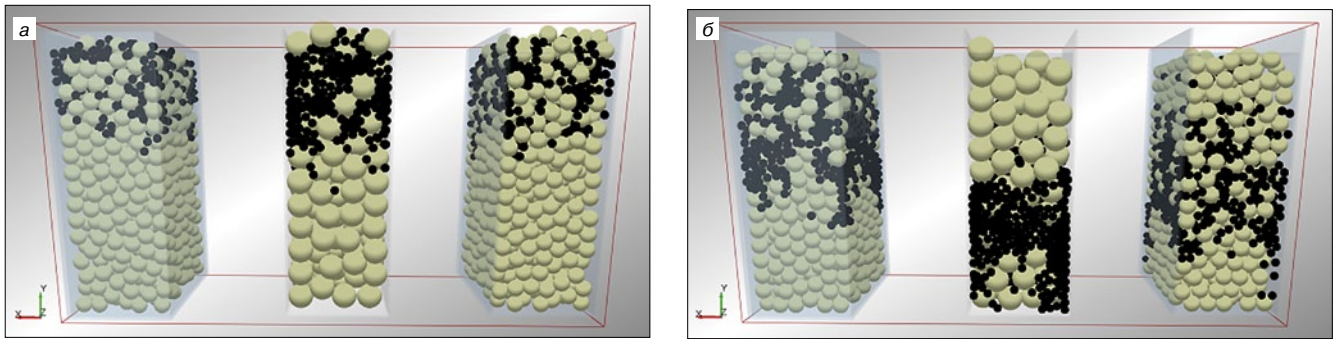


Рис. 2. Моделирование вибрационной сегрегации сыпучих материалов для различных фракционных составов и интенсивностей вибрации. Состояние после загрузки (а) и спустя 16 с вибрации (б)

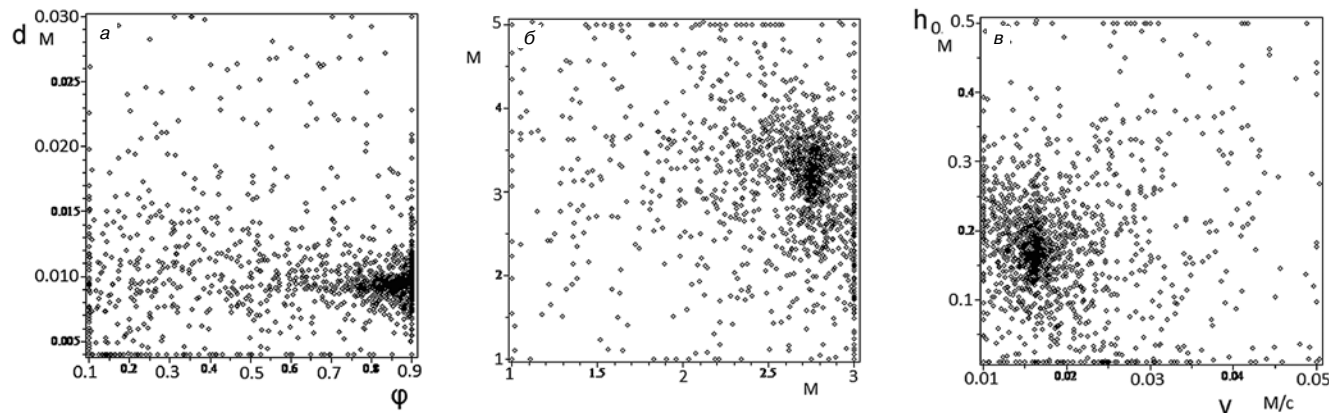


Рис. 3. Результат применения метода роя частиц совместно с предложенной моделью грохочения: а – живое сечение и диаметр отверстия сита; б – длина и ширина сита; в – скорость движения материала по ситам и толщина слоя материала под питателем

рования процесса вибрационного грохочения. В основу программы был заложен упомянутый выше подход с внесением ряда усовершенствований, касающихся процесса просеивания материала [2] и представления слоя сыпучей среды в виде массива условных ячеек (рис. 1). При этом также была учтена возможность совместного прохождения несколькими частицами отверстия в сите, для чего использована расширенная формула Годена.

Современные теоретические объяснения явления вибрационной сегрегации базируются в основном на представлениях о вибрационной конвекции и так называемом эффекте подклинивания крупных частиц мелкими. В разрабатываемой модели виброконвекция представляется как принудительный обмен частью содержимого между соседними по вертикали ячейками, а подклинивание представляется как процесс более интенсивного продвижения мелких ячеек в нижние слои благодаря их способности проходить в зазоры между частицами крупных фракций. Таким образом, в каждом слое материала происходит просеивание, в котором ситом служат крупные частицы. Если средний радиус частиц в слое равен \bar{R} , то условный диаметр отверстия сита, составленного таким слоем, составляет:

$$\bar{d} = 2 \left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1 \right) \bar{R},$$

а живое сечение составит:

$$\bar{\varphi} = \frac{(2 - \sqrt{3})^2}{3\sqrt{3}} \pi.$$

В эти формулы были также внесены поправки, связанные с оживением и подбрасыванием материала при воздействии вибрации. Точность отражения такой моделью поведения частиц внутри слоя сыпучего материала, подверженного воздействию вибрации, подтверждается компьютерным исследованием с использованием метода дискретных элементов (рис. 2).

Новый подход к моделированию процесса вибрационного грохочения был положен в основу разрабатываемой программы, применяющей эволюционную стратегию для выбора оптимального сочетания технологических и конструктивных параметров устройств для разделения сыпучих материалов по крупности. Оптимизация проводится с помощью метода «роя частиц», который изначально использовался для имитации поведенческих реакций в бионике [3]. Пример работы программы автоматического поиска оптимальных параметров вибрационных грохотов представлен на рис. 3. Области сгущения точек содержат оптимальные сочетания параметров.

Таким образом, новые подходы к моделированию процессов транспортирования и сепарации сыпучих материалов, к которым относится большинство нерудных полезных ископаемых, позволяют связать физические свойства перерабатываемого сырья с конструктивными параметрами машин и механизмов и технологическими параметрами сортировки по крупности. Это, в свою очередь, открывает возможности обоснованного выбора конструктивных параметров машин, уменьшая риски и расходы на дорогостоящее натурное моделирование.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы, гранты 14.U02.21.0681 и 12-05-31376.

