

*The review of the results of master, Ph.D. and Doctorates research in the area of nanotechnologies, nanomaterials, housing and communal services and joint economic spheres*

UDC 66.011

**Author:** KARPOV Alexey Ivanovich, Ph.D. in Engineering, referent, International Academy of Engineering; Gazetny str., 9, bld. 4, 125009, Moscow, Russian Federation, e-mail: info@nanobuild.ru



## REVIEW OF THE RESULTS OF PH.D. THESES IN THE AREA OF NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS. Part 4

### EXTENDED ABSTRACT:

To popularize scientific achievements the main results of Russian and foreign scientists' research are published in the form of abstract. The research «Materials of autoclave hardening with the use of nanostructured modifier based on magnetic rock of acid content» set the theory and experimentally proves the opportunity to use magma rock of acid composition for production of nanostructured modifier of the materials of autoclave hardening. Activity of nanostructured modifier is provided by its composition and production technology: high specific surface with formation of nanodispersed polymineral; surface amorphization of rock-forming minerals; processes of mechanical and chemical dissolution of quartz and feldspar components with formation of active silica and alumina silica acids. The research has determined the character of the influence of nanostructured modifier in the sand blend on the gas formation, expansion of concrete mix and finally on the structure formation of the materials during preautoclave period. The authors proposed the compositions for the materials of autoclave hardening with the use of nanostructured modifier made of granite to produce: pressed articles (silicate brick) of density 1835–1950 kg/m<sup>3</sup>, ultimate compressive strength – 17,8–23,3 MPa, thermal conductivity – 0,56–0,6 W/m°C., frost



resistance – 40–55 cycles, water absorption – 11,4–12,2%. The developed articles meet the requirements of the existing codes: strength grade M150–M200 and frost resistance grade F35–F50. The specialists may be also interested in the following research: «Physical and chemical properties and structure of monomeric and polymer acetylenecarboxylated metals and nanocomposites based on them», «Nanomodified sulphuric binders for the construction materials of general and specific purpose», «Synthesis and catalytic properties of mesoporous nanomaterials based on  $\text{CeO}_2$ », «Synthesis and properties of nanostructures based on laminar double hydroxides», «Sol-gel synthesis and properties of nanocrystal ferrites based on system  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3$ », «Synthesis and physical and chemical objective laws of sol-gel formation by the method of thin-film and dispersed nanomaterials of oxide systems of elements III–IV groups», «Synthesis and research of functional properties of low dimension nanostructures on the basis of titanium and vanadium oxides», «The reaserch of interaction between electromagnetic radiation and nanostructured materials», Formation, structure and optical properties of nanocomposite systems «Ge in porous matrix  $\text{Al}_2\text{O}_3$ », «Polymer construction nanocomposites on the basis of polyvinylchloride», «Objective laws of formation, structure features and properties of superhard nanocomposite coatings» et al.

**Key words:** nanostructured modifier, construction nanocomposites, nano-modified binders, nanocrystal ferrites, nanostructures, nanomaterials.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122](https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122)

#### MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 4.</span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 5, pp. 102–122. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Карпов А.И.</a>, публикуется на условиях <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная</a>.<br />Основано на произведении с <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2015/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2015/</a>.<br />Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:info@nanobuild.ru" rel="cc:morePermissions">info@nanobuild.ru</a>.
```

#### References:

1. *Podgornyj I.I.* Materialy avtoklavnogo tverdenija s ispol'zovaniem nanostrukturirovanogo modifikatora na osnove magmatischeških porod kislogo sostava [Materials of autoclave hardening with the use of nanostructured modifier based on magnetic rock of acid



- content]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
2. *Shershnev V.A.* Fiziko-himicheskie svoystva i stroenie monomernykh i polimernykh acetylenkarboksilatov metallov i nanokompozitov na ih osnove [Physical and chemical properties and structure of monomeric and polymer acetylenecarboxylated metals and nanocomposites based on them]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  3. *Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 1. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 1, pp. 107–126. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126). (In Russian).
  4. *Zagainov I.V.* Sintez i kataliticheskie svoystva mezoporistykh nanomaterialov na osnove  $\text{CeO}_2$  [Synthesis and catalytic properties of mesoporous nanomaterials based on  $\text{CeO}_2$ ]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  5. *Lukashin A.V.* Sintez i svoystva nanostruktur na osnove sloistykh dvoynykh gidroksidov [Synthesis and properties of nanostructures based on laminar double hydroxides]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  6. *Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 3. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no.4, pp. 96–114. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114). (In Russian).
  7. *Din Van Tak.* Zol'-gel' sintez i svoystva nanokristallicheskih ferritov na osnove sistemy  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [Sol-gel synthesis and properties of nanocrystal ferrites based on system  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  8. *Borilo L.P.* Sintez i fiziko-himicheskie zakonomernosti formirovaniya zol'-gel' metodom tonkoplechnykh i dispersnykh nanomaterialov oksidnykh sistem jelementov III–V grupp [Synthesis and physical and chemical objective laws of sol-gel formation by the method of thin-film and dispersed nanomaterials of oxide systems of elements III–IV groups]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  9. *Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 2. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 2, pp. 127–138. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138). (In Russian).
  10. *Grigorieva A.V.* Sintez i issledovanie funkcional'nykh svoystv nizkorazmernykh nanostruktur na osnove oksidov titana i vanadija [Synthesis and research of functional properties of low dimension nanostructures on the base of titanium and vanadium oxides]. Abstract of



- Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
11. *Belousov S.A.* Issledovanie vzaimodejstviya jelektromagnitnogo izluchenija s nanostrukturirovannymi materialami [The reaserch of interaction between electromagnetic radiation and nanostructured materials]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  12. *Beltjukov A.N.* Formirovanie, struktura i opticheskie svojstva nanokompozitnyh sistem «Ge v poristoj matricе Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>» [Formation, structure and optical properties of nanocomposite systems «Ge in porous matrix Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>»]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  13. *Karpov A.I.* Results of research in the area of nanotechnologies and nanomaterials. Part 5. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2014, Vol. 6, no. 5, pp. 68–85. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-5-68-85](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-5-68-85). (In Russian).
  14. *Moshkov V.Yu.* Zakonomernosti formirovaniya, osobennosti struktury i svojstva sverhtverdyh nanokompozitnyh pokrytij [Objective laws of formation, structure features and properties of superhard nanocomposite coatings]. Abstract of Ph.D. thesis. Electronic library of theses [electronic resource]. Available at: <http://dslib.net> (Date of access: 02.09.2015). (In Russian).
  15. *Gusev B.V.* Development of nanotechnologies – the most important technological direction in construction. Nanotechnologies Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2011, Vol. 3, no. 2. pp. 6–20. Available at: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU](http://nanobuild.ru/ru_RU) (Accessed: 02.09.2015). (In Russian).

### DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

*Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 4. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 5, pp. 102–122. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122). (In Russian).

*Contact information*

e-mail: [info@nanobuild.ru](mailto:info@nanobuild.ru)



*Обзор результатов диссертационных исследований магистрантов, аспирантов, докторантов в области нанотехнологий и наноматериалов в строительстве, ЖКХ и смежных отраслях экономики*

УДК 66.011

Автор: **КАРПОВ Алексей Иванович**, канд. техн. наук, референт, Международная инженерная академия; Газетный пер., 9, стр. 4, г. Москва, 125009, Российская Федерация, e-mail: info@nanobuild.ru



## **ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ. Часть 4**

### АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

С целью популяризации научных достижений в реферативной форме публикуются основные результаты исследований российских и зарубежных ученых. По направлению «Материалы автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора на основе магматических пород кислого состава» теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования магматических пород кислого состава для получения наноструктурированного модификатора материалов автоклавного твердения. Активность наноструктурированного модификатора обусловлена его составом и технологией получения: высокой удельной поверхностью с формированием нанодисперсных компонентов полиминерального состава; аморфизацией поверхности породообразующих минералов; процессами механохимического растворения кварцевого и полевошпатового компонентов с формированием активной кремниевой и алюмокремниевой кислот. Установлен характер влияния наноструктурированного модификатора в составе формовочной смеси на газообразование, вспучивание бетонной смеси и, в конечном итоге, структурообразование материалов в доавтоклавный период. Предложены составы материалов автоклавного твердения с использованием





наноструктурированного модификатора, получаемого на основе гранита, позволяющие производить: прессованные изделия (силикатный кирпич) плотностью 1835–1950 кг/м<sup>2</sup>, пределом прочности при сжатии – 17,8–23,3 МПа, теплопроводностью – 0,56–0,6 Вт/м°С, морозостойкостью – 40–55 циклов, водопоглощением – 11,4–12,2%. Разработанные изделия удовлетворяют требованиям существующих нормативных документов: марки по прочности М150–М200 и марки по морозостойкости F35–F50.

Для специалистов также представляют интерес результаты следующих исследований: «Физико-химические свойства и строение мономерных и полимерных ацетиленкарбоксилатов металлов и нанокompозитов на их основе», «Наномодифицированные серные вяжущие вещества для строительных материалов общестроительного и специального назначения», «Синтез и каталитические свойства мезопористых наноматериалов на основе CeO<sub>2</sub>», «Синтез и свойства наноструктур на основе слоистых двойных гидроксидов», «Золь-гель синтез и свойства нанокристаллических ферритов на основе системы Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>», «Синтез и физико-химические закономерности формирования золь-гель методом тонкопленочных и дисперсных наноматериалов оксидных систем элементов III–V групп», «Синтез и исследование функциональных свойств низкоразмерных наноструктур на основе оксидов титана и ванадия», «Исследование взаимодействия электромагнитного излучения с наноструктурированными материалами», «Формирование, структура и оптические свойства нанокompозитных систем «Ge в пористой матрице Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>», «Полимерные нанокompозиты строительного назначения на основе поливинилхлорида», «Закономерности формирования, особенности структуры и свойства сверхтвердых нанокompозитных покрытий» и др.

**Ключевые слова:** наноструктурированный модификатор, нанокompозиты строительного назначения, наномодифицированные вяжущие, нанокристаллические ферриты, наноструктуры, наноматериалы.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122)

#### Машиночитаемая информация о СС-лицензии в метаданных статьи (HTML-код):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Обзор результатов диссертационных исследований в области нано- технологий и наноматериалов. Часть 4</span>» созданное автором по имени «<a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 5. – С. 102–122. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Карпов А.И.</a>, публикуется на условиях «<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная</a>.<br />Основано на произведении с «<a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-5-2015/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-5-2015/</a>.<br />Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице «<a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="info@nanobuild.ru" rel="cc:morePermissions">info@nanobuild.ru</a>».
```



