

UDC 666.974; 661.666.4

BELOUSOVA Elena Sergeevna, Post-graduate student of the Department of «Information Security» Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus; L.Bedy, 2b, hostel № 3, room 135b, Minsk, Belarus, 220040, elena1belousova@gmail.com;

LYNKOV Leonid Mihailovich, Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department «Information Security» Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus; Independence Avenue, 157–197, Minsk, Belarus, 220114, leonid@bsuir.by;

Abdolsalam Meftah MOHAMED Abulgasim, Post-graduate student of the Department of «Information Security» Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus; Parnikovaja st., 11–77, Minsk, Belarus, 220114, a.slam78@yahoo.com

THE CARBONACEOUS CONCRETE BASED ON SAWDUST

Today there are many requirements for strength, ecology and economy of produced concretes. The authors of the paper study attenuation of electromagnetic radiation of carbonaceous powders in the concrete composition. Carbon black was selected as a carbon powder for addition in concrete composition. Carbon black is a nanomaterial with disoriented structure of particles (average size is about 50 nm). The composition of the carbon black contains at least 90 wt.% amorphous carbon, more than 5 wt. % chemisorbed oxygen and about 4 wt.% of impurities. Materials with the addition of carbon black have electrical conductivity due to the high content of carbon. These materials are able to absorb electromagnetic radiation. For cement composition with addition of carbon black (more than 30 wt. %) and water transmission coefficient of electromagnetic radiation is about –10 dB, for cement composition with 20 wt. % of carbon black the reflection coefficient is –8 dB in the frequency range 8–12 GHz. The concretes with a saturated aqueous solution of calcium chloride and 10% of carbon black possess minimal reflection coefficient (–14... –8 dB). Electromagnetic radiation shielding of concrete with the addition of sawdust was investigated. The concrete with sawdust (40 wt. %) impregnated with an aqueous solution with carbon black has the reflection coefficient less than –8 dB and transmission coefficient –40 dB in the frequency range 8–12 GHz. These concretes can be used for creation of a shielded room with the technical equipment for information processing to prevent data leakage through the compromising emanations and crosstalk.

Key words: calcium chloride solution, carbon black, concrete, electromagnetic radiation transmission coefficient, reflection coefficient of electromagnetic radiation, sawdust.

DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59

MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel=»license» href=»http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/»><img alt=»Лицензия Creative Commons»
style=»border-width:0» src=»https://i.creativecommons.org/l/by/4.0/88x31.png» /></a><br />Произведение «<span
xmlns:dct=»http://purl.org/dc/terms/» href=»http://purl.org/dc/dcmitype/Text» property=»dct:title» rel=»dct:type»>The
carbonaceous concrete based on sawdust.</span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc=»http://creativecommons.org/
ns#» href=»http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-3-2015/» property=»cc:attributionName» rel=»cc:attributionURL»>Be
lousova E.S., Lynkou L.M., Abdolsalam Meftah Mohamed A.</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=»DOI: dx.doi.org/10.15828/2075- 8545-
2015-7-3-43-59.» rel=»dct:source»>DOI: dx.doi.org/10.15828/2075- 8545-2015-7-3-43-59.</a>.<br />Разрешения, вы-
ходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc=»http://creativecommons.org/ns#»
href=»elena1belousova@gmail.com» rel=»cc:morePermissions»>elena1belousova@gmail.com</a>.
```

References:

1. Golubkov V.V., Nguen Hyu Van, Potapova E.N., Rakov Je.G. The application of carbon nanomaterials for the concrete modification. Materialy VIII Mezhdunarodnoj konferencii «Uglerod: fundamental'nye problemy nauki, materialovedenie, tehnologija» [Proc. VIII Int. Conf. «Carbon: fundamental problems of science, materials science, technology»]. Troitsk, 2013, pp. 138.
2. Chung D. Carbon materials for structural self-sensing, electromagnetic shielding and thermal interfacing. Carbon, 2012, Vol. 50, no. 9, pp. 3342–3353.
3. Kuleshov G.E., Docenko O.A., Kochetkova O.A. Jelektromagnitnye harakteristiki zashhitnyh pokrytij na osnove poroshkov geksaferritov, uglerodnyh nanostruktur i mul'tiferroikov [The electromagnetic characteristics of protective coatings based on hexaferriite powders, carbon nanostructures and multiferroic]. Polzunovskij vestnik [Reports of Polzunov], 2012, no. 2, pp. 163–167. (In Russian).
4. Raki L., Beaudoin J., Alizadch R. Cement and Concrete Nanoscience and Nanotechnology. Materials, 2010, V. 3, pp. 918–942. (In English).
5. Nasibulina L.I., Mudimela P.R., Nasibulin A.G. Synthesis of carbon nanotubes and nanofibres on the particles of silica and cement. Voprosy materialovedeniia [Problems of Materials Science], 2010, no. 1 (61), pp. 121–125. (In Russian).
6. Nikolajchuk G.A., Ivanov V.P., Jakovlev S.V. Radiopogloshhajushhie materialy na osnove nanostruktur [Radio-absorbing materials based on nanostructures]. Jelektronika: nauka, tehnologija, biznes [Electronics: Science, Technology, Business], 2010, no. 1, pp. 92–95. (In Russian).
7. Belousova E.S., Mahmud M.Sh., Lyn'kov L.M., Nasonova N.V. Radio shielding properties of concrete based on shungit nanomaterials. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2013, Vol. 5, no. 2, pp. 56–67. Available at: http://nanobuild.ru/en_EN/ (Accessed 12 April 2015). (In Russian).