Список литературы

1. Вайсберг Л.А., Рубисов Д.Г. Вибрационное грохочение сыпучих материалов. СПб: Механобр, 1994, 47 с.
2. Пелевин А.Е. Вероятность прохождения частиц через сито и процесс сегрегации на вибрационном грохоте // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 1. С. 119–129.
3. Kennedy J., Eberhart R. Particle Swarm Optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. IV, 1995, pp. 1942–1948.

Н.М. СЕРГИНА, Д.В. АЗАРОВ, кандидаты техн. наук, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет; Е.В. ГЛАДКОВ, президент, Тышинский горно-обогатительный комбинат (Ульяновская обл.)

Системы инерционного пылеулавливания в промышленности строительных материалов

Технологические процессы производства строительных материалов связаны с изготовлением, переработкой, транспортированием и применением порошкообразных продуктов и сопровождаются интенсивным выделением и поступлением как в воздух рабочей зоны, так и в атмосферный воздух значительных количеств пыли. В сложившейся экологической обстановке даже при относительно низких начальных концентрациях это повышает техногенное воздействие на окружающую природную среду, а также влечет за собой потери ценных компонентов и возрастание затрат на обработку воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

На большинстве предприятий строительной и других отраслей промышленности в системах локализу-

ющей вентиляции применяются инерционные пылеуловители — циклоны или аппараты со встречными закрученными потоками (ВЗП). Аппараты ВЗП обладают рядом преимуществ по сравнению с циклонами [1, 2]. В частности, вихревые пылеуловители имеют более четкую организацию крутки (в нижней части корпуса крутка поддерживается за счет закрученного вторичного потока). В цилиндрической части аппаратов происходит разделение на высоко- и низкоконтрированные потоки. Поток с повышенной концентрацией вращается в периферийной зоне завихрителя, а поток с пониженной концентрацией — в центральной части. После выхода в сепарационную камеру низкоконтрированный поток оттесняет высококонтрированный поток к периферии аппарата, что обуславливает повышение эффективности улавливания.

Установки пылеулавливания с инерционными аппаратами могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми. В сложившейся практике проектирования инженерно-экологических систем наибольшее распространение получили многоступенчатые пылеулавливающие установки.

В Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете на протяжении многих лет проводятся исследования, направленные на совершенствование схем компоновки многоступенчатых инерционных систем пылеулавливания с учетом особенностей технологии производства и физико-химических свойств выделяющейся пыли [3–5]. Отличительной особенностью предлагаемых схем является организация отсоса из бункерной зоны пылеулавливающего аппарата и подача уловленного продукта с воздушным потоком либо в технологический процесс, либо в инженерно-экологическую систему. С одной стороны, такое решение позволяет значительно повысить эффективность очистки, другой — возникает возможность забивания рециркуляционного воздуховода. Для обеспечения надежности работы аспирационных систем предлагается установка дополнительного пылеуловителя на воздуховоде возврата уловленного продукта.

Такие системы уже реализованы на предприятиях по производству строительных материалов. На рис. 1

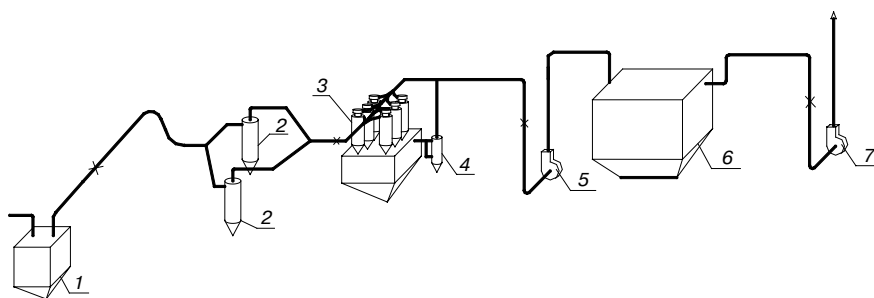


Рис. 1. Схема системы пылеулавливания в цехе производства гипса: 1 – мельница; 2 – циклон ЦН-800; 3 – батарейный циклон ЦН-600х6; 4 – аппарат ВЗП-400; 5 – вентилятор; 6 – электрофильтр; 7 – дымосос

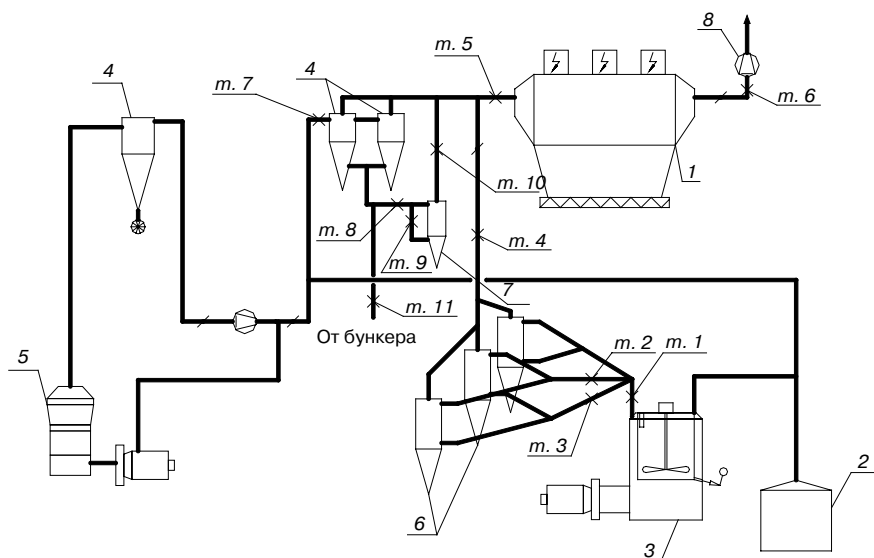


Рис. 2. Схема системы местной вытяжной вентиляции от мельницы и гипсоварочного котла в производстве гипса: 1 – электрофильтр; 2 – охладитель; 3 – гипсоварочный котел; 4 – циклон; 5 – мельница; 6 – аппарат ВЗП-600; 7 – аппарат ВЗП-400; 8 – вентилятор

ООО "ПТБ Волгоградгражданстрой"

Экология • Проектирование • Экомониторинг
Охрана труда • НИР в области вентиляции и аспирации

