

UDC 69.059.4

**Author: AVRENYUK Andrey Nikolaevich**, Ph.D., Associate Professor of the Department «Technological machines and equipment», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, And-mail@mail.ru;

**Author: RUSYAEV Eugene Viktorovich**, Graduate student of the Department «Technological machines and equipment», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, Rusyaev770@rambler.ru;

**Author: VILINCHUK Viktor Leonidovich**, Graduate student of the Department «Technological machines and equipment», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, Posioit@mail.ru;

**Author: ABUTALIPOVA Elena Midhatovna**, Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor of the Department «Oil and Gas Field Exploration and Development», Ufa State Petroleum Technological University, Branch of the University in the city of Oktyabrsky; Devonskaya st. 54a, Oktyabrsky, Russia, 450062, Elenaabutalipova.ea@gmail.com;

**Author: MUGALLIMOV Fanzil Mavlyavievich**, Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor of the Department «Oil and Gas Transportation and Storage», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, mugallimov@mail.ru

---

## RESEARCH OF THE PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES CEMENT-SAND SOLUTIONS EXPOSED TO THE SUPER-FREQUENCY OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

---

### EXTENDED ABSTRACT:

The durability of the used cement-based construction materials can be improved by modifying them with electromagnetic radiation.

Thus, in a number of research papers it is noted that magnetic and microwave radiation intensifies the processes of dissolution and hydration of cement at earlier times, that leads to the formation of fine crystalline structures, a decrease in porosity, an increase in density, strength, frost resistance and durability in general.

In the course of the research, physical and mechanical tests of samples of cement-sand solutions irradiated with ultrahigh-frequency electromagnetic radiation were carried out and the results compared with those not irradiated were analyzed. The research was carried out both on samples of low-quality cement-sand mortars from dry mixes and on high-quality samples of cement-sand mortars used for the repair of concrete and reinforced concrete structures – for clarity of the obtained results.



The structure of the samples was studied by means of a scanning electron microscope with an energy-dispersive spectrometer.

As a result of the studies, an increase in the basic physicomechanical parameters was observed in comparison with the unirradiated samples at the age of 28 days. According to the results of physical and mechanical tests of irradiated samples and comparison of data with unirradiated microwave EMI samples of the CRP, it can be concluded that the maximum effective irradiation time is mainly 2 days after mixing both low and high quality compounds. At the same time, there was an increase in the main physicomechanical parameters in comparison with unirradiated samples. It is noted that in the irradiated compositions, the hydration process runs more intensively, that leads to an accelerated set of strength in the early stages, as well as an increase in strength and density at the age of 28 days.

**Key words:** cement-sand mortars, ultrahigh-frequency electromagnetic radiation, microwave, modification of materials, building materials.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76)

