

УДК 699.887.5

**Мухаметрахимов Р.Х.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [muhametrahimov@mail.ru](mailto:muhametrahimov@mail.ru)

**Шафигуллин Р.И.** – аспирант

**Куприянов В.Н.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [kuprivan@kgasu.ru](mailto:kuprivan@kgasu.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

### **Разработка радиозащитных шунгитосодержащих гипсоволокнистых облицовочных листов**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Цель исследования – разработать радиозащитные шунгитосодержащие гипсоволокнистые облицовочные листы (ГВЛ), которые могут быть применены при устройстве перегородок в помещениях с источниками повышенных электромагнитных излучений.

*Результаты.* Основные результаты исследования состоят в установлении эффективности метакаолина в качестве активной минеральной добавки (АМД) для гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ), оцененной по поглощению СаО. Установлено, что введение шунгита в количестве 5-10 % от массы ГЦПВ позволяет повысить предел прочности при изгибе ГВЛ на величину до 11,2 %, дальнейшее увеличение его содержания приводит к повышению водопотребности смеси, разбавлению вяжущего и снижению прочностных показателей изделий. Установлены зависимости коэффициентов ослабления электромагнитных волн (ЭМВ) и пределов прочности при изгибе ГВЛ от содержания шунгита (0-30 %) в исследуемых составах. Выявлено, что с увеличением содержания шунгита наблюдается увеличение их защитных свойств в исследуемых интервалах частот ЭМВ (2-6 ГГц).

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в получении шунгитосодержащих гипсоволокнистых изделий предназначенных для защиты различных объектов от воздействия электромагнитных излучений.

**Ключевые слова:** электромагнитные излучения, композиционные материалы, радиозащитные конструкции, радиопоглощающие свойства, шунгит, гипсоволокнистые листы.

#### **Введение**

Как известно, чрезмерное воздействие электромагнитных полей (излучений, волн) оказывают неблагоприятное воздействие на человека. Растущее количество электромагнитных излучений (ЭМИ), возникающих в среде обитания человека и в первую очередь внутри зданий, определяет актуальность экспериментальных исследований, направленных на защиту человека от опасных для здоровья факторов. Рост электромагнитного фона связан с увеличением числа радио- и телевизионных станций, расширением сети высоковольтных ЛЭП и АЭС, быстрым ростом мобильной связи, числа радиолокационных установок, широким внедрением радиоэлектронных устройств и излучающих СВЧ-приборов<sup>1</sup>. Часто источником повышенных электромагнитных излучений являются установки и оборудование, размещенные в смежных помещениях, преградами между которыми являются только перегородки. При длительном характере воздействия на организм человека уровней излучения, превышающих предельно допустимые значения, возникают необратимые изменения в нервной, сердечно-сосудистой и эндокринной системах<sup>2</sup>. В этой связи особо актуальными становятся

<sup>1</sup>Гульбин В. Н., Коровяков В. Ф., Колпаков Н. С., Горкавенко В. В. Строительные материалы для защиты объектов от воздействия электромагнитных излучений // Промышленное и гражданское строительство. Новые технологии, техника, материалы. 1986. № 5. С. 7–13.

<sup>2</sup>The Possible Harmful Biological Effects of Low-level Electromagnetic Fields of Frequencies up to 300 GHz. IEEE Position Statement. May, 2004.

вопросы, направленные на повышение радиозащитных свойств перегородок от электромагнитных волн в помещениях с источниками повышенных ЭМИ.

В качестве порошкообразных наполнителей радиозащитных конструкций широкое применение находят материалы с магнитными свойствами и высокой электропроводностью (шунгит) [1], диэлектрики с высокими значениями магнитной проницаемости и полупроводники. Наиболее распространенными являются металлические и ферритовые порошки, технический углерод и фуллерены [2]. Введение указанных материалов в виде порошков в различные вяжущие вещества позволяет создавать радиозащитные изделия с требуемым значением ослабления энергии ЭМИ в рабочем диапазоне частот и температур<sup>3,4</sup>.

