

DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-21-27

*Дроздюк Т.А. *, ассистент,
Айзенштадт А.М., доктор химических наук, профессор,
Фролова М.А., кандидат химических наук, доцент,
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Россия,
Рама Шанкер Верма, доктор биологических наук, профессор,
Индийский технологический институт в Мадрасе, Индия*
*Ответственный автор E-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

МИНЕРАЛОВАТНЫЙ КОМПОЗИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация: в работе показана возможность производства теплоизоляционного композита на основе базальтовых волокон и сапонит-содержащего отхода горнодобывающей промышленности. Предложен способ изготовления теплоизоляционных композитов из гидромасс с различным содержанием компонентов смеси. В качестве заполнителя использовали базальтовые волокна, а в качестве связующего предварительно механоактивированный сапонит-содержащий материал (ССМ). Экспериментально было установлено, что в зависимости от содержания компонентов композита, коэффициент теплопроводности меняется от 0,1109 и до 0,1342 Вт/(м·К), а прочность на сжатие – от 0,45 до 0,93 МПа. Кроме этого было установлено, что термическая модификация композитов при температуре до 1200°C значительно (до 4 раз) увеличивает его прочность на сжатие, при этом, практически не оказывая влияния на коэффициент теплопроводности. Эксперименты по определению коэффициента теплопроводности композита «базальтовые волокна – ССМ» в зависимости от его влажности показали, что полученный материал характеризуется интенсивным и линейным увеличением значений коэффициента теплопроводности при изменении влажности образца до 12%, а дальнейшее увеличение влажности практически не приводит к изменению значений коэффициента теплопроводности. Сопоставление теплоизоляционных и прочностных характеристик полученного минерального композита с наиболее распространенными конструкционными теплоизоляционными материалами показало, что по данным показателям он не уступает газо- и пенобетону. Также следует отметить, что является высокоэкологичным и может эффективно работать в условиях высоких температур (например, в условиях пожара), при этом даже увеличивая свои прочностные характеристики.

Ключевые слова: сапонит-содержащий материал, теплоизоляционные материалы, «зеленые» строительные материалы, конструкционная теплоизоляция

Введение

Производство энергосберегающих материалов и изделий является одним из актуальных направлений строительного материаловедения, которое быстро развивается в настоящее время. В то же время увеличение в России объемов и темпов строительства объясняет быстрый рост спроса на новые теплоизоляционные и конструкционные материалы в качестве альтернативных вариантов традиционным пено- и газобетонам, дереву, полимерам, кирпичу.

При строительстве зданий и сооружений должно уделяться особое внимание применению экологически безопасных, низкоэнергоемких строительных материалов и изделий, при производстве которых учитываются малозатратные технологии с использованием преимущественно экологически безопасных отходов производства (в основном горнодобывающей, лесоперерабатывающей промышленности) и местной сырьевой базы.

Производство композитов на основе техногенных экологически безвредных отходов дает возможность получать строительные материалы и изделия с хорошими эксплуатационными свойствами, при этом отмечается значительная экономия на сырьевых ресурсах и сокращение площадей складирования отходов [1-4]. Последнее влечет за собой снижение экологического прессинга на окружающую среду, тем самым ведет за собой улучшение экологической обстановки.

Предварительно в работах [5, 6] была показана принципиальная возможность использования в качестве связующего компонента при производстве минераловатной теплоизоляции многотоннажного отхода, образующегося при обогащении кимберлитовых руд на горнодобывающих предприятиях Архангельской области. В качестве такого отхода применялся сапонит-содержащий материал (ССМ), который выделялся из пульпы, образующейся в процессе добычи алмазов на месторождении имени М.В. Ломоносова. Очевидно,

что главенствующую роль при формировании эксплуатационных свойств строительного материала, для которого присуще наличие границы раздела фаз (в частности, базальтовые волокна – сапонит-содержащее связующее), играет прочность межграницных связей. Данная физико-химическая характеристика обеспечивается соотношением составляющих компонентов и температурными режимами обработки.

