

ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 666.766-127

DOI: 10.34708/GSTOU.2022.69.58.008

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

©Н. Г. Василевская¹, И. Г. Енджиевская¹, Н. М. Кочеткова²

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

²Красноярский строительный техникум, Красноярск, Россия

Актуальность работы «Композиты для высокотемпературной теплоизоляции» заключается в уменьшении сырьевых затрат на производство высокотемпературных теплоизоляционных, изготавливаемых из вермикулита Татарского месторождения и перлита Мухор-Талинского месторождения, разработка их составов и технологии для производства, а также поддержка государственной программы энергоэффективности. Первоначально материал разрабатывается для теплоизоляции электролизеров и рассчитан на работу при высоких температурах. В работе были определены оптимальные технологические параметры, а именно гранулометрический состав, соотношение компонентов в сырьевой смеси и их влияние на прочностные и теплоизоляционные свойства конечного продукта. Была проведена оценка влияния плотности связующего для композита и установлены предельные границы его плотности для получения максимальных прочностных свойств, с возможностью его экономии. В ходе выполнения работы также были отработаны режимы вспучивания перлитовой руды, для получения вторичного сырьевого компонента. Исследование позволило выявить экономию в сырьевых материалах до 15-20%.

Ключевые слова: композиты, высокотемпературная теплоизоляция, вермикулит, перлит, вспучивание.

Для практического применения минерального сырья используют неметаллические ископаемые, такие как керамическое и огнеупорное сырье (кварц, кварцевые пески, полевой шпат, каолин, глины огнеупорные и другие), горнотехническое сырье (мусковит, вермикулит, целолиты, графит, магнезит, перлит и т. д.). Чаще всего минеральное сырье залегает пластами разной толщины. Для оценки полезности месторождения проводится исследование с целью использования его, чаще в области производства строительных материалов – обеспечение потребностей строительного комплекса собственным строительным материалом. Энергосбережение является одной из наиболее актуальных задач российской экономики. Го-

сударственная программа «Повышение энергетической эффективности в промышленности» предполагает снизить энергозатраты в промышленности за счет мероприятий, согласованных в рамках среднесрочных добровольных соглашений Правительства Российской Федерации с крупными холдингами и компаниями. Планируемые показатели повышения энергоэффективности в относительном снижении: общей энергоемкости промышленного производства, общей электроемкости производства и электроемкости алюминия [1-5].

Одним из направлений для реализации этой программы на предприятиях по производству алюминия является использование высокоэффективных теплоизоляционных ма-

Таблица 1.

Химический состав вермикулита Татарского месторождения, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	H ₂ O	ппп
40,29	10,92	14,47	17,94	4,08	7,8-8,3	4,35

териалов. Такие теплоизоляционные материалы должны обладать низким коэффициентом теплопроводности при высоких температурах, высокой стойкостью к перепадам температур, достаточной прочностью (в том числе и транспортировочной), низкой линейной усадкой при нагреве, экологической безопасностью, достаточной долговечностью (максимальный срок сохранения материалом всех перечисленных качеств). Анализ опыта различных стран в решении данного вопроса энергосбережения показывает, что наиболее эффективным является сокращение потерь тепла через промышленное оборудование [6-10].

В Красноярском крае функционируют несколько алюминиевых заводов, на которых в качестве теплоизоляционных материалов для электролизеров при производстве алюминия используются вермикулитовые плиты, пенодиатомитовые кирпич и плиты, а также шамотный кирпич. Каждый из вышеперечисленных материалов имеет свои преимущества и недостатки. Однако еще одним важным фактором

в современных условиях является стоимость изделия, которую можно регулировать, разрабатывая композиционный материал [11-20]. Для этой цели были проведены исследования получения такого материала из композита, включающего вспученные вермикулит и перлит, которые обладают такими уникальными свойствами, как низкая средняя плотность и теплопроводность, экологичность, а используются в основном в качестве теплоизоляционной засыпки. В качестве основного компонента – композита, который выполняет роль заполнителя для производства теплоизоляционного материала, использовался вспученный вермикулит Татарского месторождения, находящийся в Северо-Енисейском районе Красноярского края. Концентрат Татарского месторождения отличается красно-коричневым оттенком, имеет коэффициент вспучивания 5-9 в зависимости от крупности. Размер чешуек около 1-3 мм. Химический состав вермикулита Татарского месторождения отражен в таблице 1.