Сегодня для защиты от ЭМИ применяют различные материалы и способы [3]. Известно применение радиозащитного строительного бетона, включающего углеродсодержащий радиопоглощающий наполнитель в форме структурированного геля [4]. Однако применение такого материала более предпочтительно для устройства несущих радиозащитных стен. Особенности структурообразования цементного камня с углерод-кремнеземистой нанодисперсной добавкой [5] на основе шунгита рассмотренное в работе [6] показывает их положительное влияние на прочностные показатели в ранние и поздние сроки твердения. Для устройства межкомнатных перегородок возможно применение известных пористых радиозащитных материалов, таких как вспененное стекло, вспененный гипс, ячеистый бетон, пенокомпозиты, наполнители на основе пористых или дискретных заполнителей<sup>1</sup>. Придание радиозащитных свойств этим материалам достигается за счет введения измельченных (дискретных) углеродсодержащих компонентов или радиопоглощающих композиций на водной основе [7, 8]. Так, например, в расплав стекла при производстве пеностекла вводят угольную сажу. Кроме того, известен радиозащитный слоистый материал, применяемый в качестве многофункционального остекления [9], содержащий слой органического стекла и два слоя полимерной пленки с функциональным электропроводящим теплозащитным покрытием. Известны также радиозащитные штукатурки на цементно-песчаной и гипсовой основе, предназначенные для снижения уровня ЭМИ посредством экранирования<sup>1</sup>. Их свойства по ослаблению ЭМИ зависят от концентрации радиопоглощающего вещества и толщины слоя.

На основе шунгитовых пород уже создан ряд экранирующих ЭМИ материалов, а также пластинки для защиты от излучений. Однако следует отметить, что в настоящий момент малоизученным остается вопрос создания облицовочных материалов для внутренней отделки зданий и сооружений, сочетающих в себе прочностные, экологические, специальные свойства (защита от ЭМИ) и высокую степень индустриализации с применением быстротвердеющего смешанного вяжущего [10]. С применением таких материалов возможно устройство легких межкомнатных радиозащитных перегородок.

#### **Методика экспериментальных исследований.**

В процессе исследований в качестве исходных сырьевых компонентов для изготовления шунгитосодержащих ГВЛ использовались следующие материалы:

а) вяжущие:

- гипс марки ГБП производства ООО «Аракчинский гипс» ГОСТ 125-79;
- портландцемент (ПЦ) Белгородского цементного завода марки ПЦ500-Д0-Н.

б) активная минеральная добавка природного происхождения – метакраолин, полученный путем обжига каолина при температуре 700 °С в течении 1 часа,  $S_{уд}=1357 \text{ м}^2/\text{кг}$ , выбранная как наиболее эффективная по результатам предыдущих исследований [11].

в) шунгит фракционированный зажогинского месторождения  $S_{уд}=200 \text{ м}^2/\text{кг}$ , производства ООО Научно-производственный комплекс «КАРБОН-ШУНГИТ»,

<sup>3</sup>Iha V., Banthia A. Composite based on waste-ferrites as microwave absorbers // Indian J. Phys. 1989. Vol. 63, № 5. P. 514–525.

<sup>4</sup>Chung D.D.L. Materials for Electromagnetic Interference Shielding // Journal of Materials Engineering and Performance. 2000. № 9 (3). P. 350–354.

г. Петрозаводск, следующего химического состава:  $\text{SiO}_2$  – 57,0 %;  $\text{TiO}_2$  – 0,2 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4,3 %;  $\text{MgO}$  – 1,2 %;  $\text{CaO}$  – 0,3 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,2 %;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,5 %;  $\text{S}$  – 1,5 %;  $\text{C}$  – 28,0 %;  $\text{H}_2\text{O}_{\text{крис}}$  – 3,0 %.