Так известно, что термическая модификация сапонит-содержащего материала приводит к изменению его свойств (нарушается поровая структура материала путем создания более плотной упаковки частиц, что приводит к снижению влагопоглощения), это подтверждают авторы исследования [7], проводившие эксперименты по термической обработке ССМ, используя временные и температурные режимы, которые применяются при производстве керамзита. Кроме того, в работе [8] нами показано, что температурная модификация сапонит-содержащего материала способствует удалению связанной воды и стабилизации состава и структуры образца. В качестве основного критерия структурной модификации сапонита в этих исследованиях использована величина постоянной Гамакера (A), рассчитываемая по значениям краевых углов смачивания поверхности опытных образцов стандартными жидкостями, применяя при этом метод Г.А. Зисмана [9]. Этот факт послужил предпосылкой для термомодификации минераловатной теплоизоляции на основе сапонит-содержащего связующего с целью получения композита с улучшенными прочностными (конструкционными) характеристиками. Кроме того, ожидается, что полученный по этому способу теплоизоляционный материал будет иметь стабильные значения коэффициента теплопроводности даже при повышенной влажности окружающей среды в отличие от таких классических теплоизоляционных материалов как минеральная вата или газобетон [10, 11].

Таким образом, целью настоящих исследований является оценка возможности улучшения прочностных и водно-физических характеристик композитов, полученных путем термомодификации гидромассы, состоящей из минеральных волокон и сапонит-содержащего материала.

Методы и материалы

Для изготовления опытных образцов в качестве заполнителя были использованы штапельные тонкие базальтовые волокна со средним диаметром 4-6 мкм, полученные индукционным способом плавления. Сапонит-содержащий материал, содержащий в своем составе 63% сапонита, как основного минерала, был использован в качестве связующего компонента.

Технология изготовления опытных образцов теплоизоляционного композита заключалась в следующем. Выделенный в виде твердой фазы путем ускоренного ее осаждения (коагуляция при действии введенного электролита) из суспензии оборотной воды хвостохранилища сапонит-содержащий материал доводили до постоянной массы при температуре 105 °С. Затем, для получения тонкодисперсного порошка связующего со средними размерными характеристиками частиц 1-2 мкм использовали метод сухого механического диспергирования на планетарной шаровой мельнице Retsch PM 100. Размеры частиц контролировали методом фотонно-корреляционной спектроскопии, реализуемой на анализаторе размера частиц и дзета-потенциала Delsa Nano. При измельчении ССМ выдерживались следующие режимные параметры размольного оборудования: скорость вращения ротора – 420 об/мин, продолжительность измельчения – 45 минут, 20 размольных карбид вольфрамовых тел диаметром 20 мм. Данные условия измельчения сапонит-содержащего материала были отработаны в предварительных [исследованиях], связанных с оптимизацией размера частиц ССМ для применения его в качестве связующего компонента. Кроме того, необходимо отметить, что данные условия помола позволяют получить устойчивые воспроизводимые результаты. После данной предварительной подготовки ССМ, определенная его навеска использовалась для создания водной суспензии, в которую добавлялись строго фиксированное количество базальтовых волокон. Полученные смеси (гидромассы) тщательно перемешивались до однородной массы с помощью роторной мешалки. Полученная гидромасса, которая служила сырьем для изготовления теплоизоляции, содержала в качестве связующего компонента водную суспензию ССМ, а в качестве волокнистого заполнителя – базальтовые волокна. Приготовленные гидромассы укладывались в формы, после чего часть образцов доводилась до постоянной массы при температуре 105 °С, а другая часть подвергалась термической модификации в лабораторной электропечи SNOL 67/1300 с программируемым терморегулятором по следующему температурно-временному режиму: 30 минут – время прямолинейного подъема температуры до 600 °С, 5 минут – время прямолинейного подъема температуры до 1200 °С, 10 минут – время стоянки при температуре 1200 °С. Выбор верхнего температурного предела термообработки опытных образцов связан с тем, что выше этой температуры базальтовые волокна начинают переходить в жидко-плавкое состояние.

