

DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576

UDC 691

## On the properties of nano-modified cement stones

### Authors:

#### Vakhitova Roza II.,

Associate Professor, PhD in Engineering, Almeteyevsk State Oil Institute; Almeteyevsk, Russia,  
e-mail: roza-w@mail.ru;

#### Saracheva Diana A.,

PhD in Engineering, Senior Lecturer, Almeteyevsk State Oil Institute; Almeteyevsk, Russia,  
e-mail: sarachevadiana85@mail.ru;

#### Mazankina Daria V.,

Senior Lecturer, Almeteyevsk State Oil Institute; Almeteyevsk, Russia, e-mail: daria-mazankina@yandex.ru

#### Kiyamov Ilgam K.,

Professor, Doctor of Economics, Kazan (Volga Region) Federal University, Engineering Institute; Kazan, Russia,  
e-mail: kiyamov.ilgam@mail.ru;

#### Sabitov Linar S.,

Associate Professor, PhD in Engineering, Kazan (Volga Region) Federal University, Engineering Institute; Kazan, Russia,  
e-mail: sabitov-kgasu@mail.ru

**Abstract:** The use of nanotechnology in the construction industry improves its efficiency. The application of nano-modified materials makes it possible to reduce capital costs. Currently the introduction of nanomaterials is of great importance for the construction industry. Carbonaceous structures can be used as nano-modifiers. Carbon nanotubular material TUBALL produced by OCSiAl.ru LLC has been chosen.

To perform research samples of single-layer and multi-walled carbon nanotubes were used as a part of cement heavy concrete. The optimal dosage of carbon nanotubes in the composition of cement concrete has been experimentally determined. The studies revealed that addition of TUBALL carbon nanotubes to the cement composition contributed to the formation of a mesh structure that resists the formation of shrinkable nanoscale cracks in the cement mortar, promotes the appearance of calcium hydrosilicates, increases the concentration of calcium ions at the start of the hydration period.

The influence of modified nanoadditives in the composition of the complex additive on the mechanical properties of the cement composition has been considered. The complex of mechanical properties of cement nanoreinforced stone in the process of cementing the annular space of producing wells by X-ray and thermal methods of analysis has been studied. That confirmed the results of experiments performed with electronic and optical microscopy.

The microstructural elements of the cement specimen were investigated with high-resolution auto-emission scanning electron microscope Merlin by CARL ZEISS.

It was found that the addition of complex nanomodified additive TUBALL accelerates the curing of the cement composite at early stage of hardening, decreases value of shrinkable nano-cracks, that in turn positively characterizes the quality of contacts at the boundaries of cement-casing, rock-cement.

**Keywords:** heavy concrete, hyperplasticizer, water repellent, nano-modified cement stone, nanomaterials, TUBALL, single-layer and multi-layered carbon nanotubes, hardening, curing, dispersion.

**For citation:** Vakhitova R.I., Saracheva D.A., Mazankina D.V., Kiyamov I.K., Sabitov L.S. On the properties of nano-modified cement stones. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 5, pp. 565–576. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-5-565-576.

*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 /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">On the properties of nano-modified cement stones</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2019/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:sarachevadiana85@mail.ru" rel="cc:morePermissions">sarachevadiana85@mail.ru</a>.`

*The paper has been received by editors: 09.09.2019.*

*The paper has been received by editors after peer-review: 30.09.2019.*

*The paper has been accepted for publication: 02.10.2019.*

## О свойствах наномодифицированных цементных камней

**Авторы:**

**Вахитова Роза Ильгизовна,**

доцент, кандидат технических наук, Альметьевский государственный нефтяной институт; Альметьевск, Россия, e-mail: roza-w@mail.ru;

**Сарачева Диана Азатовна,**

кандидат технических наук, старший преподаватель, Альметьевский государственный нефтяной институт; Альметьевск, Россия, e-mail: sarachevadiana85@mail.ru;

**Мазанкина Дарья Владимировна,**

старший преподаватель, Альметьевский государственный нефтяной институт; Альметьевск, Россия, e-mail: daria-mazankina@yandex.ru;

**Киямов Ильгам Киямович,**

доктор экономических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Инженерный институт; Казань, Россия, e-mail: kiyamov.ilgam@mail.ru;

**Сабитов Линар Салихзанович,**

кандидат технических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Инженерный институт; Казань, Россия, e-mail: sabitov-kgasu@mail.ru

**Резюме:** Использование нанотехнологий в строительной отрасли позволяет повысить её эффективность. Использование наномодифицированных материалов даёт возможность снизить капитальные затраты. В настоящее время для строительной индустрии актуально внедрение наноматериалов. В качестве наномодификаторов можно применять углеродосодержащие структуры. Выбрали углеродный нанотрубчатый материал TUBALL производства ООО «OCSIAl.ru».

Для проведения исследований использовались образцы однослойных и многослойных углеродных нанотрубок в составе цементного тяжелого бетона. Экспериментально определялась оптимальная дозировка углеродных нанотрубок в составе цементного бетона. При проведении исследований выявлено, что добавление углеродных нанотрубок TUBALL в цементную композицию способствовало образованию сетчатой структуры, которая оказывает сопротивление образованию усадочных наноразмерных трещин в цементном растворе, способствует появлению новообразований в виде гидросиликатов кальция, повышает на старте периода гидратации концентрацию ионов кальция.

Рассмотрели влияние модифицированных исследуемых нанодобавок в составе комплексной добавки на механические свойства цементной композиции. Изучили комплекс механических свойств цементного nanoармированного камня в процессе цементирования затрубного пространства добывающих скважин рентгеновским и термическим методами анализа, это подтвердило эксперименты с применением электронной и оптической микроскопии.

Исследовали микроструктурные элементы цементного образца с применением высокоразрешающего автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа Merlion компании CARL ZEISS.



the volume of the composite solution makes their uniform distribution difficult. As a result, this technology contributes to the production of a material having a high heterogeneity in density, strength, and other properties [22–24].