г) химические добавки:

- пластификатор первой группы с ускоряющим и самоуплотняющим действием на основе карбоксилатов «Одолит-К» произведенный по ТУ 5745-01-96326574-08, представляющий собой полупрозрачную вязкую жидкость в водном растворе без содержания хлора, производства ООО «Сервис-Групп», плотностью 1,06 г/см<sup>3</sup>, pH при 20°C – 6,9;

- суперпластификатор «БЕСТ-СПл», производства ООО «Инновационные Технологии»; суперпластификатор первой группы по ГОСТ 24211 – водный раствор солей органических кислот в жидком виде без содержания хлора. Жидкость коричневого цвета, с плотностью (при 20°C) 1,1-1,3 г/см<sup>3</sup>, массовая доля сухого вещества 30-40 %;

д) полипропиленовые волокна марки ВСМ-П, производства ООО «Си Айрлайн» г. Челябинск, длиной 6 мм по ТУ 5458-001-82255741-2008, с характеристиками, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

#### Характеристики полипропиленовых волокон марки ВСМ-П

Наименование	Показатели
Материал	Высокомодульный термопластичный модифицированный полимер
Диаметр волокон, мкм	20-22
Прочность на разрыв, МПа	550
Удлинение	20 %
Модуль упругости, МПа	не менее 10000
Площадь поверхности, м <sup>2</sup> /кг	150
Температура плавления, °C	160

е) вода водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732.

На первом этапе исследований по разработке шунгитосодержащих ГВЛ на основе гипсоцементного вяжущего определяли необходимое количество АМД в составе смеси, по известной методике<sup>5</sup>. В качестве АМД использовали метакаолин. Для определения его необходимого количества в составе гипсоцементной смеси приготавливалось две партии препаратов по 3 состава, отличающихся различным содержанием метакаолина. Первую партию испытывали через 5 суток, а вторую партию – через 7 суток после изготовления. Для определения концентрации оксида кальция через 5 и 7 суток из каждой колбы отбирали по 50 мл водного раствора путём фильтрования через фильтровальную бумагу, который титровали в присутствии фенолфталеина 0,1Н раствором соляной кислоты. Затем строили графики зависимости концентрации оксида кальция в растворе от количества метакаолина в составе смеси. По графикам определяли его необходимое количество в составе гипсоцементного вяжущего при условии, чтобы концентрация оксида кальция на пятые сутки не превышала 1,1 г/л, на седьмые сутки – 0,85 г/л.

Количество воды затворения подбиралось из условия обеспечения нормальной густоты модифицированной гипсоцементно-пуццолановой смеси (ГЦПС) по ГОСТ 23789-79. В расчетное количество воды добавляли химические добавки (Одолит-К, Бест-СПл) и армирующие волокна для их предварительной распушки. Затем производили весовую дозировку и тщательное перемешивание компонентов вяжущего (гипс, ПЦ, метакаолин) и шунгита. Из гипсоцементно-волоконистых смесей изготавливались образцы ГВЛ толщиной 10 мм с применением литьевого способа формования.

Определение реологических свойств гипсоцементно-пуццолановых вяжущих определяли в соответствии с ГОСТ 23789-79 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний». Испытания на прочность при изгибе образцов шунгитосодержащих ГВЛ производились на образцах 400×300×10 мм по методике ГОСТ Р 51829-2001 «Листы гипсоволокнистые. Технические условия». Водопоглощение ГВЛ определяли по методике ГОСТ Р 51829-2001 «Листы гипсоволокнистые. Технические условия».

<sup>5</sup>Ферронская А. В. Гипсовые материалы и изделия. Производство и применение. М. : АСВ, 2004. 488 с.

Анализ электромагнитных волн, проходящих через шунгитосодержащие ГВЛ, производили с помощью прибора FSH8. Размеры образцов, принятых для данных исследований, составили 50×50 см толщиной 1 см. Исследования проводились в диапазоне частот ЭМВ 2-6 ГГц. Структурная схема принятой для исследований измерительной установки приведена на рис. 1.

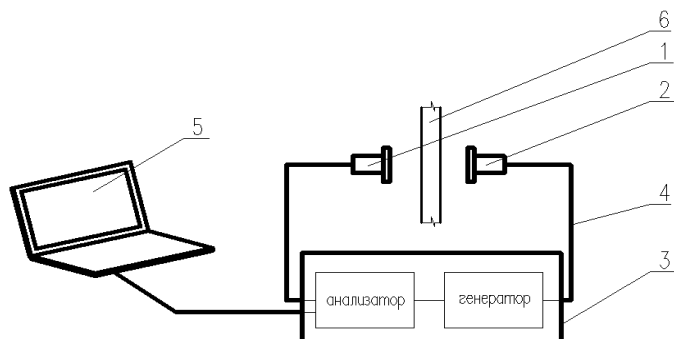


Рис. 1. Структурная схема измерительной установки:

1 – приемная антенна; 2 – передающая антенна; 3 – анализатор;  
4 – соединительные коаксиальные кабели; 5 – компьютер; 6 – исследуемый образец ГВЛ

В качестве антенн измерительной установки использовались излучатели в виде открытого конца прямоугольного волновода, которые обеспечивают коэффициент стоячей волны в диапазоне от 2 до 6 ГГц. Результаты экспериментов приводятся в виде графиков, отражающих зависимости коэффициента ослабления ЭМВ (дБ) от частоты излучения.

