

УДК 691.545:6–022.532

О.В. ИЗРЯДНОВА, магистр техники и технологии по направлению «Строительство» (Lese4k9@yandex.ru),  
С.В. СЫЧУГОВ, канд. техн. наук, И.С. ПОЛЯНСКИХ, канд. техн. наук, Г.Н. ПЕРВУШИН, д-р техн. наук,  
Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук (jakowlew@udm.net)

Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426000, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

## **Полифункциональная добавка на основе углеродных нанотрубок и микрокремнезема для улучшения физико-механических характеристик гипсоцементно-пуццоланового вяжущего**

Исучено влияние полифункциональной добавки на основе дисперсии многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) в сочетании с микрокремнеземом (МК) на структуру и свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ). В исследовании варьировалось процентное содержание полифункциональной добавки. Результаты физико-механических испытаний показали, что введение добавки в количестве 0,006% (МУНТ) и 10% МК от массы портландцемента в состав гипсоцементной системы обеспечивает прирост прочности при сжатии на 52% и повышение водостойкости на 35%. Физико-химические методы исследования подтвердили активность полифункциональной добавки по отношению к исходному гипсоцементно-пуццолановому вяжущему изменениями интенсивности и смещениями линий поглощения на ИК-спектрах.

**Ключевые слова:** гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, полифункциональная добавка, многослойные углеродные нанотрубки, дисперсия, микрокремнезем, кристаллогидрат, морфология.

O.V. IZRYADNOVA, Master of Engineering and Technology in Construction (Lese4k9@yandex.ru), S.V. SYCHUGOV, Candidate of Sciences (Engineering), I.S. POLYANSKIKH, Candidate of Sciences (Engineering), G.N. PERVUSHIN, Doctor of Sciences (Engineering), G.I. YAKOVLEV, Doctor of Sciences (Engineering) (jakowlew@udm.net)  
Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426000, Russian Federation)

### **Polyfunctional Admixture Based on Carbon Nanotubes and Nanosilica for Enhancing Physical and Mechanical Properties of Gypsum Cement Pozzolanic Binder**

The paper studies the influence of polyfunctional admixture based on multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) dispersion in combination with nanosilica (NS) on the structure and properties of gypsum cement pozzolanic binder (GCPB). The percentage of polyfunctional admixture varied. The results of the physical and mechanical tests have shown that adding polyfunctional admixture at the amount of 0,006% (MWCNT) and 10% of NS-85 from Portland cement to gypsum cement system leads to the increase of compressive strength by 52% and water resistance by 35%. Physical and chemical methods of the study have confirmed that polyfunctional admixture is reactive concerning the original gypsum cement pozzolanic binder changing the intensity and shifts of the absorption lines in the IR spectra.

**Keywords:** gypsum cement pozzolanic binder, polyfunctional admixture, multi-walled carbon nanotubes, dispersion, nanosilica, crystalline hydrates, morphology.

Использование вяжущих на основе сульфата кальция отвечает требованиям малой энергоёмкости и экологичности производства. В то же время сфера использования гипсовых вяжущих ограничена из-за низкой водостойкости гипсового камня. Использование ГЦПВ [1] позволило расширить диапазон применения гипсовых изделий, при этом сохранились положительные свойства гипса и снивелирован ряд его недостатков, связанных с потерей механических свойств при увлажнении изделий [2].

В связи с бурным развитием нанотехнологий в строительном материаловедении во многих литературных источниках отмечается, что нанодисперсные добавки влияют на процессы гидратации и морфологию кристаллогидратов в структуре вяжущих матриц и, соответственно, на их физико-механические свойства [3, 4].

Актуальность исследований в данной области заключается в недостаточной изученности влияния полифункциональных добавок на основе микрокремнезема и углеродных наноструктур на структуру и свойства гипсоцементно-пуццолановых вяжущих.

Направленно регулировать структуру композитов на основе ГЦПВ на микро- и наноуровнях возможно за счет введения сверхмалых концентраций МУНТ [5, 3] в составе полифункциональной добавки, включающей дополнительно микрокремнезем МК-85 [6].

Using binders based on calcium sulfate meets the requirements of low energy intensity and environmental production. At the same time, the area of using gypsum binders is limited because of the low water-resistance of gypsum. Using GCPB [1] expands the range of using gypsum products, the positive properties of gypsum being kept and a number of its shortcomings associated with the loss of mechanical properties when products are moistened being neutralized [2].

