

UDC 691.535

**Author: AVRENYUK Andrey Nikolaevich**, Ph.D. in Engineering, 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: TIMERGALEEVA Diana Rafailovna**, Graduate student of the Department «Technological machines and equipment», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, Timergaleeva\_dia@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 «Technological machines and equipment», Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov st. 1, Ufa, Russia, 450062, Elenaabutalipova.ea@gmail.com

---

## RESEARCH OF THE STRUCTURE OF CEMENT-SAND SOLUTIONS EXPOSED TO THE SUPERHIGH-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC RADIATION

---

### EXTENDED ABSTRACT:

The durability of building materials can be enhanced by affecting the structure with different types of radiation.

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

The work studied the characteristics of structural changes in cement-sand mortars (CMR) from dry mixtures under the influence of microwave radiation (UHF EMP). The structure of the samples has been investigated with the scanning electron microscope with an energy-dispersive spectrometer, the composition of the samples has been determined by means of X-ray diffractometer.



The result of the studies shows a greater dissolution percentage of clinker minerals with respect to unirradiated samples. It has been determined that in irradiated samples the hydration process runs more intensively, that might lead to accelerated strengthening in early periods, as well as to increase in strength at the age of 28 days compared to the control samples.

**Key words:** building materials, structure, microwave radiation, durability, strength.

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)

#### 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 structure of cement-sand solutions exposed to the superhigh- frequency electromagnetic radiation</span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="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" property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">A vrenyuk A.N., Timergaleeva D.R., Rusyaev E.V., Vilinchuk V.L., Abutalipova E.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-5-2017/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-5-2017/</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 magnitnoj 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. *Makarov E.M.* Mehanizm strukturoobrazovaniya cementnogo kamnja v polimersoderzhashhikh vjzhashhikh 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).
7. *Kuznetsova T.V.* Mikroskopija materialov cementnogo proizvodstva [Microscopy of cement production materials]. Moscow, MIKHiS, 2007. 304 p. (In Russian).
8. *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 Univesity of Chemical Technology Of Russia, Publishing Center, 2005. 154 p. (In Russian).
9. *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).
10. *Larionova Z.M.* Formirovanie struktury cementnogo kamnja i betona [Formation of the structure of cement stone and concrete]. Moscow, Stroiizdat, 1971. 112 p. (In Russian).
11. *Lotov V.A.* Dvizhushhaja sila processov gidratatsii i tverdenija [The driving force of hydration and hardening processes] [electronic resource]. Collected papers of the 3<sup>rd</sup> (XI) International Meeting on Cement Chemistry and Technology. St. Petersburg: AlitInform, 2009. P. 137–141. (CD-ROM). (In Russian).
12. *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. T. 52. № 3–4. C. 212–216.
13. *Abutalipova E.M., Popova E.V., Avrenyuk A.N., Khakimov T.A., Smolnikov S.V.* Integrated information systems in the management of the chemical and petro-



- chemical industries. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2016. T. 51. № 11–12. C. 844–847.
14. *Panov A.K., Bikbulatov I.K., Abakacheva E.M.* Ustrojstvo val'cov dlja izgotovlenija polimernyh rifljonnyh listov [The device of rollers for manufacturing polymeric corrugated sheets]. Patent for the invention RUS 2250165 26.06.2000. (In Russian).
  15. *Abakacheva E.M., Ivanov S.P., Boev E.V., Afanassenko V.G., Ilchinbaev T.D.* Termoplasticheskiye kompozicionnyye materialy s nepreryvnymi voloknami [Thermoplastic composite materials with continuous fibers]. *Plasticheskie massy* [Plastic masses]. 2010. № 6. P. 2–5. (In Russian).
  16. *Aminova G.K., Maskova A.R., Slepnev A.E., Abakacheva E.M., Mazitova A.K.* Sintez i nekotorye svoystva dijetoksioktilftalatov [Synthesis and some properties of diethoxyoctylphthalates]. *Bashkir Chemical Journal*. 2009. Vol. 16. № 3. P. 143–145. (In Russian).
  17. 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), pp. 118–128.

