

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-8-19

Аль Мамури Саад Кхалил Шахид, *Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Бочарников А.Л.,
Шеметова О.М.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: lhz47@mail.ru

ВЯЖУЩИЕ КОМПОЗИЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРМИКУЛИТА ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ РАСТВОРОВ

Аннотация. В статье изложены результаты исследования цементных растворов, содержащих вспученный вермикулит как наполнитель. Установлено, что при использовании вермикулита до 30 % и более, растворы обладают хорошими теплоизоляционными свойствами, но низкими показателями прочности при сжатии. Особенности природы вспученного вермикулита способствуют снижению плотности и обеспечению теплозащитных свойств. Механоактивация вяжущих композиций в зависимости от продолжительности обработки в вибрационной мельнице составов: портландцемент 90–70 %, вермикулит 10–30 %, позволила получить плотность в диапазоне 1720–1933 кг/м³, при прочности на сжатие 42,8–58,2 МПа, при экономии до 10–20 % дорогостоящего энергоёмкого цемента.

Цементный камень из вяжущих композиций создается за счет формирования пространственного каркаса, создаваемого пористым минеральным наполнителем, который за счет высокой дисперсности занимает значительный пространственный объем, и на этом минеральном наполнителе, как на подложках, формируется кристаллическая структура, создаваемая гидросиликатами и гидроалюминатами кальция, постепенно наращая как бы вторичный каркас кристаллическими новообразованиями на тонкодисперсных вермикулитовых зернах – пластинах. Разработанное вяжущее обладает пористой структурой за счет введения вермикулитового наполнителя, что обеспечивает снижение теплопроводности создаваемого композита.

Применение полученных вяжущих композиций, приготовленных из смеси портландцемента и вермикулита, в сочетании с пористым наполнителем – вспученным вермикулитом, позволит получить теплоизоляционный раствор с высокими теплозащитными показателями и гарантированной прочностью.

Ключевые слова: вспученный вермикулит, вяжущая композиция, теплозащитные растворы, портландцемент, низкая плотность, микроструктура.

Введение. В последние годы возрос интерес к созданию материалов, обладающих высокими теплозащитными свойствами, а также устойчивых к высоким температурам. Стойкость строительных материалов к воздействию высоких температур имеет огромное значение, особенно во время пожара. Штукатурные растворы с повышенной стойкостью к повышенным температурам могут обеспечить надежную пожарную защиту. Одним из способов повышения теплозащитных и термостойких материалов является использование в теплоизоляционных растворах эффективных наполнителей, имеющих пористое строение и обладающих термостойкими свойствами. В результате многолетних исследований российскими и зарубежными учеными накоплен значительный положительный опыт применения при создании легких растворов и бетонов различных пористых наполнителей, в частности, пемзы [1], диатомита [2], вулканического туфа, вспученного вермикулита [3], вспученного перлита [4–7], а также вспученной глины [8]. Особую значимость в современных условиях представляет

использование отходов различных производств [9], скорлупы масличной пальмы [10], каучука [11], пенополистирола для вторичного использования.

Особый интерес для создания эффективных теплозащитных растворов представляют такие легкие наполнители, как природный вермикулитовый наполнитель [12–15] входящий в группу гидрослюдистых минералов; перлит, пенополистирол [16–20], обладая низкой плотностью, они с успехом применяются в качестве легких наполнителей в легких растворах и обеспечивают высокие теплоизоляционные свойства [8, 9]. Вследствие высокой пористости указанных материалов, применение их в штукатурных теплоизоляционных растворах, позволит обеспечить повышенную теплозащиту наружных конструкций.

Вермикулиты - это минералы из группы гидрослюдов с переменным химическим составом $(\text{Mg, Fe})_3(\text{Al, Si})_4\text{O}_{10} \cdot (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Дифрактограмма вспученного вермикулита ($d = 11,38; 4,54; 3,45; 2,66; 2,43; 2,19; 1,70; 1,44 \text{ \AA}$) приведена на рисунке 1.