Таблица 2.

Свойства вспученного вермикулита Татарского месторождения

№ п/п	Наименование показателей	Размер фракций, мм		
		0,5-0,18	1-0,355	2-0,71
1	Массовая доля основной фракции, % не менее	70-80	70-80	70-80
2	Массовая доля вермикулита, не менее	85	90	90
3	Насыпная плотность концентрата до обжига, кг/м ³	900-1200	900-1200	800-1000
4	Массовая доля влаги до обжига, % не более	4	4	4
5	Насыпная плотность вспученного концентрата, кг/м ³	120-200	100-150	90-110
6	Коэффициент вспучивания	5-7	6-9	7-10
7	Коэффициент теплопроводности, Вт/м °К	0,089	0,076	0,056-0,059

Таблица 3.

Химический состав перлита, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
71,78	12,77	4,10	3,00	1,54	1,31	0,60	0,90

Анализируя химический состав вермикулита, видим, что в общей массе железо представлено в виде Fe₂O₃, поэтому цвет вермикулита темно-бурый, после обжига светло-золотистый, это характерно для окиси железа. Вермикулит Татарского месторождения относится к магниевому вермикулиту. Отличительной особенностью этого вермикулита является невысокое содержание межслоевой воды, хотя этот фактор не оказывает решающего влияния на степень вспучивания при обжиге. При этом получается достаточно легкий вермикулит в мелкой фракции концентрата. Основные свойства вспученного вермикулита представлены в таблице 2.

Вторым компонентом композита использовали перлит Мухор-Талинского месторождения Республики Бурятия, удовлетворяющего нормативным требованиям. Типовой химический состав вспученного перлита отражен в таблице 3.

Перлитовая руда в зависимости от фракционного состава имеет насыпную плотность от 800 до 1300 кг/м³. В исследовании вспучивание породы проводили в лабораторной муфельной печи при температурах: 950⁰С; 1000⁰С; 1100⁰С. С повышением температуры наблюдалось изменение цвета породы в сторону белого и уменьшение его насыпной плотности. Наличие в составе карбоната кальция предполагает, что вспучивание сырья идет в два этапа. До температуры 900⁰С происходит процесс разложения карбоната кальция и небольшое увеличение объема зерна. При дальнейшем увеличении температуры до 1000⁰ С и выше идет удаление химически связанной воды и окончательное вспучивание перлитового зерна.

Дифференциально-фазовый анализ перлитовой породы проводился с целью определения количества химически связанной и свободной воды и отражен на рисунке 1. Нагрев