8. Mahmud, M.Sh., Nasonova N.V., Krishtopova E.A., Borbot'ko T.V., Prudnik A.M., Lyn'kov L.M. Shungitsoderzhashhie kompozicionnye jekrany jelektromagnitnogo



- izluchenija [Schungit containing electromagnetic radiation screens]. Minsk, Best-print, 2013, 195 p. (In Russian).
9. *Perfilov V.A., Zubova M.O.* Application soot waste (carbon black) in order to improve the strength characteristics of heavy weight concrete. *Materialy XI Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhashhej sredy»* [Proc. XI Int. Conf. «Indoor air quality and the environment»]. Volgograd, 2013, pp. 118–123.
 10. *Fahratov M.A.* Effective technology for utilization of industrial waste in the production of concrete and reinforced concrete. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2003. no. 12, pp. 48–49. (In Russian).
 11. *Mahmud M.Sh., Belousova E.S., Prudnik A.M., Lyn'kov L.M.* Vlijanie dobavok bishofita na harakteristiki piramidoobraznyh jekranov jelektromagnitno izluchenija dlja sredstv zashhity informacii i jekologicheskoy bezopasnosti [Influence of bischofite additives on the characteristics of pyramid-shaped screens of electromagnetic radiation for information protection and ecology safety]. *Proc. of BSUIR*, 2014, no. 1 (79), pp. 89–92. (In Russian).
 12. *Mahmud M.Sh., Pulko T.A., Prudnik A.M., Lyn'kov L.M.* Carbonaceous finishing materials to protect the premises of special purpose. *Bezopasnost' informacionnyh tehnologij* [Security of information technology], 2012, no. 1, pp. 192–194. (In Russian).
 13. *Boiprav O.V., Mahmoud M.Sh., Neamah M.R.* Vlijanie jekranov s geometricheski neodnorodnoj poverhnost'ju na oslablenie moshhnosti jelektromagnitnyh izluchenij [Influence of screens with geometrically non-uniform surface on capacity easing of electromagnetic radiations]. *Reports of BSUIR*, 2011, no 3, pp. 5–10. (In Russian).
 14. *Surovikin V.F.* Modern trends in the development of methods and technology of nano-dispersed carbon materials. *Rossijskij himicheskij zhurnal* [Russian Chemical Journal], 2007, Vol. LI, no. 4, pp. 92–97. (In Russian).
 15. *Gjul'misarjan T.G., Levenberg I.P.* Proizvodstvo tehničeskogo ugleroda: sostojanie i tendencii [Production of carbon: state and trends]. *Mir nefteproduktov* [Oil World], 2008, no. 7, pp. 6–10. (In Russian).
 16. *Fialkov A.S.* Uglerod, mezhsloevye soedinenija i kompozity na ego osnove [Carbon, interlayer compounds and composites based on it]. Moscow, Aspect-Press, 1997, 718 p. (In Russian).
 17. *Messerle V.E.* Plasma pyrolysis of hydrocarbon gases. *Vestnik KaShU* [Bulletin of KaShU], no. 4 (35), 2010, pp. 45–50.
 18. State Standard 31008–2003. Cements for general construction. Moscow, FGUP CPP, 2004. 21 p. (In Russian).



19. Portlandcement so shlakom CEM II/A-Sh 42.5 N(CEM II/A-S 42.5N) [Portland cement with slag CEM II / A-SH 42.5 N (CEM II / AS 42.5N)] (2009). Available at: <http://www.kcsh.by/ru/production/9/> (accessed 7 April 2015).
20. State Standard 7885–86. Technical carbon for production of rubber. Technical conditions. Moscow, Standartinform Publ., 2002, 37 p. (In Russian).
21. Uskoriteli shvatyvanija i tverdenija v tehnologii betonov [Accelerators and hardening in concrete technology] (2011). Available at: http://www.concrete-union.ru/articles/additives_for_concrete.php?ELEMENT_ID=5185 (accessed 7 April 2015).
22. *Bogush V.A.* Jelektromagnitnye izluchenija. Metody i sredstva zashhity [Electromagnetic radiation. Methods and protective equipment]. Minsk, Bestprint, 2003, 406 p. (In Russian).
23. *Belousova E.S., Nasonova N.V., Lynkov L.M.* Fire-resistant shielding coating based on shungite-containing paint. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2013, Vol. 5, no. 4, pp. 97–109. Available at: http://nanobuild.ru/en_EN/ (Accessed 7 April 2015). (In Russian).
24. *Panjuzhev E.M.* Prochnost' i deformativnost' opilkobetona na gipse β -modifikacii pri kratkovremennom i dlitel'nom dejstvii nagruzok i ocenka nadjozhnosti konstrukcij na ego osnove [Durability and deformability of concrete with sawdust on the cast β -modification at short and long-acting loads and reliability assessment of structures based on it]. Nizhny Novgorod, 2004, 231 p. (In Russian).
25. *Davaasenge S.S., Burenina O.N., Petukhova E.S.* Modifikacija opilkobetona dlja uluchshenija fiziko-mehanicheskikh svojstv [Sawdust-concrete modification to improve the physical and mechanical properties] Scientific journal of KubGAU, no 101, 2014, pp. 1–10. (In Russian).
26. State Standard 23246–78. Wood chopped. Terms and definitions. Moscow, Standartinform Publ., 1978, 5 p. (In Russian).

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Belousova E.S., Lynkou L.M., Abdolsalam Meftah Mohamed A. The carbonaceous concrete based on sawdust. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 3, pp. 43–59. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59.