Определение теплопроводности исследуемых образцов в сухом и влажном (4, 8, 10, 12, 16, 20% весовая влажность образца) состояниях проводили зондовым методом с помощью измерителя теплопроводности

МИТ-1 по стандартной методике в 3-5 точках, затем результат усредняли. Испытания по определению прочности на сжатие образцов проводили на универсальной настольной испытательной машине Shimadzu AGS-5kNX, используя стандартную методику.

Заданное влажное состояние образца достигалось следующим образом. Минераловатный композит, имеющий постоянную и фиксированную массу, помещался в герметичную емкость, имеющую объем и форму аналогичную опытному образцу, затем в анализируемую систему добавляли дистиллированную воду в количестве, равном заданному значению влажностного состояния образца. Емкость с образцом закрывали герметичной крышкой и до измерения теплопроводности оставляли образец на сутки для равномерного распределения воды внутри образца.

Таким образом, для проведения экспериментальной работы по определению теплоизоляционных и прочностных характеристик была изготовлена серия из пяти образцов, которые выдерживались при 105⁰С, отличающиеся количественным содержанием связующего. Так, диапазон варьирования содержания ССМ в массовых процентах составил 7,5 ÷ 25%. Кроме того, были изготовлены три образца, полученные в результате выдержки при 1200⁰С, содержание связующего компонента в которых изменялось в диапазоне от 15 до 25%. Необходимо отметить, что термическая модификация композиций, содержание ССМ в которых составляло менее 15% по массе, вызывало их разрушение. На рис. 1 (а и б) в качестве примера представлены фотографии полученных образцов при температурах 105⁰ (в составе 15% ССМ) и 1200⁰С (в составе 20% ССМ).

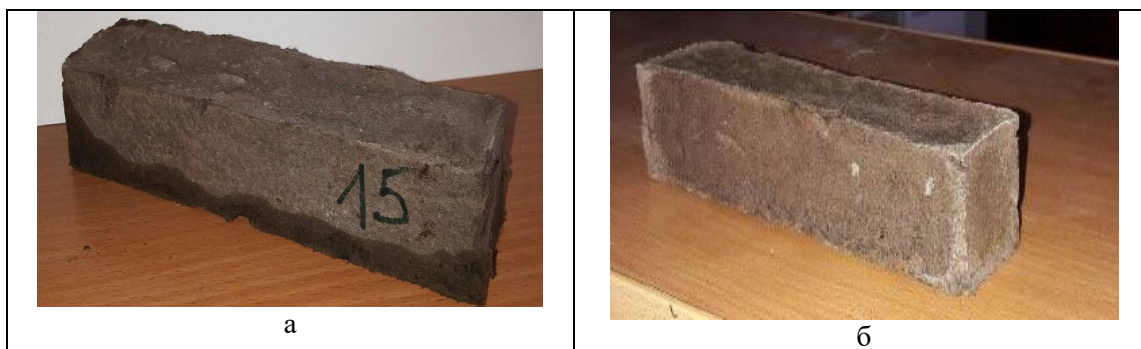


Рис. 1. Образцы полученных теплоизоляционных композитов:
а) полученный при 105⁰С; б) полученный после термической обработки
Fig. 1. The samples of thermal insulating composites:
a) obtained at 105⁰С; b) obtained after heat treatment.

Результаты и обсуждения

Результаты испытаний образцов, полученных при их выдержке при температурах 105 и 1200⁰С (табл. 1) показали, что в зависимости от процентного содержания ССМ в композитах, коэффициент теплопроводности (λ) меняется для материалов, полученных при 105⁰С от 0,1109 и до 0,1342 Вт/(м·К), а прочность на сжатие (Р) – от 0,45 до 0,93 МПа. Аналогичные параметры для композитов, полученных при 1200⁰С меняются в следующем диапазоне: $\lambda = 0,1042 \div 0,1366$ Вт/(м·К); $P = 1,60 \div 3,80$ МПа. Однако, если сравнивать относительные изменения данных параметров (ϵ_λ и ϵ_P) у образцов при равных содержаниях ССМ, но полученных при разном температурном режиме, то результаты показывают что для показателя теплопроводности $\epsilon_\lambda = \frac{\lambda_{125}}{\lambda_{15}} = 1,13$ для температуры обработки 105⁰С и 1,32 для 1200⁰С. Для показателя $\epsilon_P = \frac{P_{25}}{P_{15}} = 1,16$ для 105⁰С и 2,38 для 1200⁰С. Таким образом, увеличение количества сапонит-содержащего материала в композите оказывает практически равное влияние на незначительное повышение его теплопроводности при различной температурной обработке, однако фактор повышения температуры модификации в основном вызывает изменения в структурно-чувствительных свойствах, увеличивая прочность материала.

