

УДК 691.3

**Мухаметрахимов Рустем Ханифович**

кандидат технических наук, доцент

Email: muhametrahimov@mail.ru

**Галаутдинов Альберт Радикович**

кандидат технических наук, старший преподаватель

Email: galautdinov89@mail.ru

**Потапова Людмила Ильинична**

кандидат химических наук, доцент

Email: ludmilapo@mail.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

**Гарафиев Айнура Маратович**

руководитель группы отдела экспертиз и испытаний

Email: garafiev93@mail.ru

**ООО ПИИ «Центр экспертиз и испытаний в строительстве»**

Адрес организации: 420097, Россия, г. Казань, ул. Шмидта, д. 35

### **Исследование структурообразования модифицированного шунгитсодержащего цементного камня методом ИК-спектроскопии**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Одним из направлений стратегии научно-технологического развития Российской Федерации является разработка новых эффективных строительных материалов с комплексом высоких эксплуатационных и специальных свойств. Особые свойства шунгитовых пород обуславливают актуальность их применения в композициях на основе минеральных вяжущих для придания им специальных свойств. Не снижая значимости имеющихся исследований в данной области следует отметить проблему, заключающуюся в недостаточной изученности особенностей процессов структурообразования цементного камня, модифицированного молотым шунгитом в сочетании с минеральными и химическими добавками, что сдерживает широкое применение шунгита в технологии бетонов. Цель исследований заключается в изучении особенностей фазового состава цементного камня модифицированного тонкомолотым шунгитом, метакаолином и пластифицирующей добавкой методом ИК-спектроскопии, который может являться матрицей шунгитсодержащих бетонов со специальными свойствами. Задачами исследований являются определение актуальности применения шунгитовых пород, обусловленной их положительными свойствами, отечественными объемами запасов и имеющимся опытом применения в технологии строительных материалов; сравнительная оценка количества гидратных новообразований в структуре исходного и модифицированного цементного камня; выявление возможных причин, обуславливающих положительное влияние шунгита на свойства цементного камня.

*Результаты.* На основе анализа спектрограмм исследуемых составов цементного камня в характерных для него интервалах значений волновых чисел установлено, что модифицирование тонкомолотым шунгитом, метакаолином и пластифицирующей добавкой позволяет увеличить количество гидросиликатов и низкоосновных гидросульфоалюминатов кальция в его структуре, наличие которых обуславливает повышение показателей прочности и водостойкости модифицированного цементного камня.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в установлении особенностей фазового состава гидратных новообразований цементного камня, модифицированного молотым шунгитом в сочетании активной минеральной и пластифицирующей добавками, что может найти широкое применение в технологии шунгитсодержащих бетонов при зимнем бетонировании.

**Ключевые слова:** цемент, цементный камень, шунгит, активная минеральная добавка, пластификатор, ИК-спектроскопия, структура, свойства.

**Для цитирования:** Мухаметрахимов Р. Х., Галаутдинов А. Р., Потапова Л. И., Гарафиев А. М. Исследование структурообразования модифицированного шунгитсодержащего цементного камня методом ИК-спектроскопии // Известия КГАСУ. 2021. № 4 (58). С. 70–81. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_4\_70.

### 1. Введение

Применение шунгитовых пород в технологии бетонов обусловлено их способностью оказывать положительное влияние на процессы структурообразования композитов и свойства затвердевшего камня [1], а также относительной стабильностью объемов их отечественного производства. Так объемы запасов шунгитовых пород согласно данным [2] превышают 80 млн. тонн, суммарные прогнозируемые ресурсы шунгитовых пород Карелии оцениваются на уровне 2 млрд. тонн.

Известен положительный опыт производства и применения шунгизитобетона в строительстве. Так в работе [3] приведены свойства шунгизитового гравия, составы и свойства шунгизитового бетона марок М50-М250, а также рассмотрены особенности производства и применения шунгизитобетонных конструкций. На рис. 1, 2 приведены конвейерная линия по выпуску двумодульных однослойных шунгизитобетонных панелей и пример многоквартирного жилого дома, возведенного с их использованием.

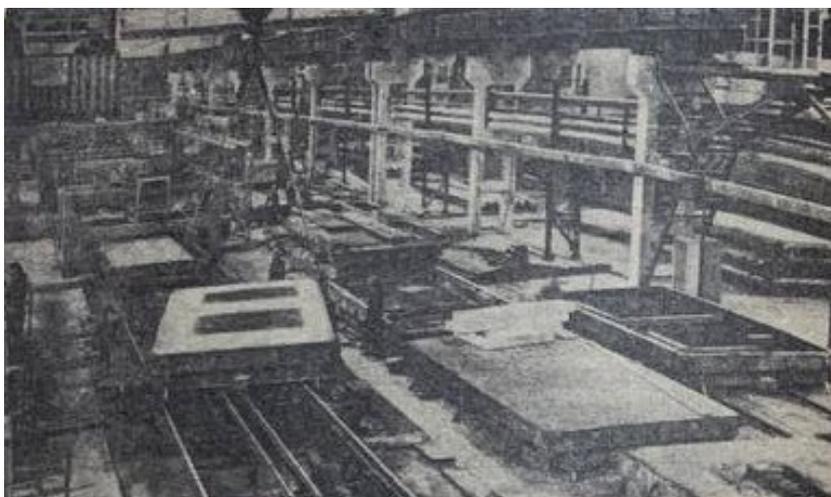


Рис. 1. Конвейерная линия по изготовлению стеновых панелей из шунгизитобетона на комбинате строительных конструкций №1, г. Петрозаводск [3]