Due to the rapid development of nanotechnology in construction materials many literature sources note that nano-dispersed admixtures influence hydration processes and morphology of crystalline hydrates in the structure of binding matrices and, consequently, their physical and mechanical properties [3, 4].

The relevance of the research in this area is due to insufficient knowledge of the influence of polyfunctional admixtures based on nanosilica and carbon nanostructures on the structure and properties of gypsum cement pozzolanic binders.

Directed regulation of the structure of composites based on GCPB at the micro- and nano level is possible due to adding ultralow concentrations of MWCNTs [5, 3] as part of a polyfunctional admixture with silica fume NS-85 [6].

The aim of this study was to study the processes of structure forming and properties of gypsum cement composition modified with polyfunctional admixture with MWCNTs dispersion in the medium of «Relamix» superplasticizer in combination with NS-85.

Цель работы заключалась в исследовании процессов структурообразования и свойств гипсоцементной композиции, модифицированной полифункциональной добавкой, содержащей дисперсию МУНТ в среде суперпластификатора «Реламикс» в сочетании с МК-85.

В качестве вяжущего использовался гипс средней тонкости помола марки Г-4, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 125–79, и портландцемент марки ЦЕМ I 32,5Б.

Количественное содержание гипса и портландцемента варьировалось в интервалах 55–75 и 5–35% соответственно. В качестве пуццолановой добавки использовали МК-85 Челябинского электрометаллургического комбината со средним размером частиц 300 нм, который состоит на 95% из оксида кремния аморфной структуры с удельной поверхностью частиц  $20 \text{ м}^2/\text{г}$  [7].

В исследовании применялась дисперсия МУНТ С-100 французской корпорации «Аркема» [8], приготовленная в гидродинамическом кавитаторе [9]. Дисперсия представляет смесь УНТ в среде суперпластификатора «Реламикс», содержащей 0,5 г МУНТ на 1 л суспензии [3].

Исследованию подвергались образцы-кубики с размером ребра 2 см. Водовязущее отношение подбиралось по нормальной густоте ГЦПВ (150–210 мм) согласно ГОСТ 31376–2008. Контрольные и модифицированные образцы, твердевшие в воздушно-сухих условиях, испытывали в возрасте 7, 14, 28 сут. Оптимальные показатели прочности и водостойкости были достигнуты при соотношении компонентов 65:25:10 (Г:ПЦ:МК) [10]. Данный состав был взят в качестве контрольного. Основные свойства гипсоцементно-пуццолановых композиций представлены в таблице.

Введение дисперсии МУНТ в количестве 0,006% [11] от массы композиционного вяжущего (гипс–цемент) в контрольный состав позволило добиться повышения прочности на 28-е сут на 52% и увеличить коэффициент размягчения ( $K_p$ ) на 35%.

Анализ снимков микроструктуры контрольного и модифицированного образцов ГЦПВ (рис. 1) показал уплотнение структуры в последнем образце за счет формирования плотной упаковки кристаллов двухводного гипса и низкоосновных гидросиликатов кальция [12].

Анализ гипсоцементных матриц контрольного и модифицированного образцов ГЦПВ методом дифференциально-сканирующей калориметрии (рис. 2) показал различия в области температуры 160–270°C. Так, в контрольном образце наблюдается интенсивное выделение воды из двухводного гипса при температуре 229,5°C. При этом анализ линий TGA показал большее содержание удаленной воды в опытных образцах (рис. 2 «М»), что

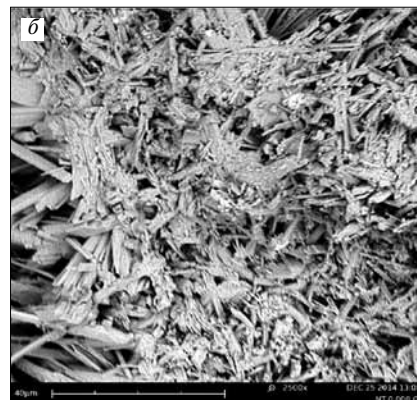
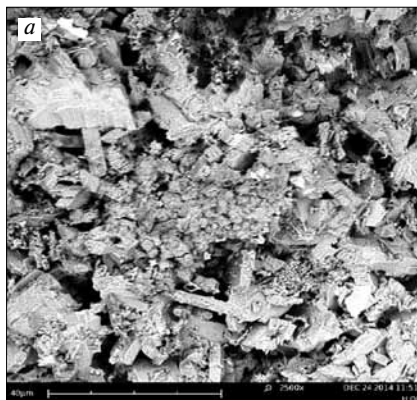