### MAIN PART

Studies of the effect of nanotubes on the properties of cement mortar, which is a model of heavy concrete, were presented [25, 26]. The cement-sand mortar consisted of cement and sand in a ratio of 1:3. Then it was shut with water from the water supply, and a suspension of carbon nanotubes in a solution consisting of water, a hydrophobizing agent and a mixture of hyperplasticizer was previously mixed in it. Preliminary, all components of the solution were subjected to ultrasonic dispersion to ensure a homogeneous mass of this suspension [27]. The ultrasonic dispersion process lasted 3.5 minutes, the volume of the suspension was 100 ml, and the power was 100 watts. As a hyperplasticizer, an additive with a high early strength set of Remicrete SP 60 based on polycarboxyl ethers was used. As a water-repellent additive, Tiprom-S was used, having an organosilicon composition of 55% concentrate based on potassium alkyl silicate.

TUBALL carbon nanotubular material manufactured by OCSiAl.ru LLC was used as a complex additive with a hydrophobizing agent and hyperplasticizer. Single-walled nanotubes had a specific geometric surface from 90 mg to 130 mg, multilayer nanotubes had a specific geometric surface from 180 mg to 200 mg [5]. The specific surface area was determined with the Bruner-Emmett-Teller (BET) multipoint method.

The optimal dosage of carbon nanotubes in cement concrete was experimentally determined. For single-walled carbon nanotubes, it amounted to 0.005% by weight of the cement composition, and for multilayer carbon nanotubes, it was 0.0005% by weight of the cement composition.

In the process of conducting experimental studies, it was clarified and revealed that the addition of TUBALL carbon nanotubes to the cement composition contributed to the formation of a network structure. This structure, in turn, resists the formation of nanoscale shrinkage cracks in the cement mortar, contributes to the appearance of neoplasms in the form of calcium hydrosilicates, and increases the concentration of calcium ions at the start of the hydration period.

The effect of the studied modified nanosupplements in the composition of the complex additive on the mechanical properties of the cement composition is considered. The complex of mechanical properties of cement nano-reinforced stone in the process of cementing the annular space of production wells by X-ray and thermal analysis methods was also studied, that confirmed electron and optical microscopy experiments [28–30].

In accordance with GOST 310.4-81 «Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compression» experimental work was carried out using cement based on Portland cement clinker CEM III / A 32.5H manufactured by «Ulyanovsk Cement Plant». As a filler of a shallow medium, sand was used from the Kamskoe Ustye deposit, having a particle size modulus of 2.7. The dosage of nano-additives was taken as a percentage of the mass of cement (table 1).

To investigate microstructure of cement a high-resolution Merlin field-emission scanning electron microscope from CARL ZEISS was used, which is applied to measure linear microrelief sizes of solid-state structures. Test chips of the cement composite were sprayed in a 80/20 ratio with an Au / Pd alloy in a Quorum 150 T ES vacuum unit. To conduct fundamental research on the properties of nanomaterials, the analytical equipment of the Center of Nanotechnologies of the Republic of Tatarstan LLC was used – a Smartlab automatic X-ray diffractometer (RIGAKU) and a STA 6000 synchronous thermal analyzer (PERKIN ELMER), which makes it possible to measure thermophysical characteristics (temperature and heat of physicochemical reactions and phase transitions).

Table 1  
 Dosage of nano-additives

Number of composition	Supplement dosage, %			
	Hyperplasticizer	Water repellent	Single Layer Carbon Nanotubes	Multilayer Carbon Nanotubes
1	0	0	0	0
2	1	0,1	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0,1	0,005	0
5	1	0,1	0	0,0005