Contact information

elena1belousova@gmail.com



УДК 666.974; 661.666.4

БЕЛОУСОВА Елена Сергеевна, аспирант каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь; ул. Беды, 26, общ. № 3, комн. 1356, г. Минск, Республика Беларусь, 220040, elena1belousova@gmail.com;

ЛЫНЬКОВ Леонид Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь; пр. Независимости, д. 157, кв. 197, г. Минск, Республика Беларусь, 220114, leonid@bsuir.by;

Абдульсалам Мефтах МОХАМЕД Абульгасим, аспирант каф. «Защита информации» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь; ул. Парникова, д. 11, кв. 77, г. Минск, Республика Беларусь, 220114, a.slam78@yahoo.com

УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

На настоящий момент к производимым бетонам предъявляются требования по прочности, экологии и экономии. В данной работе исследованы влияния добавок углеродосодержащего порошка в составе бетона на его свойства ослабления электромагнитного излучения. В качестве углеродного порошка был выбран технический углерод, который представляет собой наноматериал с разориентированным строением частиц со средним размером около 50 нм. В состав технического углерода входит не менее 90 масс.% аморфного углерода, до 5 масс.% хемосорбированного кислорода и около 4 масс.% примесей, за счет большого содержания углерода материалы с добавлением технического углерода обладают электропроводностью, а следовательно, способны поглощать электромагнитное излучение. При добавлении в состав цемента на водной основе технического углерода более 30 масс.% коэффициент передачи электромагнитного излучения составляет –10 дБ, при добавлении 20 масс.% технического углерода коэффициент отражения составляет –8 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц. Минимальным коэффициентом отражения (–8...–14 дБ) обладают бетоны на основе насыщенного водного раствора хлорида кальция с добавлением 10% технического углерода. Исследованы экранирующие электромагнитное излучение бетоны с добавлением измельченных древесных опилок. При добавлении в состав бетона 40 масс.% древесных опилок, пропитанных водным раствором с техническим углеродом, коэффициент отражения составляет менее –8 дБ при коэффициенте передачи менее –40 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц. Данные бетоны могут применяться при создании экранированных помещений, в которых эксплуатируются технические средства обработки информации для защиты от утечки данных через побочные электромагнитные излучения и наводки.

Ключевые слова: бетон, древесные опилки, коэффициент отражения электромагнитного излучения, коэффициент передачи электромагнитного излучения, раствор хлорида кальция, технический углерод, экранирующие электромагнитное излучение характеристики.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59)

В связи с ростом объема строительного производства и ужесточением требований к материалам и срокам строительства все более актуальными становятся вопросы повышения характеристик строительных материалов на основе бетона.

Использование материалов на основе цементных смесей с добавками углеродсодержащих порошков для экранирования электромагнитного излучения имеет на сегодняшний день большое распространение. Применение углеродных материалов для модифицирования бетона производится с целью повышения его прочности при растяжении и изгибе, увеличения трещиностойкости, придания ему электропроводности и способности поглощать электромагнитное излучение.

В литературе представлены исследования влияния добавок графита [1, 2, 3], углеродных нанотрубок [4, 5, 6], шунгита [7, 8], технического углерода [9, 10] в составе бетонов.

В работах [7, 11] разработаны варианты экранирующих строительных материалов на основе портландцемента с добавлением порошкообразного шунгита. Шунгитобетонные строительные плитки толщиной до 3 мм и весом 0,5 кг/м² на основе портландцементов с введением в воду, используемую для приготовления бетонного раствора, хлорида кальция, ослабляют электромагнитное излучение от 4,0 дБ до 9,0 дБ, при этом коэффициент отражения при размещении металлического отражателя составляет –9,0 дБ в диапазоне частот 10,0–18,0 ГГц. В диапазоне 0,5–8,0 ГГц плоские строительные плитки характеризуются невысокой отражательной способностью (–2,0 дБ).

В [12, 13] представлены исследования модулей экранов электромагнитного излучения, основанных на нанесении шунгитосодержащей цементной смеси на пирамидообразные поверхности. Коэффициент отражения таких экранов электромагнитного излучения, измеренный в режиме короткого замыкания и согласованной нагрузки, составляет –5...–12 дБ в диапазоне частот 2–18 ГГц, при этом такие модули характеризуются высокими массогабаритными показателями.



Целью данной работы являлось исследование экранирующих электромагнитное излучение характеристик бетонов с добавлением технического углерода.

Технический углерод – наноматериал, имеющий турбостратное (разориентированное) строение частиц (см. рис. 1), широкий интервал размеров первичных частиц и их агрегатов, разнообразие форм распределения частиц, способность формировать вторичную пространственную структуру [14, 15, 16].

Технический углерод применяется в качестве усиливающего компонента в производстве резин и других пластических масс; в качестве чёрного пигмента, замедлителя «старения» пластмасс; компонента, придающего специальные свойства (увеличение электропроводности, способность поглощать ультрафиолетовое излучение и излучение радаров). Технический углерод – это высокодисперсный продукт термического или термоокислительного разложения углеводородов, содержащихся в природных и промышленных газах, нефтяных и каменноугольных маслах. Плотность сажи – $1,76\text{--}1,95\text{ г/см}^3$. Она состоит, главным образом, из углерода (не менее 90%), содержит до 5% хемосорбированного O_2 , до 0,8% H_2 , до 1,1% S и до 0,45% минеральных примесей. Средний размер частиц сажи составляет около 50 нм [17].