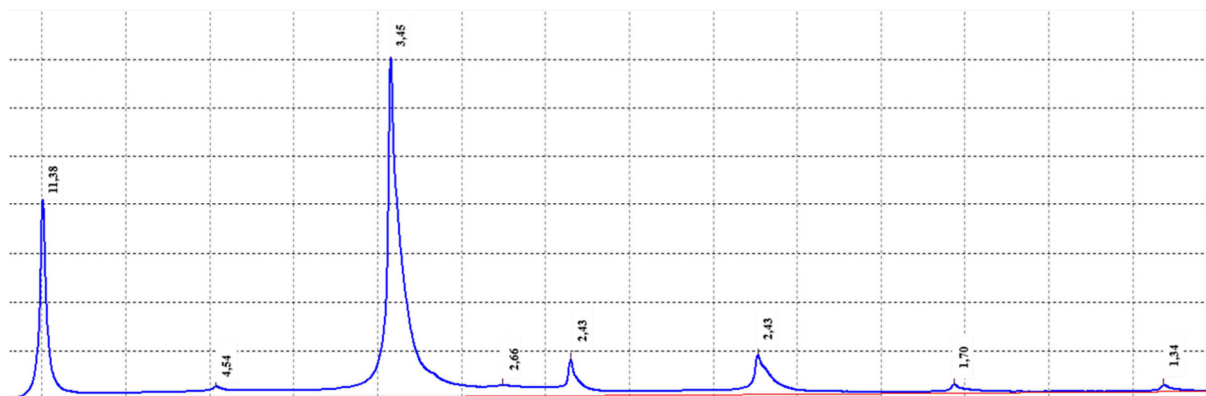


Рис. 1. Дифрактограмма вермикулита

При нагревании частицы вермикулита принимают форму удлинённых изогнутых и скрученных столбиков, образующихся в результате гидратации и других вторичных изменений различных слюд. Вермикулит состоит из мягких, гибких и неэластичных пластинок с совершенной спайностью, твердостью около 1,5 и представлен гидратированным силикатом магния, алюминия и железа, сформированным вследствие преобразования слюды, в которой слои первичной слюды чередуются с вермикулитом или гидробититом. Химический состав и физические свойства переходных разновидностей являются промежуточными между свойствами первичных слюд и собственно вермикулита. Вспученный перлит считается хорошим термостойким материалом, обладает звуко- и теплоизоляционными свойствами.

Вспученный вермикулит отличается от других пористых заполнителей пластинчатым строением, малой прочностью, особо сильно развитой поверхностью, большим водопоглощением и значительной деформативностью. Куски вспученного вермикулита состоят из разделенных одна от другой воздушными прослойками пластинок толщиной 0,02...0,05 мм, объединенных в более крупные пластины, которые соединяясь между собой, образуют мелкие «гармошки». Поэтому истинная поверхность кусков вспученного вермикулита значительно больше, чем у других пористых заполнителей. Прочность кусков при сжатии перпендикулярно слоям составляет 0,15...0,3 кг/см², а параллельно слоям 0,5...0,9 кг/см². Водопоглощение вспученного вермикулита колеблется от 120 % до 400 % по массе в зависимости от плотности и зернового состава. Теплопроводность зерен вдоль слоев почти в 2 раза больше, чем перпендикулярно к ним.

Структура вермикулита отличается тонким расслоением, наличием внутри вспученных пакетов большого количества крупных и мелких пор, имеющих продолговатую и замкнутую форму.