Таблица 1

Результаты определения теплопроводности и прочности опытных образцов

Table 1

Results of determination of thermal conductivity and strength of experimental samples

№	Температура выдержки, °С	ССМ, % по массе	Коэффициент теплопроводности ($\lambda \cdot 10^2$), Вт/(м·К)	Предел прочности на сжатие ($P \cdot 10^2$), МПа
1	105	7,5	11,09	45
2		10	11,78	39
3		15	11,84	80
4		20	12,23	82
5		25	13,42	93
6	1200	15	10,42	160
7		20	12,39	290
8		25	13,66	380

Кроме того установлено, что для опытных образцов композита, изготовленных при температуре выдержки 105⁰С, зависимости величины теплопроводности и прочности на сжатие от содержания сапонит-содержащего материала подчиняются линейному уравнению общего вида:

$$y = ax + b, \tag{1}$$

при этом величина тангенса угла наклона этой зависимости (коэффициент a) для функций $\lambda=f(C)$ и $P=f(C)$ имеет следующие значения: $1,1 \cdot 10^{-3}$ и $3,1 \cdot 10^{-2}$. Свободный член уравнения (1) равен 0,10 и 0,19 (соответственно). Данные линейные зависимости характеризуются высоким значением коэффициента достоверности аппроксимации (R^2), так для функциональной зависимости теплопроводности от содержания ССМ $R^2=0,88$, а для аналогичной зависимости для прочности $R^2=0,85$.

Проведенные эксперименты в следствие малого количества данных не позволяют получить достоверные функциональные зависимости, связывающие рассматриваемые теплофизические и физико-механические (теплопроводность и прочность) характеристики с составом композиционной смеси, полученной при температуре 1200 °С. Однако, на наш взгляд, можно утверждать, что такие пропорциональные зависимости существуют. Так, например, уравнение, связывающее коэффициент теплопроводности с содержанием сапонит-содержащего материала имеет следующий вид: $\lambda=3,2 \cdot 10^{-3}C+0,06$ при $R^2=0,98$. Для прочности можно получить следующее выражение: $P=22 \cdot 10^{-2}C - 1,63$ при $R^2=0,99$.

На рис. 2 приведен график разрушения при сжатии термомодифицированного композита, содержащего базальтовые волокна – 85% и ССМ – 15%. Следует отметить, что аналогичный график разрушения характерен для всех образцов композитов, в том числе и без термической обработки.

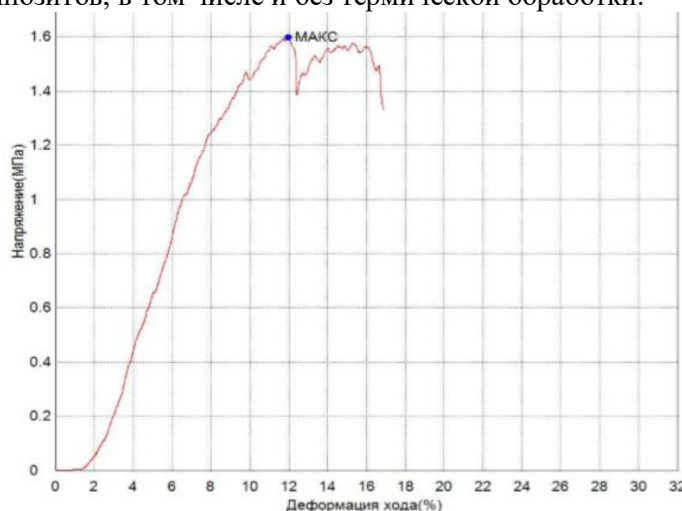


Рис. 2. График зависимости напряжения от деформации для термомодифицированного композита «базальтовые волокна-ССМ» (85% – 15%)