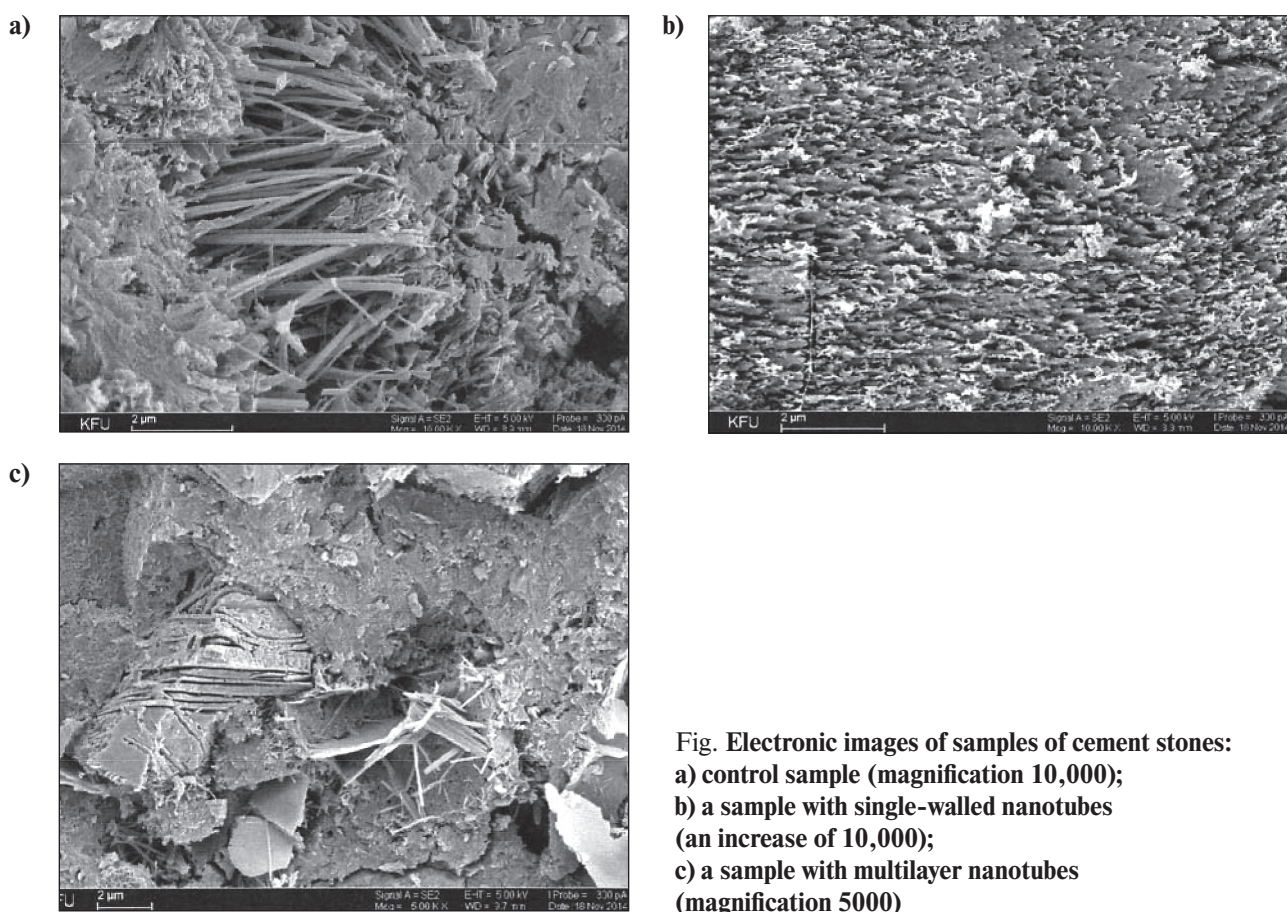


Fig. Electronic images of samples of cement stones:  
 a) control sample (magnification 10,000);  
 b) a sample with single-walled nanotubes  
 (an increase of 10,000);  
 c) a sample with multilayer nanotubes  
 (magnification 5000)

Using this equipment, the compositions of the hydration products of the modified Tuball nanotubes and the initial cement stones were studied. Electronic images of samples of cement stones are shown in the figure.

An analysis of the figure shows that the addition of carbon single-walled nanotubes promotes the formation of a dense fine-crystalline homogeneous structure in comparison with the control composition of cement

Table 2  
 Mechanical properties of modified cement stone

Number of composition	The water-cement ratio of the control sample, %	Strength, MPa			
		under compression		when bending	
		7 days	28 days	7 days	28 days
1	42	<u>39,96</u>	<u>39,96</u>	<u>4,19</u>	<u>4,96</u>
	100	100	100	100	100
2	<u>32</u>	<u>44,90</u>	<u>44,90</u>	<u>5,04</u>	<u>5,76</u>
	76	122	122	130	126
3	<u>32</u>	<u>50,35</u>	<u>50,35</u>	<u>5,67</u>	<u>6,44</u>
	76	129	129	135	130
4	<u>32</u>	<u>51,95</u>	<u>51,95</u>	<u>5,91</u>	<u>6,74</u>
	76	146	146	141	136
5	<u>32</u>	<u>47,95</u>	<u>47,95</u>	<u>4,94</u>	<u>5,90</u>
	76	119	119	118	119

Note. Numerical values are above the line, relative values in% of the control are below the line.

stone. When carbon multilayer nanotubes are added to the cement composite, the microstructure of the cement sample is characterized by a more loose inhomogeneous structure. The mechanical properties of the modified cement stone are given in table 2.

From the analysis of table 2 it follows that introduction of additives Remicrete SP60 (composition No. 3) to the cement composition increases the strength characteristic when bending the cement after 7 days of normal hardening by 35%, after 28 days by 30%, and under compression, an increase in strength is 42% and 22%, respectively, with respect to the control composition.

The modified cement mortar, in which single-walled carbon nanotubes are dispersed in a solution of hyperplasticizer and water repellent (composition No. 4), showed a maximum increase in strength. The strength characteristics during bending for 7 and 28 days of hardening

increase by 41% and 36%, respectively, with compression, the increase in strength is 55% and 46%, respectively, with respect to the control composition.

The addition of carbon multilayer nanotubes to cement stones compared to single-layer ones is characterized by less effect on the strength of the cement composite, both in bending and in compression (composition No. 5).

## CONCLUSION

It was found that the addition of a complex nano-modified additive helps to accelerate the curing of the cement composite at an early stage of hardening, to reduce the value of shrinkage nanocracks, that in turn positively characterizes the quality of the contacts at the cement-casing, rock-cement boundaries.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования в области нанотехнологий поддерживаются Правительством Российской Федерации и внесены в список приоритетных направлений развития науки и техники. В Республике Татарстан уделяется должное внимание созданию новой продукции, модифицированной нанотрубками [1].

Особый научный практический интерес представляет улучшение эксплуатационных свойств бетона на основе его модификации с добавлением химических добавок, а именно углеродных нанотрубок для производства необходимых импортозамещающих и экспортоориентированных продуктов [2–4].

В соответствии с распоряжением КМ РТ от 16.07.2015г. № 1561 разработан план мероприятий по поддержке создания продуктов на основе одностенных углеродных нанотрубок (TUBALL) на предприятиях Республики Татарстан на 2015–2018 годы, а именно методики введения нанотрубок в различные строительные материалы, определение прочностных характеристик строительных материалов в зависимости от технологических режимов ввода, содержания и свойств нанотрубок TUBALL.

На современном этапе развития нанотехнологий изучение свойств бетона, модифицированного нанотрубками, представляет собой интерес и с научной, и практической точек зрения [5–7].

К цементным камням предъявляются определенные требования. В случае если цементный камень используется в скважинах, то при наноармировании тре-

буется изменить показатели водоотделения и фильтрации, сроков схватывания, времени загустевания, улучшения седиментационной устойчивости [8–10].

Существуют разные виды нанодобавок [11–13]. Наиболее рационально применять вытянутые наночастицы для улучшения физико-химических свойств цементного камня [14, 15]. Среди них можно выделить углеродные нанотрубки. Они обладают рядом достоинств: высокая прочность, инертность к щелочам и кислотам, хорошо армируют цементный раствор, представляют собой центры кристаллизации, превращают цементные композиты в высокопрочный материал [16–18].