В данной работе изготавливали образцы размером 9х6 см, толщиной 3 мм, из портландцемента марки ПЦ 500 Д20 (с добавкой гранули-

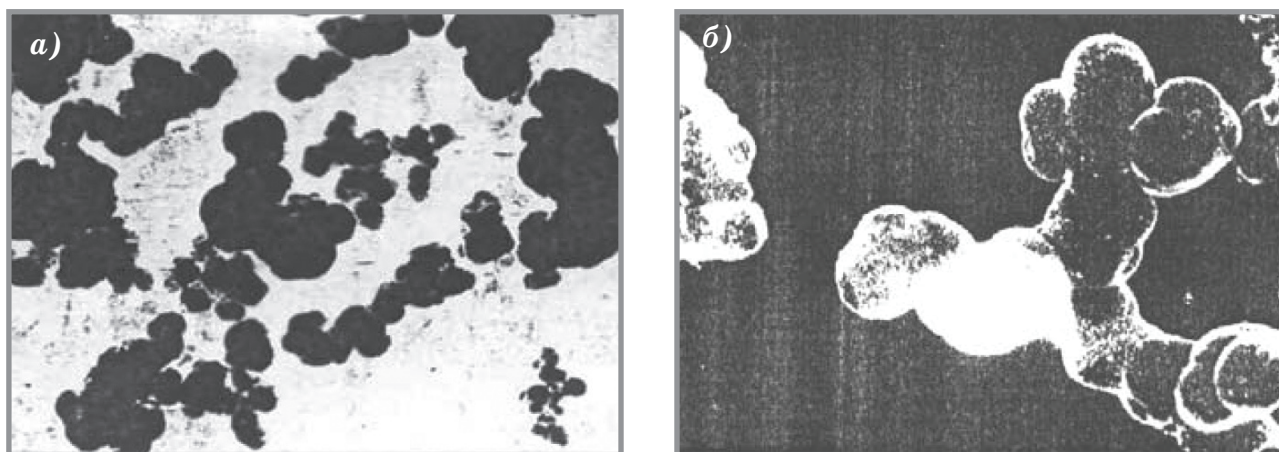


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение частиц технического углерода: совокупность отдельных частиц и агрегатов (а); пространственная структура агрегата (б) (увеличение $\times 120000$)



рованного доменного шлака до 20%) [18, 19] с добавлением технического углерода марки П-803 [20]. Изготовление образцов производилось в соответствии с ГОСТ 28013–98 «Растворы строительные».

Методика изготовления включала следующие этапы:

- подготовку порошка технического углерода (промывку дистиллированной водой, сушку в печи при температуре 50°C в течение 1 часа в сушильном шкафу);
- смешивание порошка технического углерода с портландцементом;
- добавление водного раствора при равномерном помешивании (в качестве водного раствора использовалась вода или насыщенный водный раствор хлорида кальция);
- заполнение емкости углеродсодержащим цементным раствором.

В табл. 1, 2 представлены массовые доли компонентов в исследуемых образцах. Использование хлорида кальция в качестве добавки обусловлено уменьшением временем схватывания бетона (примерно в 3 раза), увеличением прочностных характеристик (в два раза), увеличением поверхностной прочности бетона (в 1,5 раза) [21].

Для исследования экранирующих электромагнитное излучение характеристик проводилось измерение коэффициента передачи и коэффициента отражения в диапазоне частот 8–12 ГГц. В данном диапазоне частот работают устройства передачи, приема и обработки информации, радиолокационное оборудование. Коэффициент передачи характеризует ослабление энергии электромагнитной волны, прошедшей ($W_{\text{прош}}$) через исследуемый образец по отношению к падающей ($W_{\text{пад}}$). Коэффициент отражения характеризуется соотношением энергии падающей

Таблица 1

Состав исследуемых образцов углеродсодержащего бетона

№ п/п	Массовая доля, %			Масса 1 м ² , кг
	портланд- цемента	технического углерода	воды	
1.1	65	5	30	2,8
1.2	60	10	30	2,9
1.3	55	20	25	2,9
1.4	47	30	23	2,8
1.5	40	40	20	2,7



Таблица 2

Состав исследуемых образцов углеродсодержащего бетона с добавлением насыщенного водного раствора хлорида кальция

№ п/п	Массовая доля, %			Масса 1 м ² , кг
	портланд- цемента	технического углерода	насыщенного раствора хлори- да кальция	
2.1	65	5	30	3,5
2.2	60	10	30	3,6
2.3	55	20	25	3,8
2.4	47	30	23	3,9
2.5	40	40	20	3,5

электромагнитной волны ($W_{пад}$) к отраженной ($W_{отр}$) от поверхности образца (рис. 2).

Для измерения коэффициента отражения и передачи в диапазоне 8–12 ГГц использовался панорамный измеритель ослабления и КСВН (коэффициента стоячей волны по напряжению) Я2Р-67 с ГКЧ-61 и волноводным трактом, который обеспечивает выделение и детектирование уровней падающей и отраженной (или прошедшей) волн электромаг-

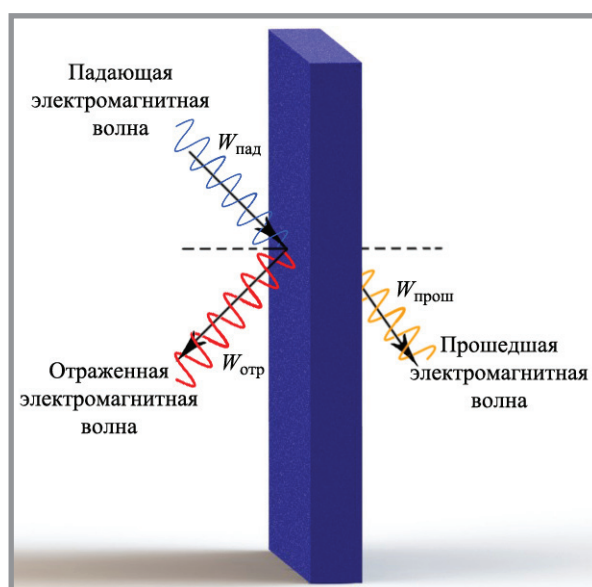


Рис. 2. Механизм отражения и прохождения падающей электромагнитной волны



нитного излучения. Калибровка оборудования перед началом измерений экранирующих характеристик производилась по стандартной методике [22].