Рис. 2. Девятиэтажное здание серии III-75 с наружными стенами из шунгизитобетона [3]

Следует отметить ряд работ, направленных на применение молотых частиц шунгита в качестве модификатора минеральных вяжущих и бетонов на их основе. Так, в работе [4] показано положительное влияние обработанного ультразвуком шунгита на реологические и физико-механические характеристики модифицированного

мелкозернистого бетона. В работе [5] показана возможность получения термостойких огнезащитных покрытий на основе бетонных смесей, модифицированных молотым шунгитом.

Известен положительный опыт применения молотого шунгита для повышения эколого-радиационных [6,7] и радиозащитных [8] свойств строительных материалов.

Одной из областей применения шунгитсодержащего бетона является технология зимнего бетонирования методом электродного прогрева, обусловленная электропроводящими свойствами шунгита [9,10]. В ранее выполненных исследованиях установлена возможность повышения эффективности электродного прогрева бетона с применением токопроводящего минерала шунгита и возможности снижения материальных затрат на его осуществление в технологии бетонирования при отрицательных температурах [11–14]. Установлено оптимальное содержание шунгита с точки зрения эффективности снижения величины электрического сопротивления, при этом по результатам физико-механических испытаний установлено, что введение шунгита в количестве 1–5 % приводит к повышению средней плотности затвердевших композитов (на 0,5–2,3 %), прочности (на 3,14–8,26 %), что, по нашему мнению, обусловлено особенностями их структурообразования и вызывает интерес для дальнейших исследований [15].

Применение активных минеральных [16] и химических [17–19] добавок в технологии бетонов является одним из наиболее широко применяемых способов регулирования его свойств и долговечности [20–22], что определяет необходимость исследования особенностей структурообразования шунгитсодержащих цементных композитов в сочетании с наиболее распространенными видами данных модификаторов.

В связи с этим, особую актуальность приобретают работы, направленные на изучение влияния молотого шунгита в сочетании с активной минеральной и пластифицирующей добавками на особенности структурообразования, формирования фазового состава цементного камня и бетонов на его основе.

Цель исследований – изучить особенности фазового состава цементного камня, модифицированного тонкомолотым шунгитом, метаксаолином и пластифицирующей добавкой, методом ИК-спектроскопии.

Объект исследований – цементный камень исходного (контрольного) и модифицированного составов. Предмет исследований – особенности фазового состава гидратных новообразований в зависимости от вида и количества модифицирующих добавок. Задачами исследований являются определение актуальности применения шунгитовых пород, обусловленной их положительными свойствами, отечественными объемами запасов и имеющимся опытом применения в технологии строительных материалов; сравнительная оценка количества гидратных новообразований в структуре исходного и модифицированного цементного камня; выявление возможных причин, обуславливающих положительное влияние шунгита на свойства цементного камня.

## 2. Материалы и методы

В качестве исходных материалов для изготовления модифицированного шунгитсодержащего цементного камня применялись следующие компоненты:

а) портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н производства ОАО «Сухоложскцемент» по ГОСТ 31108-2016, следующего вещественного и химического состава:  $\text{SiO}_2$  – 21,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4,8;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 3,9;  $\text{CaO}$  – 61,7;  $\text{MgO}$  – 2,8;  $\text{SO}_3$  – 2,8; Щелочи – 0,7;  $\text{Cl}$  – 0,012.

б) тонкомолотый шунгит Зажогинского месторождения Республики Карелия, 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 %.

Микроструктура тонкомолотого шунгитового порошка при увеличении  $\times 5000$  и спектры проб, полученные методом электронно-микроскопического и микрозондового анализов, приведены на рис. 1–3, согласно которым преобладающими элементами пробы являются Si, C, Al.

в) метаксаолин МКЖЛ производства ЗАО «Пласт-Рифей» по ТУ 5729-097-12615988-2013 [106], с удельной поверхностью 1357 м<sup>2</sup>/кг, полученный термической обработкой обогащенного каолина месторождения Журавлиный Лог, Челябинской области,

следующего химического состава:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 42,0 %;  $\text{SiO}_2$  – 55,8 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,7 %,  $\text{TiO}_2$  – 0,4 %;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,9 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,05 %;  $\text{Ca}_2\text{O}$  – 0,15 %.

г) пластифицирующая добавка – водный раствор поликарбоксилатного эфира «Glenium® Ace 430» производства ООО «BASF Строительные системы», плотностью при  $20^\circ\text{C}$  –  $1,06 \text{ г/см}^3$ , pH при  $20^\circ\text{C}$  – 4-7.

в) водопроводная питьевая вода, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-2011.