Основные направления деятельности

- *Экологическое проектирование (ПДВ, ПНООЛР, СЗЗ, паспорта на отходы, материалы обоснования лицензии и пр.).*
- *Абонентское обслуживание и экологический консалтинг в сфере обращения с отходами.*
- *Услуги в области охраны труда: аттестация рабочих мест (собственная испытательная лаборатория, аккредитованная в системах ССОТ и ДССОТ; атт. акк. ССОТ № РОСС RU.0013.21 от 894 до 23.09.2014, атт. акк. ДССОТ № РОСС RU.B516.04ЛГ00.21.009 до 16.03.2016), сертификация работ по охране труда (атт. акк. ССОТ № РОСС RU.0013.11 от 536 до 23.09.2014, атт. акк. ДССОТ № РОСС RU.B516.04 ЛГ 00.11.049 до 16.05.2016).*
- *Производственный контроль.*
- *Оценка риска здоровья населения, связанного с загрязнением атмосферы (атт. акк. органа по оценке риска № ГСЭН.ЦОА.063 до 08.10.20012).*
- *Экологический мониторинг (лаборатория атт. акк. СААЛ № РОСС RU.0001.512414 до 04.05.2014).*
- *Проектные работы: проектирование строительства зданий и сооружений, в том числе внутренних инженерных систем.*
- *Полное обследование инженерно-экологических систем с выдачей рекомендаций по их совершенствованию (вентиляция, аспирация, пневмоуборка, пневмотранспорт, газоочистка).*
- *Разработка паспортов вентиляционных, аспирационных, пневмотранспортных систем и пылегазоулавливающих установок.*
- *Научно-исследовательская деятельность.*

**Директор д-р техн. наук, заслуженный эколог РФ
Азаров Валерий Николаевич**

400131, г. Волгоград, ул. Донецкая, 16, офис 531
Тел./факс (8442) 25-10-38, 25-10-39, 32-81-38, 37-12-76
E-mail: ptb2006@mail.ru www.ptbvgstroy.ru

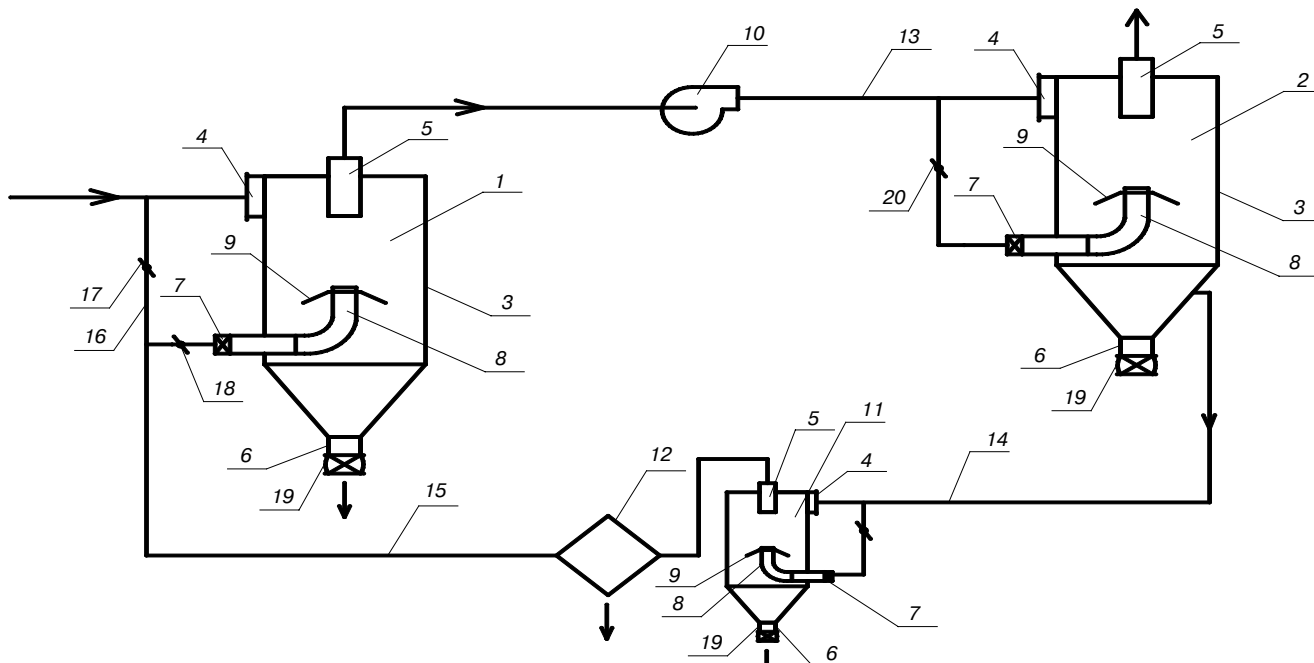


Рис. 3. Схема системы пылеулавливания с дополнительной установкой третьего аппарата ВЗП и рукавного фильтра: 1, 2 – пылеуловители ВЗП; 3 – цилиндрический корпус аппарата ВЗП; 4 – патрубок верхнего ввода; 5 – осевой выходной патрубок; 6 – патрубок для удаления уловленного продукта; 7 – закручиватель; 8 – патрубок нижнего ввода; 9 – отбойная шайба; 10 – вентилятор; 11 – дополнительный пылеуловитель ВЗП; 12 – рукавный фильтр; 13, 14, 15, 16 – воздуховоды; 17, 18, 20 – воздуховоды; 19 – шлюзовой затвор

представлена схема системы пылеулавливания от мельницы, установленная в цехе производства гипса. Производительность системы достигает 37 тыс. м³/ч. Система позволяет обеспечить эффективность обеспыливания в пределах 71–77% в зависимости от режима работы технологического оборудования. На рис. 2 приведена схема системы пылеулавливания от мельницы и гипсоварочного котла. Производительность системы достигает 30 тыс. м³/ч. Система позволяет обеспечить эффективность обеспыливания в пределах 84–98,2% в зависимости от режима работы технологического оборудования.

В системе пылеулавливания, схема которой представлена на рис. 3, установлены последовательно соединенные аппараты ВЗП и дополнительно на воздуховоде пылевоздушного потока, отсасываемого из бункера аппарата второй ступени, – третий вихревой аппарат меньшей производительности с меньшими габаритными размерами и рукавный фильтр [6].