### Результаты экспериментальных исследований.

Зависимость концентрации оксида кальция в растворе от количества метакеолина в смеси приведена на рис. 2.

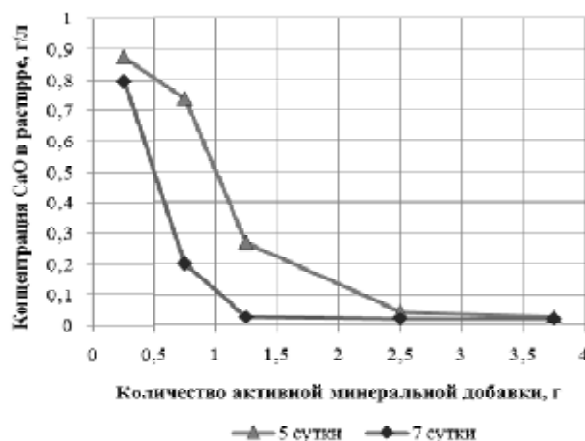


Рис. 2. Кинетика поглощения CaO добавкой метакеолина

Согласно полученным экспериментальным данным (рис. 2) необходимое содержание добавки метакеолина в составе гипсоцементной смеси составляет 20 % от массы ПЦ (4 % от массы ГЦПВ).

На втором этапе экспериментальных исследований изучено влияние шунгита на нормальную густоту и сроки схватывания модифицированной гипсоцементно-пуццолановой смеси при соотношении компонентов 76:20:4 (табл. 2) и физико-механические свойства ГВЛ.

Таблица 2

## Нормальная густота и сроки схватывания модифицированной ГЦПС

Доля шунгита в вяжущем, %	НГ	Сроки схватывания, мин	
		Начало	Конец
-	0,33	19,0	21,0
5	0,34	20,0	21,5
10	0,35	22,0	23,5
20	0,38	22,5	24,0
30	0,41	23,5	24,5
40	0,44	27,0	27,5

Анализ полученных данных свидетельствует о незначительном влиянии шунгита на водопотребность и сроки схватывания гипсоцементного вяжущего. Так при увеличении его содержания в составе смеси (0-40 %) наблюдается увеличение ее водопотребности на 33 %, что обусловлено высокой дисперсностью шунгита (200 м<sup>2</sup>/кг). Введение шунгита в количестве 5-40 % приводит к замедлению сроков начала и конца схватывания на 1-8 и 0,5-6,5 мин соответственно, что позволяет формировать изделия без применения замедлителей схватывания.

Результаты экспериментальных исследований зависимости предела прочности при изгибе ГВЛ от содержания шунгита (5, 10, 20, 30, 40 % от массы ГЦПВ) приведены на рис. 3.