Для модифицирования структуры цементных композитов наноразмерными частицами применяются два направления [19–21]:

- целенаправленное выращивание наноразмерных частиц для модифицирования структуры в твердеющей вяжущей системе;
- предварительный синтез наноразмерных частиц, последующее их введение в требуемую композицию.

В настоящее время наибольшее распространение получил второй метод, однако в силу высокой поверхностной активности наноразмерных трубок в процессе синтеза они объединяются в виде порошкообразных гранул в конгломераты, а это по объему композиционного раствора затрудняет их равномерное распределение. В результате эта технология способствует получению материала, имеющего высокую неоднородность по плотности, прочности и другим свойствам [22–24].

### 1. Экспериментальные исследования наномодифицированного цементного камня

Приводились исследования влияния нанотрубок на свойства цементного раствора, представляющего собой модель тяжелого бетона [25, 26]. Цементно-песчаный раствор состоял из цемента и песка в соотношении 1:3. Далее его затворяли водой из водопровода, а в ней заранее размещивалась суспензия углеродных нанотрубок в растворе, состоящем из воды, гидрофобизатора и смеси гиперпластификатора. Предварительно все компоненты раствора подвергались воздействию ультразвуковой диспергации для обеспечения однородной массы данной суспензии [27]. Процесс ультразвукового диспергирования длился 3,5 минуты, объем суспензии составил 100 мл, а мощность – 100 Вт. В качестве гиперпластификатора применялась добавка с высоким ранним набором прочности Remicrete SP 60 на основе поликарбоксилатэфиров. В качестве гидрофобизирующей добавки использовался Типром-С, имеющий кремнийорганический состав из 55%-ого концентрата на основе алкилсиликоната калия.

В качестве комплексной добавки с гидрофобизатором и гиперпластификатором применялись углеродный нанотубулярный материал TUBALL производства ООО «OCSiAl.ru». Однослойные нанотрубки имели удельную геометрическую поверхность от 90 до 130 мг, многослойные нанотрубки – удельную геометрическую поверхность от 180 до 200 мг [5]. Удельная поверхность определялась по многоточечному методу Брюнера-Эммета-Теллера (БЭТ).

Экспериментально определили оптимальную дозировку углеродных нанотрубок в составе цементного бетона. Для однослойных углеродных нанотрубок она составила 0,005 % от массы цементной композиции, а для многослойных – 0,0005% от массы цементной композиции.

В процессе проведения экспериментальных исследований уточнили и выявили, что добавление углеродных нанотрубок TUBALL в цементную композицию способствовало образованию сетчатой структуры. Эта структура в свою очередь оказывает сопротивление образованию наноразмерных усачных трещин в цементном растворе, способствует появлению новообразований в виде гидросиликатов кальция, повышает на старте периода гидратации концентрацию ионов кальция.

Рассмотрено влияние исследуемых модифицированных нанодобавок в составе комплексной добавки на механические свойства цементной композиции. Также изучен комплекс механических свойств цементного nanoармированного камня в процессе цементирования затрубного пространства добывающих скважин рентгеновским и термическим методами анализа, что явилось подтверждением экспериментов электронной и оптической микроскопии [28–30].

В соответствии с ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» выполнялись экспериментальные работы с использованием цемента на основе портландцементного клинкера ЦЕМ Ш/А 32.5Н производства «Ульяновский цементный завод». В качестве заполнителя мелкой среды применялся песок из месторождения Камское Устье, имеющий модуль крупности 2,7. Дозировка нанодобавок принималась в процентных соотношениях от массы цементного раствора (табл. 1).

Исследовали микроструктуры цемента. Для этого применяли высокоразрешающий автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп Merlin компании CARL ZEISS, который используется для выполнения измерений линейных микрорельефных размеров твердотельных структур. Пробные сколы цементного композита напыляли в соотношении 80/20 сплавом Au/Pd на вакуумной установке

Таблица 1  
 Дозировка нанодобавок

Номер состава	Дозировка добавок, %			
	Гиперпластификатор	Гидрофобизатор	Однослойные углеродные нанотрубки	Многослойные углеродные нанотрубки
1	0	0	0	0
2	1	0,1	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0,1	0,005	0
5	1	0,1	0	0,0005