Возврат потока осуществляется в нижний и верхний входные патрубки первого пылеуловителя. При этом воздуховод подачи исходного запыленного потока сообщен с входными патрубками первого пылеуловителя.

При такой компоновке: более запыленный поток поступает в аппарат первой ступени через тангенциальный патрубок верхнего ввода; более чистый поток подается через нижний ввод, вращается вокруг оси аппарата и, расширяясь кверху в цилиндрической камере, находится в зоне, наиболее близкой к оси аппарата, чем поток с большей концентрацией. Организация подачи потоков таким образом дает возможность приблизить более запыленный поток к стенкам цилиндрической камеры пылеуловителя, обеспечивая лучший отжим улавливаемого материала.

Представленная установка пылеулавливания с частичной рециркуляцией способствует лучшему отделению частиц пыли, особенно мелкодисперсных, не только в пылеуловителе первой ступени, но и в аппарате второй ступени очистки. Организация отсоса из бункера пылеуловителя второй ступени способствует стабильности работы системы, так как поддерживается

стабильное разрежение внутри корпуса и в случае колебаний нагрузок в системе создаваемое разрежение выравнивает величину колебаний.

Такая установка пылеулавливания также может найти применение в системах локализующей вентиляции на предприятиях по производству строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: системы пылеулавливания; инерционные пылеуловители; циклоны; пылеуловители ВЗП.

Список литературы

1. Азаров В.Н., Лукьянсков А.С., Самарская Ю.Г. Результаты испытаний аппаратов ПВ ВЗА с раскручивателями в системах обеспыливающей вентиляции // Вестник ВолГАСУ. 2009. Вып. 14 (33). С. 151–153.
2. Азаров В.Н., Фомичев В.Т., Лукьянсков А.С. Совершенствование вентиляции цехов анодной массы алюминиевых производств // Вестник ВолГАСУ. 2007. Вып. 7 (26). С. 164–169.
3. Азаров В.Н., Есина Е.Ю. О дисперсном составе пыли в системах обеспыливающей вентиляции строительных производств // Вестник ВолГАСУ. 2008. Вып. 11 (30). С. 119–122.
4. Азаров В.Н., Богомолов А.Н. О дисперсном составе пыли в системах аспирации и пневмооборки // Вестник ВолГАСУ. 2012. Вып. 25. С. 218–223.
5. Азаров В.Н., Боровиков Д.П. Применение закрутки потока в системах аспирации на предприятиях строительной индустрии // Строительные материалы. 2012. № 5. С. 64–67.
6. Патент РФ № 2346726 МПК В01D 45/12 В04С 9/00. Система пылеулавливания / В.Н. Азаров, В.И. Теличенко, В.В. Гутенев, А.С. Тюрин, Г.П. Крючков, А.П. Камышев, Н.М. Сергина: заявитель и патентообладатель ООО «ПТБ ПСО Волгоградгражданстрой» № 2007140509. Заявл. 01.11.2007. Опубл. 20.02.2009. Бюл. № 5.

А.Г. ПЕРЕХОЖЕНЦЕВ, д-р техн. наук,
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Моделирование температурно-влажностных процессов в пористых строительных материалах. Часть 3.

Расчет коэффициентов диффузии водяного пара в пористых материалах по характеристикам их пористой структуры

Известно [1], что в соответствии со спецификой взаимодействия молекул пара со стенками капилляра поток пара во всем диапазоне изменения размеров пор будет складываться из двух разных по своей физической природе потоков: кнудсеновского потока в порах с размерами радиусов до r^{Kn} и молекулярного потока пара в порах с радиусами более r^{Kn} .

Поток пара в кнудсеновском режиме будет пропорционален концентрации пара, радиусу капилляра и средней тепловой скорости молекул [1]:

$$J_1^{Kn} = -2/3(8RT/\pi M_1)^{1/2} \int_{r_0}^{r^{Kn}} r f_V(r) dr \nabla p, \quad (1)$$

или

$$J_1^{Kn} = -D^{Kn} \cdot \nabla p, \quad (2)$$

где D^{Kn} – коэффициент диффузии при кнудсеновском режиме течения; r^{Kn} – максимальный размер радиуса капилляров, в которых возможно кнудсеновское течение; M_1 – молекулярная масса водяного пара; T – температура.

Коэффициент кнудсеновской диффузии D^{Kn} из (1) соответственно будет равен:

$$D^{Kn} = \left(2603,29 \cdot 10^{-10} (T)^{1/2} \int_{r_0}^{r^{Kn}} r f_V(r) dr \right) / d_l, \quad (3)$$

где r – радиус поры, нм; d_l – коэффициент извилистости пор.

При размерах пор, соизмеримых с радиусом действия сил притяжения молекул пара стенками, нарушается условие линейности траекторий движения молекул, которое использовано при выводе уравнения Кнудсена. Поэтому уравнение (1) имеет ограничение не только по r_{max} , но и по r_0 . Так, радиусы капилляров, где начинает проявляться действие молекулярных сил r_0 , составляют примерно 20 радиусов молекулы воды. При размере радиуса молекулы воды, равном 0,1345 нм при $T=273,15$ К, эта величина будет равна 2,69 нм, что соответствует относительному давлению пара воды $p/p_s \approx 0,6$. При изменении температуры она будет изменяться, при повышении температуры r_0 уменьшается.

Свободные от жидкости поры заполнены не только парами воды, но и воздухом. Поэтому необходимо учитывать взаимную диффузию водяного пара и воздуха. Если давление в порах принять равным давлению в окружающей среде P_b , то изотермический поток водяного пара (индекс 1) через воздух (индекс 2) равен:

$$J_1 = - \frac{D_{12} M_1}{RT(1-p_1/P_0)} \frac{dp_1}{dx}, \quad (4)$$

где $P_0 = p_1 + p_2$ – общее давление парогазовой смеси.

Коэффициент диффузии водяного пара через воздушную среду ($m^2/ч$) с достаточной точностью [2] можно определить по формуле:

$$D_{12} = 0,086 (T/273)^{1,81} 0,101/P_0, \quad (5)$$

где P_0 – барометрическое давление, МПа.