## **Материалы автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора на основе магматических пород кислого состава**

### **Основные тенденции использования наноструктурированных компонентов в строительном материаловедении**

Материалы автоклавного твердения – это изделия, изготавливаемые на основе известково-песчаной смеси, в некоторых случаях с добавлением цемента. Представителями являются плотные (прессованные) изделия – силикатный кирпич и камни, силикатный бетон; ячеистые материалы – газобетонные блоки в виде изделий широкой номенклатуры [1].

Полное или частичное исключение из производства цемента, достаточно распространенная сырьевая база, возможность использования в качестве сырья широкого спектра не только кварцевых горных пород, но и отходов промышленности, гибкость технологии с возможностью ее быстрой переналадки на выпуск изделий и конструкций любой формы, типоразмеров и плотности (от теплоизоляционных до конструктивных) при высоком уровне механизации и автоматизации как отдельных, технологических переделов, так и всего производства, а также значительные резервы повышения качества продукции и эффективности производства обуславливают перспективность развития производства материалов автоклавного твердения.

### **Газобетон автоклавного твердения**

Ячеистый бетон – это искусственный пористый строительный материал с характерной равномерно распределенной мелкодисперсной ячеистой структурой, получаемый в результате поризации и гидратационного твердения рационально подобранной, тщательно перемешанной растворной смеси, состоящей из вяжущего и кремнеземистого компонента, добавок и порообразователей.

Как показывает практика использования ячеистых изделий автоклавного твердения, стены жилых зданий из газобетона эффективнее трехслойных стеновых панелей: по себестоимости – в среднем на 40%, приведенным затратам – на 25%, трудоемкости производства – 10–15%, уступая по эксплуатационным затратам на отопление на 12–16%.



Тем не менее, для обеспечения требований СНиП по теплозащитным показателям стен из ячеистого бетона необходимо либо повысить толщину стен, либо снизить среднюю плотность ячеистого бетона. С позиции экономической эффективности более целесообразным является сокращение плотности изделий, что приведет к снижению их теплопроводности и, как следствие, экономии затрат на отопление зданий.

Тепловые потери малоэтажных жилых домов в 4–5 раз выше, чем квартир многоэтажных домов. В этой связи вопрос повышения теплозащиты стен зданий приобретает особую актуальность. Его решение возможно при одновременном решении целого ряда вопросов: широкого внедрения в строительную практику стеновых ячеистобетонных блоков автоклавного твердения средней плотностью не выше  $500 \text{ кг/м}^2$ , классов по прочности В1,5–В2,5, снижения влажности ячеистого бетона до равновесной с окружающей средой за счет применения специальных режимов обработки изделий и конструкций в заводских условиях, а также упаковки стеновых блоков в термоусадочную пленку.

Применение ячеистого бетона в качестве стенового материала позволяет снизить затраты как организаций-заказчиков, так и застройщиков, так как снижается сметная стоимость строительства. Это обусловлено сокращением стоимости сборных ячеистобетонных стеновых панелей по сравнению с аналогичными по назначению однослойными панелями из легких бетонов. Стеновые газобетонные блоки автоклавного твердения по экономическим показателям являются более эффективными по сравнению с аналогами. При этом стоимость материала определяется региональными особенностями района строительства. Так, стоимость  $1 \text{ м}^2$  стены из газосиликатных блоков в Московской области по данным на 2013 год составляет 13,9 руб.; из керамического кирпича – 26,1 руб.; керамзитобетонных блоков – 29,7 руб. При этом укладка стенового блока размером  $200 \times 250 \times 600 \text{ мм}$ , средней плотностью  $500 \text{ кг/м}^2$  соответствует одновременной укладке 14 штук стандартных кирпичей.

