

В.В. ПОТАПОВ¹, д-р техн. наук; Е.Н. ГРУШЕВСКАЯ², инженер (grushevskay_en@tut.by),
С.Н. ЛЕОНОВИЧ², д-р техн. наук, иностранный академик РААСН

¹ Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН (683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное ш., 30, а/я 56)

² Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65)

Модифицирование гидротермальным нанокремнеземом материалов на основе цемента

Изучено влияние наночастиц кремнезема, полученных из гидротермальных растворов, сосредоточенных в Мутновском месторождении на Южной Камчатке, на свойства цементно-песчаного раствора и тяжелого бетона. Для более эффективного распределения частиц в объеме жидкости применялась ультразвуковая обработка растворов. Установлено, что нанокремнезем, извлеченный из гидротермального раствора в форме золя и нанопорошка, активно влияет на плотность – повышает ее за счет заполнения микропор цементного камня дополнительными новообразованиями, полученными в результате активного взаимодействия порошка, – скорость набора прочности в ранние сроки твердения, конечную прочность при сжатии материалов на основе цемента в зависимости от массового процента введения нанодобавки. Наиболее выраженный эффект наблюдается при введении данной добавки в паре с суперпластификатором.

Ключевые слова: гидротермальный раствор, наномодификаторы, нанокремнезем, тяжелый бетон, цементные материалы.

Для цитирования: Потапов В.В., Грушевская Е.Н., Леонович С.Н. Модифицирование гидротермальным нанокремнеземом материалов на основе цемента // *Строительные материалы*. 2017. № 7. С. 4–9.

V.V. POTAPOV¹, Doctor of Sciences (Engineering); E.N. GRUSHEVSKAYA², Engineer (grushevskay_en@tut.by),
S.N. LEONOVICH², Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Member of RAACS

¹ Scientific-Research Geotechnological Center Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
(Postbox 56, 30, North-Eastern Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russian Federation)

² Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenu, Minsk, 220013, Belarus)

Modification of Materials on the Basis of Cement with Hydrothermal Nano-Silica

The influence of silica nano-particles obtained from hydrothermal solutions concentrated at the Mutnovskoye deposit of the South Kamchatka on the properties of the cement-sand mortar and heavy concrete has been studied. The ultra-sound treatment of the solution was used for more efficient distribution of particles in the liquid volume. It is established that the nano-silica extracted from the hydrothermal solution in the form of sol and nano-powder actively influences on the density: improves it due to the filling of micro-pores of the cement stone with additional newgrowths obtained as a result of active interaction of the powder; on the rate of strength gain at early stages of hardening; the ultimate strength when compressing materials on the basis of cement, depending on the mass percent of the nano-additive introduction. The most pronounced effect is observed when introducing this additive paired with a superplasticizer.

Keywords: hydrothermal solution, nano-modifiers, nano-silica, heavy concrete, ment materials.

For citation: Potapov V.V., Grushevskaya E.N., Leonovich S.N. Modification of materials on the basis of cement with hydrothermal nano-silica. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 7, pp. 4–9. (In Russian).

Развитие нанотехнологий позволяет решить ряд проблем строительного материаловедения: повышение прочности, долговечности, стойкости к истиранию, коррозионной стойкости, что обуславливает эксплуатационную надежность строительных конструкций. В основном это достигается за счет модификации структуры и свойств существующих материалов или изделий наночастицами, вводимыми в их объем или на поверхностный слой [1–6]. Теоретически и экспериментально установлено, что лучшую активность имеет модифицированная вода из-за изменения ионного состава, который влияет на показатель pH и другие параметры [7]. В связи с тем, что наночастицы имеют большую поверхностную энергию, они способны к агломерации, при этом размер агломератов может достигать нескольких микрон [8–13]. По этой причине актуальной задачей является равномерное распределение и дезагрегация наночастиц в объеме воды затворения.

Согласно ГОСТ ISO/TS 80004-1–2014 нанотехнология – совокупность технологических методов, применяемых для изучения, проектирования и производства материалов, устройств и систем, включая целенаправленный контроль и управление строением, и взаимодействия составляющих их отдельных элементов нанодиапазона.

В связи с достаточно высокой стоимостью нанодобавок их применение ограничено, что подталкивает к новым

The development of nanotechnologies makes it possible to solve a number of problems in building materials science: increasing the strength, durability, abrasion resistance, corrosion resistance, which determines the operational reliability of building structures. This is mainly achieved by modifying the structure and properties of existing materials or products with nanoparticles introduced into their volume or onto the surface layer [1–6]. It has been theoretically and experimentally established that modified water has a better activity due to a change in the ionic composition, which affects pH and other parameters [7]. Due to the fact that nanoparticles have a large surface energy, they are capable of agglomeration, while the size of the agglomerates can reach several micrometers [8–13]. For this reason, the actual problem is the uniform distribution and disaggregation of nanoparticles in the volume of the water of mixing.

According to GOST ISO/TS 80004-1–2014, nanotechnology is a set of technological methods used to study, design and manufacture materials, devices and systems including purposeful control and management of the structure, and the interaction of constituent elements of the nanodiagnostics.