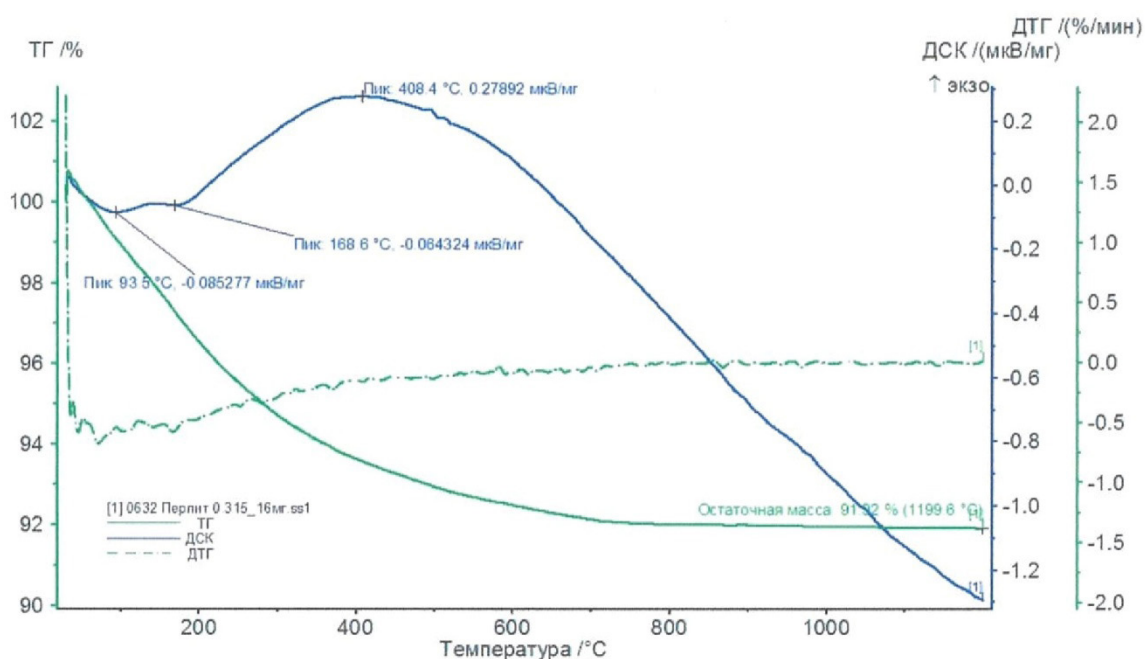


Рис. 1. Дифференциально-фазовый анализ вспученного перлита

пробы при проведении анализа проводили до температуры 1200°C.

Как видно из рисунка 1, дифрактограмма вспученного перлита показывает, что перлит имеет четкую аморфную структуру, состоящую в основном из карбоната кальция и оксида кремния и имеет большое количество химически связанной воды и влаги. Наличие связанной воды в количестве 5-8%, что очень много. Основная часть воды удаляется еще до 300°C, оставляя в зерне связанную воду в количестве 3-4%, что подходит для получения вспученного щебня.

Были проведены исследования использованием вермикулита Татарского месторождения и перлита Мухор-Талинского месторождения для получения высокоэффективных теплоизоляционных материалов. Такие теплоизоляционные материалы должны обладать низким коэффициентом теплопроводности при высоких температурах, высокой стойкостью к перепадам температур, достаточной прочностью (в том числе и транспортировочной), низкой линейной усадкой при нагреве, экологической безопасностью, достаточной долговечностью (максимальный срок сохранения материалом всех вышеперечисленных качеств).

Проводимые исследования направлены на повышение эксплуатационных характеристик и долговечности плит для высокотемпературной изоляции, получаемых из вермикулита Татарского месторождения, путем введения в состав вспученного перлитового песка Мухор-Талинского месторождения, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 10832-2009. Перлит имеет температуру применения до +900°C, pH=7, что препятствует образованию коррозии, нейтрален к действию слабых кислот и щелочей. Зерна перлита обладают более высокой прочностью, чем вспученный вермикулит, поэтому в прессуемом изделии он незначительно изменяется в объеме, в отличие от вермикулита при правильно подобранной высоте засыпки и давлении прессования, позволяет создавать более стабильную и долговечную структуру изделия.

Основной целью исследования являлось создание эффективного, долговечного и экологически безопасного высокотемпературного

теплоизоляционного материала в виде плит на основе вермикулита и перлита, формируемых методом холодного прессования, с использованием в качестве связующего жидкого натриевого стекла с силикатным модулем 2,6-3,0.

Для достижения этой цели решались следующие задачи: определялся оптимальный расход вяжущего, гранулометрический состав и расход перлита в сырьевой смеси, оптимальный коэффициент прессования. Основным критерием расхода перлита являлась средняя плотность изделий, которая при добавлении перлита в количестве 40-50% возрастает, что отрицательно сказывается на теплотехнических свойствах композита. Показатели средней плотности изделий ориентировались на требования технических условий плит для обеспечения эффективности изоляции (плотность изделия должна быть $375 \pm 50 \text{ кг/м}^3$), в дальнейших исследованиях подобран расход перлита таким образом, чтобы плотность изделий находилась в пределах 350-420 кг/м³. Исходя из этого, количество перлита должно быть не более 30%. Увеличение приводит к ухудшению теплофизических свойств, то есть снижает основной показатель, характеризующий теплоизоляционный материал [20, 21].