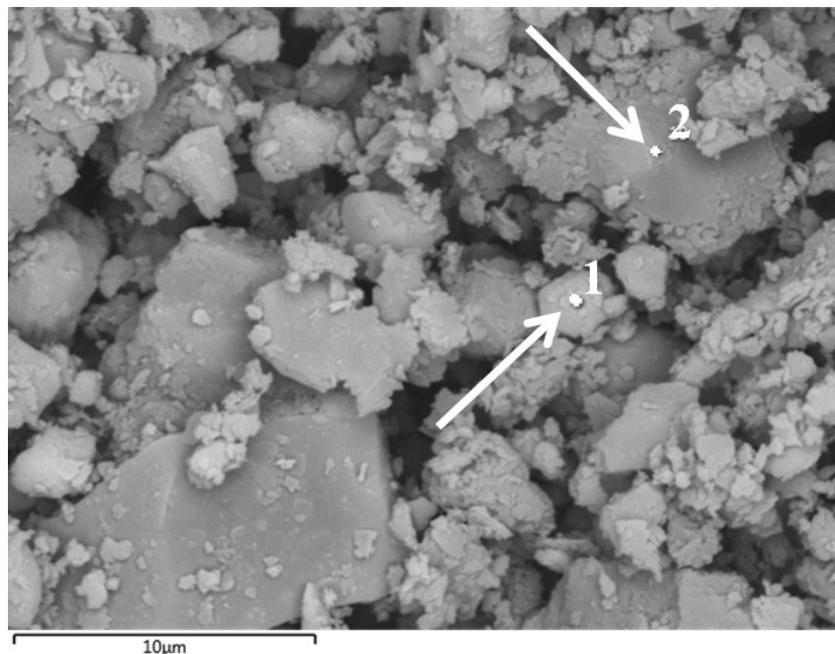


Рис. 3. Микроструктура тонкомолотого шунгитового порошка при увеличении  $\times 5000$  (иллюстрация авторов)

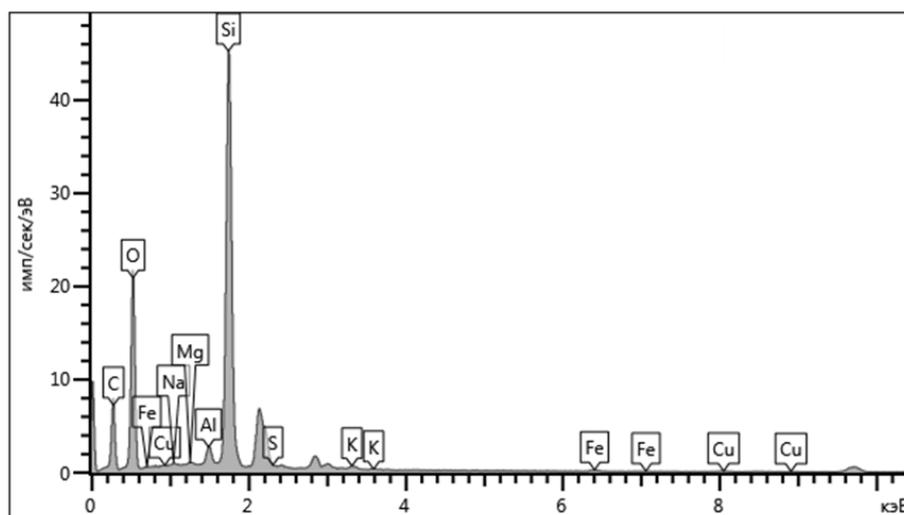


Рис. 4. Спектры пробы шунгитового порошка в точке 1 (иллюстрация авторов)

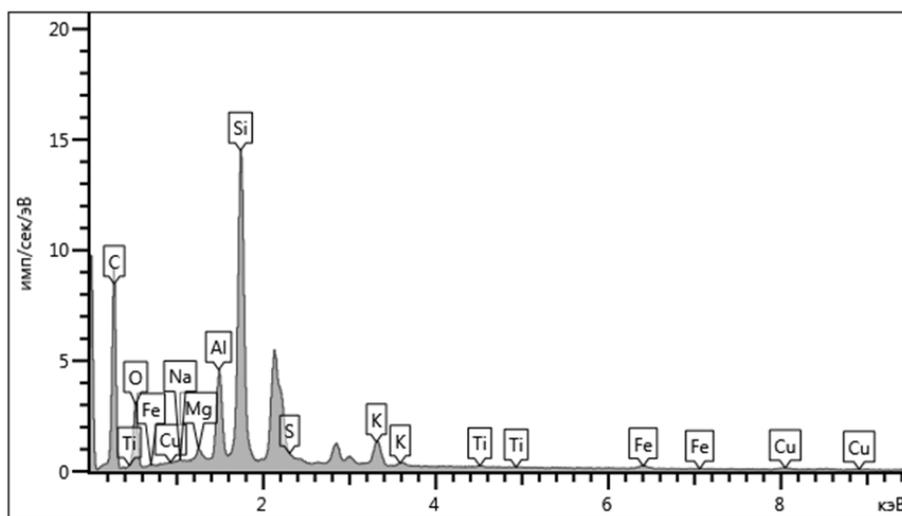


Рис. 5. Спектры пробы шунгитового порошка в точке 2 (иллюстрация авторов)

Приготовление цементного теста производили по ГОСТ 310.3-76, с последующим формованием образцов-кубов размером 2х2х2 см. После 28 суток нормального твердения изучаемые образцы цементного камня измельчали в агатовой ступке до частиц микронного размера.