При этом отмечено, что реальный экономический эффект от производства в 2013 г.  $1,3 \text{ млн. м}^2$  стеновых панелей и  $2,2 \text{ млн. м}^2$  стеновых блоков из ячеистого бетона по сравнению с керамзитобетонными и кирпичными стенами составил 108 млн. руб. При этом рентабельность производства газобетона составила в среднем по стране 27%. Более рентабельным является только производство армированных панелей покрытий и перекрытий – 67%.





В технологии ячеистых бетонов в качестве вяжущего используют цементы и известь, реже – молотые шлаки и гипс. В зависимости компонентов, используемых в составе вяжущего, ячеистые бетоны делятся на газосиликат (известь, без каких-либо добавок других видов вяжущих), газобетоны (с добавкой цемента), газшлакобетон (шлака) и газогипс (гипса).

В настоящее время большинство заводов, как в России, так и за рубежом, перешли на совместное использование извести и цемента для производства газобетона автоклавного твердения. Цемент вводится как структурообразующий компонент в доавтоклавном периоде, а известь отвечает за формирование гидросиликатной связки в процессе гидротермального синтеза.

Согласно данным Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона (НААГ), по состоянию на 2013 год в России функционирует 70 заводов по производству газобетона с общей мощностью около 460 тыс. м<sup>2</sup>/год. При этом более 70% заводов оснащены современными европейскими технологическими линиями. Начиная с 2000 года, наблюдается постоянный рост производственной мощности предприятий по выпуску ячеистых изделий автоклавного твердения.

### **Методика получения поризованных изделий автоклавного твердения**

Анализ кинетики поглощения гидроксида кальция гранитными и песчаными компонентами свидетельствует о схожести характера сорбционной способности веществ независимо от способа их получения: наблюдается невысокая активность на протяжении первоначальных 12 часов эксперимента, резко возрастающая уже к первым суткам. Максимумы конечной сорбционной способности отмечены на образцах наноструктурированного модификатора как силикатного, так и алюмосиликатного состава, тогда как минимумами поглощенного СаО характеризуются компоненты, полученные одностадийным мокрым помолом (шлак различного состава). При этом после двух суток эксперимента наблюдается практическое выполаживание кривых кинетики, т.е. сорбционная способность компонентов через 2 суток и после 3 суток практически не отличается. Однако в случае гранитного НМ к трем суткам процесс поглощения СаО идет не менее активно. Это можно объяс-



нить с одной стороны меньшим количеством кварца в составе гранита, который предопределяет активность вещества к СаО в начальный период эксперимента, а с другой стороны – более поздним началом взаимодействия извести с алюмосиликатным коллоидным компонентом гранитного НМ, который, в свою очередь, формируется при измельчении полевошпатовой составляющей.

Сравнительная оценка активности кремнеземсодержащих компонентов различного состава и способа получения, изученная методикой оценки активных центров, подтверждает данные, полученные ранее.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о большей активности компонентов на основе гранита. Превышение активности наноструктурированного модификатора на основе гранита по отношению к НМ на основе песка, определяемое как количеством активных центров, так и поглощенного СаО, составляет 10%.

Тем не менее, стоит отметить, что, несмотря на разницу в составе материалов, увеличение активности в ряду «мокрый помол – сухой помол – мокрый помол с получением НМ» сохраняется. Объяснение данного факта состоит в следующем. Увеличение активных брэнстедовских центров на поверхности частиц твердой фазы НМ в два раза по сравнению со шламом свидетельствует о высокой активности наноструктурированного модификатора по сравнению с основным компонентом формовочной смеси. Это будет способствовать раннему связыванию гидроксида кальция при гашении извести и позволит сократить предварительную выдержку массивов до автоклавирования. Минимальное количество активных кислотных центров для шлама обусловлено тем, что при мокром помолу вода, выступая прослойкой между частицами, частично закрывает сформированные в процессе помола новые связи на поверхности механоактивированного кремнеземистого вещества.

Косвенным подтверждением активности измельченных материалов служит наличие аморфной составляющей. Определение концентрации аморфной фазы механоактивированного различным способом сырья проводилось методом количественного полнопрофильного РФА. Определение концентрации рентгеноаморфной фазы производится на основе истинной и расчетной концентрации внутреннего эталона. В качестве материала для внутреннего эталонирования применялась двуокись титана (анатаз) в концентрации 30 вес.%.