В качестве связующего использовали жидкое стекло, плотностью 1,3 кг/м³. Принимались следующие соотношения вермикулита к перлиту: 1/1; 1,25/0,75; 1,5/0,5. Вспученный перлит брался смесью фракций 1,25; 0,63 и 0,315. Вермикулит использовали фракции 1 мм. Количество жидкого стекла (по анализу производственного опыта г. Железногорск) – наполнитель жидкое стекло = 1/0,048. Изготавливали образцы путем прессования на прессе и последующей сушкой в сушильном шкафу. После сушки проводили испытания.

Вначале было рассмотрено влияние плотности жидкого стекла на прочность образцов. Для этого меняли плотность жидкого стекла, которая отличалась к каждой серии на 0,05 г/см³. Средние результаты для каждой из исследуемых плотностей представлены на рисунке 2.

Исходя из полученных результатов, видно, что снижение плотности жидкого стекла ниже 1,25 г/см³ нежелательно ввиду того, что клеящая способность стекла слишком низкая

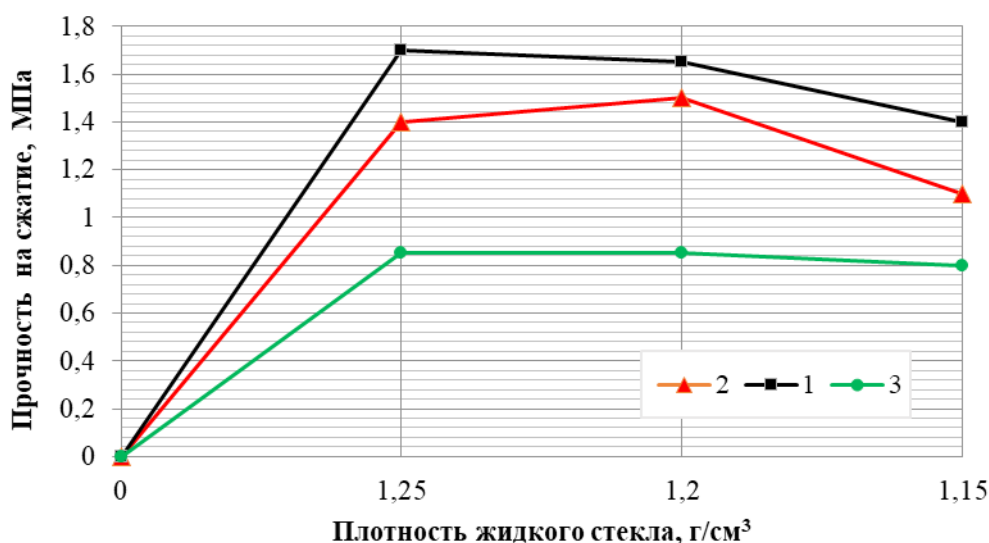


Рис. 2. Изменение прочности от плотности жидкого стекла

Примечание: 1 – соотношение вермикулита к перлиту 1/1; 2 – соотношение вермикулита к перлиту 1,25/0,75; 3 – соотношение вермикулита к перлиту 1,5/0,5.

и не обеспечивает требуемой прочности. Соотношение вермикулита к перлиту 1,5/0,5 имеет небольшие значения по прочности, поэтому в дальнейших исследованиях это соотношение является нежелательным.

Исследовалось влияние коэффициента прессования на прочность композиционного материала с учетом оптимального содержания перлита. Коэффициент прессования варьировался в пределах 1,5-3,0. При указанных коэффициентах прессования зерна перлита встраиваются в структуру материала с наименьшими разрушениями, образуя каркас, препятствующий хрупкому разрушению частиц вермикулита. Перлит при указанных коэффициентах прессования не изменяется в объеме, что дает экономию в расходе сырьевой смеси, а именно, в расходе дорогостоящего вспученного вермикулита, который дороже перлита на 50-100%. Зерна вермикулита хрупкие и легко разрушаются при прессовании, но имеют высокую открытую пористость, а также отражательную способность. Использование перлита в качестве компонента сырьевой смеси позволяет уменьшить высоту засыпки, ее форму и обеспечить прочность при снижении давления при прессовании от 2,5 (для вермикулитовых плит без добавки перлита) до 2,2-2,3, а также

снизить разрушение частиц вермикулита в пределах перлитового каркаса. Указанный коэффициент прессования позволяет получить требуемую прочность при сжатии, равную 1,1-1,2 МПа. Таким образом, введение перлита в композиционный материал в количестве 30% уменьшает расход сырья на производстве изделий до 23%.