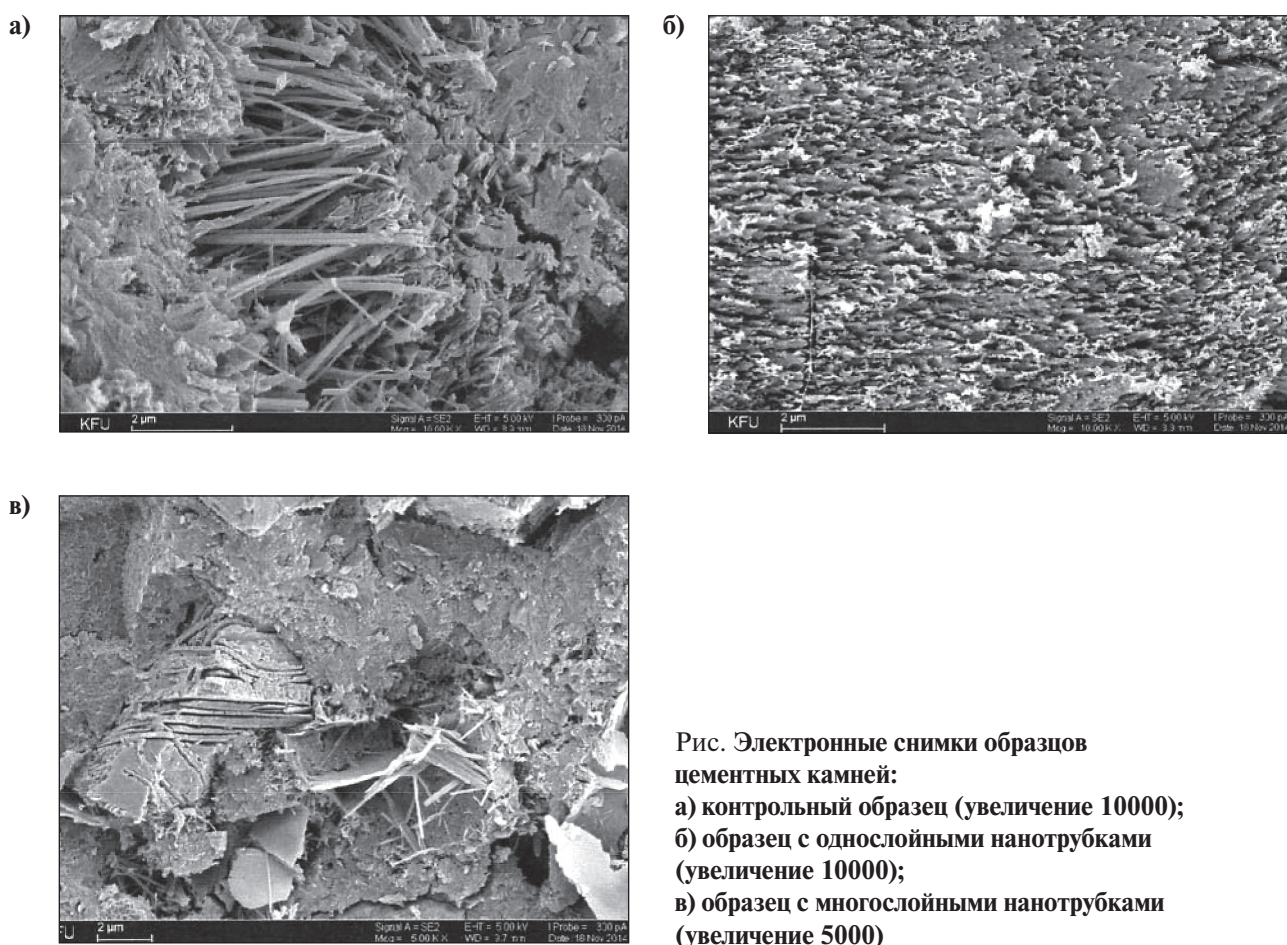


Рис. Электронные снимки образцов цементных камней:  
а) контрольный образец (увеличение 10000);  
б) образец с однослойными нанотрубками (увеличение 10000);  
в) образец с многослойными нанотрубками (увеличение 5000)

Quorum 150 T ES. Для проведения фундаментальных исследований свойств наноматериалов применялось аналитическое оборудование ООО «Центр нанотехнологий Республики Татарстан» – автоматический рентгеновский дифрактометр Smartlab (RIGAKU) и синхронный термоанализатор STA 6000 (PERKIN ELMER), который дает возможность измерять термофизические характеристики (температуру и теплоту физико-химических реакций и фазовых переходов). С помощью этого оборудования изучили составы продуктов гидратации модифицированного нанотрубками Tuball и исходного цементных камней. Электронные снимки образцов цементных камней приведены на рис.

Анализ рис. показывает, что добавление углеродных однослойных нанотрубок способствует образованию плотной мелкокристаллической однородной структуры по сравнению с контрольным составом цементного камня. При добавлении углеродных многослойных нанотрубок в цементный композит микроструктура цементного образца отличается более рыхлой неоднородной структурой. Механические свойства модифицированного цементного камня приведены в табл. 2.

Из анализа табл. 2 следует, что при добавлении в цементный состав добавки с высоким ранним набором прочности Remicrete SP60 (состав № 3) прочностная характеристика при изгибе цементного раствора через 7 суток нормального твердения увеличивается на 35%, через 28 суток – на 30%, а при сжатии повышение прочности составляет соответственно по отношению к контрольному составу 42% и 22%.

Модифицированный цементный раствор, в котором однослойные углеродные нанотрубки диспергированы в растворе гиперпластификатора и гидрофобизатора (состав № 4), показал максимальный прирост прочности. Прочностная характеристика при изгибе на 7 и 28 суток твердения увеличивается на 41% и 36%, соответственно, при сжатии повышение прочности составляет соответственно по отношению к контрольному составу на 55% и 46%.

Добавление углеродных многослойных нанотрубок в цементные камни по сравнению с однослойными характеризуется меньшим влиянием на прочность цементного композита, как при изгибе, так и при сжатии (состав № 5).



Таблица 2

Механические свойства модифицированного цементного камня

Номер состава	Водоцементное отношение контрольного образца, %	Прочность, МПа			
		при сжатии		при изгибе	
		7 суток	28 суток	7 суток	28 суток
1	<u>42</u> 100	<u>39,96</u> 100	<u>39,96</u> 100	<u>4,19</u> 100	<u>4,96</u> 100
2	<u>32</u> 76	<u>44,90</u> 122	<u>44,90</u> 122	<u>5,04</u> 130	<u>5,76</u> 126
3	<u>32</u> 76	<u>50,35</u> 129	<u>50,35</u> 129	<u>5,67</u> 135	<u>6,44</u> 130
4	<u>32</u> 76	<u>51,95</u> 146	<u>51,95</u> 146	<u>5,91</u> 141	<u>6,74</u> 136
5	<u>32</u> 76	<u>47,95</u> 119	<u>47,95</u> 119	<u>4,94</u> 118	<u>5,90</u> 119

Примечание. Над чертой – числовые значения, под чертой – относительные значения в % от контрольных.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Установлено, что добавление комплексной наномодифицированной добавки способствует ускорению набора прочности цементного композита на ранней

стадии твердения, уменьшению значения усадочных нанотрещин, что в свою очередь положительно характеризует качество контактов на границах цемент-обсадная колонна, порода-цемент.