Рис. 1. Микроструктура ГЦПВ: без полифункциональной добавки (а), увеличение  $\times 2500$ ; модифицированной углеродными наноструктурами в содержании 0,006% и 10% МК-85 (б), увеличение  $\times 2500$

Fig. 1. Microstructure of GCPB: without polyfunctional admixture (a),  $\times 2500$ ; modified with carbon nanostructures at the amount of 0,006% and 10% SF-85 (b),  $\times 2500$

The binder used was G-4 gypsum of the average fineness grade meeting the requirements of GOST 125–79 and CEM I 32,5B Portland cement.

The quantitative content of gypsum and Portland cement varied correspondingly between 55–75% and 5–35%. The pozzolanic admixture used was NS-85 produced by Chelyabinsk electrometallurgic plant with an average particle size of 300 nm 95% of which accounts for amorphous silicon monoxide with a specific surface of the particles of  $20 \text{ м}^2/\text{г}$  [7].

The study used MWCNTs dispersion of C-100 produced by «Arkema» French corporation [8] produced in a hydrodynamic cavitator [9]. The dispersion is a mixture of CNTs in the medium of «Relamix» superplasticizer containing 0,5 g of MWCNT per 1 liter of suspension [3].

The study was conducted with cube samples with the edge of 2 cm. Water-binder ratio was chosen with the normal density of GCPB (150–210 mm) according to GOST 31376–2008. The check and modified samples were tested at the age of 7, 14, 28 days hardening in dry air conditions. The optimal strength and water resistance values were achieved with a ratio of components 65:25:10 (G:PC:NS) [10]. This composition was taken as a check sample. Basic properties of gypsum cement pozzolanic compositions is shown in Table.

Adding MWCNT dispersion at the amount of 0,006% [11] from the mass of the composite binder (cement–gypsum) to the check composition led to the strength increase on the 28<sup>th</sup> day by 52% and the increase of the softening coefficient ( $C_{\text{soft}}$ ) by 35%.

The analysis of the images of the microstructure of the check and modified GCPB samples (Fig. 1) shows the structure densification of the latter sample due to the formation of dense packing of dihydrate gypsum crystals and low-basic calcium hydrosilicates [12].

The analysis of the gypsum cement matrices the modified and check samples of GCPB by means of differential scanning calorimetry (Fig. 2) shows the differences in the temperature range of 160–270°C. The check sample has inten-

Объемный состав ГЦПВ, % Volumetric composition of GCPB, %				Свойства Properties					
				Физико-механические Physical and mechanical				Гидрофизические Hydrophysical	
Г G	МК SF	ПЦ PC	Модификатор Modifier	$R_{\text{сж}}^7$ , МПа $R_{\text{comp}}^7$ , МПа	$R_{\text{сж}}^{14}$ , МПа $R_{\text{comp}}^{14}$ , МПа	$R_{\text{сж}}^{28}$ , МПа $R_{\text{comp}}^{28}$ , МПа	$R_{\text{сж}}^{28}$ влагонасыщенный, МПа $R_{\text{saturated}}^{28}$ , МПа	$K_p$ $C_{\text{soft}}$	В/В W/B ratio
65	10	25	–	4,98	5,36	5,86	4,01	0,68	0,44
65	10	25	0,006	6,24	7,8	8,92	8,21	0,92	0,43

позволяет говорить о лучшей гидратации портландцемента с образованием гидроксида кальция, который вступает во взаимодействие с микрокремнеземом, образуя дополнительные объемы гидросиликата кальция. Эндотермические эффекты при температуре выше 800°C говорят о том, что образующиеся гидросиликаты имеют разную основность, так как их дегидратация происходит при разной температуре: 837,5°C (рис. 2 «К») для контрольных образцов и 803°C для модифицированных.

Исследование контрольного и модифицированного составов ГЦПВ методом ИК-спектрального анализа позволило выявить отличия в формировании структуры ГЦПВ.