Площадь крупных пор составляет около 30 % от всей площади разреза. Площадь, занятая ве-

ществом, составляет около 5,5 % от общей площади. При этом мелкие поры занимают примерно до 64,5 % всей площади. Под микроскопом при увеличении хорошо видны мелкие и мельчайшие поры (рис. 2), причём для хорошего вермикулита характерно сравнительно равномерное их распределение. Пористая структура с перемычками придает вермикулиту прочность и некоторую упругость. Вспученные листки создают теплоизоляционный слой, отчего скорость дегидратации внутренних слоев уменьшается, соответственно снижается степень вспучивания и несколько удлиняется его продолжительность. Внутри вспученного вермикулита наблюдается расслоение разделившихся пластинок, образуются выпуклые линзы и крупные поры в них. Кроме того, внутри линз происходит расслоение на более мелкие хорошо вспученные области тех же форм.

Вспученный вермикулит имеет кубовидную форму и бугристую поверхность. Он дает хаотическую ориентировку кускам в засыпке, хорошо сцепляется с вяжущим, отчего требует при изготовлении меньшего расхода цемента, придавая композиту более высокую прочность (рис. 2).

Теплопроводность вспученного вермикулита зависит от плотности, температуры, размера кусков и ориентировки их по отношению к тепловому потоку. По данным Н.Н. Кальянова [21], при повышении температуры коэффициент теплопроводности увеличивается вследствие возрастающего влияния конвективного теплообмена внутри пор. При температуре до 100 °С теплопроводность мелких фракций больше, чем крупных, имеющих меньшую плотность. При более высоких температурах наблюдается обратная зависимость, так как конвективный теплообмен в крупных фракциях больше, чем в мелких. Таким образом, для теплоизоляции при обычных температурах целесообразно использовать крупные фракции, а при высоких - мелкие.



Рис. 2. Структура вермикулита

Целью работы является получение эффективных теплоизоляционных растворов с низкими показателями по плотности и необходимыми показателями по прочности с использованием вспученного вермикулита.

Материалы и методы. В работе в качестве сырьевых материалов для проведения испытаний использовали портландцемент ЦЕМ 0 42,5Н

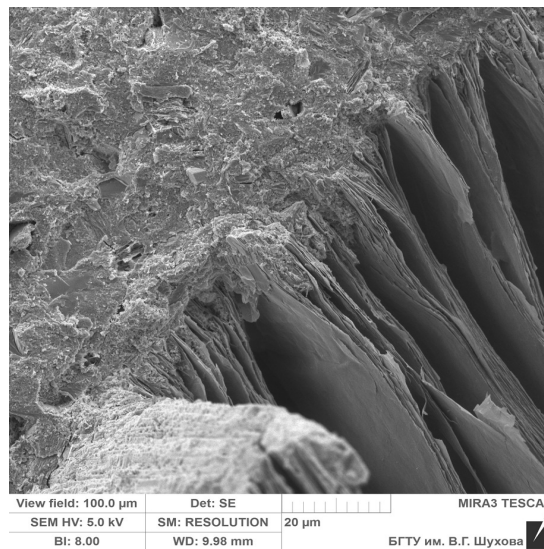


Рис. 3. Вспученный вермикулит на контакте с вяжущим

ГОСТ 31108–2020 с удельной поверхностью 308 м²/кг.

В качестве легкого наполнителя использовали вспученный вермикулит, полученный в результате термообработки природного вермикулита Потанинского месторождения (Челябинской области). Химический состав вермикулита представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав вермикулита (% по массе)

Химический состав, %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Прочее, %
43,3	15,3	13,4	2,2	17,4	1,3	0,4	2,6	4,1

Механоактивацию вяжущих композиций различных составов проводили в вибрационной мельнице ВМ – 20. Продукты гидратации вяжущих композиций изучали методом рентгенофазового анализа на приборе ARL X'TRA Thermo Fisher Scientific. Исследование микроструктуры проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA 3 LMU.

Физико-механические и технологические характеристики вяжущих композиций определяли в соответствии нормативной документацией. Теплопроводность изучали на образцах размером 150×150×20 мм, высушенные до постоянной массы. Для проведения испытаний использовали прибор ИТС-1.