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

*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).



УДК 691.535

**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: ТИМЕРГАЛЕЕВА Диана Рафаиловна**, магистрант каф. «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, Timergaleeva\_dia@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. «Технологические машины и оборудование» ФГБОУ ВО «УГНТУ»; ул. Космонавтов 1, г. Уфа, Россия, 450062, Elenaabutalipova.ea@gmail.com

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫХ РАСТВОРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

---

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

Долговечность строительных материалов может быть повышена в процессе воздействия на структуру различными видами излучения.

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 исследования особенностей изменения структуры цементно-песчаных растворов (ЦПР) из сухих смесей при воздействии сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (СВЧ ЭМИ). Исследования структуры образцов проведены на растровом электронном микроскопе с энергодисперсионным спектрометром, состав образцов определялся с помощью рентгеновского дифрактометра.



**В результате исследований отмечен большой процент растворения клинкерных минералов по отношению к необлученным образцам. Определено, что в облученных образцах процесс гидратации проходит более интенсивно, что может привести к ускоренному набору прочности в ранние сроки, а также увеличению прочности в возрасте 28 суток по сравнению с контрольными образцами.**

**Ключевые слова:** строительные материалы, структура, сверхвысококачественное электромагнитное излучение, долговечность, прочность.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66](https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66)

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