Fig. 2. Stress versus strain graph for a thermally modified composite “basalt fibers – saponite-containing material” (85% – 15%)

Проведенные испытания показали, что диаграмма «напряжение-деформация» (рис. 2) для всех составов имеет вид, близкий к классическому. Так, на диаграмме присутствует область подчиненности закону Гука (для которой деформации пропорциональны напряжению). Кроме того, можно отметить наличие не четко выраженного предела упругости (напряжение, при котором материал еще не получает пластических деформаций) и предел прочности (разрушение образца).

Анализируя теплофизические свойства опытных образцов, можно сделать вывод о том, что теплоизолирующая способность полученных композиционных материалов зависит только от содержания компонентов в исходной смеси, а термическая обработка на данную характеристику оказывает незначительное влияние. Предел прочности на сжатие, так же как и коэффициент теплопроводности, зависит от содержания компонентов в полученном материале, но, в тоже время, термическая модификация исследуемых композитов оказывает положительное влияние на данный показатель по сравнению с композитом, полученным при температуре 105 °С (увеличивается предел прочности на сжатие до 4 раз в зависимости от процентного содержания компонентов композита).

Результаты экспериментов по определению коэффициента теплопроводности композита «базальтовые волокна – ССМ» (в составе 20% ССМ) в зависимости от его влажности представлены на рисунке 3. Приведенные данные показывают, что полученный композит характеризуется интенсивным и линейным увеличением значений коэффициента теплопроводности (до 50% для данного состава) при изменении влажности образца до 12%. Дальнейшее увеличение влажности практически не приводит к изменению значений коэффициента теплопроводности. Данный факт повторяется для всех исследуемых композиций. Не существенные отличия наблюдаются в значениях критической влажности материала разного состава, после которой теплопроводность системы становится постоянной и в интенсивности изменения величины теплопроводности на первом участке. Следует отметить, что такие традиционные теплоизоляционные материалы, которыми являются минеральная вата и газобетон, характеризуются линейным увеличением коэффициента теплопроводности во всем исследуемом влажностном диапазоне.

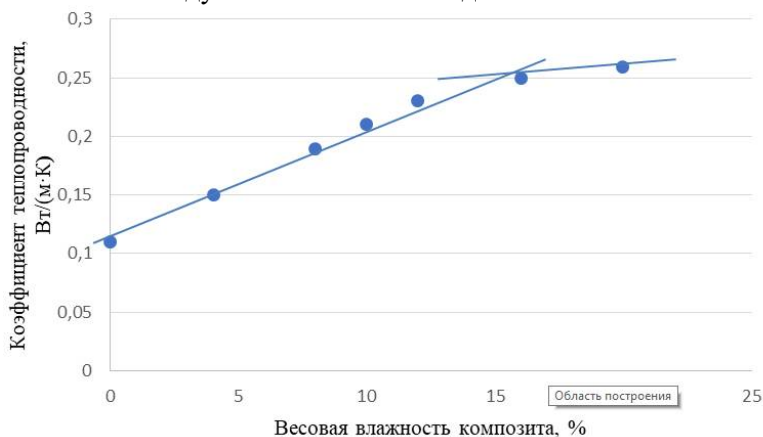


Рис. 3. График зависимости коэффициента теплопроводности от влажности композита «базальтовые волокна – ССМ»

Fig. 3. The dependence of the coefficient of thermal conductivity on the moisture content of the composite “basalt fiber – saponite-containing material”

Выводы

Основываясь на экспериментальных исследованиях можно заключить, что регулирование процентного соотношения компонентов теплоизоляционного композита, состоящего из базальтовых волокон и сапонит-содержащего материала, позволяет задавать теплоизоляционные и прочностные характеристики получаемому материалу. Кроме этого установлено, что воздействие высоких температур (термическая модификация) на полученный композит, может значительно увеличивать прочностные характеристики материала, практически не изменяя его теплоизолирующей способности.