Минимальной концентрацией аморфной фазы в системе отличается шлам – песок либо гранит, молотые в шаровой мельнице в присутствии воды. Объяснение данного явления состоит в следующем. При помоле по мокрому способу разрушению частиц способствует не только непосредственное соударение друг с другом и мелющими телами. Вода, присутствующая в системе, выполняет двойную роль: с одной стороны, она обладает расклинивающим эффектом, что способствует сокращению времени измельчения; с другой – выступает в роли покрывающей твердые частицы смазки, что практически препятствует формированию аморфизационного слоя на их поверхности. Наноструктурированный модификатор различного состава занимает промежуточную позицию между размолотыми сухим способом песком и шламом. В данном случае концентрация аморфной фазы в системе зависит не только от аморфизации частиц кварца. В отличие от шлама, особые условия измельчения кремнезема при получении НМ (предельная концентрация частиц твердой фазы, время и интенсивность помола) способствуют наработке в системе коллоидного компонента – геля кремниевой кислоты. Данное вещество является рентгеноаморфным, что и доказывалось полученными данными. Необходимо отметить, что количество рентгеноаморфной фазы для НМ будет складываться из аморфизованной оболочки частиц кварца и наноразмерной фракции. Известно, что в процессе помола и дальнейшей модификации НМ в его объеме формируется 10–15% частиц нанодисперсного уровня. При этом ранними работами было доказано, что снижение рентгеноаморфной фазы по данным РФА обусловлено спецификой методики ее определения. Для съемки образцов с помощью рентгенофазового анализа необходима их сушка до постоянной массы. В процессе высушивания при наличии высокоактивной дисперсной фазы в системе кварца формируются условия для его эпитаксиального роста. С целью объяснения более высокой концентрации аморфной фазы в случае использования гранита для получения компонентов формовочной смеси для автоклавных материалов необходимо изучение их процессов получения. Значение концентрации основных минералов определялось как разность между количеством минерала в кристаллическом состоянии в граните до приложенного к нему механического воздействия и количеством аморфизованной части, образовавшейся в процессе механоактивации.



Как видно из представленных данных, концентрация кварца в процессе механоактивационного воздействия имеет зависимость, аналогичную формированию аморфной фазы. Так, минимальное содержание кварца в случае сухого помола объясняется существенной аморфизацией его частиц. Тогда как максимальное содержание кристаллического кварца отмечается в образцах, полученных одностадийным мокрым помол, что обусловлено наличием жидкой фазы на поверхности компонентов.

Увеличение концентрации альбита в ряду «сухой помол – мокрый помол – мокрый помол с получением НМ» обусловлено его измельчением и переходом в аморфную составляющую. Снижение содержания анортита и биотита в указанном ряду свидетельствует, вероятнее всего, о процессах механохимического растворения компонентов в процессе получения материалов в жидкой среде.

Таким образом, в работе теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования магматических пород кислого состава для получения наноструктурированного модификатора материалов автоклавного твердения. Активность НМ обусловлена его составом и технологией получения: высокой удельной поверхностью с формированием нанодисперсных компонентов полиминерального состава, аморфизацией поверхности породообразующих минералов, процессами механохимического растворения кварцевого и полевошпатового компонентов с формированием активной кремниевой и алюмокремниевой кислот.

### **Реотехнологические особенности формовочной смеси автоклавных материалов в присутствии наноструктурированного модификатора**

На протяжении десятков лет силикатные автоклавные материалы удерживают за собой звание одного из самых актуальных и универсальных строительных материалов. Причинами такой популярности этих изделий является богатая сырьевая база основных компонентов, а также оптимальные технико-эксплуатационные характеристики. Тем не менее, современные условия и повышенный уровень конкуренции на рынке строительных материалов стимулируют предприятия совершенствовать характеристики выпускаемых изделий, оставаясь в конкурен-



тоспособном ценовом диапазоне. Эти задачи требуют от производителей постоянно обновлять существующую классическую технологию за счет использования различных добавок, а также за счет варьирования качества и количества исходных сырьевых компонентов.

Ранее была доказана эффективность использования наноструктурированного модификатора для повышения эффективности производства материалов автоклавного твердения, однако рассмотрению подвергался модификатор силикатного состава, полученный на основе кварцевого песка. В этой связи, вопросы влияния активной добавки на основе алюмосиликатного сырья и, в частности, полученной на основе гранита, на свойства как прессованных, так и ячеистых силикатных материалов автоклавного твердения требуют детального изучения.

Конечные свойства материалов автоклавного твердения напрямую зависят от состава и свойств входящих в него компонентов, что оказывает влияние на процессы фазо- и структурообразования изделий. При этом классически считается, что носителями прочности материалов автоклавного твердения являются гидросиликаты кальция, для формирования которых необходимо наличие существенного количества вещества силикатного состава. В качестве такого вещества, как правило, используется кварцевый песок, входящий в состав известково-кремнеземистого вяжущего, а также в качестве заполнителя.