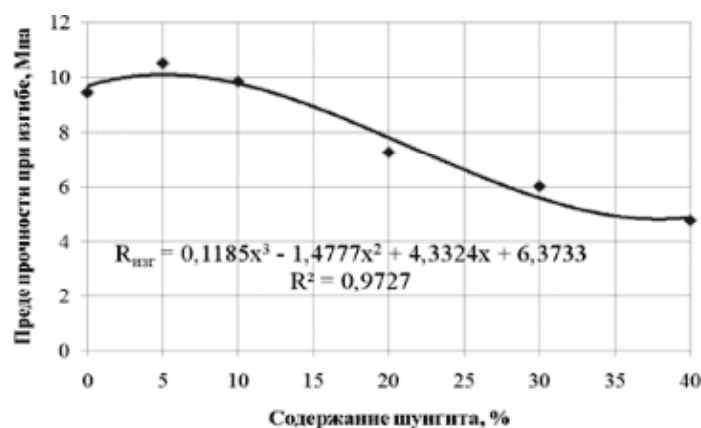


Рис. 3. Зависимость пределов прочности при изгибе ГВЛ от содержания шунгита

Как видно из рис. 3, введение шунгита в состав гипсоцементно-волокнутой смеси приводит к незначительному росту (на 11,2 % при содержании 5-10 %), а затем к снижению показателей пределов прочности при изгибе ГВЛ (при содержании более 10 %). Снижение прочности обуславливается эффектом разбавления вяжущего при высоком содержании шунгита в составе смеси, а также ее повышенной водопотребностью. Согласно ГОСТ Р 51829-2001 «Листы гипсоволокнистые. Технические условия» минимальный предел прочности при изгибе ГВЛ толщиной до 10 мм включительно должен составлять не менее 5,4 МПа. В этой связи образцы ГВЛ с содержанием шунгита 40 % от массы вяжущего, обладающих пределом прочности при изгибе 4,77 МПа, исключили из дальнейших исследований.

Результаты экспериментальных исследований зависимости водопоглощения ГВЛ от содержания шунгита (5, 10, 20, 30 % от массы ГЦПВ) описываются линейной функцией следующего вида  $V = -0,0421x^3 + 0,6967x^2 - 2,9431x + 14,836$ , с доверительной вероятностью 98,6 %. Введение шунгита в количестве 5-10 % приводит к снижению водопоглощения ГВЛ на 2,9 %, при дальнейшем его увеличении содержания в составе гипсоцементной смеси приводит к возрастанию водопоглощения готовых изделий.

Таким образом, на данном этапе получены ГВЛ с содержанием шунгита 0-30 %, с пределом прочности при изгибе 6-10,5 МПа, водопоглощением – 11,2-13,8 %. На третьем этапе исследований определяли зависимости коэффициентов ослабления ЭМВ от содержания шунгита (0-30 %) в составе ГВЛ (рис. 4).

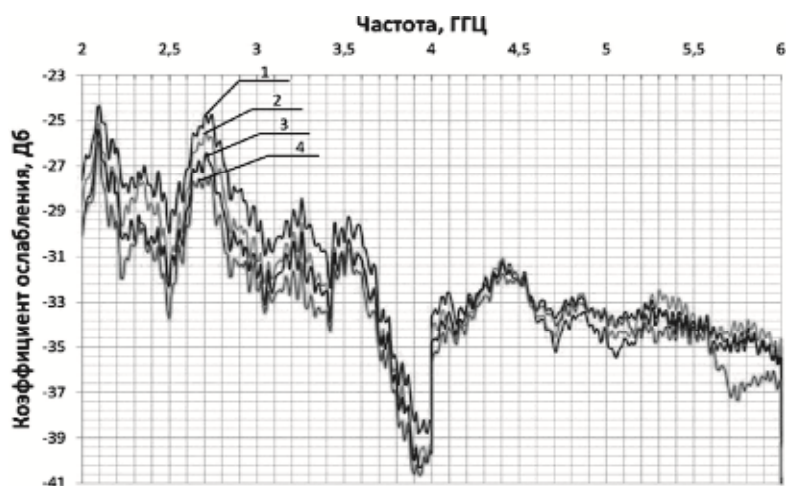


Рис. 4. Коэффициент ослабления электромагнитных волн ГВЛ при содержании шунгита: 1 – 0 %; 2 – 10 %; 3 – 20 %; 4 – 30 %

Анализ данных, приведенных на рис. 4, свидетельствует об активном влиянии шунгита на величину коэффициента ослабления электромагнитных волн. Значения коэффициентов ослабления электромагнитных волн для наиболее распространенных частот в городской среде приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициенты ослабления электромагнитных волн**

Частота, ГГц	Содержание шунгита в ГВЛ			
	0 %	10 %	20 %	30 %
2,1	-24,35	-25,17	-25,59	-26,61
2,45	-28,55	-30,1	-30,94	-31,92
5,2	-33,31	-33,73	-33,73	-34,59

Полученные экспериментальные данные позволили установить, что наилучшие показатели по критерию ослабления ЭМВ достигаются при содержании шунгита в количестве 30 % от массы ГЦПВ.