Так, анализ ИК-спектров показал (рис. 3), что интенсивность линий поглощения в модифицированном образце, соответствующих ОН-группе в интервале частот 3400 см<sup>-1</sup>, и свободной воды в интервале частот 1690–1620 см<sup>-1</sup>, повысилась, что позволяет говорить об увеличении общего содержания гидросиликатов кальция в составе ГЦПВ [13, 14].

Интенсивность линий поглощения при частоте 1431,18 см<sup>-1</sup> и 1436,97 м<sup>-1</sup>, присущих карбонату кальция, в модифицированном составе на 42,5% ниже по сравнению с контрольным образцом. На спектрах контрольного и модифицированного образцов ГЦПВ в области частот соответственно 879,54 см<sup>-1</sup> и 877,61 см<sup>-1</sup> фиксируется линия, которая также характеризует карбонат кальция [15]. Понижение интенсивности линий отражения, присущих карбонатам, связано с уменьшением количества гидроксида кальция в растворе с образованием низкоосновных ГСК.

Анализ спектра контрольного образца ГЦПВ (рис. 3, а) показал появление сильной полосы при частоте 1186,22 см<sup>-1</sup>, присущей тоберморитовому гелю 11,3 Å состава C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>H<sub>5</sub>. При введении МУНТ в состав

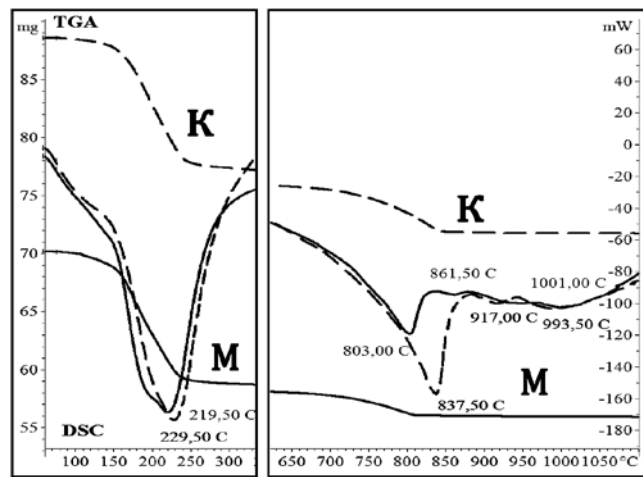


Рис. 2. Кривые DSK и TG гипсоцементной матрицы в контрольном образце «К» и образце, модифицированном «М» углеродными наноструктурами в содержании 0,006% и 10% МК-85

Fig. 2. DSK and TG curves of gypsum cement matrix in «K» check sample and «M» sample of modified with carbon nanostructures at the amount of 0,006% and 10% SF-85

sive water exudation from dihydrate gypsum at the temperature of 229,5°C. At the same time, the analysis of TGA lines shows a higher content of water in the test samples (Fig. 2 «M»), which confirms the better hydration of Portland cement, calcium hydroxide being formed and reacting with silica fume, forming extra calcium silicate hydrate. Endothermic effects at the temperature above 800°C mean that the forming calcium silicate hydrate have different basicity, as their dehydration occurs at different temperatures: 837,5°C (Fig. 2 «K») for the check samples and 803°C for the modified ones.

The study of the check and modified GCPB compositions by means of IR spectral analysis has revealed the differences in the formation of the GCPB structure.

Thus, the analysis of the IR spectra has shown that the intensity of the absorption lines in the modified sample corresponding to OH group in the frequency range of 3400 cm<sup>-1</sup> and free water in the frequency range 1690–1620 cm<sup>-1</sup> increases, which suggests an increase in the total content of calcium silicate hydrate in GCPB [13, 14].

The intensity of the absorption lines at the frequency of 1431,18 cm<sup>-1</sup> and 1436,97 cm<sup>-1</sup> inherent in calcium carbonate is 42,5% lower in a modified composition compared with the check sample. In the spectra of the modified and check GCPB samples in the frequency range of 879,54 cm<sup>-1</sup> and 877,61 cm<sup>-1</sup> correspondingly a line is fixed [15] which also characterizes calcium carbonate. The reduction in the intensity of the reflection lines inherent in carbonates is associated with a decrease of the amount of calcium hydroxide in the solution with the formation of low-basic calcium silicate hydrate.