Подставляя (5) в уравнение пара в одиночном капилляре (4), напомним уравнение потока для капиллярно-пористого тела как системы капилляров с произвольной функцией распределения пор по размерам радиусов:

$$J_1 = - \frac{0,086 (T/273)^{1,81} 0,101/P_0 \cdot M_1}{RT(1-p_1/P_0)} \int_{r^{Kn}}^{r_{max}} f(r) dr \frac{dp_1}{dx}. \quad (6)$$

При нормальном барометрическом давлении P_0 , равном 0,101 МПа, коэффициент диффузии водяного пара из (6) будет равен:

$$D^M = \frac{0,086 (T/273)^{1,81} M_1}{RT(1-p_1/0,101)} \int_{r^{Kn}}^{r_{max}} f_V(r) dr, \quad (7)$$

где D^M – коэффициент молекулярной диффузии пара.

Так как, поток пара во всем диапазоне изменения пор будет складываться из кнудсеновского и молекулярного потоков пара, то для того чтобы одновременно использовать оба уравнения, необходимо уравнение кнудсеновского течения (1) преобразовать к диффузному виду:

$$J_1 = (M_1 D^{Kn}/RT) \nabla p = D^{Kn} \nabla p. \quad (8)$$

В целом общей характеристикой переноса влаги в виде пара для капиллярно-пористого материала, имеющего поры, размеры которых изменяются в широких пределах, будет общий коэффициент диффузии водяного пара k_1 , равный:

$$k_1 = D^{Kn} + D^M, \quad (9)$$

где k_1 – коэффициент диффузии парообразной влаги в пористых материалах, кг/(м·ч·Па); D^{Kn} и D^M – соответственно коэффициенты кнудсеновской и молекулярной диффузии, которые с учетом коэффициентов извилистости определяют по формулам:

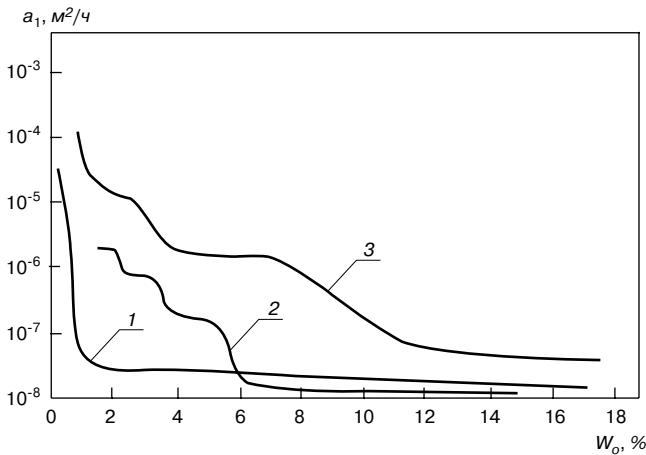


Рис. 1. Зависимости коэффициентов диффузии водяного пара a от влагосодержания материалов: 1 – красный кирпич; 2 – цементный раствор; 3 – газосиликат

$$D^{Kn} = \left(5,64 \cdot 10^{-10} (T)^{1/2} \int_{r_0}^{r_{Kn}} r \cdot f_V(r) dr \right) / (T \cdot d_1); \quad (10)$$

$$D^M = \left(1,863 \cdot 10^{-4} (T/273)^{1,81} \int_{r_{Kn}}^r f_V(r) dr \right) / (T(1 - p_1/P_0) d_1). \quad (11)$$

Как показывают расчеты, вклад кнудсеновского потока в общий поток пара составляет незначительную долю по сравнению с молекулярным потоком пара.

Коэффициенты диффузии водяного пара, отнесенные к влагосодержаниям пористого материала, получим делением k_1 на $c_p = dw/dp$ и ρ_0 , т. е. $a_1 = k_1 / (c_p \cdot \rho_0)$. На рис. 1 приведены зависимости коэффициентов диффузии водяного пара a_1 , м²/ч, от объемного влагосодержания некоторых наиболее распространенных строительных материалов. Коэффициенты диффузии водяного пара в сухом пористом материале имеют максимальные значения. Однако уже на начальной стадии увлажнения они уменьшаются на несколько порядков, что связано с закупориванием сквозных пор при увлажнении материала. Для красного кирпича это происходит при влагосодержании, равном 0,9%, цементного раствора – 6,2%, а для газосиликата – 11,2%, т. е. для разных материалов этот диапазон увлажнения различен.

В нормативных документах (СП 23-101–2004) основной влажностной характеристикой строительного материала является коэффициент паропроницаемости μ . Аналогом этого коэффициента служит коэффициент молекулярной диффузии пара $D^M \cdot 10^6$ мг/(м·ч·Па), рассчитанный по формуле (11).

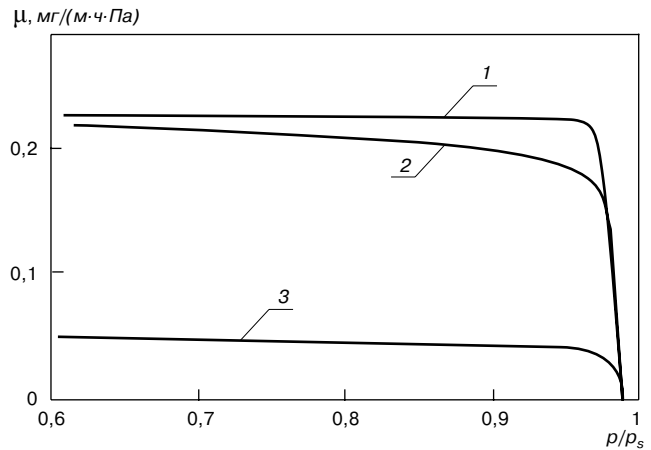


Рис. 2. Зависимость коэффициентов паропроницаемости μ от относительной влажности воздуха p/p_s : 1 – красный кирпич; 2 – керамзитобетон; 3 – цементный раствор

Известно, что с изменением влагосодержания пористого материала его паропроницаемость изменяется. На начальной стадии увлажнения, пока идет образование моно- и полимолекулярных адсорбированных слоев и основной объем пор остается открытым для диффузии пара, это изменение остается незначительным. Однако с началом капиллярной конденсации происходит объемное заполнение микропор и соответственно их закупоривание, что, в свою очередь, приводит к резкому снижению паропроницаемости материала. Этот процесс очень хорошо прослеживается на зависимостях коэффициентов паропроницаемости от относительной влажности воздуха (рис. 2).