Сопоставление теплоизоляционных и прочностных характеристик полученного минерального композита с наиболее распространенными конструкционными теплоизоляционными материалами показало, что по данным показателям он не уступает газо- и пенобетону.

Кроме этого, стоит обратить внимание на следующий факт. Материал является высокоэкологичным и может эффективно работать в условиях высоких температур (например, в условиях пожара), при этом даже увеличивая свои прочностные характеристики.

Благодарность

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 0793-2020-0005

Литература

1. Данилов В.Е., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Конструкционная теплоизоляция на основе отходов деревообрабатывающей и горной промышленности // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 1. С. 97 – 100.
2. Морозова М.В., Айзенштадт А.М., Махова Т.А. Применение сапонит-содержащего материала для получения морозостойких бетонов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 28 – 31.
3. Агеева М.С., Шаповалов М.С., Боцман А.Н., Ищенко А.В. К вопросу использования промышленных отходов в производстве вяжущих веществ // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 9. С. 58 – 62.
4. Худякова Л.И. Использование отходов горнодобывающей промышленности в производстве строительных материалов // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т. 2. № 2. С. 45 – 56.
5. Дроздук Т.А., Айзенштадт А.М., Тутыгин А.С., Фролова М.А. Неорганическое связующее для минераловатной теплоизоляции // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 86 – 88.
6. Drozdyuk T., Aizenshtadt A., Tutygin A. and Frolova M. Basalt fiber insulating material with a mineral binding agent for industrial use // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124. № 1. P. 1 – 4.
7. Морозова М.В., Айзенштадт А.М. Свойства термически модифицированного сапонит-содержащего отхода кимберлитовых руд. XXII Slovak-Polish-Russian seminar «Theoretical foundation of civil engineering». Moscow, 2013. P. 573 – 576.
8. Drozdyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A. Effect of thermal modification of saponite-containing material on energy properties of its surface // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1400 (077053). doi:10.1088/1742-6596/1400/7/077056
9. Фролова М.А., Тутыгин А.С., Айзенштадт А.М., Лесовик В.С., Махова Т.А., Поспелова Т.А. Критерий оценки энергетических свойств поверхности // Наносистемы: физика, химия, математика. 2011. № 2 (4). С. 1 – 6.
10. Низовцев М.И., Терехов В.И., Яковлев В.В. Влияние сорбционного увлажнения автоклавного газобетона на его теплопроводность // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2004. № 6. С. 31 – 35.
11. Пастушков П.П. О проблемах определения теплопроводности строительных материалов // Строительные материалы. 2019. № 4. С. 57 – 63.

References

1. Danilov V.E., Ajzenshtadt A.M., Mahova T.A. Konstrukcionnaja teploizoljacija na osnove othodov derevoobrabatyvajushhej i gornoj promyshlennosti. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. 1. P. 97 – 100. (rus.)
2. Morozova M.V., Ajzenshtadt A.M., Mahova T.A. Primenenie saponit-soderzhashhego materiala dlja polucheniya morozostojkih betonov. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2015. 1. P. 28 – 31. (rus.)
3. Ageeva M.S., Shapovalov M.S., Bocman A.N., Ishhenko A.V. K voprosu ispol'zovanija promyshlennyh othodov v proizvodstve vjazhushhih veshhestv. Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2016. 9. P. 58 – 62. (rus.)
4. Hudjakova L.I. Ispol'zovanie othodov gornodobyvajushhej promyshlennosti v proizvodstve stroitel'nyh materialov. XXI vek. Tehnosfernaja bezopasnost'. 2017. 2 (2). P. 45 – 56. (rus.)
5. Drozdjuk T.A., Ajzenshtadt A.M., Tutygin A.S., Frolova M.A. Neorganicheskoe svjazujushhee dlja mineralovatnoj teploizoljacji. Stroitel'nye materialy. 2015. 5. P. 86 – 88. (rus.)
6. Drozdyuk T., Aizenshtadt A., Tutygin A. and Frolova M. Basalt fiber insulating material with a mineral binding agent for industrial use. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. 124 (1). P. 1 – 4.
7. Morozova M.V., Ajzenshtadt A.M. Svoystva termicheski modifitsirovannogo saponit-soderzhashhego othoda kimmerlitovyh rud. XXII Slovak-Polish-Russian seminar «Theoretical foundation of civil engineering». Moscow, 2013. P. 573 – 576. (rus.)
8. Drozdyuk T.A., Ayzenshtadt A.M., Frolova M.A. Effect of thermal modification of saponite-containing material on energy properties of its surface. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1400 (077053). doi:10.1088/1742-6596/1400/7/077056
9. Frolova M.A., Tutygin A.S., Ajzenshtadt A.M., Lesovik V.S., Mahova T.A., Pospelova T.A. Kriterij ocenki jenergeticheskikh svojstv poverhnosti. Nanosistemy: fizika, himija, matematika. 2011. 2 (4). P. 1 – 6. (rus.)