ИК-спектроскопию образцов цементного камня осуществляли на Фурье ИК-спектрофотометре «Spectrum 65», производства «Perkin-Elmer» с применением приставки НПВО «Miracle ATR» (кристалл ZnSe) в области  $4000-600\text{ см}^{-1}$ , как правило, при 20 сканах. Осуществление записи и вычитания фонового спектра производилась автоматически. Порошок цементного камня прижимался к кристаллу НПВО специальным прижимом, входящим в комплект приставки. После регистрации автоматически осуществлялись НПВО-коррекция и сохранение спектра для последующего анализа полученных данных [23,24].

### 3. Результаты и обсуждение

ИК-спектры исследуемых составов цементного камня приведены на рис. 4. Анализ данных, приведенных на рис. 4 позволяет выделить отклики характерные для продуктов гидратации цементного камня. Наличие максимума при значениях волновых чисел  $3640-3650\text{ см}^{-1}$  характеризует наличие в структуре цементного камня ксонотлита, относящегося к группе гидросиликатов [25]. При этом анализ ИК-спектров цементного камня составов №№ 1-4 свидетельствует о несущественном влиянии их модифицирования АМД, ПД и шунгитом, обусловленной сравнимыми показателями величины отражения волновых чисел в данном интервале.

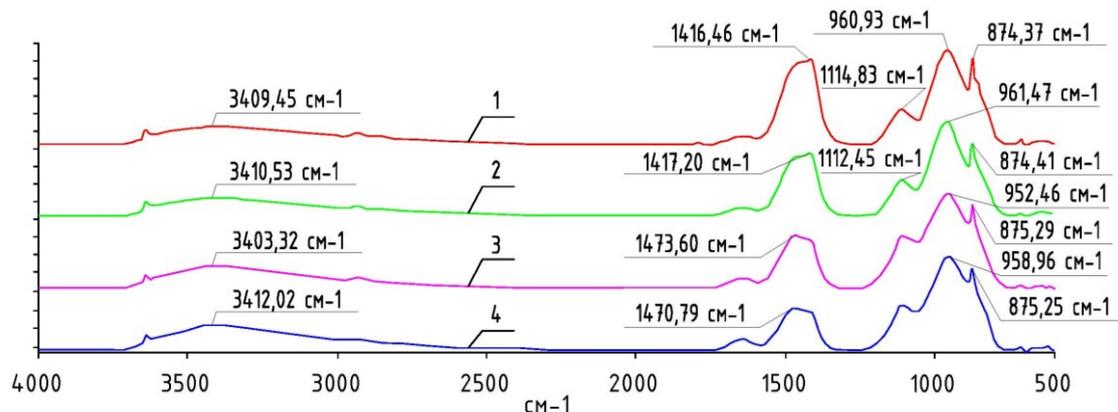


Рис. 6. ИК-спектры цементного камня: 1 – исходный состав; 2 – исходный состав, модифицированный шунгитом; 3 – исходный состав, модифицированный АМД и ПД; 4 – исходный состав, модифицированный шунгитом, АМД и ПД (иллюстрация авторов).

Значения волновых чисел в интервале 3403-3412  $\text{см}^{-1}$  характеризуют наличие субмикрорекристаллов гидросиликатов группы тоберморита в исследуемых составах [26]. Возрастание величины отражения в данном интервале волновых чисел в образце №3 свидетельствует об увеличении количества гидросиликатов в его составе, что обуславливает повышение показателей прочности и водостойкости цементного камня модифицированного АМД, ПД и шунгитом. Незначительный рост величины отражения в интервале волновых чисел 3403-3412  $\text{см}^{-1}$  в образце №4 по сравнению с составом №3 свидетельствует о позитивном влиянии молотого шунгита на образование гидросиликатов данной группы и увеличение физико-технических характеристик цементного камня, модифицированного АМД и ПД, что по нашему мнению, обуславливается его гидравлической активностью в сочетании со способностью частиц шунгита выступать в роли центров кристаллизации [27]. Данное наблюдение подтверждается при сравнении составов №1 и №2, что выражается в незначительном снижении рассматриваемых отражений в образце без шунгита.

Изучение значений волновых чисел в интервалах 1416-1473  $\text{см}^{-1}$ , 874-875  $\text{см}^{-1}$  свидетельствует о наличии карбоната, гидрокарбоната кальция и сульфитных групп в исследуемых составах. При этом снижение величины отражения в данном интервале волновых чисел в образце №4 может свидетельствовать об образовании гидрокарбоалюминатов и гидросульфокарбосиликатов (таумасит) кальция, что обуславливает повышенные показатели прочности цементного камня модифицированного АМД, ПД и шунгитом. Незначительное повышение величины отражения в интервале волновых чисел 1416-1473  $\text{см}^{-1}$  в образце №3 по сравнению с составом №4 свидетельствует о положительном влиянии молотого шунгита на процессы кристаллизации гидрокарбоалюминатов и гидросульфокарбосиликатов кальция [28]. Данное наблюдение подтверждается при сравнении составов №1 и №2.