По результатам выполненных исследований установлено, что с увеличением содержания шунгита защитные свойства образцов ГВЛ увеличиваются во всех интервалах частот ЭМВ. С увеличением частоты ЭМВ защитные свойства образцов увеличиваются. При увеличении содержания шунгита в составе смеси наблюдается увеличение защитных электромагнитных свойств на величину до 2 Дб.

### Заключение

1. Разработаны радиозащитные шунгитосодержащие облицовочные ГВЛ, которые могут быть применены при устройстве перегородок в помещениях с источниками повышенных ЭМИ.

2. Установлена эффективность метакаолина в качестве АМД для ГЦПВ, оцененная по поглощению СаО, содержащегося в водных суспензиях гипса, портландцемента и АМД. Необходимое его содержание в составе смеси, согласно полученным экспериментальным данным, составляет 20 % от массы ПЦ (4 % от массы ГЦПВ).

3. Установлено, что введение шунгита совместно с химическими добавками в гипсоцементно-волоконные смеси приводит к замедлению сроков начала и конца схватывания, что позволяет формировать изделия без применения замедлителей.

4. Показано, что введение шунгита в количестве 5-10 % от массы ГЦПВ приводит к повышению предела прочности при изгибе ГВЛ до 11,2 %. Увеличение содержания шунгита более 30 % приводит к существенному увеличению водопотребности смеси, разбавлению вяжущего и снижению прочности готовых изделий сверх допустимых значений по ГОСТ Р 51829-2001, что определяет границы оптимального содержания шунгита (0-30 %) и позволяет создавать радиозащитные ГВЛ с требуемым значением ослабления энергии ЭМИ.

5. Выявлено, что с увеличением содержания шунгита в составе ГВЛ наблюдается увеличение их радиозащитных свойств в исследуемых интервалах частот ЭМВ (2-6 ГГц). Наилучшие показатели по критерию ослабления ЭМВ достигаются при содержании шунгита в количестве 30 % от массы ГЦПВ.

### Список библиографических ссылок

1. Белоусова Е. С., Махмуд М. М., Лыньков Л. М., Насонова Н. В. Радиозащитные свойства бетонов на основе шунгитосодержащих наноматериалов // Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет-журнал. 2013. Том 5. № 2. С. 56–67. URL: [http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild\\_2\\_2013.pdf](http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf) (дата обращения 17.07.2017).
2. Лыньков Л. М., Махмуд М. Ш., Криштопова Е. А. Экраны электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С : Фундаментальные науки. 2012. № 4. С. 103–108.
3. Bibikov S. B., Prokof'ev M. V. Composite Materials for Some Radiophysics Applications // Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses. 2011. P. 525–544.
4. Радиозащитный строительный бетон и способ его изготовления : пат. 2545585 Рос. Федерация. № 2013147015/03 ; заявл. 22.10.2013 ; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. 11 с.
5. Энергоэффективная технологическая линия производства нанодисперсной добавки для бетонов : пат. 108033 Рос. Федерация. № 2011113558/03 ; заявл. 07.04.11 ; опубл. 10.09.11, Бюл. № 25. 4 с.
6. Лукутцова Н. П., Пыкин А. А., Карпиков Е. Г. Особенности структурообразования цементного камня с углерод-кремнеземистой нанодисперсной добавкой // Строительные материалы. 2011. № 9. С. 66–67.
7. Углеродсодержащая композиция для радиозащитных материалов : пат. 2519244 Рос. Федерация. № 2012145071/07 ; заявл. 24.10.2012 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16. 6 с.
8. Пресс композиция для радиозащитных плитных материалов и способ ее изготовления : пат. 2531817 Рос. Федерация. № 2013117308/05 ; заявл. 17.04.2013 ; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 30. 7 с.
9. Радиозащитный слоистый материал : пат. 2433916 Рос. Федерация. № 2010110743/05 ; заявл. 23.03.2010 ; опубл. 20.11.2011, Бюл. № 32. 8 с.
10. Изотов В. С. Особенности свойств быстротвердеющего смешанного вяжущего // Вестник казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 23. С. 70–72.
11. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Lukmanova L.V. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cement-pozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106 (03012). P. 1–9.