**REFERENCES**

1. Khavkin A.Ya. Nanoyavleniya i nanotekhnologii v dobyche nefi i gaza [Nanophenomena and nanotechnologies in oil and gas production]. Moscow – Izhevsk, NITS «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», Institut komp'yuternykh issledovaniy [SIC «Regular and chaotic dynamics», Institute for Computer Studies], 2010, 692 p. (In Russian).
2. Korolev E. V. Osnovnye printsipy prakticheskoy nanotekhnologii V stroitelnom materialovedenii [The basic principles of practical nanotechnology in building materials]. Nanotekhnologii v stroitelstve: nauchnyy internet-zhurnal [Nanotechnology in Construction: A Scientific Internet-Journal], 2009, no. 1, pp. 66–79. (In Russian).
3. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Izryadnova O.V., Khasanov O.L. Strukturirovanie anhidridovykh matrits uglerodnymi nanosistemami [Structuring anhydride matrices with carbon nanosystems]. Materialy XV Akademicheskikh chteniy RAASN [Materials of the XV Academic Readings of the RAACS], 2010, pp. 294–298. (In Russian).
4. Roko M.K., Williams R.S., Alivatos P. Nanotekhnologii v blizhaysheye desyatiletie. Prognoznnyye napravleniya issledovaniy [Nanotechnology in the coming decade. Forecast areas of research]. Moscow, Mir [World], 2002, 292 p. (in Russian).
5. Foster L.E. Nanotekhnologii. Nauka, innovatsii i vozmozhnosti [Nanotechnology. Science, Innovation and Opportunity]. Moscow, Tekhnosfera [Technosphere], 2008, 352 p. (In Russian).
6. Dixon J.B. Diversity of natural nanoparticles in soils and causative factors implied. Mineralogia - Special Papers: 4<sup>th</sup> Mid-European Clay Conference MECC, Zakopane, Poland, 2008, pp. 54.
7. Brat S., Singh P. Use of Nanorobots in Oil Industry. Maharashtra Institute of Technology. SPE Mumbai Section, 2006.
8. Falikman V.R. Nanomaterialy i nanotekhnologii v sovremennykh betonah [Nanomaterials and nanotechnologies in modern concretes]. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo [Industrial and civil engineering], 2013, no. 1, pp. 31–34. (In Russian).
9. Ponomarev A.N. Nanobeton – ponyatiye i problemy. Sinergizm nanostrukturirovannykh tsementnykh vyazhushchikh i anizotropnykh dobavok [Nanococrete – the concept and problems. Synergism of nanostructuring cement binders and anisotropic additives]. Stroitel'nyye materialy [Construction materials], 2007, no. 6. (In Russian).
10. Voytovich V.A., Khryapchenkova I.N. Nanobeton v stroitelstve [Nanococrete in construction]. Stroitel'nyye materialy [Construction materials], 2016, no. 9, pp. 73–75. (In Russian).
11. Patrikeev L.N. Nanotekhnologii v energetike [Nanotechnologies in power engineering]. Nanoindustriya [Nanoindustry], 2008, no. 2, pp. 14–15. (In Russian).