При указанных технологических параметрах изделия имеют четкие, неосыпающиеся грани, это свидетельствует о правильно подобранном коэффициенте прессования, оптимальной плотности жидкого стекла и хорошей гомогенизации сырьевой смеси со связующим.

Увеличение давления прессования до коэффициента 2,5 позволяет снизить расход перлита в сырьевой смеси. Снижение коэффициента сжатия ниже 2,2 отрицательно сказывается на прочностных свойствах изделий, их долговечности. Внешний вид изделий не кондиционный, рыхлый, появляются сколы на ребрах, закрытые поры диаметром более 3 мм.

На прочность композиционного материала оказывают влияние гранулометрический состав перлита и плотность жидкого стекла. Для изучения влияния гранулометрического состава использовали фракции зерен перлита 1,25; 0,63 и 0,315 мм. Соотношение вермикулита к

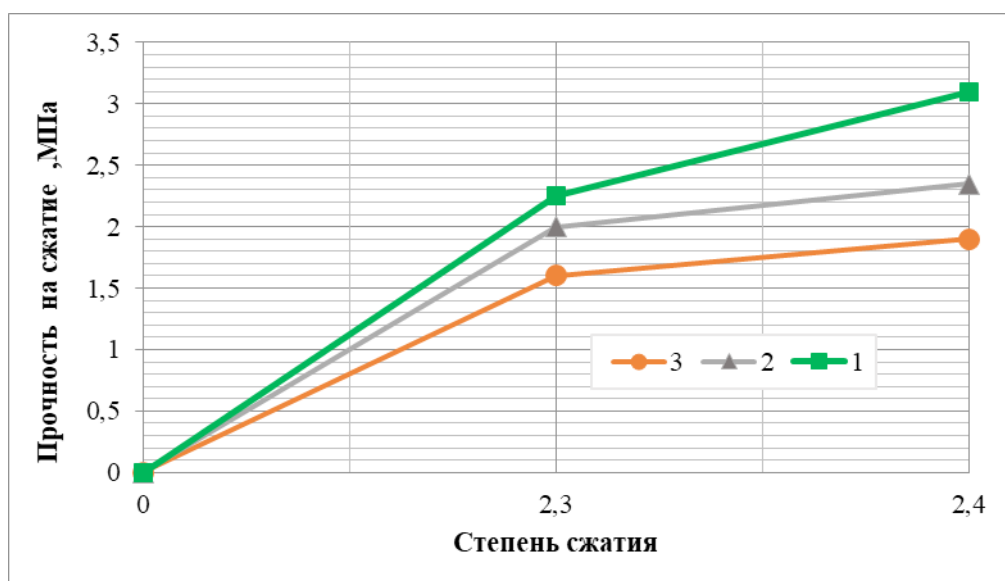


Рис. 3. Влияние гранулометрического состава перлита на прочность образцов
3 – фракция 1,25 мм; 2 – фракция 0,63 мм; 1 – фракция 0,315 мм

перлиту составляло 1:1, плотность жидкого стекла 1,3 г/см³, степень сжатия в 2,3 и 2,4. Результаты влияния гранулометрического состава перлита на прочность изделия отображены на рисунке 3.

Анализируя полученные данные, видно, что с увеличением размера фракции зерна перлита пропорционально увеличивается прочность изделий. Для изготовления плит требуется смесь с содержанием фракций 0,63-1,25 в диапазоне 70-80%, а оставшаяся часть отводится для фракции 0,315 и более мелких частиц. Увеличение степени сжатия в 2,4 раза при наличии в композите перлита является большой, так как он, в отличие от вермикулита, не является материалом с незначительными упругими свойствами и под действием нагрузки, превышающей требуемую, идет слабое нарушение структуры зерен перлита, что слышно при прессовании образца. Вермикулит при его прессовании в 2,5-3,5 раза будет прочнее, но перлит будет трескаться и ломаться, образуя слабые зоны в теле композита.