С целью расширения сырьевой базы, а также утилизации отходов производств в последние годы для получения материалов автоклавного твердения стали активно использовать сырье алюмосиликатного состава. В частности, по данным Национальной ассоциации автоклавного газобетона, около 10% существующих заводов используют высококальциевые золы-уноса, формирующиеся при сжигании угля на теплоэлектростанциях, в качестве активного компонента материалов автоклавного твердения. Это позволяет существенно экономить ресурсы, а также частично решить проблему утилизации отходов. Исследованиями ученых БГТУ им. В.Г. Шухова доказана эффективность использования некондиционного сырья, содержащего в своем составе существенное количество глинистых минералов незавершенной степени минералообразования, для получения кирпича и газобетона автоклавного твердения.

Тем не менее, интрузивные породы алюмосиликатного состава – граниты – для получения прессованных автоклавных материалов до





настоящего времени не использовались, что связано с незначительным содержанием кварцевой составляющей и отсутствием аморфной фазы, обеспечивающей высокую активность вещества в условиях гидротермальной обработки. Результаты, полученные в ходе исследований, свидетельствуют о возможной эффективности использования наноструктурированного модификатора алюмосиликатного состава в качестве активного компонента материалов автоклавного твердения. В связи с этим в работе были изучены основные физико-механические характеристики прессованных и ячеистых материалов с учетом использования наноструктурированного модификатора гранитного состава.

Возможность введения тонкодисперсных добавок в состав автоклавных материалов известна достаточно давно. Рядом авторов установлено, что оптимальное содержание таких добавок в формовочной смеси не должно превышать 20%. Для изучения влияния наноструктурированного модификатора алюмосиликатного состава на характеристики прессованных изделий его вводили в систему взамен части заполнителя (кварцевого песка) от 0 до 20% с шагом 5%.

Исследованиями, проведенными ранее, были изучены различные способы введения ИМ в сырьевую смесь при получении прессованных изделий и установлен наиболее рациональный. Поскольку исходные компоненты обладают изначально существенно отличающейся влажностью (заполнитель – 4%, ИМ – 20%) на первоначальном этапе производится смешение песка как заполнителя и минерального модификатора путем перетирания до достижения однородной массы без комков. Далее в полученную смесь вводится известково-кремнеземистое вяжущее и все вместе перемешивается. При этом процессы, протекающие при гашении извести, начинаются уже на стадии смешения компонентов, что является дополнительным фактором повышения эффективности производства материалов с использованием ИМ. Это обусловлено тем, что известь, не до конца погашенная в процессе выдержки в силосах, может стать причиной брака – растрескивания образцов в процессе автоклавирования. Кроме того, предварительное гашение известкового вяжущего будет способствовать сокращению времени выдержки формовочной смеси в силосах.

После смешения смесь выдерживается до полного гашения извести. Далее происходит формование образцов методом полусухого прессования. После этого образцы проходят автоклавную обработку при темпе-



ратуре 183°C по режиму 2+6+2 ч. Далее происходит полное остывание изделий, после чего происходит испытание их основных свойств.

### **Физико-механические характеристики автоклавного твердения в зависимости от состава**

Предложены принципы получения изделий автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора из магматических пород кислого состава как плотной, так и ячеистой структуры, заключающиеся в оптимизации процессов доавтоклавного структурообразования, а также интенсификации фазообразования в гидротермальных условиях. Наноструктурированный модификатор интенсифицирует вспучивание ячеистобетонных смесей, что приводит к сокращению времени созревания массивов, улучшению порового пространства и, как следствие, снижению плотности готовых изделий. Присутствие модификатора в составах формовочных смесей пресованных изделий обеспечивает уплотнение их структуры. Наличие высокоактивного алюмосиликатного компонента НМ независимо от вида изделия обеспечивает формирование рационального состава новообразований цементирующего вещества, что позволяет получать материалы с повышенными технико-эксплуатационными характеристиками.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования магматических пород кислого состава для получения наноструктурированного модификатора материалов автоклавного твердения. Активность НМ обусловлена его составом и технологией получения: высокой удельной поверхностью с формированием нанодисперсных компонентов полиминерального состава, аморфизацией поверхности породообразующих минералов, процессами механохимического растворения кварцевого и полевошпатового компонентов с формированием активной кремниевой и алюмокремниевой кислот.