Кроме того, снижение величины отражений при значениях волновых чисел в интервале 1416-1473  $\text{см}^{-1}$ , характеризующих колебания свободных гидроксильных групп, в составе №4 по сравнению с составами №№ 1-3 может свидетельствовать о более полной гидратации вяжущего с образованием гидросиликатов кальция и низкоосновных гидросульфоалюминатов кальция. Данная гипотеза коррелируется с результатами ИК-спектров в интервале волновых чисел 1112-1114  $\text{см}^{-1}$ , характеризующих наличие соединений с сульфатными группами, входящими в состав гидросульфоалюминатов кальция [29,30]. Так сравнение ИК-спектров пар образцов №1 и №2, №3 и №4 в данном интервале волновых чисел показывает снижение величины их отражений, что может свидетельствовать о формировании низкоосновных гидросульфоалюминатов кальция, образующихся без увеличения в объеме. По нашему мнению это обосновывается гидравлической активностью шунгита в сочетании со способностью его частиц выступать в роли центров кристаллизации, что подтверждается ранее выполненными исследованиями.

Наличие максимума при значениях волновых чисел 900-1000  $\text{см}^{-1}$  характеризует наличие соединений гидросульфоалюминатов кальция [31]. При этом более четкая разрешимость спектра с максимумом 957  $\text{см}^{-1}$  указывает на лучшую закристаллизованность гидросульфоалюминатов кальция в модифицированном цементном камне составов №3 и №4 и позволяет обосновать формирование более плотной структуры камня, обуславливающее повышение его физико-технических характеристик.

Повышение физико-технических свойств цементного камня при его модификации тонкомолотым шунгитом, по нашему мнению, связано с адсорбционными свойствами его углеродной фазы, которая выступает в роли центров кристаллизации продуктов гидратации цемента, влияющих на формирование порового пространства в структуре камня, что согласуется с данными, приведенными в работе [32,33].

#### 4. Заключение

1. Анализ отечественного объема запасов шунгитовых пород, который превышает 80 млн. тонн и суммарных прогнозных ресурсов оцениваемых на уровне 2 млрд. тонн, свидетельствует об относительной стабильности объемов его сырьевой базы и

перспективности расширения применения в технологии бетонов для придания специальных свойств.

2. Изучены особенности фазового состава цементного камня, модифицированного тонкомолотым шунгитом, метакаолином и пластифицирующей добавкой, методом ИК-спектроскопии. На основе анализа спектрограмм исследуемых составов цементного камня в характерных для него интервалах значений волновых чисел установлено, что модифицирование тонкомолотым шунгитом, метакаолином и пластифицирующей добавкой позволяет увеличить количество гидросиликатов и низкоосновных гидросульфоалюминатов кальция в его структуре, наличие которых обуславливает повышение показателей прочности и водостойкости модифицированного цементного камня.

3. Повышение физико-технических свойств цементного камня при его модификации тонкомолотым шунгитом, по нашему мнению, связано с его пуццолановой активностью силикатной фазы в сочетании с адсорбционными свойствами его углеродной фазы, которая выступает в роли центров кристаллизации продуктов гидратации цемента, влияющих на формирование порового пространства в структуре камня, что вызывает интерес для дальнейших исследований.

### **Благодарности**

Работа поддержана стипендией Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-1051.2021.1).

### **Список библиографических ссылок**

1. Шаблинский, Г.Э. Лукутцова Н. П., Пыкин А. А., Цветков К. А. Исследование динамической прочности и жесткости изделий из мелкозернистого бетона, модифицированного наноструктурным шунгитовым наполнителем // Вестник МГСУ. 2010. № 2. С. 231–236.
2. Обзор рынка шунгита в СНГ, ООО «ИГ «Инфолайн». 2020. С. 105.
3. Бужевич Г. А., Савин В. И., Евдокимов А. А. Шунгизитобетон и опыт его применения в строительстве (обзор). Москва : ЦИНИС, 1978. С. 80.
4. Рубаник В. В., Шилин А. Д., Белоус Н. Х., Родцевич С. П., Рубаник, В.В.Мл. Шилина М. В. Влияние добавок шунгита на свойства мелкозернистых пластифицированных портландцементных бетонов // В сборнике: Перспективные материалы и технологии. Материалы международного симпозиума. В 2-х частях. 2017. С. 301–303.
5. Бетонная смесь для получения термостойкого огнезащитного покрытия : пат. 2555730 Рос. Федерация. № 2014113872; заявл. 08.04.14; опубл. 10.07.15, Бюл. № 19.
6. Попов А. В., Ветренко Т. Г. Использование шунгита для получения экологически эффективных материалов. 2013. Р. 124–125.
7. Алоян Р. М., Акулова М. В., Ветренко Т. Г., Попов А. В. Влияние структурно-технологических факторов на формирование радиационных свойств строительных материалов гидратационного твердения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия Строительство и архитектура. 2013. Р. 81–86.
8. Galautdinov A., Mukhametrakhimov R., Kupriyanov V. Gypsum-Fiber Radioprotective Facing Materials // Proceedings of STCCE 2021. 2021. Р. 372–381. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8\_40.
9. Антонец И. В., Голубев Е. А., Шавров В. Г., Щеглов В. И. Влияние структурных параметров шунгита на его электропроводящие свойства // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. № 5. С. 1–17.
10. Соколов В. А., Калинин Ю. К., Дюккиев Е. Ф. Шунгиты – новое углеродистое сырье / ed. Центр П.К. науч. 1984. 184 с.
11. Способ зимнего бетонирования : пат. 2725715 Рос. Федерация. № 2019143802; заявл. 23.12.19; опубл. 03.07.20, Бюл. № 19.