Таким образом, установлено увеличение

производства эффективных теплоизоляционных материалов для высокой температурной изоляции с использованием имеющихся производственных фондов. Предлагаются возможные пути продления сроков службы изделий для высокой температурной изоляции, что является одной из проблем строительного материаловедения. Совмещение положительных свойств вермикулита, таких как высокая отражательная способность его частиц, их упругость, а также благодаря тонким прослойкам воздуха между слюдяными чешуйками, в композиции с более высокими по прочности зернами перлита, образующими каркас при прессовании, их взаиморасположением в матрице, обеспечивает композиционному материалу низкую теплопроводность, высокую температуростойкость, технологичность, долговечность при эксплуатации, а также нетоксичность. Можно считать, что разработанный композиционный материал на основе перлита и вермикулита в полной мере является экологически чистым и качественным строительным материалом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставер П. К. Исследования вермикулита Татарского месторождения и получение теплоизоляционных материалов на его основе / П. К. Ставер, Г. А. Полетаев // VII Всероссийская конференция «Молодёжь и наука». Красноярск, 2011.

2. *Максимова О. М.* Руководство по выполнению огнезащитных и теплоизоляционных штукатурок механизированным способом / О. М. Максимова, В. А. Гордиенков. М.: Стройиздат, 1977.
3. ТУ 5767-014-2168872-2004 плиты вермикулитовые теплоизоляционные.
4. *Дубенецкий К. Н.* Инаглинский вермикулит, растворы и бетоны на его основе / К. Н. Дубенецкий, А. П. Пожнин, Ю. М. Тихонов // Сб. докладов XXVII научной конференции ЛИСИ. 1969. С. 15-18.
5. *Opoczky L.* Problems relating to grinding technology and quality when grinding composite cements / L. Opoczky // Zement – Kaik – Gips. 1993. В. 46. №3. S. 136-140.
6. *Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш., Нахаев М. Р.* Возможные пути альтернативного решения проблем в цементной индустрии // Строительные материалы. 2020. № 1-2. С. 73-77.
7. *Дубенецкий К. Н.* Вермикулит (свойства, технологи и применение в строительстве) / К. Н. Дубенецкий, А. П. Пожнин. Л.: Стройиздат, 1971. С. 176.
8. *Жуков А. В.* Вспученный перлит / А. В. Жуков, М. Я. Байвель, И. С. Солоненко. М.: Стройиздат, 1962. С. 98.
9. *Кальянов Н. Н.* Вермикулит и перлит пористые заполнители для теплоизоляционных бетонов и растворов / Н. Н. Кальянов, А. Н. Мерзьяк. М.: Госстройиздат, 1961. С. 153.
10. *Мамина А. Х.* Механизм и свойства химически вспученного вермикулита Ковдорского месторождения / А. Х. Мамина, В. А. Муромцев, Н. В. Золотухина // Химия и технология минерального сырья: тезисы докладов конференции. Мурманск, 1987. С. 82-83.
11. Современные эффективные теплоизоляционные материалы // Обзор ВНИИЭСМ. М., 1980. С. 96.
12. *Попов Н. А.* Легкие бетоны на пористых заполнителях / Н. А. Попов. М.: Стройиздат, 1964. С. 205.
13. *Жуков А. В.* Опыт производства вспученного перлита и вермикулита в Канаде / А. В. Жуков // Строительные материалы, детали и изделия. Киев, 1965. Вып. 5.
14. *Овчаренко Е. Г.* Перспективы и применение вспученного перлита / Е. Г. Овчаренко // Строительные материалы. 1992. № 2. С. 14-15.
15. *Геммерлинг Г. В.* Применение вермикулита в строительстве / Г. В. Геммерлинг // Материалы совещания по проблемам вермикулита. КФ АН СССР Апатиты, 1963. С. 28-33.
16. *Жуков А. В.* Материалы на основе вспученного перлита / А. В. Жуков // М.: Стройиздат, 1977. С. 160.
17. *Муртазаев С-А. Ю., Саламанова М. Ш.* Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // Приволжский научный журнал. 2018. № 2 (Т. 46). С. 65-70.
18. Power T. Perlite and vermiculit / T. Power // Industrial minerals (USA). №23. 1986. P. 39-49.
19. Airlaced vermiculite concrete for insulating fire – proofing – Pit and Quarry. V. 45. №2. 1953. P. 163.
20. *Fokina E. L.* Planetary mills of periodie and continuous action / E. L. Fokina, N. I. Budim, G. G. Chemik // I Materials Sci 2004. V. 39. P. 5217-5221.
21. *Murtazayev S. A. Yu., Salamanova M. Sh., Mintsayev M. Sh., Bisultanov R. G.* Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging (Мелкозернистые бетоны на основе вяжущих щелочной активации) // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 500-503.
22. *Bataev D. K-S., Murtazayev S-A. Yu., Salamanova M. Sh., Viskhanov S. S.* Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders (Использование цементной пыли в производстве бесклинкерных вяжущих щелочной активации) // Proceedings of the International Symposium “Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research” dedicated to the 85th anniversary of H. I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. P. 457-460.