In connection with the increased cost of nanoadditives, their use is limited, which pushes to new approaches to obtaining them. Such raw materials for the production of sols and nanopowders SiO₂ are hydrothermal solutions. One of the places where hydrothermal resources are concentrated is

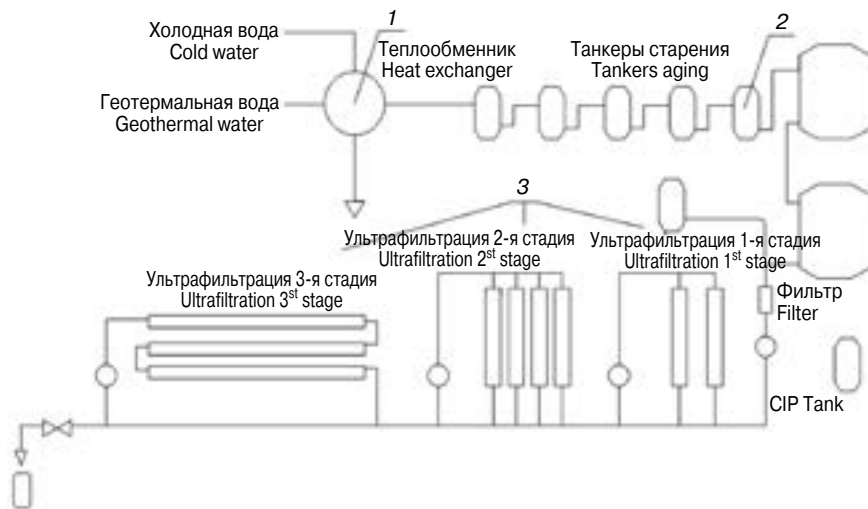


Рис. 1. Схема установки для получения водных золей кремнезема ультрафильтрацией: 1 – охлаждение гидротермального сепарата в теплообменниках; 2 – поликонденсация ортокремниевой кислоты и рост частиц кремнезема при определенных температуре и pH воды; 3 – трехступенчатое ультрафильтрационное концентрирование наночастиц кремнезема в гидротермальной среде (мембранные фильтры)

Fig. 1. Scheme of the plant for obtaining aqueous silica sols by ultrafiltration: 1 – cooling of hydrothermal separates in heat exchangers; 2 – polycondensation of orthosilicic acid and growth of silica particles at a certain temperature and pH of water; 3 – 3-step ultrafiltration concentration of silica nanoparticles in a hydrothermal medium (membrane filters)

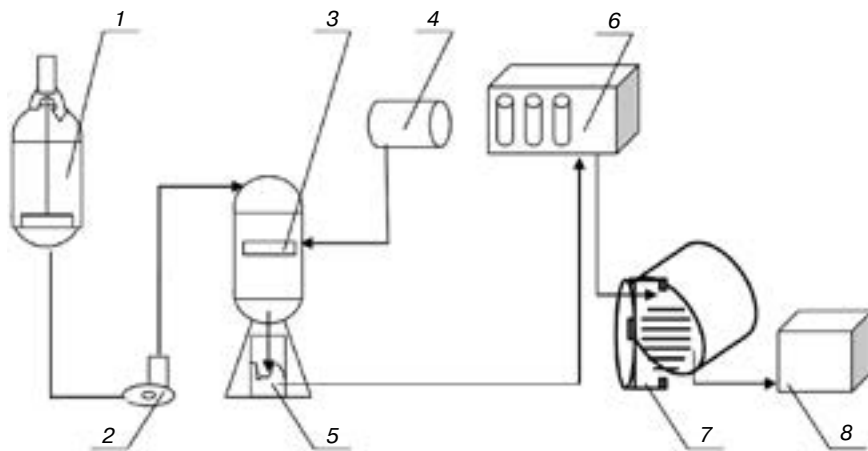


Рис. 2. Схема криохимической установки для получения нанодисперсного кремнезема: 1 – аппарат для подготовки водного золя; 2 – насос-дозатор; 3 – криогранулятор; 4 – танкер с жидким азотом; 5 – емкость для хранения криогранул; 6 – холодильник промышленный; 7 – сублимационный сушильный аппарат; 8 – шкаф для хранения готового продукта

Fig. 2. Scheme of a cryochemical plant for the production of nanodispersed silica: 1 – apparatus for the preparation of water sol; 2 – pump-dispenser; 3 – Cryo-granulator; 4 – tanker with liquid nitrogen; 5 – storage tank for cryogranules; 6 – industrial refrigerator; 7 – freeze drying apparatus; 8 – storage cabinet for the finished product

подходам их получения. Так, сырьевым источникам для получения золей и нанопорошков SiO_2 являются гидротермальные растворы. Одним из мест, где сосредоточены огромные количества гидротермальных ресурсов, является Мутновское месторождение на Южной Камчатке.