The spectrum analysis of the GCPB check sample (Fig. 3, а) has shown the appearance of a strong band in the frequency of 1186,22 cm<sup>-1</sup> typical for tobermorite gel 11,3 Å of C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>H<sub>5</sub> composition. MWCNTs being added to GCPB

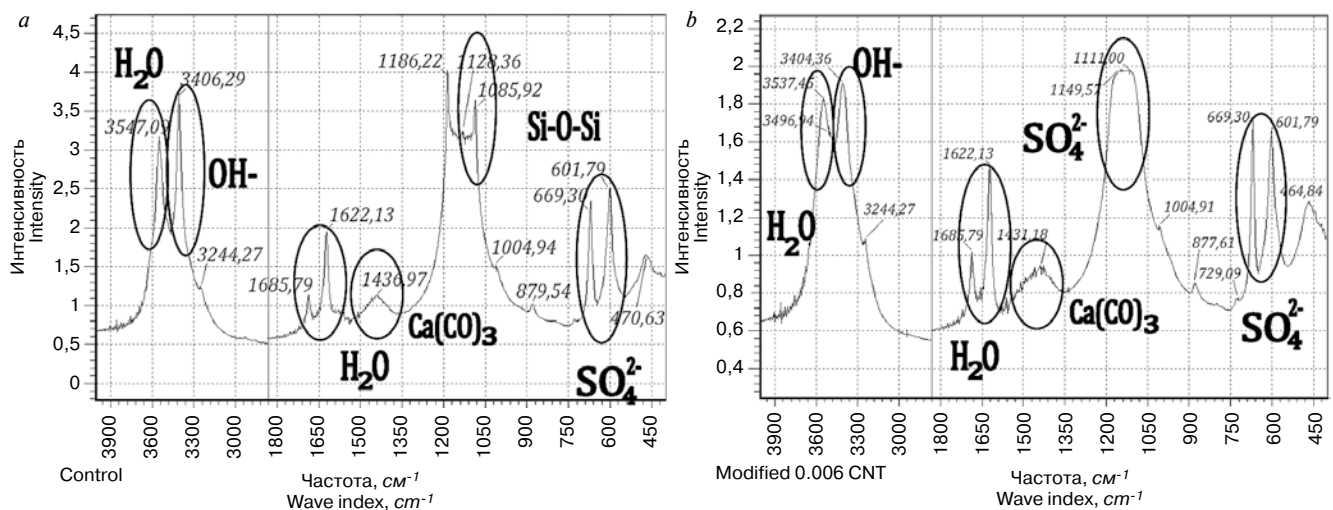


Рис. 3. ИК-спектры гипсоцементно-пуццолановой матрицы: без добавки (а); с добавлением МУНТ в содержании 0,006% (b)

Fig. 3. IR spectra of gypsum cement pozzolanic matrix: without admixture (a); with MWCNT at the amount of 0,006% (b)

ГЦПВ в указанной области частот линия поглощения не фиксируется, что связано с изменением основности ГСК.

Кроме того, согласно работе [16] характеристическими линиями для микрокремния являются  $1100\text{ см}^{-1}$  и  $470\text{ см}^{-1}$ , которые хорошо фиксируются в контрольном образце, но в опытной линия поглощения  $1100\text{ см}^{-1}$  практически отсутствует, а вместо линии  $470\text{ см}^{-1}$  зафиксировалась линия  $464,84\text{ см}^{-1}$ . Это говорит об изменении окружения вокруг молекул аморфного оксида кремния за счет связывания их в дополнительный объем гидросиликатов кальция.

Следовательно, данные ИК-спектрального анализа, дифференциально-сканирующей калориметрии также подтверждают результаты микроскопического анализа образцов ГЦПВ. Понижение интенсивностей основных характеристических частот, присущих гидроксильным группам, сульфатам, карбонатам и силикатам, свидетельствуют о модифицирующем влиянии МУНТ на структуру, водостойкость и прочностные свойства ГЦПВ.

Таким образом, введение дисперсии МУНТ в традиционное ГЦПВ позволяет улучшить его механические показатели и повысить водостойкость за счет уплотнения структуры композита. Прирост прочности на 28 сут модифицированного образца ГЦПВ по сравнению с контрольным составил 52%, а повышение водостойкости – 35%.