ENVIRONMENTALLY SAFE COMPOSITE MATERIAL FOR HIGH-TEMPERATURE THERMAL INSULATION

© N. G. Vasilovskaya¹, I. G. Yendzhievskaya¹, N. M. Kochetkova²

¹*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

²*Krasnoyarsk Construction College, Krasnoyarsk, Russia*

The relevance of the work “Composites for high – temperature thermal insulation” is to reduce the raw material costs for the production of high-temperature thermal insulation made from vermiculite of the Tatar deposit and perlite of the Mukhor – Talinsky deposit, the development of their compositions and technologies for production, as well as support for the state energy efficiency program. Initially, the material is developed for thermal insulation of electrolyzers and is designed to work at high temperatures. The optimal technological parameters were determined, namely the granulometric composition, the ratio of components in the raw mixture and their effect on the strength and thermal insulation properties of the final product. The influence of the binder density for the composite was evaluated and the limits of its density were set to obtain maximum strength properties, with the possibility of saving it. In the course of the work, the modes of perlite ore swelling were also worked out to obtain a secondary raw material component. The study revealed savings in raw materials up to 15-20%.

Keywords: composites, high-temperature thermal insulation, vermiculite, perlite, swelling

REFERENCES

1. Staver, P.K. Staver, P. K. and Poletaev, G. A. (2011) ‘Issledovaniya vermikulita Tatarskogo mestorozhdeniya i poluchenie teploizolyatsionnykh materialov na ego osnove’. VII Vserossiiskaya konferentsiya «Molodezh’ i nauka». [Research of vermiculite of the Tatar deposit and obtaining heat-insulating materials based on it. VII All-Russian Conference “Youth and Science”], Krasnoyarsk.
2. Maksimova, O.M. Gordienkov, V. A. (1977) ‘Rukovodstvo po vypolneniyu ognезashchitnykh i teploizolyatsionnykh shtukатурок mekhanizirovannym sposobom’. [Manual for the implementation of fire-retardant and heat-insulating plasters by mechanized method]. Stroyizdat. Moscow.
3. TU 5767-014-2168872-2004 heat-insulating vermiculite boards.
4. Dubenetsky, K. N., Pozhnin A. P. and Tikhonov, Yu. M. (1969) ‘Inaglinskii vermikulit, rastvory i betony na ego osnove’. Sb. dokladov XXVII nauchnoi konfirentsii LISI. [Inaglinsky vermiculite, mortars and concretes based on it. Sat. reports of the XXVII scientific conference LISI], pp. 15-18.
5. Opoczky, L. (1993) ‘Problems relating to grinding technology and quality when grinding composite cements’. Zement – Kaik – Gips. B. 46. №3. Pp. 136-140.
6. Murtazaev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Nakhaev, M. R. (2020) ‘Vozmozhnye puti al’ternativnogo resheniya problem v tsementnoi industrii’. Stroitel’nye materialy. [Possible ways of alternative solutions to problems in the cement industry. Construction materials]. № 1-2. Pp. 73-77.
7. Dubenetsky K.N. and Pozhnin, A. P. (1971) Vermikulit (svoistva, tekhnologi i primenenie v stroitel’stve. [Vermiculite (properties, technologies and application in construction)]. Stroyizdat. Leningrad. P. 176.
8. Zhukov, A. V. Baivel, M. Ya. and Solonenko, I. S. (1962) Expanded perlite. Stroyizdat, Moscow. P. 98.
9. Kalyanov, N. N. and Merzyak, A. N. (1961) ‘Vermikulit i perlit poristye zapolniteli dlya teploizolyatsionnykh betonov i rastvorov. [Vermiculite and perlite porous fillers for heat-insulating concretes and mortars]. Gosstroyizdat. Moscow. P. 153.