Получение золя кремнезема происходит в следующей последовательности: из сепараторов геотермальной электрической станции водную среду, содержащую ортокремниевую кислоту (H_4SiO_4) с концентрацией 600–800 мг/дм³, направляют в железобетонный резервуар (охладитель), где при 63°C проводят поликонденсацию H_4SiO_4 с образованием частиц кремнезема (SiO_2). После охладителя сепарат подают в баромембранную ультрафильтрационную установку для концентрирования и получения стабильного водного золя кремнезема. Схема установки для получения водных золей кремнезема ультрафильтрацией представлена на рис. 1.

С помощью криохимического вакуумного сублимирования из золя кремнезема получали нанодисперсный

the Mutnovsky deposit in South Kamchatka. This is a huge base for the reproduction of this material.

The preparation of the silica sol takes place in the following sequence: from the separators of the geothermal power plant, an aqueous medium containing orthosilicic acid (H_4SiO_4) at a concentration of 600–800 мг/дм³ was sent to a reinforced concrete tank (cooler) where H_4SiO_4 was polycondensated at 63°C to form particles Silica (SiO_2). After the cooler, the separator is fed to a baromembrane ultrafiltration unit for concentrating and obtaining a stable aqueous silica sol. The scheme of the plant for obtaining aqueous silica sols by ultrafiltration is shown in fig. 1.

With the aid of cryochemical vacuum subliming, a nanodispersed powder was obtained from the silica sol. The scheme of the cryochemical plant for obtaining nanodispersed silica is shown in fig. 2.

Chemical composition of the powder obtained by cryochemical vacuum sublimation in % by mass: SiO_2 – 99.7; Al_2O_3 – 0.173; CaO – 0.034; Na_2O – 0.034; K_2O – 0.069 [14–16].

When carrying out the research, the following materials were used as the main components: binder – Portland cement (PC) according to GOST 31108–2003 corresponding to the type of CEM I; large aggregate – crushed stone of fraction 5–20 mm according to GOST 8267–93; fine filler – sand according to GOST 8736–2014. Modifying substances: nanosilica powder with specific surface $S_{\text{BET}}=156 \text{ m}^2/\text{g}$ and nanosilica sol, representing opalescent liquid $\rho=1072 \text{ g}/\text{dm}^3$, $\text{pH}=9.1$, with a mass fraction of $\text{SiO}_2=115 \text{ g}/\text{dm}^3$. And also, to improve the characteristics of the mixture, the following chemical additives were used: a superplasticizer solution with a density of 1099 g/dm^3 with a solids content of 219.8 g/dm^3 ; Complex additive “Relamix T2” (TU 5870-002-14153664-04); Additive is a superplasticizer from a series of highly effective water-reducing ability of

polycarboxylates in the form of an aqueous solution – Sika Visco Crete 5 New (SVC 5New) with a density of 1082 g/dm^3 , a dry matter content of 412 мг/г.

The nanosilica powder was introduced into the aqueous phase and uniform distribution of the powder particles in the liquid volume was achieved by ultrasonic treatment. Then it was poured into the cement-sand mixture, preparing the solution. The solution was filled with nests of the standard form – beams (40×40×160 mm), which was placed on a vibrating table and compacted. After disintegration, the samples were stored in baths with water; Compression strength tests were performed at 3, 7 and 28 days of age.

The introduction of a silica nanopowder (NS) in the amount of 0.0075 to 0.18 mass % of cement in a cement-sand mixture changes the structure of the cement stone and leads to a significant increase in the strength of cement samples upon compression to 30–40%. In comparison with control samples without nano additives at the same age (Table 1). At the same time, the introduction of silica nanoparticles also

порошок. Схема криохимической установки для получения нанодispersного кремнезема представлена на рис. 2.

Химический состав порошка, полученного криохимическим вакуумным сублимированием, мас. %: $\text{SiO}_2 - 99,7$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,173$; $\text{CaO} - 0,034$; $\text{Na}_2\text{O} - 0,034$; $\text{K}_2\text{O} - 0,069$ [14–16].

При проведении исследований в качестве основных компонентов применялись следующие материалы: вяжущее – портландцемент (ПЦ), по ГОСТ 31108–2003 соответствующий типу ЦЕМ I; крупный заполнитель – щебень фракции 5–20 мм по ГОСТ 8267–93; мелкий заполнитель – песок по ГОСТ 8736–2014. Модифицирующие вещества: порошок нанокремнезема с удельной поверхностью $S_{\text{ВЕТ}}=156 \text{ м}^2/\text{г}$ и золь нанокремнезема, представляющий собой опалесцирующую жидкость $\rho=1072 \text{ г}/\text{дм}^3$, $\text{pH}=9,1$, с массовой долей $\text{SiO}_2=115 \text{ г}/\text{дм}^3$. А также для улучшения характеристик смеси использовались следующие химические добавки: раствор суперпластификатора СП плотностью $1099 \text{ г}/\text{дм}^3$ с содержанием твердой фазы $219,8 \text{ г}/\text{дм}^3$; комплексная добавка «Реламикс Т2» (ТУ 5870-002-14153664–04); добавка – суперпластификатор из серии высокоэффективных по водоредуцирующей способности поликарбоксилатов в виде водного раствора Sika Visco Crete 5 New (SVC 5New) с плотностью $1082 \text{ г}/\text{дм}^3$, содержанием сухого вещества $412 \text{ мг}/\text{г}$.