#### Список литературы

1. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.: Стройиздат, 1971. 318 с.
2. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.
3. Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Маева И.С., Корженко А., Бурьянов А.Ф., Мачюлайтис Р. Модификация ангидритовых композиций многослойными углеродными нанотрубками // *Строительные материалы*. 2010. № 7. С. 25–27.
4. Frias M., Rodriguez O., Sanchez de Rojas M.I. Paper sludge, an environmentally sound alternative source of MK-based cementitious materials. A review // *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 74, pp. 37–48.
5. Хела Р., Марсалова Я. Возможности нанотехнологий в бетоне. *Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства: Труды III Международной конференции*. Каир (Египет). 14–17 марта 2010. С. 8–15.
6. Изряднова О.В., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Фишер Х.-Б. Регулирование морфологии кристаллогидратов в структуре гипсовой матрицы ультра- и нанодисперсными добавками // *Известия КГАСУ*. 2014. № 3 (29). С. 108–113.
7. Брыков А. С., Камалиев Р.Т., Мокеев М.В. Влияние ультрадисперсных кремнеземов на гидратацию портландцемента // *Журнал прикладной химии*. 2010. Т. 83. № 2. С. 211–216.
8. Patent WO2012085445 A1. D'introduction de nanocharges carbonees dans un inorganique durcissable / Gaillard P., Havel M., Korzhenko A., Oreshkin D.V. Pervuchin G.N., Yakovlev G.I. Declared 20.12.1011. Published 28.06.12. Bulletin 12/25.
9. Пудов И.А. Наномодификация портландцемента водными дисперсиями углеродных нанотрубок. Дисс... канд. техн. наук. Казань, 2013. 185 с.
10. Изряднова О.В., Плеханова Т.А., Сычугов С.В., Шайхалисламова А.Ф., Нуриева Л.З., Хрушкова Н.В.

composition in the given frequency range, the absorption line is not fixed due to changes in the basicity of calcium silicate hydrate.

Furthermore, according to study [16] the characteristic lines for micro silicium are  $1100\text{ см}^{-1}$  and  $470\text{ см}^{-1}$ , which are well fixed in the check sample, but in the test sample the absorption line of  $1100\text{ см}^{-1}$  is practically absent, and instead of the absorption line of  $470\text{ см}^{-1}$  the line of  $464,84\text{ см}^{-1}$  is fixed. This indicates changes in the environment around the molecules of amorphous silicon oxide due to their binding into extra calcium silicate hydrate.

Consequently, the data of IR-spectrum analysis and differential scanning calorimetry also confirms the results of the microscopic analysis of GCPB samples. Decrease of the intensity of the main characteristic frequencies inherent in hydroxyl groups, sulfates, carbonates and silicates confirms the modifying effect of MWCNTs on the structure, water resistance and mechanical properties of GCPB.

Thus, adding the dispersion of MWCNTs to the conventional GCPB can improve its mechanical properties and increase the water resistance due to the densifying of the composite structure. The increase in strength on the 28<sup>th</sup> day of the modified GCPB sample compared with the check one was 52%, while the increase in water resistance was 35%.