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Исследование структуры цементно-песчаных растворов при воз- действии сверхвысококачественного электромагнитного излучения </span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 5. – С. 53–66. – DOI: dx.doi. org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Авренюк А.Н., Тимергалеева Д.Р., Русяев Е.В., Вилинчук В.Л., Абуталипова Е.М. </a>, публикуется на условиях <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная</a>.<br />Основано на произведении с <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-5-2017/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-5-2017/</a>.<br />Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="And-mail@mail.ru" rel="cc:morePermissions">And-mail@mail.ru</a>.
```

**У**лучшение физико-механических свойств строительных материалов является актуальной проблемой, решение которой позволяет существенно повысить их долговечность. В последние годы опубликован ряд работ, в которых приводятся результаты успешного воздействия магнитного и сверхвысококачественного электромагнитного излучения (СВЧ ЭМИ) с целью модификации структуры и физико-механических свойств водных растворов и готовых строительных изделий [1–5]. Так, в технической воде (а также в затворенной растворной смеси), прошедшей через воздействие направленного магнитного поля, отмечается увеличение количества центров кристаллизации при структу-





рообразовании составов [1]. Магнитное воздействие интенсифицирует процессы растворения и гидратации цемента в более ранние сроки, 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. Отмечен факт эффективного объемного прогрева образцов при воздействии СВЧ-устройств [5] и, следовательно, интенсификации процессов структурообразования.

Общеизвестно, что структура цементного камня формируется при гидратации различных видов вяжущих и, в целом, определяет все его основные свойства. Это происходит вследствие химических реакций гидролиза и гидратации клинкерных минералов. Реакция последних с водой протекает с неодинаковой скоростью, при этом образуются продукты гидратации разного состава и различной степени закристаллизованности, которые, в свою очередь, по-разному влияют на свойства цементного камня [6–11], особенно этот факт наблюдается при воздействии на систему излучениями различной природы.