Порошок нанокремнезема вводили в водную фазу и добивались однородного распределения частиц порошка в объеме жидкости с помощью ультразвуковой обработки. Затем ее приливали к цементно-песчаной смеси, приготавливая раствор. Раствором заполняли гнезда стандарт-

contributes to an increase in the rate of strength collection by samples with nanoadditives (Fig. 3, 4).

The effectiveness of the sol of nanosilica was evaluated by the strength index of the mortar. The tests were carried out on mixtures with $W/C=0.45$. It was found that for equal W/C and the amount of superplasticizer to be introduced, the cone sediment was lower in solutions into which the

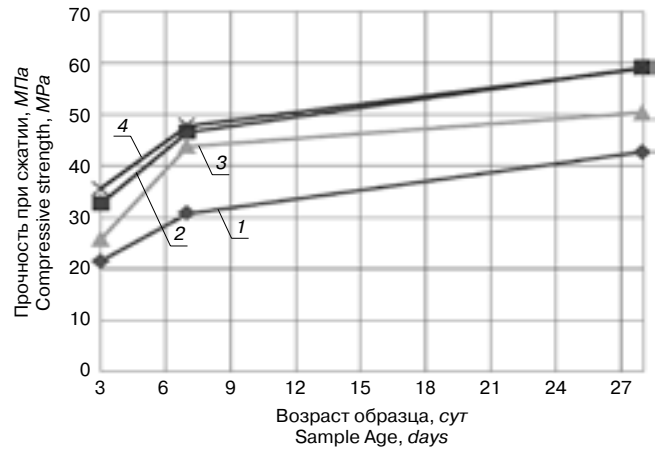


Рис. 3. Прочность при сжатии цементных образцов в зависимости от количества введенного нанодispersного кремнезема, мас. % от цемента: 1 – 0 (контрольный); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

Fig. 3. Compressive strength of the cement samples, depending on the amount of nanosized silica, mass % of cement: 1 – 0 (control); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

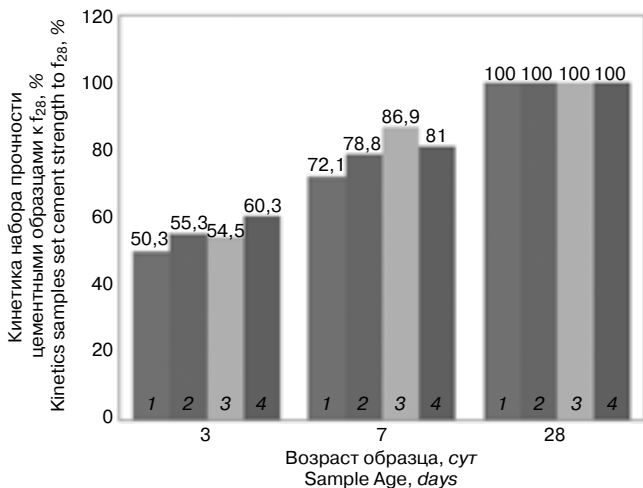


Рис. 4. Кинетика набора прочности цементными образцами по отношению к 28-дневному возрасту, мас. % от цемента: 1 – 0 (контрольный); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

Fig. 4. Kinetics of strength testing by cement samples in relation to the 28-day age, mass % of cement: 1 – 0 (control); 2 – 0,0075; 3 – 0,04; 4 – 0,18

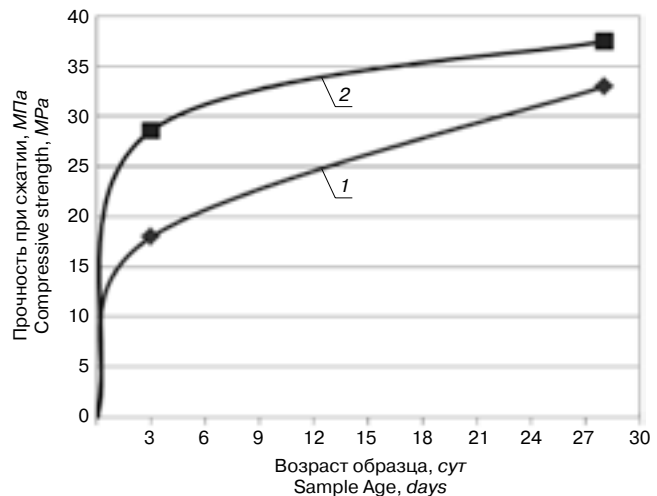


Рис. 5. Кинетика набора прочности при сжатии строительного раствора ($W/C=0,45$): 1 – 1% СП; 2 – 0,5% $\text{SiO}_2+1\%$ СП

Fig. 5. Kinetics of a set of strength at compression of a mortar ($W/C=0,45$): 1 – 1% Superplasticizer; 2 – 0,5% $\text{SiO}_2+1\%$ Superplasticizer