По результатам измерения КСВН и ослабления производился расчет коэффициента передачи электромагнитного излучения (S_{21}) и коэффициента отражения S_{11} по методике, представленной в [23].

На рис. 3 представлены результаты измерений коэффициента передачи и отражения электромагнитного излучения для образцов на основе портландцемента, приготовленного по стандартной технологии, с добавлением технического углерода.

Результаты измерения показали, что величина коэффициента передачи уменьшается при уменьшении концентрации технического углерода в составе образцов, что объясняется снижением электрической проводимости материала. Минимальный коэффициент переда-

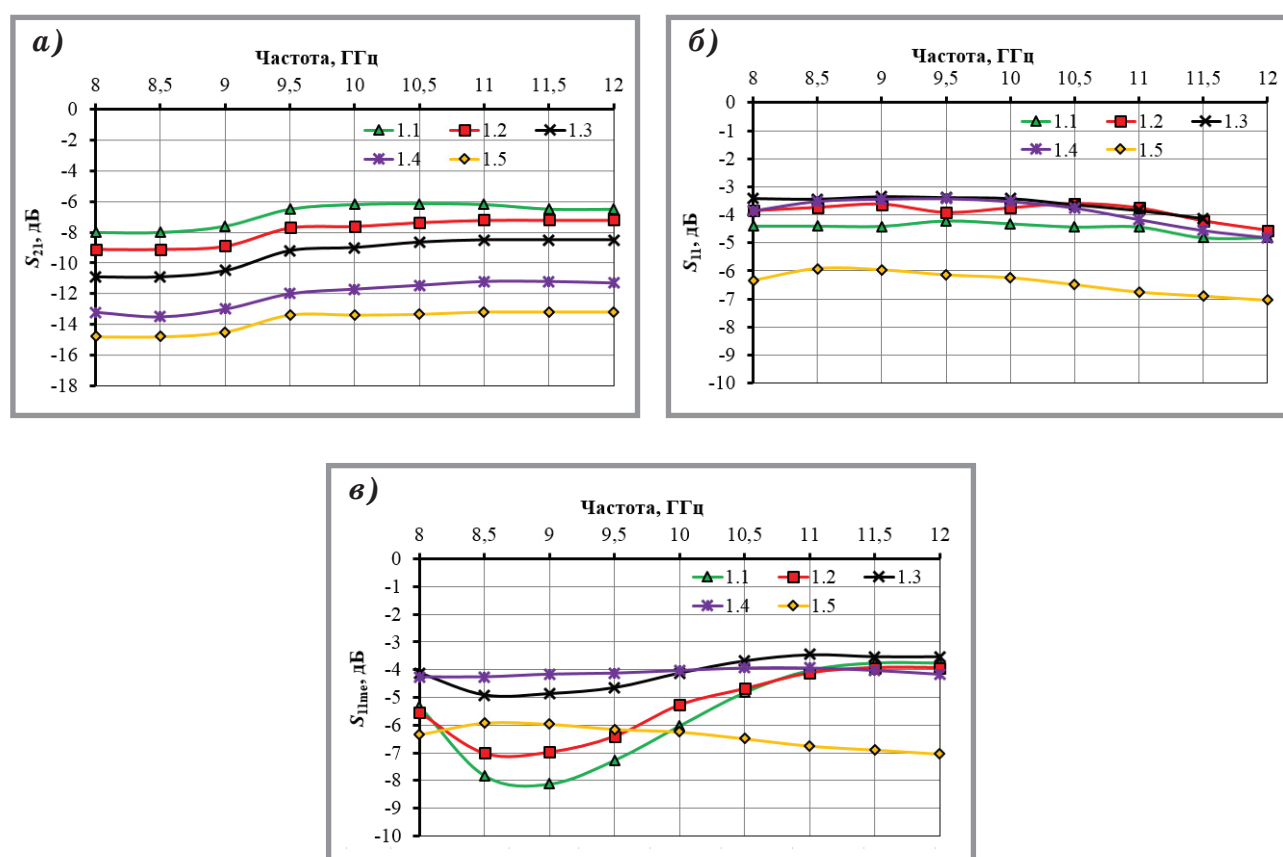


Рис. 3. Частотные характеристики коэффициента передачи (а), коэффициента отражения, измеренного в режиме согласованной нагрузки (б), и короткого замыкания (в) углеродсодержащих бетонов в диапазоне частот 8–12 ГГц



чи ($-13,4...-14,8$ дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц) получен для образца № 1.5 (40 масс.% технического углерода), максимальный ($-6,2...-8$ дБ) для образца № 1.1 (5 масс.% технического углерода).

Коэффициент отражения, измеренный в режиме согласованной нагрузки, для всех образцов изменяется в пределе от -3 до -7 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц. Необходимо отметить, что для образца № 1.5 (40% технического углерода) коэффициент отражения имеет минимальное значение ($-6...-7$ дБ) при измерениях в режиме согласованной нагрузки и короткого замыкания. Образцы № 1.1 (5% технического углерода), 1.2 (10% технического углерода) при измерениях в режиме короткого замыкания составляют $-4...-8$ дБ.