До значений $p/p_s = 0,95 - 0,96$ эта зависимость почти линейная с незначительным уменьшением μ . При $p/p_s > 0,96$ значения коэффициентов μ резко уменьшаются и при $p/p_s = 1$ будут равны нулю, так как в этом случае поры материала будут заполнены водой. Вместе с тем изменение коэффициентов паропроницаемости и объемной влажности материала имеет линейную зависимость. На рис. 3 приведены такие зависимости для глиняного обожженного кирпича, керамзитобетона и цементно-песчаного раствора. Следовательно, зная значение коэффициента μ_0 в сухом состоянии, можно прогнозировать его значение при любом влагосодержании w_0 :

$$\mu_w = \mu_0 - (\Delta\mu / \Delta w) w_0. \quad (12)$$

Так как при $w_0 = 0$ коэффициент паропроницаемости равен μ_0 , а при полном влагонасыщении материала

Материал	Плотность, кг/м³	μ , мг/(м·ч·Па)		
		СП 23-101-2004	По Фокину [3]	Расчет по (11)
Газосиликат	390	0,23	0,46	0,41
Пенобетон	600	0,17	0,31	0,15
Газобетон	510	0,2	0,38	0,26
Керамзитобетон	1350	0,12	0,19	0,21
Кирпич красный	1690	0,12	0,19	0,26
Раствор цементный	1936	0,09	0,16	0,05
Бетон	2160	0,03	0,08	0,06
Пеногипс	300	0,51 (опыт)	0,66	0,32
Минераловатные маты	350	0,38	0,66	0,56

Примечание. Плотность материалов в таблице соответствует графе «Расчет». Данные из СП 23-101–2004 и [3] отбирались для материалов с плотностью, близкой к расчетной.

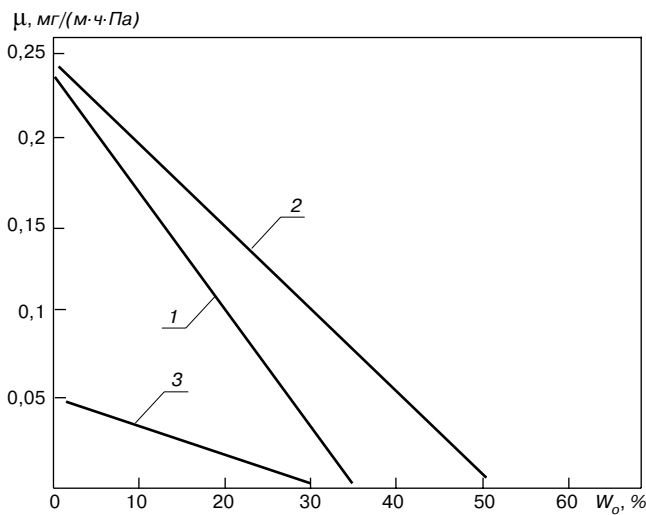


Рис. 3. Зависимость коэффициентов паропроницаемости от объемного влагосодержания материалов: 1 – красный кирпич; 2 – керамзитобетон; 3 – цементный раствор

($w_0 = w_H$) коэффициент μ равен нулю, то угловой коэффициент в уравнении (12) будет равен μ_0/w_H , а само уравнение примет следующий вид:

$$\mu_w = \mu_0 (1 - w_0 / w_H), \quad (13)$$

где μ_w – коэффициент паропроницаемости пористого материала при объемном влагосодержании w_0 ; μ_0 – коэффициент паропроницаемости абсолютно сухого ма-

териала; w_H – величина объемного влагосодержания материала при полном водонасыщении.

В таблице представлено сравнение значений коэффициентов паропроницаемости μ , полученных расчетом по формуле (11), с опытными данными К.Ф. Фокина [3] и приведенными в СП 23-101–2004. Как видно, порядок и сами значения μ близки к опытным данным и приведенным в СП. Полного совпадения данных нет, так как в СП содержатся обобщенные опытные данные, а одноименные материалы у К.Ф. Фокина не всегда совпадают по плотности с расчетными и, следовательно, материалы будут иметь другие характеристики пористой структуры.

Хорошее совпадение опытных данных с расчетными дает основание считать, что приведенную выше расчетную модель пористого тела можно использовать для определения влагопереносных свойств пористых материалов, которые достаточно сложно или трудно определить из прямого опыта.

Ключевые слова: пористая структура, диффузия водяного пара.

Список литературы

1. Лыков А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Гостехиздат, 1954. С. 98–121.
2. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. М.: Энергия, 1978. 680 с.
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: Стройиздат, 1973. С. 288.

Тема выставки:

Зеленый дом

Организаторы:




(3852) 65-88-44



XVIII Специализированная выставка-ярмарка

Строительство Благоустройство Интерьер

15-17
мая 2013 г.
г. Барнаул
Дворец зрелищ и спорта

Ваш электронный пригласительный билет – на сайте www.altfair.ru

9-12 АПРЕЛЯ

УФА-2013

XVII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ОТОПЛЕНИЕ. ВОДОСНАБЖЕНИЕ. КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫСТАВОЧНЫЙ ПРОЕКТ

"ЧИСТАЯ ВОДА"

ВСЁ

для СТРОИТЕЛЬСТВА и РЕМОНТА

XVIII СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



БАШКИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ (347) 248-12-58, 253-38-00
stroy@bvkepo.ru

www.bvkepo.ru



ПРОМСТРОЙИНДУСТРИЯ АСТАНА

14-я Казахская международная строительная выставка



27-29 марта 2013

Казахстан, Астана, ВЦ "Көрме"

МВК "Атакент-Экспо"
Республика Казахстан
050057 г. Алматы, ул. Тимурязова, 42
Тел.: +7 (727) 275 09 11, 275 13 57, 274 79 26
Факс: +7 (727) 275 08 38
e-mail: atakentexpo.kz@mail.ru, atakent2012@bk.ru
www.atakentexpo.kz

Филиал МВК "Атакент-Экспо"
Республика Казахстан
010000 Астана, пр. Кабанбай батыра, 7/3, оф. 043
Тел./факс: +7 (7172) 50 73 29, 50 73 30
e-mail: atakent@mail.ru

Официальная поддержка:



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И
ТОВАРИЩЕСКОГО
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Организаторы:



АКИМАТ АСТАНЫ



МВК "АТАКЕНТ-ЭКСПО"

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СКБ СТРОЙПРИБОР

ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



тел/факс в Челябинске: (351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14
в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58
e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru
www.stroypribor.ru