#### 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">Research of the physicomechanical properties cement-sand solutions exposed to the super-frequency of electromagnetic radiation</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 63-76. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Avrenyuk A.N., Rusyaev E.V., Vilinchuk V.L., Abutalipova E. M., Mugallimov F.M.</a> is licensed under a <a rel="license" 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-6-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2018/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="And-mail@mail.ru" rel="cc:morePermissions">And-mail@mail.ru</a>.
```

#### References:

1. *Batalin B.S.* Vliyanie magnitnoy obrabotki betonnoj smesi na processy strukturoobrazovaniya v tverdejushhem betone [Effect of magnetic treatment of concrete mixture on the processes of structure formation in hardening concrete]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow, Russian State Library, 2002. (In Russian).
2. Aktivacija vody dlja cementnyh kompozitov [Activation of water for cement composites] [Electronic resource]. Available at: [www.maxmir-energy.ru/catalog-2.html](http://www.maxmir-energy.ru/catalog-2.html) (Accessed 16.09.2017). (In Russian).



3. Fedosov S.V., Akulova M.V., Slizneva T.E. et al. Processy strukturoobrazovaniya v melkozernistom betone na mehanomagnitoaktivirovannom vodnom rastvore Na-KMC [Processes of structure formation in fine-grained concrete on mechano-magnetoactivated aqueous solution of Na-CMC]. Academia. Architecture and Construction. № 2/2013. P. 106–111. (In Russian).
4. Classen V.I. Omagnichivanie vodnyh sistem [Magnetization of water systems]. Moscow, Chemistry, 1982. 240 p. (In Russian).
5. Nazarov I.V., Potapova T.A., Ryzhkin S.V. Modelirovanie processa termoobrabotki penobetona [Modeling of heat treatment process of foam concrete]. Proceedings of the XI Interuniversity scientific school of young specialists «Concentrated energy flows in space technology, electronics, ecology and medicine» November 22–23, 2009 P. 45–48. (In Russian).
6. Arzhannikov A.V. and others. [On the possibility of destruction of the surface of concrete by powerful pulses of microwave radiation]. Applied Mechanics and Technical Physics. Vol.41, №3. 2000. P. 26-33. (In Russian).
7. Makarov E.M. Mehanizm strukturoobrazovaniya cementnogo kamnja v polimersoderzhashhih vjashushhih kompozitsijah na osnove aljuminatnyh i sul'foaljuminatnyh cementov [The mechanism of the formation of cement stone in polymer-containing astringent compositions based on aluminate and sulphoaluminous cements]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow: Russian State Library, 2017. (In Russian).
8. Kuznetsova T.V. Mikroskopija materialov cementnogo proizvodstva [Microscopy of cement production materials]. Moscow, MIKHiS, 2007. 304 p. (In Russian).
9. Samchenko S.V. Rol' jettringita v formirovanii i genezise struktury kamnja special'nyh cementov [The role of ettringite in the formation and genesis of the stone structure of special cements]. Moscow, Federal Agency for Education, D. Mendeleev University of Chemical Technology Of Russia, Publishing Center, 2005. 154 p. (In Russian).
10. Samchenko S.V. Formirovanie i genezis struktury cementnogo kamnja [Formation and genesis of the structure of cement stone]. Moscow. MGSU, Ai Pi Er Media, EBS ASV, 2016. 284 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/49874>. (In Russian).
11. Larionova Z.M. Formirovanie struktury cementnogo kamnja i betona [Formation of the structure of cement stone and concrete]. Moscow, Stroizdat, 1971. 112 p. (In Russian).
12. Lotov V.A. Dvizhushhaja sila processov gidratacii i tverdenija [The driving force of hydration and hardening processes] [electronic resource]. Collected papers of the 3rd (XI) International Meeting on Cement Chemistry and Technology. St. Petersburg: AlitInform, 2009. P. 137–141. (CD-ROM). (In Russian).
13. GOST 31356-2007. Dry building mixes on a cement binder. Test methods. Moscow: Publishing House of Standards, 2009. 19 p.



14. GOST 10181-2000. Concrete mixtures. Test methods. Moscow: Publishing House of Standards, 2000. 17 p.
15. GOST 10180-90. Methods for determining the strength of control samples. Moscow. Publishing House of Standards, 2003. 34 p.
16. *Avrenyuk A.N., Timergaleeva D.R., Rusyaev E.V., Vilinchuk V.L., Abutalipova E.M.* Research of the structure of cement-sand solutions exposed to the superhigh-frequency electromagnetic radiation. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2017, Vol. 9, no. 5, pp. 53–66. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66). (In Russian).