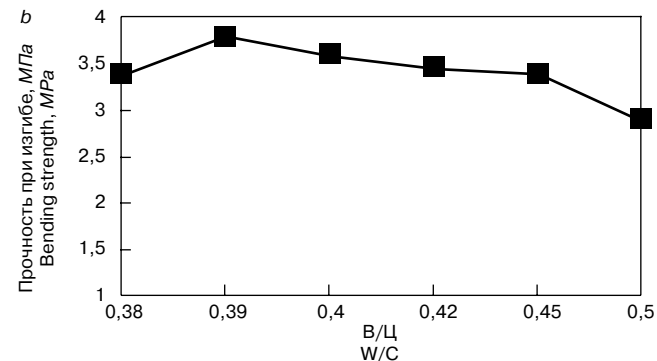
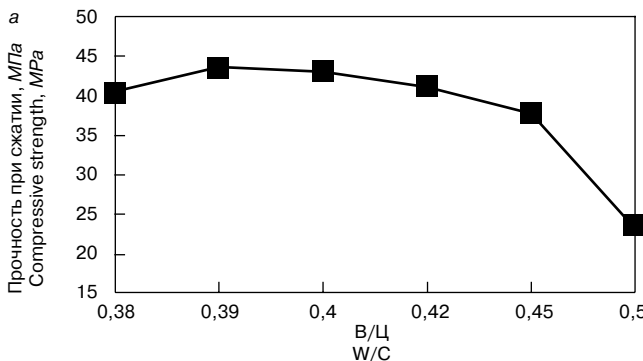


Рис. 6. Прочностные характеристики бетона при различных показателях W/C : а – при сжатии; б – при изгибе

Fig. 6. Strength characteristics of concrete for various indicators of W/C : a – when compressed; b – with bending

ной формы (балочки 40×40×160 мм), которую устанавливали на вибратронном столе и уплотняли. После распалубливания образцы хранили в ваннах с водой; испытания на прочность при сжатии проводили в 3-, 7- и 28-дневном возрасте.

Введение в состав цементно-песчаной смеси нанопорошка кремнезема (НК) в количестве от 0,0075 до 0,18% от массы цемента изменяет структуру цементного камня и приводит к значительному повышению прочности цементных образцов при сжатии до 30–40% по сравнению с контрольными образцами без нанодобавки в том же возрасте (табл. 1). При этом ввод наночастиц кремнезема способствует и увеличению скорости набора прочности образцами с нанодобавками (рис. 3, 4).

Эффективность действия золя нанокремнезема оценивали по прочностным показателям строительных растворов. Испытания проводили на смесях с В/Ц=0,45. Было выявлено, что при равных В/Ц и количестве вводимого суперпластификатора осадка конуса была ниже в растворах, в которые вводили золь SiO₂, т. е. жидкая нанодобавка уменьшала подвижность смеси и тем самым повышала прочность (рис. 5).

Эффективность влияния золя SiO₂ на прочностные характеристики бетона определяли отдельно и совместно с суперпластификатором. Исследования показали, что при введении SiO₂ в количестве 0,01–0,1 мас. % прочность при сжатии возросла на 15–22%. Испытания бетона при введении нанодобавки золя SiO₂ в количестве 0,3% были выполнены в паре с суперпластификатором «Реламикс Т2», который вводился в количестве 1 мас. % при В/Ц от 0,5 до 0,38. Результаты данного исследования показали, что действие нанодобавки SiO₂ на прочностные показатели бетона проявляется сильнее при низких показателях В/Ц (рис. 6).

Таким образом, при снижении В/Ц от 0,5 до 0,39 прочность бетона при сжатии возросла почти на 85%, прочность при изгибе – на 31%. При В/Ц=0,38 замес имел повышенную вязкость, что отразилось на удобоукладываемости смеси, при этом прочность при изгибе снизилась до 17,2%.

Влияние добавки золя на равноподвижных смесях (В/Ц=0,61–0,71) оценивали при испытаниях образцов бетона следующего состава: цемент (ПЦ 550) – 345±5 кг; песок кварц-полевошпатовый – 400 кг; песок стандартный кварцевый – 400 кг; щебень фракции 5–20 мм – 1060 кг. Золя нанокремнезема вводилась в количестве 2% от массы цемента. Равноподвижность смеси обеспечивалась соответствующей дозировкой добавки SVC 5New, которая не превышала 2,6% от массы цемента. Оценку качества получаемого бетона выполняли на образцах-кубах размерами 10×10×10 см.

Объем золя, необходимый для замеса, рассчитывали по формуле 1:

$$V_3 = [C \times SiO_2 / 100] / K_3, \quad (1)$$

где C – расход цемента, г; SiO₂ – концентрация кремнезема, %; K₃ – содержание SiO₂ в золе, г/дм³.

Составы бетонных смесей представлены в табл. 2.