Установлен характер влияния наноструктурированного модификатора в составе формовочной смеси на газообразование, вспучивание бетонной смеси и, в конечном итоге, структурообразование материалов в доавтоклавный период. Замена цемента на высокоактивный тонкодисперсный полиморфоструктурный кремнеземсодержащий алюмосиликатный компонент приводит к оптимизации гранулометрического



состава сырьевой смеси и снижению ее плотности. За счет формирования первичных новообразований в результате взаимодействия извести с НМ образуется прочная коагуляционная структура композита, что обуславливает увеличение начальной и конечной вязкости. Это приводит к интенсификации вспучивания массива (минимальной потери газа), приросту объема готовой смеси, снижению плотности композита. В технологическом плане это позволяет сократить время выдержки массива до автоклавирования; снизить расход газообразователя при получении изделий заданной плотности, либо при сохранении количества газообразователя понизить плотность.

Предложен механизм фазо- и структурообразования в системе «известь–наноструктурированный модификатор алюмосиликатного состава на основе гранита», протекающий в гидротермальных условиях, заключающийся в формировании полиминеральной системы с разветвленной сеткой кристаллических и рентгеноаморфных новообразований различной морфоструктуры. Содержащийся в составе модификатора активный кремнезем способствует формированию низкоосновных гидросиликатов кальция (тоберморита и фошагита) – основных носителей прочностных свойств материалов автоклавного твердения. Наличие алюмосиликатной составляющей в модификаторе приводит к образованию цеолитовой фазы – вайракита, отвечающей за долговечность изделий в процессе их эксплуатации, а также гидрогранатов.

Показаны особенности макро- и микроструктуры изделий плотной и ячеистой структуры, обусловленные присутствием в системе наноструктурированного модификатора алюмосиликатного состава, полученного на основе гранита. Введение модификатора способствует уплотнению структуры прессованных изделий и оптимизации порового пространства ячеистых композитов. При этом фазово- и морфоструктурные особенности образцов подтверждают данные о процессах фазообразования в указанной системе в присутствии высокоактивного алюмосиликатного компонента и объясняют качественное улучшение физико-механических свойств материалов с его использованием.

Предложены составы материалов автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора, получаемого на основе гранита, позволяющие производить: прессованные изделия (силикатный кирпич) плотностью 1835–1950 кг/м<sup>2</sup>, пределом прочности



при сжатии – 17,8–23,3 МПа, теплопроводностью – 0,56–0,6 Вт/м°C, морозостойкостью – 40–55 циклов, водопоглощением 11,4–12,2%. Разработанные изделия удовлетворяют требованиям существующих нормативных документов: марки по прочности M150–M200 и марки по морозостойкости F35–F50. При этом адгезионная способность материалов не изменяется – ячеистые изделия (газобетон конструкционно-теплоизоляционного и теплоизоляционного назначения) плотностью 415–522 кг/м<sup>3</sup>, пределом прочности при сжатии – 3,8–5,12 МПа, паропроницаемостью – 0,207–0,265 мг/(м·ч·Па), теплопроводностью – 0,118–0,084 Вт/м°C. Разработанные изделия удовлетворяют требованиям существующих нормативных документов: марки по плотности D400–D500, классам по прочности B2,5–B5 и марки по морозостойкости F50–F100.

Предложены технологии производства силикатного кирпича и газобетона автоклавного твердения с учетом использования наноструктурированного модификатора. Для внедрения результатов исследования был разработан ряд нормативных документов, в том числе рекомендации по использованию добавки, технологические регламенты на производство изделий автоклавного твердения и стандарты организации, отражающие технические характеристики готовых изделий. Внедрение результатов диссертационной работы в учебный процесс осуществляется при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий для бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

Исследования автоклавных материалов, а также полупромышленная апробация полученных образцов производились как на базе опытно-промышленного участка БГТУ им. В.Г. Шухова – опытно-промышленного цеха наноструктурированных композиционных материалов – так и в условиях реальных производств – автоклавирование на промышленной базе ЗАО «Аэробел», выпуск опытной партии на базе ООО «Стройкомпозит». Экономическая эффективность производства и применения исследуемых в рамках диссертационной работы материалов автоклавного твердения обеспечивается за счет использования недорогого, недифицитного сырья, в том числе для получения наноструктурированного алюмосиликатного модификатора, экономии дорогостоящего вяжущего – цемента, повышения технико-эксплуатационных показателей изделий.