Реклама

ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА

ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03
ударно-импульсный

автоматическая обработка
измерений



диапазон 3...100 МПа

УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С
ультразвуковой

поверхностное и сквозное
прозвучивание



частота 60...70 кГц
диапазон 10...2000 мкс

**ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д /
ПОС-50МГ4 "Скол"**

отрыв со скалыванием
и скалывание ребра

предельное
усилие 60 кН
диапазон 5...100 МПа



ПОС-2МГ4 П

испытание прочности
ячеистых бетонов



предельное
усилие вырыва 2,5 кН

**ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ
ДИНАМИЧЕСКИЕ**

ПДУ-МГ4 "Удар"

и **ПДУ-МГ4 "Импульс"**

определение динамического
модуля упругости грунтов
и оснований дорог
методом штампа,
диапазон: 5...370 МН/м² ("Удар")
5...300 МН/м² ("Импульс")



**Прессы испытательные
малогабаритные**

**ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4
/ ПГМ-1000МГ4**



с гидравлическим приводом
для испытания бетона,
асфальтобетона, кирпича
■ предельная нагрузка
100 / 500 / 1000 кН
■ масса 70 / 120 / 180 кг

**ПМ-1МГ4 / ПМ-2МГ4 / ПМ-3МГ4
/ ПМ-5МГ4 / ПМ-10МГ4**

с ручным / электрическим приводом
для испытания утеплителей на изгиб
и сжатие при 10% линейной деформации
■ предельная нагрузка 1 / 2 / 3 / 5 / 10 кН
■ масса 20 / 25 кг

ПСО-10МГ4 КЛ

испытание прочности
сцепления в каменной
кладке

предельное усилие
отрыва 15 кН



АДГЕЗИМЕТРЫ

ПСО-МГ4

испытание прочности
сцепления покрытия
с основанием

предельная нагрузка
1 / 2,5 / 5 / 10 кН



**ИЗМЕРИТЕЛИ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"

стационарный
и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ

ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01
анемометр-термометр

диапазон 0,1...20 (1...30) м/с
-30...+100 °С



ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ
ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

ИТП-МГ4.03 "Поток"

3...5, 10 и 100-канальные
регистраторы

диапазон 10...999 Вт/м²
-40...+70 °С



ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

ВЛАГОМЕР-МГ4

для измерения влажности
бетона,
сыпучих,
древесины
диапазон 1...45 %



**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ
ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА**

ИПА-МГ4

диаметр контролируемой
арматуры 3...40 мм
диапазон измерения
защитного слоя 3...140 мм



ТЕРМОМЕТРЫ

ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01

модульные регистрирующие
для зимнего бетонирования
и пропарочных камер
(до 20 модулей в комплекте)
зондовые / контактные
1...2-канальные
диапазон -40...+100 / 250 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ
АРМАТУРЫ**

ДО-40 / 60 / 80МГ4

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых
усилий 2...120 кН

диаметр
арматуры 3...12 мм



**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ
В АРМАТУРЕ**

ЭИН-МГ4

частотный метод

диаметр
арматуры 3...32 мм

диапазон 100...1800 МПа



ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.



К 60-летию Юрия Ивановича Марченко

Исполнилось 60 лет Ю.И. Марченко — генеральному директору ЗАО «Норский керамический завод» (Ярославль), почетному строителю России.

Юрий Иванович Марченко родился 5 февраля 1953 г. в Вильнюсе.

В 1975 г. Юрий Иванович закончил Новочеркасский политехнический институт по специальности «Химическая технология керамики и огнеупоров» и был направлен на работу в Ярославль на Норский керамический завод.

Вся трудовая деятельность Ю.И. Марченко связана с отраслью производства строительных материалов. Он прошел путь от начальника смены до главного инженера.

В 1999 г., когда завод практически находился на грани банкротства, коллектив избрал Юрия Ивановича генеральным директором. Мобилизация коллектива, увеличение объема производства продукции, выпуск новых ее видов, техническое перевооружение позволили в короткий срок восстановить передовые позиции предприятия в отрасли. В настоящее время завод является одним из ведущих в России по производству керамических материалов. Под руководством Ю.И. Марченко завод неоднократно становился победителем Всероссийского конкурса «За достижение высокой эффективности и конкурентоспособности в строительстве и промышленности строительных материалов», а в Ярославле — лучшим предприятием города.

Деятельность Ю.И. Марченко отмечена почетными грамотами губернатора Ярославской области и мэра г. Ярославля, медалью «За благотворительность в России», почетным знаком мэрии за подготовку в проведении 1000-летия Ярославля, наградой губернатора Ярославской области «Почетный знак А.П. Мельгунова» за заслуги перед Ярославской областью.

Ю.И. Марченко неоднократно становился победителем конкурса «Лучший руководитель города Ярославля» (2001, 2003, 2008, 2011, 2012 гг.). Он имеет два патента на изобретение (получение пористой керамики и получение кирпича светлых тонов).

Редакция журнала «Строительные материалы»® сердечно поздравляет Юрия Ивановича Марченко и желает крепкого здоровья, сохранения свойственного ему оптимизма и дальнейших успехов!

НОВОСТИ РЫНКА

ЖБИ: итоги 2012 года

Выпуск железобетонных изделий и конструкций в РФ увеличился до 24,9 млн м³ (+10%). Москва сохранила лидерство среди регионов-производителей в РФ.

Объемы выпуска ЖБИ предприятиями Москвы выросли до 2,2 млн м³ (+5%). В 2012 г. значительный прирост производства показали предприятия Московской области, увеличившие его более чем на 35% — до 1,9 млн м³. В итоге регион закрепился на второй позиции в общероссийском рейтинге.

Среди федеральных округов лидерство удерживают Центральный и Приволжский ФО, в сумме более 50%

производства ЖБИ в РФ. В ряде федеральных округов ярко выражено доминирование производителей одного региона.

По данным нового исследования СМ Про «Предприятия—производители железобетонных изделий и конструкций в России. 2008–2012 гг.» 330 ведущих предприятий—производителей ЖБИ в РФ обеспечивают около 80% производства ЖБИ и конструкций. Структура российского рынка ЖБИ остается дисперсной: подавляющее большинство производителей являются независимыми компаниями. Процессы консолидации же связаны с деятельностью лишь нескольких компаний: Группы ЛСР, СУ 155, ГК ПИК и некоторых других.