17. *Abutalipova E.M., Bugai D.E., Avrenyuk A.N., Streltsov O.B., Sungatullin I.R.* Investigation of the Effect of Microwave-Radiation Energy Flux on the Structure and Properties of Polymeric Insulating Materials. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. Vol. 52. № 3–4. P. 212–216.
18. *Avrenyuk A.N.* Study of the properties of compositions for the repair of concrete and reinforced concrete. *Oil and Gas Business*. 2013. № 2. P. 162–167. (In Russian).
19. *Avrenyuk A.N. et al.* Environmental security and cost-effectiveness of a special compound repair concrete structures petrochemical factories. *Oil and Gas Business*. 2012. № 3. P. 124–129. (In Russian).
20. *Abutalipova E.M., Aleksandrov A.A., Lisin Yu.V., Pavlova I.V., Shulaev N.S.* Mathematical modeling of heating kinetics in polymeric coating pipeline metal system at microwave processing. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*. 2017. (2), P. 118–128.

**DEAR COLLEAGUES!****THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

*Avrenyuk A.N., Rusyaev E.V., Vilinchuk V.L., Abutalipova E. M., Mugallimov F.M.* Research of the physicomechanical properties cement-sand solutions exposed to the super-frequency of electromagnetic radiation. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction*. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 63–76. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76). (In Russian).



УДК 69.059.4

**Автор: АВРЕНЮК Андрей Николаевич**, к.т.н., доц. каф. «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, And-mail@mail.ru;

**Автор: РУСЯЕВ Евгений Викторович**, магистрант каф. «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, Rusyaev770@rambler.ru;

**Автор: ВИЛИНЧУК Виктор Леонидович**, магистрант каф. «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, Posioit@mail.ru;

**Автор: АБУТАЛИПОВА Елена Мидхатовна**, д.т.н., доц., проф. каф. «Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений» филиал ФГБОУ ВО «УГНТУ» в г. Октябрьском; ул. Девонская, 54 а, г. Октябрьский, Россия, 452607, Elenaabutalipova.ea@gmail.com;

**Автор: МУГАЛЛИМОВ Фанзиль Мавлявиевич**, д.т.н., проф. каф. «Транспорт и хранение нефти и газа» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, mugallimov@mail.ru

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

---

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

Долговечность используемых конструкционных материалов на цементной основе может быть повышена путем их модификации электромагнитным излучением.

Так, в ряде исследовательских работ отмечается, что магнитное и сверхвысокочастотное электромагнитное излучение интенсифицирует процессы растворения и гидратации цемента в более ранние сроки, что приводит к образованию мелкокристаллических структур, уменьшению пористости, увеличению плотности, прочности, морозостойкости и долговечности в целом.

В процессе работы проведены физико-механические испытания образцов цементно-песчаных растворов, облученных сверхвысокочастотным элек-





тромагнитным излучением, и проанализированы результаты в сравнении с необлученными. При этом исследования проведены как на образцах низкомарочных цементно-песчаных растворов из сухих смесей, так и на высокомарочных образцах цементно-песчаных растворов, используемых для ремонта бетонных и железобетонных конструкций – для наглядности получаемых результатов.

Исследования структуры образцов проведены на растровом электронном микроскопе с энергодисперсионным спектрометром.

В результате исследований отмечено увеличение основных физико-механических показателей в сравнении с необлученными образцами в возрасте 28 суток. По результатам проведенных физико-механических испытаний облученных образцов и сравнения данных с необлученными СВЧ ЭМИ образцами ЦПР можно сделать вывод, что максимально эффективным временем облучения являются, в основном, 2 суток после замешивания как низко-, так и высокомарочных составов. При этом отмечено увеличение основных физико-механических показателей в сравнении с необлученными образцами. Отмечено, что в облученных составах процесс гидратации проходит более интенсивно, что приводит к ускоренному набору прочности в ранние сроки, а также увеличению прочности и плотности в возрасте 28.

**Ключевые слова:** цементно-песчаные растворы, сверхвысокочастотное электромагнитное излучение, СВЧ, модификация материалов, строительные материалы.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76](https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76)

#### МАШИНОЧИТАЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СС-ЛИЦЕНЗИИ В МЕТАДАННЫХ СТАТЬИ (HTML-код):