С целью исследований особенностей изменения структуры после воздействия СВЧ ЭМИ были выбраны низкомарочные цементно-песчаные растворы (ЦПР) из сухих смесей (марка по прочности в возрасте 28 суток не более М150 с целью получения более наглядных результатов). 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 и аппаратуры для измерения мощности и температуры образца. 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. Облучение образцов проведено в возрасте 3 суток после затворения сухой смеси водой. Исследования структуры в возрасте образцов 7 суток проводились на растровом электронном микроскопе «JSM 6610 LV» с энерго-



дисперсионным спектрометром «Oxford Inca Energy». Состав образцов определялся с помощью рентгеновского дифрактометра «D2 Phaser».

В процессе исследований отмечено, что в первое время после затворения при воздействии СВЧ ЭМИ интенсифицируются процессы структурообразования в твердеющем тесте и приводят к прогрессирующей потере им подвижности и приобретению прочности, т.е. интенсифицируют явление конца схватывания. При этом в течение первых суток твердения наблюдается явное изменение цвета: через несколько дней после воздействия СВЧ ЭМИ образец уже имеет более яркий светло-коричневый цвет, в отличие от темного-серого стандартного (рис. 1, 2), что говорит о явной интенсификации процессов структурообразования. По-видимому, в данном процессе происходит более интенсивная коагуляция геля, наблюдается рост хорошо оформленных мелких игольчатых кристаллов (преимущественно гидроксида и гидросульфоалюминатов кальция). Межзерновое пространство активнее заполняется частицами гидратов, и пластичное тесто начинает терять подвижность.

Электронно-микроскопические снимки структуры образцов ЦПР без воздействия и после воздействия СВЧ ЭМИ представлены на рис. 3 и 4. При этом уже 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



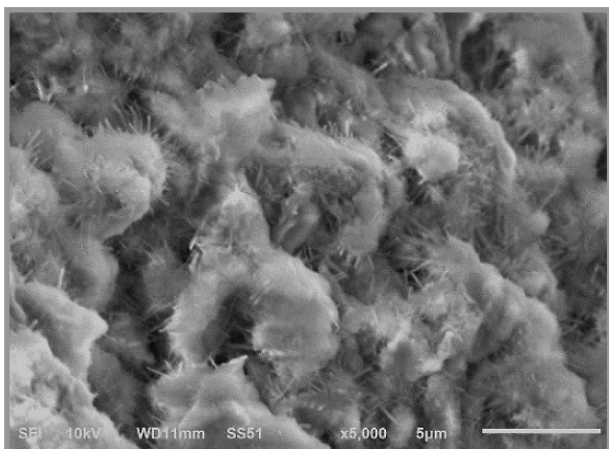