На рис. 4 представлены результаты измерений коэффициента передачи и отражения электромагнитного излучения для образцов на осно-

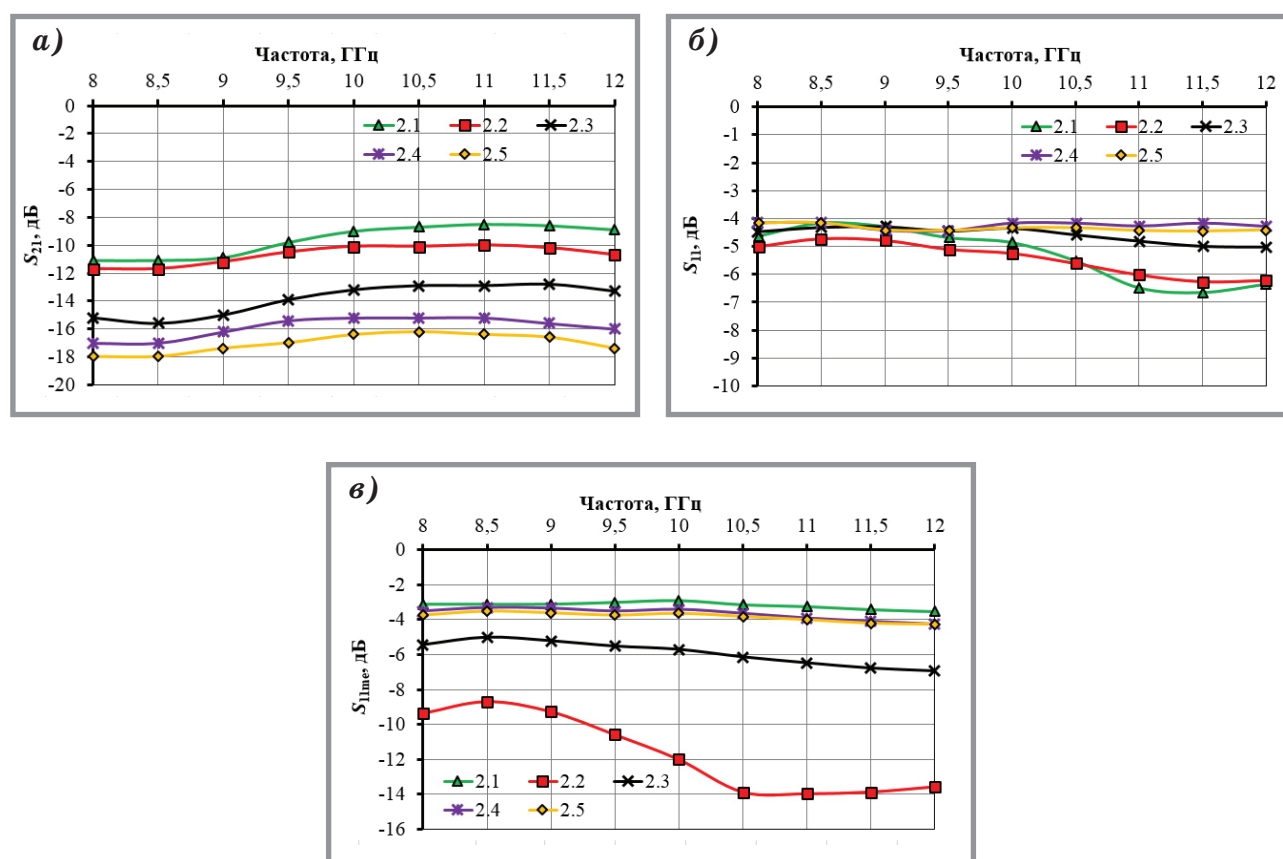


Рис. 4. Частотные характеристики коэффициента передачи (а), коэффициента отражения, измеренного в режиме согласованной нагрузки (б), и короткого замыкания (в) углеродсодержащих бетонов с добавлением насыщенного раствора хлорида кальция в диапазоне частот 8–12 ГГц

ве портландцемента с раствором хлорида кальция с добавлением технического углерода.

По результатам исследования минимальный коэффициент передачи получен для образца № 2.5 (40% технического углерода), значение которого изменяется от -16 до -18 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц. Значение коэффициентов передачи для образцов на основе хлорида кальция на 2–3 дБ меньше, чем для образцов, изготовленных по стандартной методике.

Коэффициент отражения, измеренный в режиме согласованной нагрузки, для образцов № 2.1–2.5 изменяется в пределах $-4...-6$ дБ. При измерениях в режиме короткого замыкания коэффициент отражения минимальный для образца № 2.2 (10% технического углерода) и составляет $-8,4...-14$ дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц.

На основе проведенных исследований установлено, что углеродсодержащие бетоны с добавлением насыщенного раствора хлорида кальция и 10% технического углерода обладают коэффициентом отражения порядка -12 дБ и коэффициентом передачи -10 дБ.

Одно из эффективных направлений утилизации древесных отходов – производство лёгких бетонов, таких, как опилочные бетоны. По своим качествам опилкобетон сочетает в себе прочность камня, тепло и пластику дерева. Он отличается хорошей огнестойкостью, биостойкостью, экологической чистотой, практическим отсутствием радиационного фона. Данный материал обладает низкими значениями звукопоглощения, теплопроводности, массы, имеет хорошую обрабатываемость и совместимость с отделочными материалами. По сравнению с бетонами на минеральных заполнителях, деревобетоны обеспечивают снижение расхода вяжущего в пересчёте на 1 м^2 поверхности стены [24, 25].

На основе полученных исследований разработаны углеродсодержащие бетоны с добавлением измельченной древесины. В качестве измельченной древесины используются древесные частицы различной формы и величины, получаемые в результате механической обработки, а именно щепы, дробленка, стружка, опилки, древесная мука, древесная пыль [26]. Для исследования коэффициентов отражения и передачи углеродсодержащих бетонов в качестве добавок использовали древесные опилки, мелкие частицы древесины, образующиеся в процессе пиления.