```
<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">Research of the physicomechanical properties cement-sand solutions exposed to the super-frequency of electromagnetic radiation</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 63-76. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Avrenyuk A.N., Rusyaev E.V., Vilinchuk V.L., Abutalipova E. M., Mugallimov F.M.</a> is licensed under a <a rel="license" 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-6-2018/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-6-2018/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="And-mail@mail.ru" rel="cc:morePermissions">And-mail@mail.ru</a>.
```



**Д**олговечность используемых конструкционных материалов на цементной основе может быть повышена путем их модификации электромагнитным излучением. В частности, модификация структуры водных растворов и готовых строительных изделий может быть выполнена путем воздействия магнитного и сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (СВЧ ЭМИ). При этом отмечается улучшение их физико-механических свойств [1–5].

Так, отмечается увеличение количества центров кристаллизации при структурообразовании составов в технической воде (а также в затворенной растворной смеси), прошедшей через воздействие направленного магнитного поля [1]. Процессы растворения и гидратации цемента в более ранние сроки интенсифицируются магнитным воздействием, что приводит к образованию мелкокристаллических структур и, следовательно, к уменьшению пористости, увеличению плотности, прочности, морозостойкости и долговечности в целом [2]. Затворение бетона магнитоактивированной водой обеспечивает повышение степени гидратации клинкерных минералов и большую однородность структуры получаемого бетона [3]. Воздействие магнитного поля проявляется в уменьшении размеров кристаллов новообразований в твердеющем цементе при увеличении их количества [4], что также должно привести к уплотнению структуры бетона и повышению прочности. Эффективный объемный прогрев образцов при воздействии СВЧ-устройств может привести к интенсификации процессов структурообразования [5]. Однако в процессе модификации необходимо соблюдать безопасные режимы облучения бетонов и цементно-песчаных растворов, потому как мощные импульсы СВЧ-излучения способны разрушать структуру цементной матрицы [6].

Также известно, что клинкерные минералы реагируют с водой с неодинаковой скоростью, при этом образуются продукты гидратации разного состава и различной степени закристаллизованности [7–12]. Получаемые системы различным образом влияют на свойства цементного