**Mukhametrakhimov R.Kh.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [muhametrahimov@mail.ru](mailto:muhametrahimov@mail.ru)

**Shafigullin R.I.** – post-graduate student

**Kuprijanov V.N.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [kuprivan@kgasu.ru](mailto:kuprivan@kgasu.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### Development of radioprotective shungite-containing gypsum-fiber facing sheets

#### Abstract

*Problem statement.* The aim of the research is to develop radioprotective shungite-containing gypsum fiber facing sheets, which can be used in the device of partitions in rooms with sources of increased electromagnetic radiation.

*Results.* The main results of the study are to establish the effectiveness of a binary active mineral additive for a gypsum cement-pozzolanic binder, including metakaolin and shungite in a ratio of 1:3, estimated from the absorption of CaO. It has been established that the introduction of shungite in an amount of 5-10 % of the weight of binder allows increasing the flexural strength of gypsum fiber based on it up to 11,2 %, further increase in its content leads to an increase in the water requirement of the mixture, to the dilution effect of the binder and reduces the strength limits of grafting. Dependences of the attenuation coefficients of electromagnetic waves and the ultimate strengths of bending of gypsum fiber on the content of shungite (0-30 %) in the compositions studied are established. It was found that with an increase in the shungite content, an increase in their protective properties was observed in the investigated electromagnetic waves frequency intervals (2-6 GHz).

*Conclusions.* The significance of the obtained results for the construction industry consists in obtaining shungite-containing gypsum-fiber articles intended to protect various objects from the effects of electromagnetic radiation.

**Keywords:** electromagnetic radiation, composite materials, radioprotective constructions, radio absorbing properties, shungite, gypsum-fiber sheets.

### References

1. Belousova E. S., Mahmoud M. M., Lynkov L. M., Nasonova N. V. Radio-shielding properties of concretes on the basis of longitude degrees of nanomaterials // Nanotechnology in construction: scientific Internet journal. 2013. Vol. 5. № 2. P. 56–67. URL: [http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild\\_2\\_2013.pdf](http://nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_2_2013.pdf) (reference date: 17.07.2017).
2. Lyn'kov L. M., Mahmud M. Sh., Krishtopova E. A. Electromagnetic radiation screens based on powdered shungite // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Serija S : Fundamental'nye nauki. 2012. № 4. P. 103–108.
3. Bibikov S. B., Prokof'ev M. V. Composite Materials for Some Radiophysics Applications // Metal, Ceramic and Polymeric Composites for Various Uses. 2011. P. 525–544.
4. Radioprotective structural concrete and method of its manufacture : patent 2545585 of the Rus. Federation. № 2013147015/03 ; decl. 22.10.2013 ; publ. 10.04.2015. Bull. in № 10. 11 p.
5. Energy efficient technological production line of nano-dispersed additives for concrete : patent 108033 of the Rus. Federation. № 2011113558/03 ; decl. 07.04.2011; publ. 10.09.2011. Bull. in № 25. 4 p.
6. Lukutcova N. P., Pykin A. A., Karpikov Ye. G. Peculiarities of structure formation of cement stone with carbon-siliceous nano-dispersed additive // Building materials. 2011. № 9. P. 66–67.
7. Carbon-containing composition for radioprotective materials : patent 2519244 of the Rus. Federation. № 2012145071/07 ; decl. 24.10.2012; publ. 10.06.2014. Bull. in № 16. 6 p.
8. Press composition for radioprotective plate materials and method of its production : patent 2531817 of the Rus. Federation. № 2013117308/05 ; decl. 17.04.2013; publ. 27.10.2014. Bull. in № 30. 7 p.
9. Radioprotective laminate : patent 2433916 of the Rus. Federation. № 2010110743/05 ; decl. 23.03.2010 ; publ. 20.11.2011. Bull. in № 32. 8 p.
10. Izotov V. S. Features quick-setting mixed binder // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. T. 17. № 23. P. 70–72.
11. Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Lukmanova L. V. Influence of active mineral additives on the basic properties of the gypsum cement-pozzolan binder for the manufacture of building products // MATEC Web of Conferences. 2017. № 106 (03012). P. 1–9.