*Рис. 1. Образцы-кубы ЦПР*  
(слева – без воздействия, справа –  
после воздействия СВЧ ЭМИ  
в течение 2 мин.)



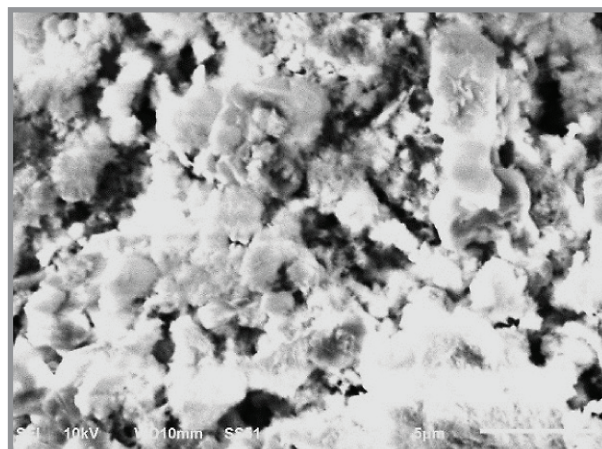
*Рис. 2. Образцы-цилиндры ЦПР*  
(слева – без воздействия, справа –  
после воздействия СВЧ ЭМИ  
в течение 2 мин.)



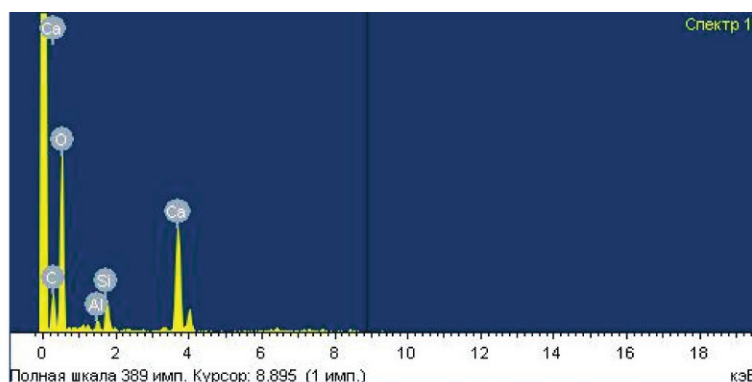
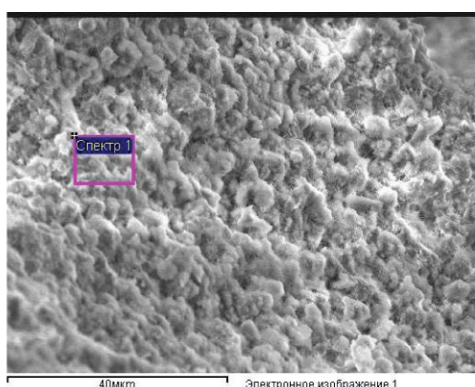




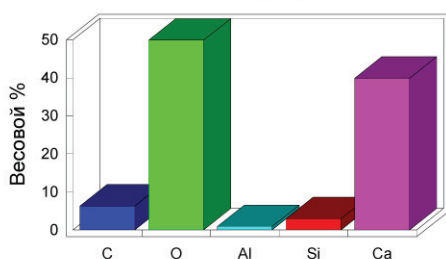
**Рис. 3. Электронно-микроскопический снимок структуры образца ЦПР без воздействия (увеличение  $\times 5000$ , масштаб отрезка 5 мкм)**



**Рис. 4. Электронно-микроскопический снимок структуры образца ЦПР после воздействия СВЧ ЭМИ в течение 2 мин. (увеличение  $\times 5000$ , масштаб отрезка 5 мкм)**



Количественные результаты



Элемент	Весовой, %	Атомный, %	Формула	Соед., %
C	7.19	13.14	CO <sub>2</sub>	26.36
Al	1.05	0.85	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.99
Si	3.53	2.76	SiO <sub>2</sub>	7.56
Ca	45.81	25.08	CaO	64.09
O	42.41	58.17		
<b>Итого</b>	<b>100.00</b>			

**Рис. 5. Результаты микрорентгенспектрального анализа поверхности образца ЦПР без воздействия**

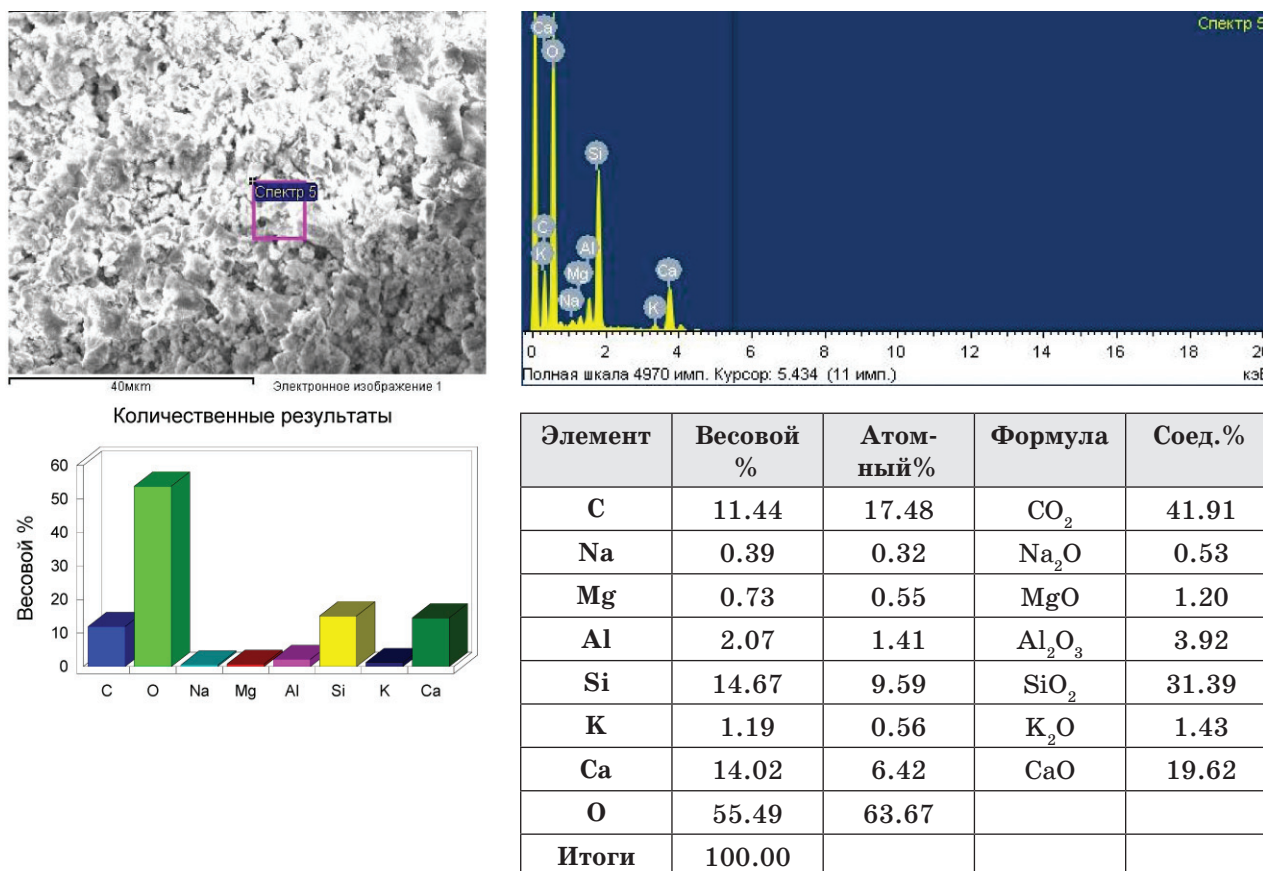


Рис. 6. Результаты микрорентгеноспектрального анализа поверхности образца ЦПР после воздействия СВЧ ЭМИ в течение 2 мин.

воздействия СВЧ ЭМИ). Помимо этого, при исследовании структуры на изломах образцов в нескольких сечениях визуально наблюдается снижение пористости.

В процессе исследований отмечено, что при воздействии СВЧ ЭМИ происходит внутренний фазовый нагрев, и весь объем связующего вещества в виде гидросиликатного геля, по-видимому, активно цементирует негидратированные остатки зерен клинкера и крупные кристаллогидраты гидроксида кальция, этtringита и гидроалюмоферритов кальция. В сравнении с традиционным процессом твердения это приводит к увеличению числа коагуляционных и кристаллизационных контактов, более активному прорастанию кристаллами межзернового пространства. Образец ЦПР после СВЧ ЭМИ воздействия имеет при этом больший процент растворения клинкерных минералов (рис. 7 и 8).