12. Detlef B., Klaus S. Chemomechanical processing – the innovative way of integrating nanoparticles into industrial products. PETROTECH, New Delhi, India. 2009. p. 286.
13. Zaporotskova I.V. Uglerodnyye i neuglerodnyye nanomaterialy i kompozitnyye struktury na ikh osnove: stroyeniye i elektronnyye svoystva [Carbon and non-carbon nanomaterials and composite structures based on them: structure and electronic properties]. Volgograd. Izd-vo Volgogradskogo gos. un-va (Publishing house of the Volgograd State the university), 2009, 488 p. (In Russian).
14. Shah K.A., Najar F.A., Andrabi S.M.A., Islam S.S. Synthesis of carbon nanotubes for device applications. Asian Journal of Chemistry, 2017, vol. 29, no. 4, pp. 879–881.
15. Danoglidis P.A., Falara M.G., Maglogianni M., Konsta-Gdoutos M.S. Scalable processing of cementitious composites reinforced with carbon nanotubes (CNTs) and carbon nanofibers (CNFs). Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2019, Vol. 11, no. 1, pp. 20–27. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-20-27.
16. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Bur'yanov A.F., Kodolov V.I., Krutikov V.A., Fisher F.-B., Kerene Ya. Modifikatsiya porizovannykh tsementnykh matrits uglerodnymi nanotrubbkami [Modification of porous cement matrices with carbon nanotubes]. Stroitel'nye materialy [Construction materials], 2009, no. 3, pp. 99–102. (In Russian).
17. Rayfti, S., Chegini, E. K. Highly selective and green oxidation of sulfides with urea hydrogen peroxide in the presence of MN (III) porphyrin supported onto carbon nanotubes. Macroheterocycles, 2016, vol. 9, no. 2, pp. 151–155. DOI: 10.6060/mhc151101r.
18. Khussein S.M.R.H., Hanfar A. Uglerodnyye nanotrubbki: problemy i perspektivy ikh ispolzovaniya [Carbon nanotubes: problems and prospects for their use]. Uspekhi sovremennoy nauki [Advances in modern science], 2017, vol. 4, no. 4, pp. 166–169. (In Russian).
19. Mazurenko V.V., Rudenko A.N., Mazurenko V.G. Nanochastitsy, nanomaterialy, nanotekhnologii. Uchebnoye posobiye [Nanoparticles, nanomaterials, nanotechnologies. Tutoria]. Yekaterinburg. Federal'noye agentstvo po obrazovaniyu, Ural'skiy gos. tekhnicheskii un-t – UPI im. pervogo Prezidenta Rossii B. N. Yel'tsina [Federal Agency for Education, Ural State Technical University – UPI them. first President of Russia B. N. Yeltsin], 2009, 83 p. (In Russian).
20. Mishchenko S.V., Tkachev A.G. Uglerodnyye nanomaterialy. Proizvodstvo, svoystva, primeneniye [Carbon nanomaterials. Production, properties, application]. Moscow, Mashinostroyeniye [Mechanical Engineering], 2008. (In Russian).
21. Shevchenko V.Ya. Institut khimii silikatov RAN. Issledovaniya v oblasti nanomira i nanotekhnologii [Institute of Silicate Chemistry RAS. Research in the field of nanoworld and nanotechnology]. Rossiyskiye nanotekhnologii [Russian nanotechnology], 2008, vol. 3, no. 11–12, pp. 36–45. (In Russian).
22. Kehl A.V. Fullereny i uglerodnyye nanotrubbki [Fullerenes and carbon nanotubes]. Innovatsionnaya nauka [Innovation science], 2016, № 11-3, pp. 23–25. (In Russian).
23. Salamatov V.I., Vasilyeva K.S. Uglerodnyye nanotrubbki – osnova perspektivnykh nanomaterialov [Carbon nanotubes - the basis of promising nanomaterials]. Zhiznennyy tsikl konstruksionnykh materialov (ot polucheniya do utilizatsii): materialy dokladov V Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [Life cycle of structural materials (from production to disposal): materials of reports of the Vth All-Russian Scientific and Technical Conference with international participation], 2015, pp. 247–254. (In Russian).
24. Lebeda Yu.V. Uglerodnyye nanotrubbki: ikh svoystva i metody modifikatsii [Carbon nanotubes: their properties and methods of modification]. Nedelya nauki SPbGPU: materialy XLII nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [SPbGPU Science Week: Proceedings of the XLII Scientific Practical Conference with international participation], 2014, pp. 30–32. (In Russian).
25. Tang Q., Huang J., Tian G. Dispersion of carbon nanotubes and research progress on mechanical properties of carbon nanotubes cement-based composites. Gongneng Cailiao, 2017. vol. 48, no. 6, pp. 42–49.
26. László I., Gyimesi B., Koltai J., Kürti J. Molecular dynamics simulation of carbon structures inside small diameter carbon nanotubes. Physica Status Solidi (B): Basic Solid State Physics, 2017, vol. 254, no. 11, pp. 170–206.
27. Gabidullin M.G., Khuzin A.F., Rakhimov R.Z., Tkachev A.G. Ultrazvukovaya obrabotka – effektivnyy metod dispergirovaniya uglerodnykh nanotrubbok v ob'eme stroitel'nogo kompozita [Ultrasonic processing is an effective method for dispersing carbon nanotubes in the bulk of a composite composite]. Stroitelnye materialy [Construction materials], 2013, no. 2, pp. 57–59. (In Russian).
28. Kiyamov I.K., Mingazov R.Kh., Vakhitova R.I., Kiyamova L.I., Sibgatullin A.A., Saracheva D.A., Mazankina D.V. K vo-prosu ob issledovanii tamponazhnykh rastvorov na osnove uglerodnykh nanotrubbok i ikh vliyaniya na fazovyy sostav tsementnogo kamnya pri stroitel'stve skvazhin [On the study of cement slurries based on carbon nanotubes and their influence on the phase composition of cement stone in the construction of wells]. Materialy nauchnoy sessii uchenykh Al'met'yevskogo gosudarstvennogo neftyanogo institute [Materials of the scientific session of scientists of the Almet'yevsk State Oil Institute], 2016, no. 2, pp. 48–50. (In Russian).
29. Semenov V.A., Rusakov S.V., Buzmakova M.M. Issledovaniye anizotropnoy provodimosti epoksidnogo polimera, modifitsirovannogo uglerodnymi nanotrubbkami [Study of the anisotropic conductivity of epoxy polymer modified with carbon nanotubes]. Sbornik trudov 8-y Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem im. I.F. Obratsova i YU.G. Yanovskogo [Collection of works of the 8th All-Russian Scientific Conference with international participation. I.F. Obratsova and Yu.G. Yanovsky], 2019, pp. 92–95. (In Russian).
30. Guz A.N., Rushchitskii Y.Y. Nanomaterials: on the mechanics of nanomaterials. International applied mechanics, 2003, vol. 39, no. 11, pp. 1271–1293. DOI: 10.1023/B:INAM.0000015598.53063.26.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хавкин А.Я. Наноявления и нанотехнологии в добыче нефти и газа. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010. – 692 с.
2. Королев Е.В. Основные принципы практической нанотехнологии в строительном материаловедении // Нанотехнологии в строительстве. – 2009. – № 1. – С. 66–79.
3. Маева И.С., Яковлев Г.И., Изряднова О.В., Хасанов О.Л. Структурирование ангидридовых матриц углеродными наносистемами // Материалы XV Академических чтений РААСН. – 2010. – С. 294–298.
4. Роко М.К., Уильямс Р.С., Аливатос П. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований. – М: Мир, 2002. – 292с.
5. Фостер Л.Э. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности – М: Техносфера, 2008. – 352с.
6. Dixon J.B. Diversity of natural nanoparticles in soils and causative factors implied // Mineralogia – Special Papers: 4<sup>th</sup> Mid-European Clay Conference MECC, Zakopane, Poland, 2008, pp. 54.
7. Brat S., Singh P. Use of Nanorobots in Oil Industry. Maharashtra Institute of Technology, SPE Mumbai Section, 2006.
8. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в современных бетонах // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 1. – С. 31–34.
9. Пономарев А.Н. Нанобетон – концепция и проблемы. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и анизотропных добавок // Строительные материалы. – 2007. – № 6.
10. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н. Нанобетон в строительстве // Строительные материалы. – 2016. – № 9. – С. 73–75.
11. Патрикеев Л.Н. Нанотехнологии в энергетике // Наноиндустрия. – 2008. – № 2. – С. 14–15.
12. Detlef B., Klaus S. Chemomechanical processing – the innovative way of integrating nanoparticles into industrial products // PETROTECH, New Delhi, India, 2009, pp. 286.
13. Запороцкова И.В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе: строение и электронные свойства. – Волгоград: Изд-во Волгоградского гос. ун-ва, 2009. – 488с.
14. Shah K.A., Najar F.A., Andrabi S.M.A., Islam S.S. Synthesis of carbon nanotubes for device applications // Asian Journal of Chemistry, 2017, vol. 29, no. 4, pp. 879–881.
15. Danoglidis Panagiotis A., Falara Maria G., Maglogianni Myrsini, Konsta-Gdoutos Maria S. Scalable processing of cementitious composites reinforced with carbon nanotubes (CNTS) and carbon nanofibers (CNFS) // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 20-27. DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-1-20-27.
16. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Ф. – Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строительные материалы. – 2009. – № 2. – С. 99–102.
17. Rayfti, S., Chegini, E. K. Highly selective and green oxidation of sulfides with urea hydrogen peroxide in the presence of MN (III) porphyrin supported onto carbon nanotubes // Макрогетероциклы. – 2016. – Т. 9. – №2. – С. 151–155. DOI: 10.6060/mhc151101r.
18. Хуссейн С. М. Р. Х., Ханфар А. Углеродные нанотрубки: проблемы и перспективы их использования // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 4 – № 4. – С. 166–169.
19. Мазуренко В.В., Руденко А.Н., Мазуренко В.Г. Наночастицы, наноматериалы, нанотехнологии. Учебное пособие. – Екатеринбург: Федеральное агентство по образованию, Уральский гос. технический ун-т – УПИ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 2009. – 83 с.
20. Мищенко С.В., Ткачев А.Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – М: Машиностроение, 2008.
21. Шевченко В.Я. Институт химии силикатов РАН. Исследования в области наномира и нанотехнологий // Российские нанотехнологии. – 2008. – Т. 3, № 11–12. – С. 36–45.
22. Кель А.В. Фуллерены и углеродные нанотрубки // Инновационная наука. – 2016. – № 11-3. – С. 23–25.
23. Саламатов В.И., Васильева К.С. Углеродные нанотрубки - основа перспективного наноматериала // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докладов V Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Иркутск, 2015. – С. 247–254.
24. Лебеда Ю.В. Углеродные нанотрубки: их свойства и методы модификации // Неделя науки СПбГПУ: материалы XII научно-практической конференции с международным участием. – Санкт-Петербург, 2014. – С. 30–32.
25. Tang Q., Huang J., Tian G. Dispersion of carbon nanotubes and research progress on mechanical properties of carbon nanotubes cement-based composites // Gongneng Cailiao, 2017. vol. 48, no. 6, pp. 42–49.
26. László I., Gyimesi B., Koltai J., Kürti J. Molecular dynamics simulation of carbon structures inside small diameter carbon nanotubes // Physica Status Solidi (B): Basic Solid State Physics, 2017, vol. 254, no. 11, pp. 170–206.
27. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Рахимов Р.З., Ткачев А.Г. Ультразвуковая обработка – эффективный метод диспергирования углеродных нанотрубок в объеме строительного композита // Строительные материалы. – 2013. – № 2. – С. 57–59.
28. Киямов И.К., Мингазов Р.Х., Вахитова Р.И., Киямова Л.И., Сибгатуллин А.А., Сарачева Д.А., Мазанкина Д.В. К вопросу об исследовании тампонажных растворов на основе углеродных нанотрубок и их влияния на фазовый состав