#### References

1. Volzhenskii A.V., Stambulko V.I., Ferronskaya A.V. Gipsotsementno-puttsolanovye vyazhushchie, betony i izdeliya [Gypsum cement-pozzolanic binders, concrete and products]. Moscow: Stroizdat. 1971. 318 p.
2. Ferronskaya A.V. Dolgovechnost' gipsovykh materialov, izdelii i konstruktssii [Durability of gypsum materials, components and structures] Moscow: Stroizdat. 1984. 256 p.
3. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Maeva I.S., Korzhenko A., Buryanov A.F., Machyulaytis R. Modification of anhydrite compositions with multilayer carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
4. Frias M., Rodriguez O., Sanchez de Rojas M.I. Paper sludge, an environmentally sound alternative source of MK-based cementitious materials. A review. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 74, pp. 37–48.
5. Hela R., Marsalova J. Possibilities of nanotechnology in concrete. *Nanotechnology for environmentally friendly and sustainable construction: Proceedings of the 3rd International Conference*. Cairo (Egypt). March 14–17, 2010, pp. 8–15. (In Russian).
6. Izryadnova O.V., Gordina A.F., Yakovlev G.I., Fisher Kh.-B. Regulation of crystalline morphology in the structure of gypsum matrix ultra- and nano-dispersed additives. *Izvestiya KGASU*. 2014. No. 3 (29), pp. 108–113. (In Russian).
7. Brykov A. S., Kamaliev R.T., Mokeev M.V. Influence of ultrafine silica on the hydration of Portland cement. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2010. Vol. 83. No. 2, pp. 211–216. (In Russian).
8. Patent WO2012085445 A1. D'introduction de nanocharges carbonees dans un inorganique durcissable / Gaillard P., Havel M., Korzhenko A., Oreshkin D.V. Pervuchin G.N., Yakovlev G.I. Declared 20.12.1011. Published 28.06.12. Bulletin 12/25.
9. Pudov I.A. Nanomodification Portland cement aqueous dispersions of carbon nanotubes. Diss ... Cand. (Engineering). Kazan. 2013. 185 p.
10. Izryadnova O.V., Plekhanov T.A., Sychugov S.V., Shayhalislamova A.F., Nureyev L.Z., Hrushkova N.V. Nanodisperse complex influence of additives on the physical and mechanical properties of gypsum cement-pozzolan binder. *Collection of scientific works of the*

Комплексное влияние нанодисперсных добавок на физико-механические характеристики гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // *Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Юность и знания – гарантия успеха»*. Курск. 2014. С. 140–143.

11. Изряднова О.В., Маева И.С. Влияние нанодисперсных модификаторов на структуру гипсового композита // *Сборник трудов научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке»*. Ижевск. 2011. С. 13–16.
  12. Изряднова О.В., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Фишер Х.-Б., Сеньков С.А. Изменение морфологии кристаллогидратов при введении ультра- и нанодисперсных модификаторов структуры в гипсоцементно-пуццолановые вяжущие // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 25–27.
  13. Зинюк Р.Ю., Бальков А.Г., Гавриленко И.Б., Шевяков А.М. ИК-спектроскопия в неорганической технологии. М.; Л.: Химия, 1983. 160 с.
  14. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 197 с.
  15. Накомото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1991. 536 с.
  16. Naser Gharehbash, Alireza Shakeri. Modification of the surface of silica nanoparticles; studying its structure and thermal properties in order to strengthen it in preparing Nano composites // *Journal of American Science*. 2013. № 9 (4), pp. 602–606.
- International Scientific and Technical Conference «Youth and knowledge – a guarantee of success»* Kursk. 2014, pp. 140–143. (In Russian).
11. Izryadnova O.V., Maeva I.S. Influence of nano-dispersed modifiers on the structure of gypsum composite. *Proceedings of the Scientific Conference of graduate students, undergraduates and young scientists «Young scientists – to accelerate scientific and technological progress in the XXI century»* Izhevsk. 2011, pp. 13–16. (In Russian).
  12. Izryadnova O.V., Yakovlev G.I., Polyanskikh I.S., Fisher H.-B., Senkov S.A. Change of morphology of crystal hydrates at incorporation of ultra- and nano disperse modifiers structures into gypsum cement-pozzolana binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 25–27. (In Russian).
  13. Zinyuk R.Yu., Balykov A.G., Gavrilenko I.B., Shevyakov A.M. Ik-spektroskopiya v neorganicheskoi tekhnologii [IR-spectroscopy inorganic technology]. M.-L.: Khimiya, 1983. 160 p.
  14. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savel'ev V.G. Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhushchikh veshchestv [Methods of physic-chemical analysis of binders]. Moscow: Vysshaya shkola, 1981. 197 p.
  15. Nakomoto K. IK-spektry i spektry KR neorganicheskikh i koordinatsionnykh soedinenii [Infrared and raman spectra of inorganic and coordination compounds]. Moscow: Mir, 1991. 536 p.
  16. Naser Gharehbash, Alireza Shakeri. Modification of the surface of silica nanoparticles; studying its structure and thermal properties in order to strengthen it in preparing Nano composites. *Journal of American Science*. 2013. No. 9 (4), pp. 602–606.

Госсия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8.  
Выставочный центр "Казанская ярмарка"  
тел./факс: (843) 570-51-07, 570-51-11 (круглосуточный)  
e-mail: g4@exrokazan.ru  
www.volgastroyexpo.ru, www.exrokazan.ru