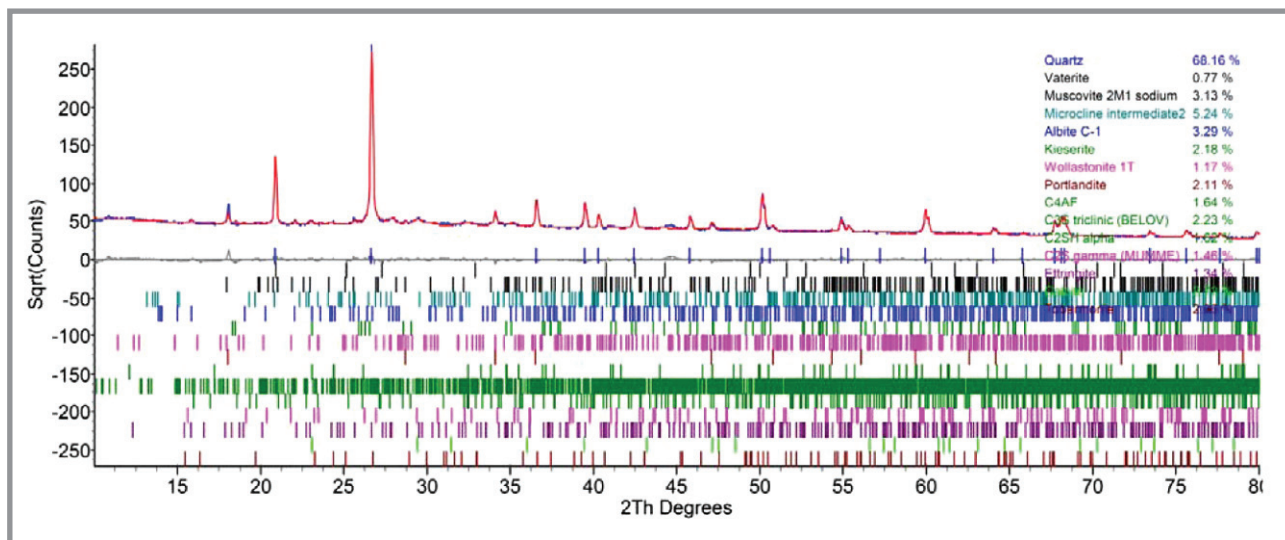


Рис. 7. Дифрактограмма образца ЦПР без воздействия

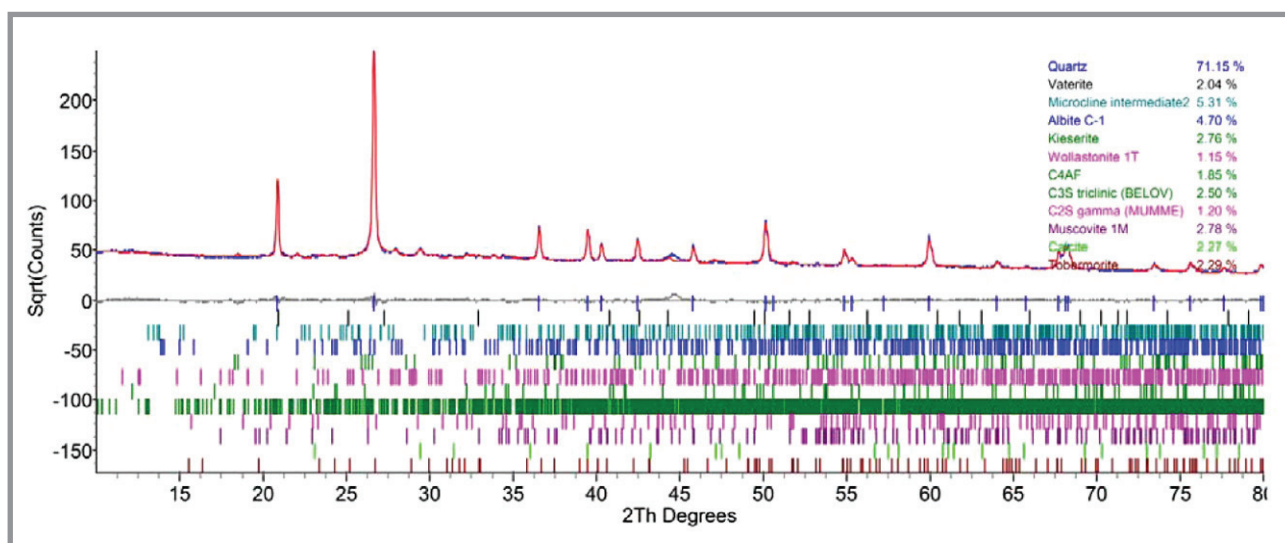


Рис. 8. Дифрактограмма образца ЦПР после воздействия СВЧ ЭМИ в течение 2 мин.

После воздействия СВЧ ЭМИ отмечено увеличение в образцах гидросиликатов кальция, гидроксидов железа, магния и кальция, которые создают дополнительные центры кристаллизации при переходе растворов цемента в фазу образования гелиевых структур и твердой фазы с более развитой мелкокристаллической структурой. При этом наблюдается большой процент растворения клинкерных минералов по





отношению к необлученным образцам, большее содержание портландита и практически полное отсутствие этtringита в облученном образце (рис. 7 и 8). В этой связи в случае воздействия СВЧ ЭМИ наблюдается совпадение с позицией авторов [3], когда происходит образование большего числа мелких кристаллов портландита, размер которых приблизительно одинаков в отличие от контрольного образца, где данные кристаллы имеют гораздо больший разброс линейных размеров. При этом, по данным рис. 5 и 6, содержание кальцита как вещества с хорошо закристаллизованной структурой больше, как и содержания низкоосновных гидросиликатов кальция (в т.ч. тоберморита). Следовательно в облученном образце процесс гидратации проходит более интенсивно, что может привести к ускоренному набору прочности в ранние сроки, а также увеличению прочности в возрасте 28 суток по сравнению с контрольными образцами.

---

### *Библиографический список:*

1. *Баталин Б.С.* Влияние магнитной обработки бетонной смеси на процессы структурообразования в твердеющем бетоне. – 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»*, 22–23 ноября 2009 г. – С. 45–48.
6. *Макаров Е.М.* Механизм структурообразования цементного камня в полимерсодержащих вяжущих композициях на основе алюминатных и сульфоалюминатных цементов. – М.: РГБ, 2017.
7. *Кузнецова Т.В.* Микроскопия материалов цементного производства. – М.: МИКХиС, 2007. – 304 с.



8. 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.
9. Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня. – М.: МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. – 284 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49874>.
10. Ларионова З.М. Формирование структуры цементного камня и бетона. – М.: Стройиздат, 1971. – 112 с.
11. 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. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
12. 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. С. 212–216.
13. Abutalipova E.M., Popova E.V., Avrenyuk A.N., Khakimov T.A., Smolnikov S.V. Integrated information systems in the management of the chemical and petrochemical industries. Chemical and Petroleum Engineering. 2016. Т. 51. № 11–12. С. 844–847.
14. Панов А.К., Бикбулатов И.Х., Абакачева Е.М. Устройство вальцов для изготовления полимерных рифлёных листов // Патент на изобретение RUS 2250165. 26.06.2000.
15. Абакачева Е.М., Иванов С.П., Боев Е.В., Афанасенко В.Г., Ильчинбаев Т.Д. Термопластичные композиционные материалы с непрерывными волокнами // Пластические массы. – 2010. – № 6. – С. 2–5.
16. Аминова Г.К., Маскова А.Р., Слепнев А.Е., Абакачева Е.М., Мазитова А.К. Синтез и некоторые свойства диэтоксокилфталатов // Башкирский химический журнал. – 2009. – Т. 16, № 3. – С. 143–145.
17. 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), pp. 118–128.





**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

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

*Авренюк А.Н., Тимергалева Д.Р., Русяев Е.В., Вилинчук В.Л., Абуталипова Е.М.* Исследование структуры цементно-песчаных растворов при воздействии сверхвысокочастотного электромагнитного излучения // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 5. – С. 53–66. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66](https://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66).

**DEAR COLLEAGUES!**

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

*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://dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-5-53-66). (In Russian).