камня, особенно этот факт наблюдается при воздействии на систему излучениями различной природы.

С целью прослеживания изменений свойств цементно-песчаных растворов (ЦПР) после воздействия СВЧ ЭМИ были проведены их физико-механические испытания и проанализированы результаты в сравнении с необлученными. При этом исследования проведены на двух образцах низкомарочных ЦПР из сухих смесей (марка по прочности в возрасте 28 суток не более М150) и двух образцах ЦПР, используемых для ремонта бетонных и железобетонных конструкций (марка по прочности в возрасте 28 суток более М300–М400) – для наглядности получаемых результатов. Составы четырех отечественных производителей были выбраны случайным образом, полученные характеристики в том числе сравнивались с показателями, регламентированными производителями в возрасте 28 суток.

Экспериментальная установка по исследованию взаимодействия цементно-песчаных растворов с СВЧ ЭМИ состояла из СВЧ-генератора с изменяемой выходной мощностью до 1 кВт с частотой излучения 2,45 ГГц, излучающей системы, рабочей камеры, согласующей нагрузки, а также аппаратуры для измерения влажности и температуры образцов. Изменяя массу образца, время облучения и мощность излучения можно было изменять удельную дозу поглощенного излучения. Время облучения изменялось на различных образцах от 30 секунд до 2 минут. Для данных условий оптимальным был выбран режим с длительностью воздействия 1 минута, минимальной мощностью 60 Вт.

Облучение образцов проведено в возрасте 0 (сразу после замешивания), 1, 2, 3 и 4 суток после затворения сухой смеси водой. Определение отдельных характерных физико-механических показателей проведено согласно [13-15]: определялись прочность на сжатие и растяжение при изгибе, а также водопоглощение при капиллярном подсосе. Исследования структуры в возрасте образцов 7 суток проводились на растровом электронном микроскопе «JSM 6610 LV» с энергодисперсионным спектрометром «OxfordIncaEnergy».

Результаты испытаний приведены на рис. 1–6. Для удобства восприятия на графиках штрихпунктирной линией отмечены границы показателей необлученных составов в возрасте 28 суток. Кроме того, не все полученные характеристики соответствуют показателям, регламентированным производителями в возрасте 28 суток.





РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

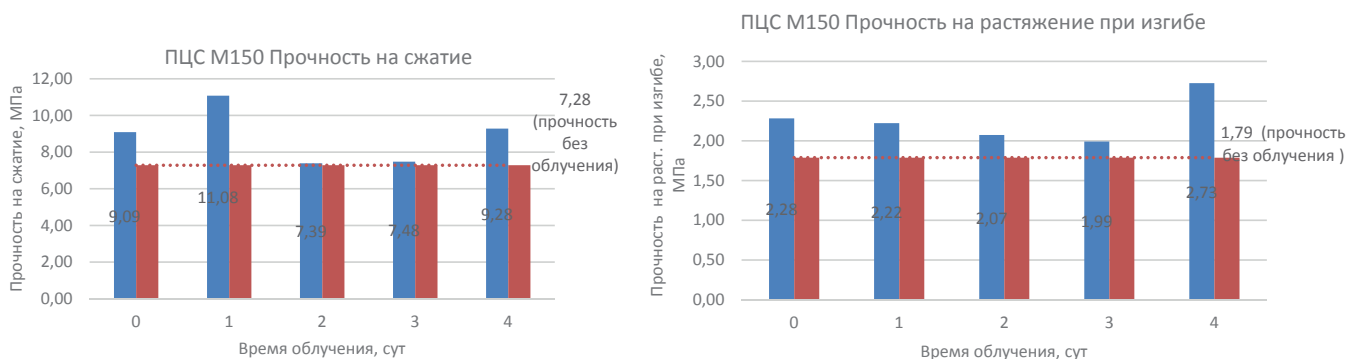


Рис. 1. Результаты определения прочности на сжатие и растяжение при изгибе образцов ПЦС М150