12. Способ зимнего бетонирования строительных конструкций: пат. 2750772 Рос. Федерация. № 2019143803; заявл. 23.12.19; опубл. 02.07.21, Бюл. № 18.
13. Способ бетонирования при отрицательных температурах: пат. 2750883 Рос. Федерация. № 2019143804; заявл. 23.12.19; опубл. 05.07.21, Бюл. № 19.
14. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Garafiev A. The concrete modified by conductive mineral for electrode heating // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012124.
15. Гарафиев А. М., Мухаметрахимов Р. Х. Исследование перколяции электрического тока в среде модифицированных цементных композитов для энергосбережения в технологии электродного прогрева // Сборник материалов II Всероссийской научной конференции, посвященной столетнему юбилею МИСИ – МГСУ «Строительное материаловедение: настоящее и будущее», г. Москва 18-19 ноября 2021. 2021. С. 109–112.
16. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К., Кашапов Р. Р., Баишев Д. И. Опыт наномодификации цементов низкой водопотребности // Промышленное и гражданское строительство. 2018. Vol. 1. Р. 53–57.
17. Вдовин Е. А., Хозин В. Г., Ильина О. Н., Куклин А. Н., Гиздатуллин А. Р., Шарафутдинов Б. Д. Опыт применения полимеркомпозитной арматуры при строительстве бетонных аэродромных покрытий в аэропортовом комплексе г. Казань. В сборнике: Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2013. С. 86-90
18. Пименов С. И. Особенности структурообразования цементного камня после гидромеханохимической активации цемента // Научный журнал строительства и архитектуры. 2019. Vol. 54. № 2. Р. 77–88.
19. Mavliev L., Vdovin E., Stroganov V., Konovalov N. Road cement-mineral materials with granulometric and hydrophobic additives // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 141. 20–28 p. DOI: 10.1007/978-3-030-67654-4\_3.
20. Хозин В. Г., Хохряков О. В., Низамов Р. К. Карбонатные цементы низкой водопотребности - перспективные вяжущие для бетонов // Бетон и железобетон. 2020. Vol. 601. № 1. Р. 15–28.
21. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of cement-sand mortar on the quality of 3D printed products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012082.
22. Сулейманов А. М. Актуальные задачи в прогнозировании долговечности полимерных строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 5. Р. 10–13.
23. Купцов А. Х., Жижин Г. Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. Москва : Физматлит, 2001. 582 р.
24. Каспржицкий А. С., Лазоренко Г. И., Явна В. А. Моделирование ab initio электронной структуры слоистых алюмосиликатов // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. Р. 11.
25. Гришина А. Н., Королев Е. В. Химический состав цементного камня, модифицированного гидросиликатами металлов // В сборнике: Современные строительные материалы и технологии. Сборник научных статей III Международной конференции. Под редакцией М.А. Дмитриевой. Калининград, 2021. С. 14–21.
26. Изотов, В.С. Мухаметрахимов Р. Х. Особенности процесса гидратации модифицированного смешанного вяжущего для фиброцементных плит // Строительные материалы. 2014. № 1–2. Р. 116.
27. Калашников В. И., Ерофеев В. Т., Мороз М. Н., Троянов И. Ю., Володин В. М., Суздальцев О. В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. 2014. № 5. Р. 88–91.
28. Лопанов А. Н., Фанина Е. А., Томаровщенко О. Н. Влияние рецептурно-технологических факторов на физико-механические характеристики

- мелкозернистого бетона с углеродной фазой. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 130-133 // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. Р. 130–133.
29. Урханова Л. А., Савельева М. А. Исследование микроструктуры и свойств цементного камня, модифицированного золом серы // В сборнике: Инновационные технологии в науке и образовании. Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отв. ред. Е.Р. Урмакшинова, С.Л. Буянтуев. 2017. С. 103–112.
30. Urkhanova L. A., Lkhasaranov S. A., Buyantuev S. L., Fediuk R. S., Taskin A. V. Reducing alkaline corrosion of basalt fiber in concrete // Mag. Civ. Eng. 2019. Т. 91. № 7. С. 112–120. DOI: 10.18720/MCE.91.10.
31. Иноземцев А. С., Королев Е. В. Структурообразование и свойства конструкционных высокопрочных легких бетонов с применением наномодификатора BisNanoActivus // Строительные материалы. 2014. № 1–2. С. 33–37.
32. Пыкин А. А., Лукутцова, Н.П. Костюченко Г. В. К вопросу о повышении свойств мелкозернистого бетона микро- и нанодисперсными добавками на основе шунгита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 16–20.
33. Лукутцова Н. П., Пыкин А. А. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона. Монография. Брянск, 2013. 231 с.