10. Mamina, A. Kh., Muromtsev, V. A. and Zolotukhina, N. V. (1987) 'Mekhanizm i svoistva khimicheski vspuchennogo vermikulita Kovdorskogo mestorozhdeniya'. *Khimiya i tekhnologiya mineral'nogo syr'ya: tezisy dokladov konferentsii*. [Mechanism and properties of chemically expanded vermiculite of the Kovdor deposit. Chemistry and technology of mineral raw materials: abstracts of the conference reports]. Murmansk. Pp. 82-83.
11. (1980) *Sovremennye effektivnye teploizolyatsionnye materialy*. Obzor VNIIESM. [Modern effective heat-insulating materials. Review VNIIESM]. Moscow, pp. 96.
12. Popov, N. A. (1964) 'Legkie betony na poristyykh zapolnitelyakh'. [Lightweight concretes on porous aggregates]. Stroyizdat. Moscow. P. 205.
13. Zhukov, A. V. (1965) 'Opyt proizvodstva vspuchennogo perlita i vermikulita v Kanade'. *Stroitel'nye materialy, detali i izdeliya*. [Experience in the production of expanded perlite and vermiculite in Canada. Building materials, parts and products]. Kyiv. Issue. 5.
14. Ovcharenko, E. G. (1992) 'Perspektivy i primeneniye vspuchennogo perlita'. *Stroitel'nye materialy*. [Prospects and application of expanded perlite. Construction materials]. №2. Pp. 14-15.
15. Gemmerling, G. V. (1963) 'Perspektivy i primeneniye vspuchennogo perlita'. *Stroitel'nye materialy*. [The use of vermiculite in construction. Proceedings of the meeting on the problems of vermiculite. KF ANSSSR Apatity]. Pp. 28-33.
16. Zhukov, A. V. (1977) *Materialy na osnove vspuchennogo perlita*. [Materials based on expanded perlite]. Stroyizdat. Moscow. P. 160.
17. Murtazaev, S-A. Yu. and Salamanova, M. Sh. (2018) 'Perspektivy ispol'zovaniya termoaktivirovannogo syr'ya alyumosilikatnoi prirody'. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. [Prospects for the use of thermally activated raw materials of aluminosilicate nature. Privolzhsky scientific journal]. №2 (T. 46). Pp. 65-70.
18. Power, T. (1986) 'Perlite and vtrmiculit'. *Industrial minerals (USA)*. №23. P. 39-49.
19. (1953) Airlaced vermiculite concrete for insulating fire –proofing – Pit and Quarry. V. 45. №2. P. 163.
20. Fokina, E. L. Budim, N. I. and Chemik, G. G. (2004) 'Planetary mills of periodie and continuous action'. *I Materials Sci 2004*. V. 39. Pp. 5217-5221.
21. Murtazayev, S.A. Yu., Salamanova, M. Sh., Mintsae, M. Sh. and Bisultanov, R. G. (2019) 'Fine-Grained Concretes with Clinker-Free Binders on an Alkali Gauging' *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 500-503.
22. Bataev, D. K-S., Murtazayev, S-A. Yu., Salamanova, M. Sh. and Viskhanov, S. S. (2019) 'Utilization of Cement Kiln Dust in Production of Alkali-Activated Clinker-Free Binders'. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISES 2019)*. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). April 2019. Vol. 1. Pp. 457-460.