В январе упали отгрузки НСМ

Производители нерудных строительных материалов (НСМ) снизили в январе 2013 г. отгрузку железнодорожным транспортом на внутренний рынок на 16,3% к уровню января 2012 г.

Всего по железной дороге отечественные потребители получили 7 млн м³ НСМ, из них на долю импорта пришлось 0,9 млн м³. При этом на фоне общего сокращения железнодорожных поставок этого вида ма-

териала ввоз из-за границы вырос на 8,7% к январю 2012 г. Снижение отгрузки НСМ к декабрю составило 12%. Однако оно носит сезонный характер и повторяется ежегодно. Лидерами снижения железнодорожного потребления (к январю 2012 г.) стали: Московская область — -197 тыс. м³ (-25,2%); Тюменская область — -180 тыс. м³ (-33,1%); Республика Татарстан — -123 тыс. м³ (-29,6%); Санкт-Петербург — -109 тыс. м³ (-31,1%); Белгородская область — -90 тыс. м³ (-59,5%).

Увеличились поставки импортного цемента

Итоги января на рынке железнодорожных перевозок цемента в России отражают типичное состояние его участников в начале года — количество рабочих дней в первом месяце фактически сводится до одной декады. По расчетам СМ Про, импортные поставки цемента железнодорожным транспортом в Российскую Федерацию в январе 2013 г. увеличились до 45 тыс. т (+9% к соответствующему периоду 2012 г.), из них око-

ло 50% пришлось на поставки из стран Балтии. «Евроцемент» увеличил долю в общем объеме железнодорожных отгрузок на региональные рынки — в Центральном регионе (+1,9%), в Северо-Западном (+1,2%), в Северо-Кавказском (+7,2%), в Приволжском (+1%). Объем железнодорожного экспорта цемента из России вырос на 5% к соответствующему периоду 2012 г. и составил 75 тыс. т.

По материалам инвестиционной компании «СМ Про»

ЮБИЛЯРЫ ОТРАСЛИ

К 60-летию института ВНИИжелезобетон

Институту ВНИИжелезобетон исполнилось 60 лет.

Институт является участником создания и освоения первых в стране заводов по производству железобетонных изделий, разработки инновационных технологий для заводов сборного железобетона и домостроительных комбинатов.

В институте были созданы получившие массовое внедрение: вибрационные методы уплотнения бетона, электротермический метод натяжения арматуры, комплексные методы эффективной тепловой обработки бетона, методы ультразвукового неразрушающего контроля прочности бетона, высокоэффективные комплексные химические добавки и суперпластификаторы на основе промышленных отходов, вяжущие низкой водопотребности (ВНВ) для бетонов высокой прочности и др.

Сотрудниками института разработаны основополагающие нормативные документы, такие как СНиП «Сборные железобетонные конструкции и изделия», «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий» и др.

Широкое внедрение получила созданная в институте отечественная технология строительства «теплых домов» из полистиролбетона системы «Юникон», которая обеспечивает высокую экономичность ограждающих конструкций.

Инновационные разработки ВНИИжелезобетона применены на сотнях заводов ЖБИ и КПД страны и получили признание в стране и за рубежом.

Работы института удостоены Ленинской премии СССР, трех премий Совета Министров СССР, премий Ленинского комсомола и Правительства РФ по науке и технике, отмечены почетными грамотами и дипломами отечественных и зарубежных организаций. Коллектив института ВНИИжелезобетон продолжает активную работу по модернизации производства и развитию строительства энергоэффективных зданий в Москве и других регионах страны, разрабатывает новые технологии производства энергоэффективных теплоизоляционных материалов для строительной индустрии и строительства жилых и общественных зданий; проекты технологических линий для спецжелезобетона; химические добавки и модификаторы бетона.

Редакция журнала «Строительные материалы»® желает коллективу института дальнейшей плодотворной деятельности в области создания и внедрения инновационных разработок для промышленности строительных материалов и строительства.

НОВОСТИ КОМПАНИЙ

ПЕНОПЛЭКС приступил к строительству нового завода

Началась реализация очередного масштабного инвестиционного проекта компании «ПЕНОПЛЭКС» (г. Новомосковск Тульской области). В строительство нового завода и парк оборудования по выпуску энергоэффективной теплоизоляции будет вложено на первоначальном этапе 400 млн р. Восьмая производственная площадка станет одним из крупнейших предприятий компании с годовым объемом производства до 650 тыс. м³ теплоизоляции в год.

В настоящее время у компании семь действующих заводов в городах Кириши (Ленинградская область), Таганрог, Новосибирск, Пермь, Хабаровск, Черемхово (Иркутская область) и Капчагай (Республика Казахстан)

– с суммарной производственной мощностью 2,3 млн м³ в год. С открытием нового завода в Тульской области производственный потенциал компании увеличится до 2,95 млн м³ в год.

Новое предприятие разместится на площади 7,5 га в промышленной зоне г. Новомосковска. Строительные работы уже начались, готовится монтаж оборудования. Первые пусконаладочные работы пройдут в апреле этого года. Запуск производственных линий будет проходить в два этапа, всего планируется установить две линии мощностью 1,5 кг/ч и одну – мощностью 500 кг/ч.

На новом заводе будет создано около 120 рабочих мест для жителей Новомосковска.

По материалам компании «ПЕНОПЛЭКС»

Группа Лафарж испытала цемент

Группа Лафарж (Франция) провела промышленные испытания Aether® – клинкера нового поколения, разработанного для производства цемента с низким содержанием углерода. В рамках испытаний было произведено 10 тыс. т клинкера Aether®, что подтвердило возможность производства в промышленном масштабе с использованием традиционного сырья. Запуск первой партии продукции марки Aether® запланирован на 2014 г. Клинкер нового поколения разработан научно-исследовательской командой группы Лафарж.

Цементы, полученные на основе клинкера Aether®, имеют схожие свойства с обычным портландцементом и могут быть произведены на традиционных цементных

заводах при незначительных корректировках производственного процесса с целью общего снижения воздействия на окружающую среду. Новый химический состав клинкера позволяет сократить выбросы CO₂ на 25–30% благодаря снижению доли известняка в сырьевой смеси, более низкой температуре (около 1300°C) обжига, упрощенному помолу с меньшим потреблением энергии. Этот проект получил поддержку Европейского союза как часть программы LIFE+ – финансового инструмента, направленного на поддержку экологических проектов.

По материалам компании Группа Лафарж

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.
2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/aytoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>