**Mukhametrakhimov Rustem Khanifovich**

candidate of technical sciences, associate professor

Email: muhametrahimov@mail.ru

**Galautdinov Albert Radikovich**

candidate of technical sciences, senior teacher

Email: galautdinov89@mail.ru

**Potapova Lyudmila Ilyinichna**

candidate of chemical sciences, associate professor

Email: ludmilapo@mail.ru

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

**Garafiev Ainur Maratovich**

head of a group of expertise and experiences department

Email: garafiev93@mail.ru

**“Centre of expertise and experiences in construction” LLC**

The organization address: 420097, Russia, Kazan, L. Shmidt st., 35

**The study of structure formation of modified cement stone containing shungite by infrared spectroscopy****Abstract**

*Problem statement.* One of the directions of the strategy of scientific and technological development of the Russian Federation is the development of new effective building materials with a complex of high operational and special properties. The special properties of shungite rocks determine the relevance of their use in compositions based on mineral binders to give them special properties. Without diminishing the significance of the existing research in this area, it should be noted that the problem is insufficient knowledge of the features of the processes of structure formation of cement stone modified with ground shungite in combination with mineral and chemical additives, which hinders the widespread use of shungite in concrete technology. The purpose of the research consists in the study of the special aspects of the phase constitution of cement stone modified by finely ground shungite, metakaolin and plasticizing additive by infrared spectroscopy, which could be matrix of shungite containing concrete with special properties.

*Results.* Based on the analysis of the spectrograms of the studied compositions of the cement stone in its characteristic intervals of wave number values, it was found that modification with finely ground shungite, metakaolin and a plasticizing additive makes it possible to increase the amount of hydrosilicates and low-basic hydrated calcium sulfoaluminates in its structure, the presence of which causes an increase in the strength and water resistance of the modified cement stone.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry consists in establishing the features of the phase composition of hydrated new formations of cement stone modified with ground shungite in a combination of active mineral and plasticizing admixtures, which can become widely used in shungite containing concrete technology during cold weather concreting.

**Key words:** cement stone, shungite, active mineral admixture, plasticizer, infrared spectroscopy, structure, properties.

**For citation:** Mukhametrakhimov R. Kh., Galautdinov A. R., Potapova L. I., Garafiev A. M. The study of structure formation of modified cement stone containing shungite by infrared spectroscopy // Izvestija KGASU. 2021. № 4 (58). С. 70–81. DOI: 10.52409/20731523\_2021\_4\_70.

**References**

1. SHablinskij, G.E. Lukutcova N. P., Pykin A. A., Cvetkov K. A. The study of dynamic strength and rigidity of the products made of fine grained concrete modified by