цементного камня при строительстве скважин // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. – 2016. – № 2. – С. 48–50.

29. Семенов В. А., Русаков С. В., Бузмакова М. М. Исследование анизотропной проводимости эпоксидного полимера, модифицированного углеродными нанотрубками // Сборник трудов 8-й Всероссийской научной конференции с международным участием им. И.Ф. Образцова и Ю.Г. Яновского. – 2019. – С. 92–95.

30. Guz A.N., Rushchitskii Y.Y. Nanomaterials: on the mechanics of nanomaterials // International applied mechanics, 2003, vol. 39, no. 11, pp. 1271–1293. DOI: 10.1023/B:INAM.0000015598.53063.26.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Vakhitova Roza II.**, PhD in Engineering, Associate Professor, Department «Electrical and Thermal Power Engineering, Almet'yevsk State Oil Institute»; Lenina st., 2a, Almet'yevsk, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 423450, roza-w@mail.ru;

**Saracheva Diana A.**, PhD in Engineering, Senior Lecturer, Department «Electrical and Thermal Power Engineering», Almet'yevsk State Oil Institute; Lenina st., 2a, Almet'yevsk, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 423450, sarachevadiana85@mail.ru;

**Mazankina Daria V.**, Senior Lecturer, Department «Electrical and Heat Power Engineering», Almet'yevsk State Oil Institute; Lenina st., 2a, Almet'yevsk, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 423450, daria-mazankina@yandex.ru;

**Kiyamov Ilgam K.**, Engineering Institute, Doctor of Economics, Professor, Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Kazan (Volga Region) Federal University; Kremlin st., 18, Kazan, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 420008, kiyamov.ilgam@mail.ru;

**Sabitov Linar S.** Engineering Institute, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Kazan (Volga Region) Federal University; Kremlin st., 18, Kazan, Republic of Tatarstan, the Russian Federation, 420008, sabitov-kgasu@mail.ru

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Вахитова Роза Ильгизовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электро- и теплоэнергетика», Альметьевский государственный нефтяной институт; ул. Ленина, 2а, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Россия, 423450, roza-w@mail.ru

**Сарачева Диана Азатовна**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электро- и теплоэнергетика», Альметьевский государственный нефтяной институт; ул. Ленина, 2а, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Россия, 423450, e-mail: sarachevadiana85@mail.ru;

**Мазанкина Дарья Владимировна**, старший преподаватель кафедры «Электро- и теплоэнергетика», Альметьевский государственный нефтяной институт; ул. Ленина, 2а, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Россия, 423450, daria-mazankina@yandex.ru

**Киямов Ильгам Киямович**, доктор экономических наук, профессор кафедры «Биомедицинская инженерия и управление инновациями», Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет; ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420008, kiyamov.ilgam@mail.ru;

**Сабитов Линар Салихзанович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Биомедицинская инженерия и управление инновациями», Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет; ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420008, sabitov-kgasu@mail.ru