Методика изготовления образцов включала следующие этапы:

- подготовку материала: древесных опилок и порошка технического углерода (промывку водой, сушку при температуре 50°C в течение 1 часа в сушильном шкафу);
- подготовку водного раствора и насыщенного водного раствора хлорида кальция с добавлением технического углерода при равномерном помешивании;
- пропитку древесных опилок полученными растворами в течение 24 ч, состав полученной смеси представлен в табл. 3, 4;
- подготовку раствора портландцемента с добавлением технического углерода (10 масс.%) и насыщенного водного раствора хлорида кальция (30 масс.%) по методике, представленной выше;
- равномерное заполнение емкости с пропитанными древесными опилками углеродсодержащим цементным раствором.

В результате сформированы бетонные плиты толщиной 5 мм, средний вес 1 м² для всех образцов составил 2,5 кг. Измерения в диапазоне частот 8–12 ГГц показали, что у всех образцов коэффициент передачи составляет более 40 дБ, коэффициент отражения, измеренный в режи-

Таблица 3

Состав пропитанных древесных опилок углеродсодержащим раствором

№ п/п	Массовая доля, %		
	технического углерода	воды	древесных опилок
3.1			100
3.2	20	40	40
3.3	50	25	25

Таблица 4

Состав пропитанных древесных опилок углеродсодержащим раствором на основе хлорида кальция

№ п/п	Массовая доля, %		
	технического углерода	водного раствора CaCl ₂	древесных опилок
4.1	20	40	40
4.2	50	25	25



ме короткого замыкания и согласованной нагрузки, имеет идентичные значения. Минимальный коэффициент отражения получен для образца 3.2 (40 масс.% древесных опилок) и составляет $-7,7...-8$ дБ (рис. 5).

В результате исследований получено, что формирование бетонов с добавлением технического углерода позволяет получать материалы, экранирующие электромагнитное излучение. При добавлении более 30% технического углерода в состав бетона с добавлением воды коэффициент передачи электромагнитного излучения составляет менее -10 дБ, при добавлении менее 20% технического углерода коэффициент отражения составляет $-4...-8$ дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц, средний вес 1 м^2 таких бетонных плит составляет 2,8 кг.

При добавлении в состав бетона с насыщенным водных раствором хлорида кальция более 20% технического углерода коэффициент передачи изменяется в пределах $-14...-18$ дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц, при этом минимальный коэффициент отражения ($-8...-14$ дБ) получен для бетонов с добавлением 10% технического углерода. Вес 1 м^2 бетонов с добавлением насыщенного водного раствора хлорида кальция составляет 3,5 кг, что на 1 кг больше, чем у бетонов на водной основе. Существенно снизить расход цемента и массу бетонов (до 2,5 кг для 1 м^2) позволяет добавка древесных опилок, при этом коэффициент отражения составляет -8 дБ, коэффициент передачи -40 дБ в диапазоне ча-

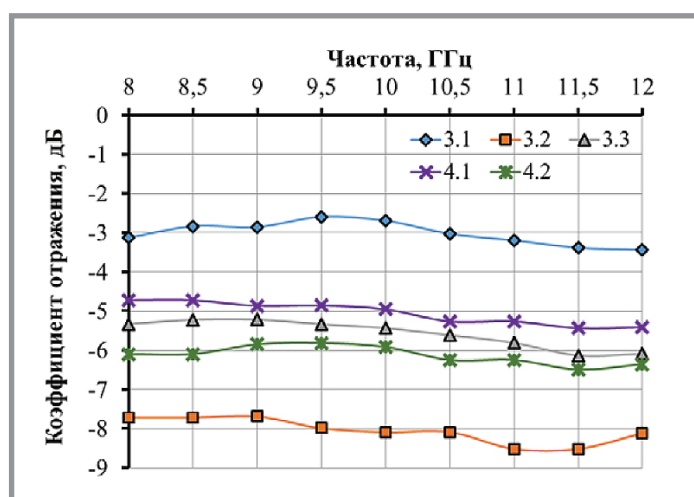


Рис. 5. Частотные характеристики коэффициента отражения, измеренного в режиме согласованной нагрузки и короткого замыкания, углеродсодержащих бетонов с добавлением пропитанных древесных опилок в диапазоне частот 8–12 ГГц



стот 8–12 ГГц. Данные бетоны могут быть применены при разработке и строительстве экранированных от электромагнитного излучения помещений, для защиты оборудования, для обработки, хранения и передачи информации от утечки, информации по электромагнитного каналу, а также для защиты от внешних электромагнитных помех.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

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

Белусова Е.С., Лыньков Л.М., Абдульсалам Мефтах Мохамед А. Углеродосодержащие бетоны на основе измельченной древесины // Нанотехнологии в строительстве. – 2015. – Том 7, № 3. – С. 43–59. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59).

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Belousova E.S., Lynkou L.M., Abdolsalam Meftah Mohamed A. The carbonaceous concrete based on sawdust. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2015, Vol. 7, no. 3, pp. 43–59. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2015-7-3-43-59).

Библиографический список:

1. Голубков В.В., Нгуен Хыу Ван, Потапова Е.Н., Раков Э.Г. Применение углеродных наноматериалов для модифицирования бетона // Материалы VIII Международной конференции «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология». – Троицк, 2013. – С. 138.
2. Chung D. Carbon materials for structural self-sensing, electromagnetic shielding and thermal interfacing // Carbon. – 2012. – Vol. 50, № 9. – P. 3342–3353.