Результаты испытаний бетонов с добавкой золя кремнезема представлены в табл. 3. Анализ полученных

Таблица 1
Table 1

Цемент, г Cement, g	Песок, г Sand, g	Вода, мл Water, ml	НК NS		Прочность при сжатии, МПа, в возрасте Compressive strength, MPa		
			г g	%	3 сут 3 days	7 сут 7 days	28 сут 28 days
500	1500	200	–	–	21,5	30,8	42,7
499,96	1500	200	0,0375	0,0075	32,7	46,6	59,1
499,8	1500	200	0,2	0,04	27,5	43,8	50,4
499,1	1500	200	0,9	0,18	35,6	47,8	59

Таблица 2
Table 2

Серия Series	№ состава № composition	Расход материала на 1 м ³ Consumption per 1 m ³						
		Цемент Cement	Песок кварц-полевошпатовый Sand quartz-feldspar	Песок стандартный кварцевый Sand standard quartz	Вода Water	SiO ₂ , мас. % от Ц SiO ₂ , % of Cement	SVC 5New, %	
							Мас. % от Ц of Cement	Мас. % от SiO ₂ of SiO ₂
1	1	350	400	400	225	–	–	–
	2	343			245,25	2	2,33	1,165
	3	343			220,55	2	2,58	1,29
2	4	350	400	400	217	–	–	–
	5	343			209,23	2	2,23	1,11

SiO₂ sol was injected, that is the liquid nano-additive reduced the mobility of the mixture and thereby increased the strength (Fig. 5).

The effectiveness of the effect of the SiO₂ sol on the strength characteristics of concrete was determined separately and together with a superplasticizer. Studies have shown that when SiO₂ is introduced in an amount of 0.01 to 0.1 wt. % for cement, compression strength increased by 15–22%. Concrete tests with the addition of a 0.3% NaO addition of SiO₂ sol were performed in combination with the superplasticizer “Relamix T2”, which was introduced in an amount of 1 mass % by cement at W/C from 0.5 to 0.38. The results of this study showed that the effect of the SiO₂ nano-additive on the strength characteristics of concrete is more pronounced at low W/C values (Fig. 6).

Hus, with a decrease in W/C from 0.5 to 0.39, the strength of concrete under compression increased by almost 85%, bending strength by 31%. At W/C=0.38, the batch had an increased viscosity, which affected the workability of the mixture, while the bending strength decreased to 17.2%.

The effect of the addition of sol on equidistant mixtures (W/C=0,61–0,71) was evaluated when testing concrete samples of the following composition: cement (PC 550) – 345±5 kg; Sand quartz-feldspar – 400 kg; Sand standard quartz – 400 kg; Crushed stone of the fraction 5–20 mm – 1060 kg. The sol of nanosilica was introduced in an amount of 2% of the weight of the cement. The uniformity of the mixture was ensured by the appropriate dosage of the SVC 5New additive, which did not exceed 2.6% of the cement mass. Estimation of the quality of the resulting concrete was carried out on samples of cubes with dimensions of 10×10×10 cm.

The volume of sol required for batching was calculated by the formula 1:

$$V_{sol} = [C \times SiO_2 / 100] / K_3, \quad (1)$$

where C – consumption of cement, g; SiO₂ – defined by the concentration of silica, %; K₃ – SiO₂ content in the sol, g/dm³.

Таблица 3
Table 3

Серия Series	№ состава № com- position	SiO ₂ , % от Ц SiO ₂ , % of Cement	SVC 5New, мас. % SVC 5New, %		В/Ц W/C	ОК, см Slump, cm	Плотность смеси, кг/м ³ The mix-ture den-sity, kg/m ³	Прочность при сжатии, МПа Compressive strength, MPa			Ранняя прочность, % (R ₁ /R ₂₈) норм. хран. Early strength, % (R ₁ /R ₂₈) normal storage
			от Ц of Cement	от SiO ₂ of SiO ₂				1 сут 1 day	2 сут 2 days	28 сут 28 days	
1	1*	–	–	–	0,643	13	2345	6,8	12	26,6	26
	2	2	2,33	1,165	0,715	10	2322	12,7 (+86%)	19,8 (+65%)	33,6 (+26%)	38
	3	2	2,58	1,29	0,643	18–20	2320	15,5 (+128%)	–	36,4 (+37%)	43
2	4*	–	–	–	0,62	16	2322	10,1	–	28,5	35
	5	2	2,23	1,11	0,61	18	2335	19,2 (+90%)	–	39,9 (+40%)	48

Примечание. * Составы № 1 и 4 – контрольные, в скобках – критерии эффективности.
Note. * Compositions № 1 and 4 – control, in brackets – the performance criteria.

данных позволяет сделать вывод, что добавка золя кремнезема в сочетании с суперпластификатором приводит к увеличению прочности при сжатии на 1-е сут до 128%, к 28 сут – до 40% по сравнению с бездобавочными составами. Следовательно, при модификации бетона нанодобавкой кремнезема происходит структурирование минеральной матрицы вяжущего. Таким образом, гидроксид кальция, который образуется при твердении и гидратации минералов портландцементного клинкера и не обладает вяжущими свойствами, можно связать в гидросиликаты кальция, используя золь нанокремнезема.