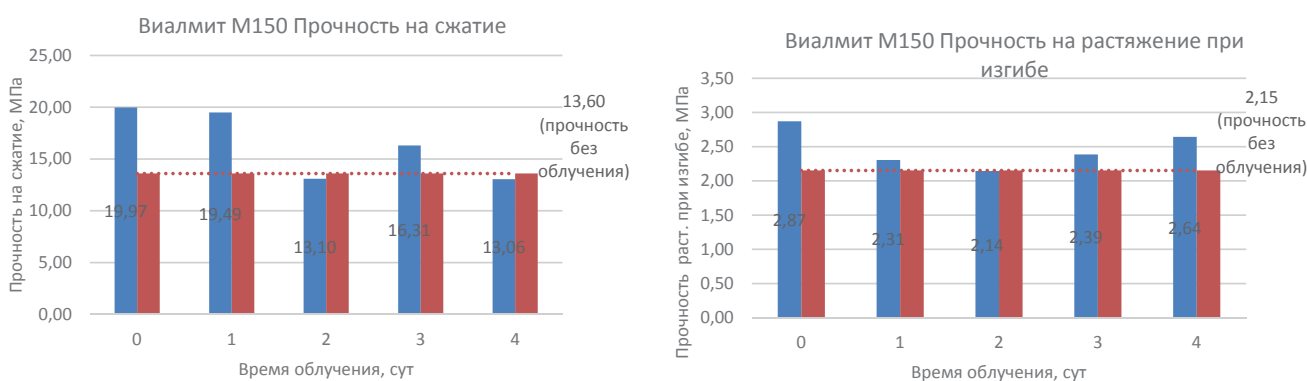


Рис. 2. Результаты определения прочности на сжатие и растяжение при изгибе образцов Виалмит М150

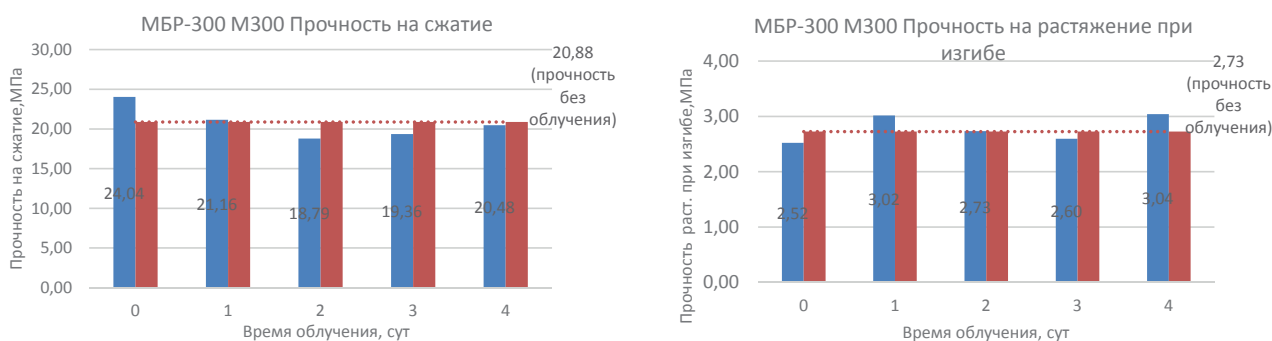


Рис. 3. Результаты определения прочности на сжатие и растяжение при изгибе образцов МБР-300 М300



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

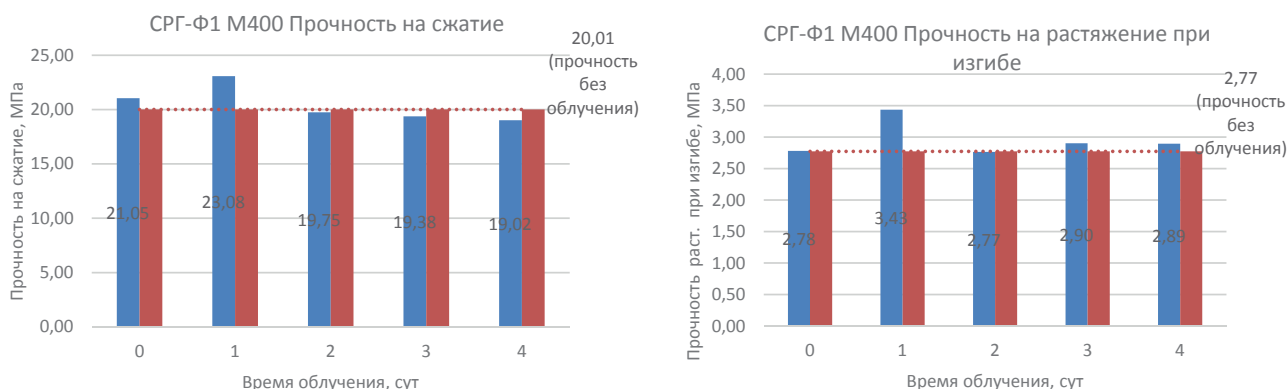


Рис. 4. Результаты определения прочности на сжатие и растяжение при изгибе образцов SRG-F1 M400

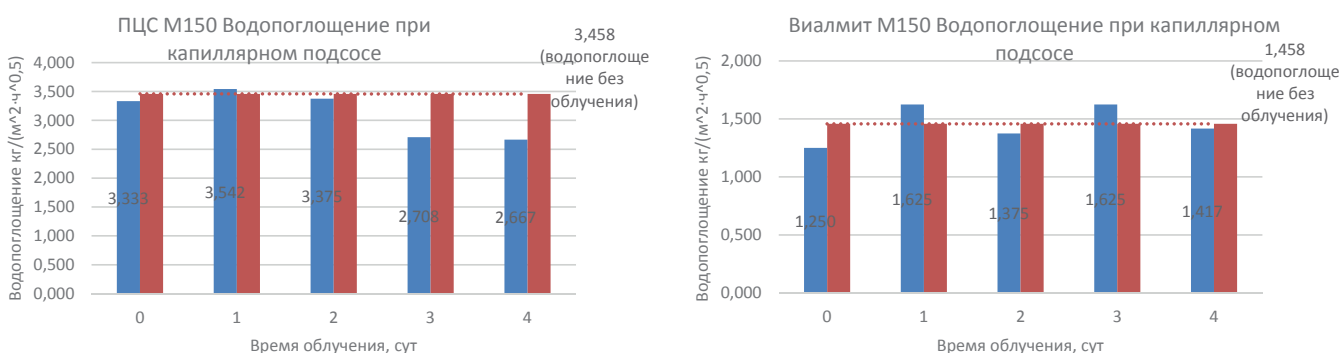


Рис. 5. Результаты определения водопоглощения при капиллярном подсосе образцов ПЦС М150 и Виалмит М150

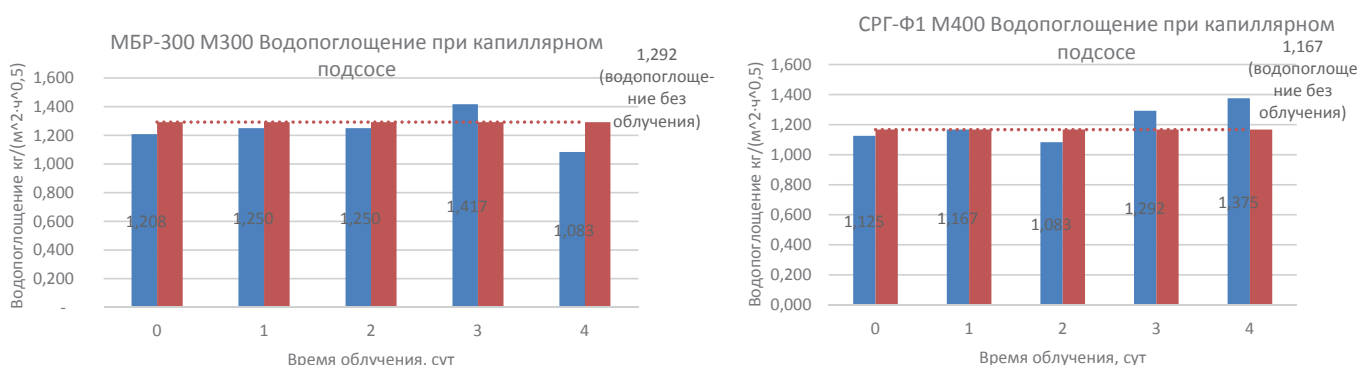
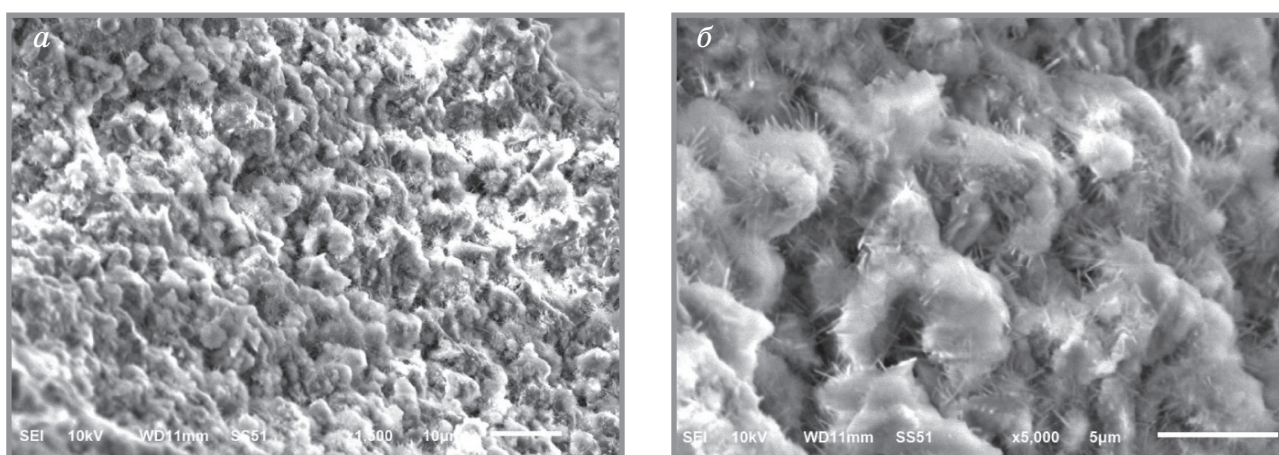


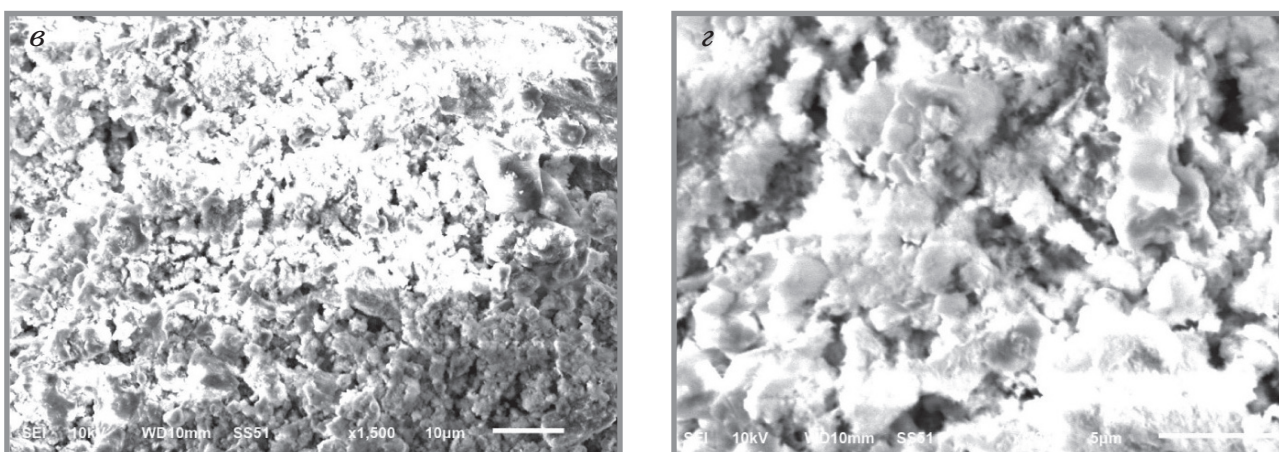
Рис. 6. Результаты определения водопоглощения при капиллярном подсосе образцов МБР-300 М300 и SRG-F1 M400



Электронно-микроскопические снимки структуры образцов ЦПР без воздействия и после воздействия СВЧ ЭМИ представлены на рис. 7, 8 и, в целом, подтверждают результаты физико-механических испытаний. Так, в возрасте 7 суток (после 4 суток с момента облучения) наблюдаются явные отличия в структуре образцов (более плотная и правильная упаковка кристаллической структуры – у образца после воздействия СВЧ ЭМИ). Помимо этого, при исследовании структуры на изломах образцов в нескольких сечениях визуально наблюдается снижение пори-



**Рис. 7. Электронно-микроскопические снимки структуры образцов ЦПР без воздействия:** а) увеличение  $\times 5000$ , масштаб отрезка 5 мкм, б) увеличение  $\times 1500$ , масштаб отрезка 10 мкм



**Рис. 8. Электронно-микроскопические снимки структуры образцов ЦПР после воздействия СВЧ ЭМИ в течение 2 мин:** в) увеличение  $\times 5000$ , масштаб отрезка 5 мкм, г) увеличение  $\times 1500$ , масштаб отрезка 10 мкм



стости (что подтверждается результатами определения водопоглощения при капиллярном подсосе).

По результатам проведенных физико-механических испытаний облученных образцов и сравнения данных с необлученными СВЧ ЭМИ образцами ЦПР можно сделать вывод, что максимально эффективным временем облучения являются, в основном, 2 суток после замешивания как низко-, так и высокомарочных составов. При этом отмечено увеличение основных физико-механических показателей в сравнении с необлученными образцами:

– прочности на сжатие – до 32–35% (у низкомарочных составов) и до 12–14% (у высокомарочных);

– прочности на растяжение при изгибе – до 22–25% (у низкомарочных составов) и до 11–20% (у высокомарочных);