10. Nizovcev M.I., Terehov V.I., Jakovlev V.V. Vlijanie sorbcionnogo uvlazhnenija avtoklavnogo gazobetona na ego teploprovodnost'. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2004. 6. P. 31 – 35. (rus.)

11. Pastushkov P.P. O problemah opredelenija teploprovodnosti stroitel'nyh materialov. Stroitel'nye materialy. 2019. 4. P. 57 – 63. (rus.)

*Drozdyuk T.A. *, Assistant Professor,
Ayzenshtadt A.M., Doctor of Chemical Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Frolova M.A., Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Russia,
Rama Shanker Verma, Doctor of Biological Sciences (Advanced Doctor), Professor,
Indian Institute of Technology in Madras, India*
*Corresponding author E-mail: t.drozdyuk@narfu.ru

MINERAL WOOL COMPOSITE WITH THE USE OF SAPONITE-CONTAINING MINING INDUSTRY WASTE

Abstract: the paper shows the possibility of producing a thermal insulating composite based on basalt fibers and saponite-containing mining waste. A method for manufacturing thermal insulating composites from hydro-mass with different contents of the mixture components is proposed. Basalt fibers were used as a filler, and pre-mechanoactivated saponite-containing material (SCM) was used as a binder. It was found experimentally that depending on the composition of composites, the coefficient of thermal conductivity varies from 0.1109 to 0.1342 W/(m·K), and the compressive strength – from 0.45 to 0.93 MPa. In addition, it was found that thermal modification of composites at temperatures up to 1200°C significantly (up to 3 times) increases the compressive strength of composites, while not affecting the coefficient of thermal conductivity. The experiments to determine the conductivity of the composite “basalt fiber – SCM” depending on its moisture content showed that the obtained composite is characterized by intense and linear increase in the values of conductivity when the humidity of the sample to 12% and further increase in humidity practically does not change the values of the coefficient of thermal conductivity. Comparison of the studied thermal insulation composite with known structural thermal insulation materials in terms of its thermal insulation and strength characteristics showed that it is comparable to gas and foam blocks. It should also be noted that this material is environmentally safe and can withstand high temperatures without collapsing.

Keywords: saponite-containing material, thermal insulation materials, "green" building materials, structural insulation

Для цитирования: Дроздюк Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Рама Шанкер Верма. Минераловатный композит с использованием сапонит-содержащих отходов горнодобывающей промышленности // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. №3. С. 21 – 27. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-21-27

For citation: Drozdyuk T.A., Ayzenshtadt A. M., Frolova M.A., Rama Shanker Verma. Mineral wool composite with the use of saponite-containing mining industry waste. Construction Materials and Products. 2020. 3 (3). P. 21 – 27. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-21-27

Поступила в редакцию 25 февраля 2020 г.
Принята в доработанном виде 4 апреля 2020 г.
Одобрена для публикации 9 июня 2020 г.

Received: February 25, 2020.
Revised: April 4, 2020.
Accepted: June 9, 2020.