Данные исследований говорят о перспективности использования в качестве наномодификаторов цементных систем порошков и золь кремнезема, полученных из гидротермальных растворов. Механизм действия нанокремнезема является комплексным, так как он может выступать в качестве наполнителя и способствовать связыванию портландита, образовывать дополнительные центры кристаллизации. Нанокремнезем принимает участие в связывании образующейся извести, повышает плотность упаковки частиц системы и является центром кристаллизации гидратных новообразований.

Таким образом, гидротермальный нанокремнезем оказывает на цемент тройное воздействие – усиливает гидратацию, блокирует поры, т. е. снижает водопроницаемость, увеличивает клеящую способность. Ввод золя кремнезема позволяет повысить прочность при сжатии и изгибе, следовательно, и долговечность изделий.

Выводы.

1. Нанокремнезем, извлеченный из гидротермального раствора в форме золя и нанопорошка, активно влияет на прочность бетона при сжатии и изгибе.
2. В связи с высокой удельной поверхностью порошка нанокремнезема частицы обладают высокой химической активностью и, выступая как нанонаполнители, заполняют микропоры цементного камня, что приводит к повышению плотности и прочности.
3. Наночастицы кремнезема влияют на процесс гидратации, повышают скорость набора прочности в ранние сроки по сравнению с контрольными образцами.
4. Действие добавки золя кремнезема эффективнее проявляется в паре с суперпластификатором.

Список литературы

1. Sobolev K., Flores I., Hermesillo K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites // *Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology for Concrete: Recent Developments and Future Perspectives»*. November 7. 2006. Denver. USA, p. 296.

Compositions of concrete mixtures are presented in Table 2.

Results of tests of concretes with the addition of silica sol are presented in Table 3. Analysis of the experimental data allows us to conclude that the addition of the silica sol in combination with the superplasticizer leads to an increase in compressive strength by 1 day to 128%, to 28 days to 40% in comparison with the no-additives. Consequently, when the concrete is modified with a nanoscale of silica, the mineral matrix of the binder is structured. Thus, calcium hydroxide, which is formed during hardening and hydration of minerals of Portland cement clinker and does not have astringent properties, can be bound to calcium hydrosilicates using a nanosilica sol.

The research data show the prospects of using nanomodifiers of cement systems for powders and silica sols obtained from hydrothermal solutions. The mechanism of action of nanosilica is complex, since nanosilica can act as a filler and promote the binding of portlandite, form additional crystallization centers. Nanosilica participates in the binding of formed lime, increases the packing density of the particles of the system and is the center of crystallization of hydrate neoplasms.

Thus, hydrothermal nanosilica exerts a threefold effect on cement – strengthen hydration, block pores, that is, reduce water permeability, increase the adhesive capacity. The introduction of the silica sol makes it possible to increase the compressive and bending strength, and consequently the durability of the products.

Conclusions.

1. Nano-silica extracted from the hydrothermal solution in the form of sol and nanopowder, actively affects the strength of concrete during compression and bending.
2. Due to the high specific surface area of the nanosilica powder, nanoparticles have high chemical activity, and, acting as nanofillers, fill the micropores of the cement stone, which leads to an increase in density and an increase in strength.
3. The silica nanoparticles affect the hydration process, increase the speed of durability in the early periods in comparison with the control samples.
4. The action of the silica sol addition is more effective in pairing with the superplasticizer.

References

1. Sobolev K., Flores I., Hermesillo K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites. *Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology for Concrete: Recent Developments and Future Perspectives»*. November 7. 2006. Denver. USA, p. 296.

2. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review // *Construction and Building Materials*. 2010. No. 24, pp. 2060–2071.
3. Bjornstrom J., Martinelli A., Matic A., Borjesson L., Panas I. Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium–silicate–hydrate formation in cement // *Chemical Physics Letters*. 2004. Vol. 392 (1–3), pp. 242–248.
4. Chang T-P, Shih J-Y, Yang K-M, Hsiao T-C. Material properties of Portland cement paste with nano-montmorillonite // *Journal of Materials Science*. 2007. Vol. 42 (17), pp. 7478–7487.
5. Kuo W-Y, Huang J-S, Lin C-H. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars // *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36 (5), pp. 886–895.
6. Shah SP, Konsta-Gdoutos MS, Metaxa ZS, Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors // *Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3-rd international symposium on nanotechnology in construction)*. Prague. Czech Republic. 2009, pp. 125–30.
7. Bordallo H.N., Aldridge L.P., Desmedt A. Water dynamics in hardened ordinary Portland cement paste or concrete: from quasielastic neutron scattering // *The Journal of Physical Chemistry*. 2006. Vol. 110 (17), pp. 966–976.
8. Пухаренко Ю.В., Никитин В.А., Летенко Д.Г. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей // *Строительные материалы*. 2006. № 9. С. 86–88.
9. Гирштель Г.Б., Глазкова С.В., Левицкий А.В. Перспективы применения наноструктурированного бетона в строительстве. http://www.concrete-union.ru/articles/index.php?ELEMENT_ID=7165 (дата обращения 20.12.2016).
10. Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У., Староверов В.Д. Эффективность активации воды затворения углеродными наночастицами // *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 1. С. 40–45.
11. Лхасаранов С.А., Урханова Л.А., Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С., Данзанов А.Б., Пшеничникова Л.И. Бетоны повышенной прочности на композиционных вяжущих // *Строительный комплекс России. Наука. Образование. Практика: Материалы международной научно-практической конференции*. Улан-Удэ, 2012. С. 225–228.
12. Урханова Л.А., Хардаев П.К., Лхасаранов С.А. Модифицирование цементных бетонов нанодисперсными добавками // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 3. С. 167–175.
13. Хрусталеv Б.М., Яглов В.Н., Ковалев Я.Н., Романюк В.Н., Бурак Г.А., Меженцев А.А., Гуриненко Н.С. Наномодифицированный бетон // *Наука и техника*. 2015. № 6. С. 3–8.
14. Горев Д.С., Горева Т.С., Потапов В.В., Шалаев К.С. Получение нанодисперсного диоксида кремния из гидротермальных растворов с применением мембран и криохимической вакуумной сублимации // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 4. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6720> (дата обращения: 20.12.2016)
15. Потапов В.В., Горев Д.С., Туманов А.В., Кашутин А.Н., Горева Т.С. Получение комплексной добавки для повышения прочности бетона на основе нанодисперсного диоксида кремния гидротермальных растворов // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 9–2. С. 404–409.
16. Горев Д.С., Потапов В.В., Горева Т.С. Получение золя диоксида кремния мембранным концентрированием водных растворов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 11–6. С. 1233–1239.
2. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete – A review. *Construction and Building Materials*. 2010. No. 24, pp. 2060–2071.
3. Bjornstrom J., Martinelli A., Matic A., Borjesson L., Panas I. Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium–silicate–hydrate formation in cement. *Chemical Physics Letters*. 2004. Vol. 392(1–3), pp. 242–248.
4. Chang T-P, Shih J-Y, Yang K-M, Hsiao T-C. Material properties of Portland cement paste with nano-montmorillonite. *Journal of Materials Science*. 2007. Vol. 42 (17), pp. 7478–7487.
5. Kuo W-Y, Huang J-S, Lin C-H. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars. *Cement and Concrete Research*. 2006. Vol. 36 (5), pp. 886–895.
6. Shah SP, Konsta-Gdoutos MS, Metaxa ZS, Mondal P. Nanoscale modification of cementitious materials In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. *Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3-rd international symposium on nanotechnology in construction)*. Prague. Czech Republic. 2009, pp. 125–30.
7. Bordallo H.N., Aldridge L.P., Desmedt A. Water dynamics in hardened ordinary Portland cement paste or concrete: from quasielastic neutron scattering. *The Journal of Physical Chemistry*. 2006. Vol. 110 (17), pp. 966–976.
8. Puharenko Y.V., Nikitin V.A., Letenko D.G. Nanostructuring water mixing as a way to improve the efficiency of plasticizers concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2006. No. 9, pp. 86–88. (In Russian).
9. Girshstel G.B., Glazkova S.V., Levitsky A.V. The prospects of use of the nanostructured concrete in construction. http://www.concrete-union.ru/articles/index.php?ELEMENT_ID=7165. (Date of access 20.12.2016). (In Russian).
10. Puharenko Y.V., Aubakirova I.U., Staroverov V.D. The efficiency of water activation mixing carbon nanoparticles. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2009. No. 1, pp. 40–45. (In Russian).
11. Lhasaranov S.A., Urhanova L.A., Buyantuev S.L., Kondratenko A.S., Danzanov A.B., Pshenichnikova L.I. Concretes increased strength composite knitting. *The building complex of Russia. The science. Education. Practice. Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Ulan-Ude. 2012, pp. 225–228. (In Russian).
12. Urhanova L.A., Hardan P.K., Lhasaranov S.A. Modification of cement concrete nanodisperse additives. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2015. No. 3, pp. 167–175. (In Russian).
13. Khrustalyov B.M., Yaglov V.N., Kovalyov Ya.N., Romaniuk V.N., Burak G.A., Mezhtentsev A.A., Gurinenko N.S. The nanomodified concrete. *Nauka i tekhnika*. 2015. No. 6, pp. 3–8. (In Russian).
14. Gorev D.S., T.S. Goreva, Potapov V.V., Shalaev K.S. Preparation nanosized silica from hydrothermal solutions with the use of membranes and cryochemical vacuum sublimation. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. No. 4. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6720>. (Date of access 20.12.2016). (In Russian).
15. Potapov V.V., Gorev D.S., Tumanov A.V., Kashutin A.N., Goreva T.S. Obtaining comprehensive supplements to enhance the strength of concrete based on nanosized silica hydrothermal solutions. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012. No. 9–2, pp. 404–409. (In Russian).
16. Gorev D.S., Potapov V.V., Goreva T.S. Preparation of a silica sol by membrane concentration of aqueous solutions. *Fundamental research*. 2014. No. 11–6, pp. 1233–1239. (In Russian).