*Для специалистов также представляют интерес результаты следующих исследований:*

1. Шершнева В.А. «Физико-химические свойства и строение мономерных и полимерных ацетиленкарбоксилатов металлов и нанокompозитов на их основе» [2];
2. Киселев Д.Г. «Наномодифицированные серные вяжущие вещества для строительных материалов общестроительного и специального назначения» [3];
3. Загайнов И.В. «Синтез и каталитические свойства мезопористых наноматериалов на основе  $\text{CeO}_2$ » [4];
4. Лукашин А.В. «Синтез и свойства наноструктур на основе слоистых двойных гидроксидов» [5];
5. Петрунин С.Ю. «Повышение прочности бетона углеродными нанотрубками с применением гидродинамической кавитации» [6];
6. Динь Ван Так «Золь-гель синтез и свойства нанокристаллических ферритов на основе системы  $\text{Y}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ » [7];
7. Борило Л.П. «Синтез и физико-химические закономерности формирования золь-гель методом тонкопленочных и дисперсных наноматериалов оксидных систем элементов III–V групп» [8];
8. Алтынник Н.И. «Газобетон автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора» [9];
9. Григорьева А.В. «Синтез и исследование функциональных свойств низкоразмерных наноструктур на основе оксидов титана и ванадия» [10];
10. Белоусов С.А. «Исследование взаимодействия электромагнитного излучения с наноструктурированными материалами» [11];
11. Бельтюков А.Н. «Формирование, структура и оптические свойства нанокompозитных систем «Ge в пористой матрице  $\text{Al}_2\text{O}_3$ » [12];
12. Ашрапов А.Х. «Полимерные нанокompозиты строительного назначения на основе поливинилхлорида [13];
13. Мошков В.Ю. «Закономерности формирования, особенности структуры и свойства сверхтвердых нанокompозитных покрытий» [14].





Редакция электронного издания «Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал» предлагает магистрантам, аспирантам, докторантам опубликовать результаты своих исследований в области нанотехнологий и наноматериалов в строительстве, ЖКХ и смежных отраслях экономики [15].

**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

**ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛА ДАННОЙ СТАТЬИ  
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:**

*Карпов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 4 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 5. – С. 102–122. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122).

**DEAR COLLEAGUES!**

**THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

*Karpov A.I.* An overview of the results of dissertation research in the field of nanotechnology and nanomaterials. Part 4. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 5, pp. 102–122. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-5-102-122). (In Russian).

**Библиографический список:**

1. *Подгорный И.И.* Материалы автоклавного твердения с использованием наноструктурированного модификатора на основе магматических пород кислого состава: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
2. *Шершнев В.А.* Физико-химические свойства и строение мономерных и полимерных ацетиленкарбоксилатов металлов и нанокompозитов на их основе: Ав-



- тореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
3. *Карпов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 1. – С. 107–126. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-1-107-126).
  4. *Загайнов И.В.* Синтез и каталитические свойства мезопористых наноматериалов на основе  $\text{CeO}_2$ : Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
  5. *Лукашин А.В.* Синтез и свойства наноструктур на основе слоистых двойных гидроксидов: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
  6. *Карпов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 3 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 4. – С. 96–114. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-4-96-114).
  7. *Динь Ван Так.* Золь-гель синтез и свойства нанокристаллических ферритов на основе системы  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{--Fe}_2\text{O}_3$ : Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
  8. *Борило Л.П.* Синтез и физико-химические закономерности формирования золь-гель методом тонкопленочных и дисперсных наноматериалов оксидных систем элементов III–V групп: Автореф. дис. доктора хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
  9. *Карпов А.И.* Обзор результатов диссертационных исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 2 // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 2. – С. 127–138. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-2-127-138).
  10. *Григорьева А.В.* Синтез и исследование функциональных свойств низкоразмерных наноструктур на основе оксидов титана и ванадия: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
  11. *Белусов С.А.* Исследование взаимодействия электромагнитного излучения с наноструктурированными материалами: Автореф. дис. канд. физ.-мат.



- наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
12. *Бельтюков А.Н.* Формирование, структура и оптические свойства нанокompозитных систем «Ge в пористой матрице  $Al_2O_3$ »: Автореф. дис. канд. тех. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
  13. *Карпов А.И.* Результаты исследований в области нанотехнологий и наноматериалов. Часть 5 // Нанотехнологии в строительстве. – 2014. – Том 6, № 5. – С. 68–85. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-5-68-85](http://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2014-6-5-68-85).
  14. *Мошков В.Ю.* Закономерности формирования, особенности структуры и свойства сверхтвердых нанокompозитных покрытий: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Электронная библиотека диссертаций [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dslib.net> (дата обращения: 02.09.2015).
  15. *Гусев Б.В.* Развитие нанотехнологий – актуальнейшее технологическое направление в строительной отрасли // Нанотехнологии в строительстве. – 2011. – Т. 3, № 2. – С. 6–20. – URL: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU](http://nanobuild.ru/ru_RU) (дата обращения: 02.09.2015).

<b>Контакты</b>	<b>e-mail: <a href="mailto:info@nanobuild.ru">info@nanobuild.ru</a></b>
-----------------	---