а также снижение водопоглощения при капиллярном подсосе – до 4–15% (у низкомарочных составов) и до 4–7% (у высокомарочных).

Следовательно, в облученных составах процесс гидратации проходит более интенсивно, что приводит к ускоренному набору прочности в ранние сроки, а также увеличению прочности и плотности в возрасте 28 суток по сравнению с контрольными образцами, что подтверждается также работой [16] и материалами трудов [17–20].

---

#### *Библиографический список:*

1. *Баталин Б.С.* Влияние магнитной обработки бетонной смеси на процессы структурообразования в твердеющем бетоне: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – М.: РГБ, 2002.
2. Активация воды для цементных композитов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.maxmir-energy.ru/catalog-2.html](http://www.maxmir-energy.ru/catalog-2.html).
3. *Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е. и др.* Процессы структурообразования в мелкозернистом бетоне на механомагнитоактивированном водном растворе Na-КМЦ // *Academia. Архитектура и строительство.* – 2013. – № 2. С. 106–111.
4. *Классен В.И.* Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 240 с.
5. *Назаров И.В., Потапова Т.А., Рыжкин С.В.* Моделирование процесса термообработки пенобетона // *Труды XI межвузовской научной школы молодых специалистов «Концентрированные потоки энергии в космической технике, электронике, экологии и медицине».* – 2009. – С. 45–48.





6. *Аржанников А.В. и др.* О возможности разрушения поверхности бетона мощными импульсами СВЧ-излучения // Прикладная механика и техническая физика. – 2000. – Т. 41, № 3. – С. 26–33.
7. *Макаров Е.М.* Механизм структурообразования цементного камня в полимерсодержащих вяжущих композициях на основе алюминатных и сульфоалюминатных цементов: Автореф. дисс.канд. техн. наук. – М.: РГБ, 2017.
8. *Кузнецова Т.В.* Микроскопия материалов цементного производства. – М.: МИКХиС, 2007. – 304 с.
9. *Самченко С.В.* Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов. – М.: Федер. агентство по образованию, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Издат. Центр, 2005. – 154 с.
10. *Самченко С.В.* Формирование и генезис структуры цементного камня // Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ. – М.: МГСУ, 2016. – 284 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49874>.
11. *Ларионова З.М.* Формирование структуры цементного камня и бетона. – М.: Стройиздат, 1971. – 112 с.