3. Кулешов Г.Е., Доценко О.А., Кочеткова О.А. Электромагнитные характеристики защитных покрытий на основе порошков гексаферритов, углеродных



- наноструктур и мультиферроиков // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2. – С. 163–167.
4. *Raki L., Beaudoin J., Alizadch R.* Cement and Concrete Nanoscience and Nanotechnology // Materials. – 2010. – V. 3. – P. 918–942.
 5. *Насибулина Л.И., Мудимела П.Р., Насибулин А.Г.* Синтез углеродных нанотрубок и нановолокон на частицах кремнезема и цемента // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 1 (61). – С. 121–125.
 6. *Николайчук Г.А., Иванов В.П., Яковлев С.В.* Радиопоглощающие материалы на основе наноструктур // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. – № 1. – С. 92–95.
 7. *Белоусова Е.С., Махмуд М.Ш., Лыньков Л.М., Насонова Н.В.* Радиоэкранирующие свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов // Нанотехнологии в строительстве. – 2013. – Том 5, № 2. – С. 56–67. – URL: http://nanobuild.ru/ru_RU (дата обращения: 7 апрель 2015).
 8. *Махмуд, М.Ш., Насонова Н.В., Криштопова Е.А., Борботько Т.В., Прудник А.М., Лыньков Л.М.* Шунгитсодержащие композиционные экраны электромагнитного излучения. – Минск: Бестпринт, 2013. – 195 с.
 9. *Перфилов В.А., Зубова М.О.* Применение сажевых отходов (технический углерод) с целью повышения прочностных характеристик тяжелых бетонов // Материалы XI Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, 2013. – С. 118–123.
 10. *Фахратов М.А.* Эффективная технология использования промышленных отходов в производстве бетона и железобетона // Строительные материалы. – 2003. – № 12. – С. 48–49.
 11. *Махмуд М.Ш., Белоусова Е.С., Прудник А.М., Лыньков Л.М.* Влияние добавок бишофита на характеристики пирамидообразных экранов электромагнитного излучения для средств защиты информации и экологической безопасности // Доклады БГУИР. – 2014. – № 1 (79) – С. 89–92.
 12. *Махмуд М.Ш., Пулко Т.А., Прудник А.М., Лыньков Л.М.* Углеродсодержащие отделочные материалы для защиты помещений специального назначения // Безопасность информационных технологий. – 2012. – № 1. – С. 192–194.
 13. *Бойправ О.В., Махмуд М.Ш., Немах М.Р.* Влияние экранов с геометрически неоднородной поверхностью на ослабление мощности электромагнитных излучений // Доклады БГУИР. – 2011. – № 3. – С. 5–10.
 14. *Суровикин В.Ф.* Современные тенденции развития методов и технологии получения нанодисперсных углеродных материалов // Рос. хим. ж. – 2007. – Т. LI, № 4. – С. 92–97.
 15. *Гюльмисарян Т.Г., Левенберг И.П.* Производство технического углерода: состояние и тенденции // Мир нефтепродуктов. – 2008. – № 7. – С. 6–10.
 16. *Фиалков А.С.* Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. – М.: Аспект-Пресс, 1997. – 718 с.



17. Мессерле В.Е. Плазменный пиролиз углеводородных газов // Вестник КашУ. – Алматы, 2010. – № 4 (35). – С. 45–50.
18. ГОСТ 31008–2003. Цементы общестроительные. – Москва: Изд. ФГУП ЦПП, 2004. – 21 с.
19. Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/A-Ш 42,5 Н(CEM II/A-S 42,5N) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kcsh.by/ru/production/9/> (дата обращения: 07.04.15).
20. ГОСТ 7885–86. Углерод технический для производства резины. Технические условия. – Москва: Изд. ИПК издательство стандартов, 2002. – 37 с.
21. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.concrete-union.ru/articles/additives_for_concrete.php?ELEMENT_ID=5185 (дата обращения: 07.04.15).
22. Богуш В.А. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты – Минск: Бестпринт, 2003. – 406 с.
23. Белоусова Е.С., Насонова Н.В., Лыньков Л.М. Огнестойкое экранирующее покрытие на основе шунгитсодержащей краски // Нанотехнологии в строительстве. – 2013. – Том 5, № 4. – С.97–109. – URL: http://nanobuild.ru/ru_RU (дата обращения: 7 апреля 2015).
24. Панюжев Е.М. Прочность и деформативность опилкобетона на гипсе β-модификации при кратковременном и длительном действии нагрузок и оценка надёжности конструкций на его основе: дис. ... канд. тех. наук. – Нижний Новгород, 2004. – 231 с.
25. Даваасенгэ С.С., Буренина О.Н., Петухова Е.С. Модификация опилкобетона для улучшения физико-механических свойств // Научный журнал КубГАУ. – № 101. – 2014. – С. 1–10.
26. ГОСТ 23246–78. Древесина измельченная. Термины и определения. – Москва: Изд. Издательство стандартов, 1978. – 5 с.

Контакты**elena1belousova@gmail.com****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">Углеродосо- держащие бетоны на основе измельченной древесины.</span>» созданное автором
по имени «<a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-3-2015/"
property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Белоусова Е.С., Лыньков Л.М., Абдульсалам Мефтах Мохамед
А.</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="DOI: dx.doi.org/10.15828/2075- 8545-2015-7-3-43-59." rel="dct:source">DOI: dx.doi.
org/10.15828/2075- 8545-2015-7-3-43-59.</a>.<br />Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть до-
ступны на странице «<a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="mailto:elena1belousova@gmail.com" rel="cc:morePermi
ssions">elena1belousova@gmail.com</a>».

```