- nanostructured shungite extender // Vestnik MGSU. 2010. №. 2. P. 231–236.
2. Market review of shungite in CIS, ООО "IG "Infomain". 2020. P. 105.
  3. Buzhevich G. A., Savin V. I., Evdokimov A. A. Haydite concrete and the experience of its use in construction (review). M. : CISIC, 1978. P. 80.
  4. Rubanik V. V., SHilin A. D., Belous N. H., Rodcevich S. P., Rubanik, V.V.Ml. SHilina M. V. The influence of shungite introduction on properties of fine grained plastified portland cement concretes // In collection: Perspective materials and technologies. Materials of international symposium. In 2 parts. 2017. P. 301–303.
  5. Concrete mix for receiving heat and fire proof finish : patent 2555730 of the Rus. Federation. № 2014113872; decl. 08.04.14 ; publ. 10.07.15, Bull. in № 19.
  6. Popov A. V., Vetrenko T. G. The use of shungite to get ecologically-effective materials. 2013. P. 124–125.
  7. Aloyan R. M., Akulova M. V., Vetrenko T. G., Popov A. V. The influence of structured technology factors on formation of radiative properties of construction materials of hydrational hardening // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Construction and architecture. 2013. P. 81–86.
  8. Galautdinov A., Mukhametrakhimov R., Kupriyanov V. Gypsum-Fiber Radioprotective Facing Materials // Proceedings of STCCE 2021. 2021. P. 372–381. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8\_40.
  9. Antonec I. V., Golubev E. A., SHavrov V. G., SHCHeglov V. I. The influence of structural parametres of shungite on its electroconductive characteristics // ZHurnal radioelektroniki [e-journal]. 2017. No 5. P. 1–17.
  10. Sokolov V. A., Kalinin YU. K., Dyukkiev E. F. Shungite – new carbonaceous feed / ed. Centr P.K. 1984. 184 p.
  11. Cold weather concreting method : patent 2725715 of the Rus. Federation. № 2019143802; decl. 23.12.19 ; publ. 03.07.20, Bull. in № 19.
  12. Cold weather concreting method of building constructions : patent. 2750772 of the Rus. Federation. № 2019143803; decl. 23.12.19 ; publ. 02.07.21, Bull. in № 18.
  13. Concreting procedure at negative air temperatures : patent 2750883 of the Rus. Federation. № 2019143804; decl. 23.12.19 ; publ. 05.07.21, Bull. in № 19.
  14. Mukhametrakhimov R., Galautdinov A., Garafiev A. Concrete modified by conductive mineral for electrode heating // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012124.
  15. Garafiev A., Mukhametrakhimov R. The study of percolation of electrical current in modified cement compositions area for conservation of energy in electrode heating tecnology // Collection of materials of II All-Russian scientific conference dedicated to centenary of MISI-MGSU "Construction material science : present and future", M., 18-19 November, 2021. P. 109-112.
  16. Hozin V. G., Hohryakov O. V., Nizamov R. K., Kashapov R. R., Baishev D. I. The experience of low water demand cement nanomodification // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2018. Vol. 1. P. 53–57.
  17. Vdovin E. A., Hozin V. G., Il'ina O. N., Kuklin A. N., Gizdatullin A. R., SHarafutdinov B. D. The experience of using of polymer-composite reinforcement in the construction of concrete aerodrome pavement in airport system, Kazan. // In collection: Innovacionnye materialy, tekhnologii i oborudovanie dlya stroitel'stva sovremennyh transportnyh sooruzhenij. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2013. P. 86–90.
  18. Pimenov S.I. Special aspects of structure formation of cement stone after hydromechanical activation of cement. 2019. Vol. 54. № 2. P. 77–88.
  19. Mavliev L., Vdovin E., Stroganov V., Konovalov N. Road cement-mineral materials with granulometric and hydrophobic additives // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 141. 20–28 p. DOI: 10.1007/978-3-030-67654-4\_3.
  20. Hozin V. G., Hohryakov O. V., Nizamov R. K. Carbonaceous low water demand cement – perspective binders for concretes // Beton i zhelezobeton. 2020. Vol. 601. № 1. P. 15–28.
  21. Mukhametrakhimov R., Lukmanova L. Influence of the technological properties of

- cement-sand mortar on the quality of 3D printed products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012082.
22. Sulejmanov A. M. Relevant objective in prediction of durability of polymer construction materials // *Stroitel'nye materialy*. 2015. № 5. P. 10–13.
23. Kupcov A. H., Zhizhin G. N. Fourier-FT and Fourier-IR spectra of polymers. M : Fizmatlit, 2001. 582 p.
24. Kasprzhickij A. S., Lazorenko G. I., YAvna V. A. Modelling ab initio of electronic structure of layered aluminosilicate // *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2013. № 3. P. 11.
25. Grishina A. N., Korolev E. V. Chemical composition of cement stone modified metal hydrosilicates // In collection: *Sovremennye stroitel'nye materialy i tekhnologii*. Collection of scientific articles of III International conference. Under the editorship of M.A. Dmitrieva. Kaliningrad, 2021. P. 14–21.
26. Izotov, V.S. Muhametrahimov R. H. The special aspects of hydration process of modified combined binder for fiber-cement slabs // *Stroitel'nye materialy*. 2014. № 1–2. P. 116.
27. Kalashnikov V. I., Erofeev V. T., Moroz M. N., Troyanov I. YU., Volodin V. M., Suzdal'cev O. V. Nanohydrosilicate technologies in concrete production // *Stroitel'nye materialy*. 2014. № 5. P. 88–91.
28. Lopanov A. N., Fanina E. A., Tomarovshchenko O. N. The influence of prescribed technology factors on stress-strain properties of fine grained concrete with carbonic phase // *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017. № 1. P. 130–133.
29. Urhanova L. A., Savel'eva M. A. The research of microstructure and properties of cement stone modified by sol of sulfur // In collection: *Innovation technologies in science and education*. The materials of V All-Russian research and practice conference with international participation Resp.ed.E.R. Urmakshinova, S.L. Buyantuev. 2017. P. 103–112.
30. Urkhanova L. A., Lkhasaranov S. A., Buyantuev S. L., Fediuk R. S., Taskin A. V. Reducing alkaline corrosion of basalt fiber in concrete // *Mag. Civ. Eng.* 2019. T. 91. № 7. C. 112–120. DOI: 10.18720/MCE.91.10.
31. Inozemcev A. S., Korolev E. V. Structure formation and properties of constructive high strength light concretes with the use of nanomodificator BisNanoActivus // *Stroitel'nye materialy*. 2014. № 1–2. P. 33–37.
32. Pykin A. A., Lukutcova, N.P. Kostyuchenko G. V. Improvement of properties of fine grained concrete by micro- and nanodisperse admixtures based on shungite // *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2011. № 2. P. 16–20.
33. Lukutcova N. P., Pykin A. A. Theoretical and technological aspects of getting micro- and nanodispersive admixtures based on shungite containing rocks for concrete. Monograph. Bryansk, 2013. 231 p.