12. *Лотов В.А.* Движущая сила процессов гидратации и твердения [электронный ресурс] // Сборник докладов 3-го (XI) Международного совещания по химии и технологии цемента. – СПб.: АлитИнформ, 2009. – С. 137–141.
13. ГОСТ 31356-2007. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 19 с.
14. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 17 с.
15. ГОСТ 10180-90. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 34 с.
16. *Авренюк А.Н. и др.* Исследование структуры цементно-песчаных растворов при воздействии сверхвысокочастотного электромагнитного излучения // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Т. 9, № 5. – С. 53–66.
17. *Abutalipova E.M., Bugai D.E., Avrenyuk A.N., Streltsov O.B., Sungatullin I.R.* Investigation of the Effect of Microwave-Radiation Energy Flux on the Structure and Properties of Polymeric Insulating Materials. Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Т. 52. № 3–4. P. 212–216.
18. *Авренюк А.Н.* Исследование свойств составов для ремонта бетона и железобетона // Нефтегазовое дело. – 2013. – № 2. – С. 162–167.
19. *Авренюк А.Н., Потешкин П.В., Сабиров Р.А. и др.* Экологическая безопасность и экономическая эффективность применения специальных составов для ремонта железобетонных конструкций сооружений нефтехимических предприятий // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 3. – С. 124–129.
20. Mathematical modeling of heating kinetics in polymeric coating pipeline metal system at microwave processing / *Abutalipova E.M., Aleksandrov A.A., Lisin Yu. V., Pavlova I.V., Shulaev N.S.* // Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences. 2017. (2), P. 118–128.





**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

**При использовании материала данной статьи  
ПРОСИМ ДЕЛАТЬ БИБЛИОГРАФИЧЕСКУЮ ССЫЛКУ НА НЕЁ:**

*Авренюк А.Н., Русяев Е.В., Вилинчук В.Л., Абуталипова Е.М., Мугаллимов Ф.М.*  
Исследование физико-механических свойств цементно-песчаных растворов при воздействии сверхвысокочастотного электромагнитного излучения // Нанотехнологии в строительстве. – 2018. – Том 10, № 6. – С. 63–76. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76.

**DEAR COLLEAGUES!**

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

*Avrenyuk A.N., Rusyaev E.V., Vilinchuk V.L., Abutalipova E. M., Mugallimov F.M.*  
Research of the physicommechanical properties cement-sand solutions exposed to the super-frequency of electromagnetic radiation. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2018, Vol. 10, no. 6, pp. 63–76. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2018-10-6-63-76. (In Russian).