Основная часть. С целью разработки эффективных составов теплоизоляционных растворов с низкой плотностью, на первом этапе были изучены составы вяжущих композиций с использованием в смесях различных дозировок цемента: 90 %, 80 %, 70 % и соответственно вспученного вермикулита: 10 %, 20 %, 30 %. Варьировалось водоцементное отношение в смесях:

В/Ц = 0,3; 0,35; 0,4 с целью обеспечения одинаковой пластичности и хорошей формруемости.

Смешение компонентов производили вручную в одинаковых условиях путем встряхивания в течение 5 мин в емкости объемом 3 л. Из свежеприготовленного раствора формовали образцы-кубики размером 30×30×30 мм. Отформованные образцы выдерживали в нормальных условиях при температуре 20 ± 3 °С в течение 28 суток. Испытания образцов на сжатие проводили на гидравлическом прессе ПГМ-100МГ4.

Анализ результатов физико-механических показателей вяжущих композиций свидетельствует (рис. 4), что при использовании цемента 90 % и вермикулита 10 % возможно получить плотность образцов 1094 кг/м³ при прочности на сжатие 1,7 МПа. Отмечается, что составы отформованные при В/Ц=0,35 и В/Ц=0,3 обладали соответственно низкой и очень низкой пластичностью, что затрудняло формование, вследствие недостаточного количества воды, хотя эти составы показали плотности 1048–959 кг/м³ при прочностях 1,2–0,8 МПа, соответственно.

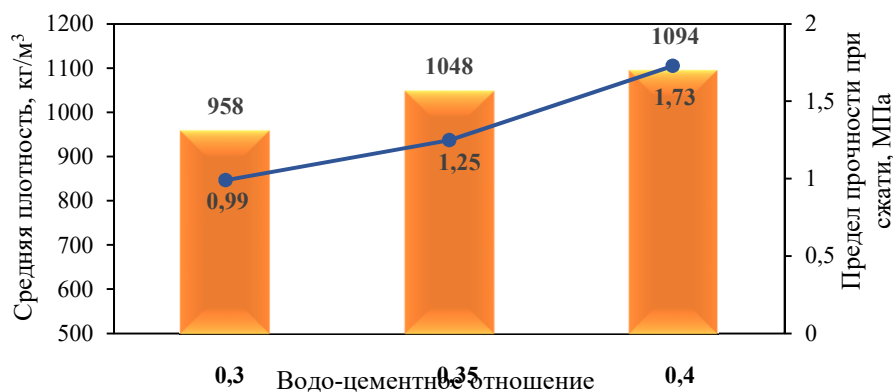


Рис. 4. Физико-механические показатели вяжущих композиций при различных В/Ц

Составы растворов, приготовленные с содержанием вермикулита 20 % и 30 %, имели плотности в диапазоне 468–363 кг/м³, однако образцы не обладали достаточной прочностью для испытаний на прессе, разрушаясь в руках при подготовке к испытаниям, поэтому в дальнейших исследованиях растворы с такой дозировкой не рассматривались.

Результаты испытаний растворов в соотношении цемент 90 % и вермикулит 10 % показали их эффективность и возможность получения растворов, обеспечивающих получение показателей плотности в диапазоне 1094–959 кг/м³ и показателей прочности на сжатие 0,8–1,63 МПа, однако, полученные результаты не обеспечили требуемых показателей по плотности, гарантировавших низкую теплопроводность. В связи с этим ставилась задача по поиску решения по снижению плотности раствора.

При рассмотрении состава сухой теплоизоляционной смеси отмечается, что составляющие смеси имеют значительные отличия в средней плотности (в рыхлом состоянии), так средняя плотность портландцемента составляет 1000–1100 кг/см³, а плотность вспученного вермикулита 60–100 кг/см³. Это и явилось предпосылкой для создания вяжущих композиций с пониженной плотностью и достаточной прочностью при сжатии с последующим применением их в создании раствора пониженной плотности. В связи с поставленной целью были приготовлены составы вяжущих композиций, включающих портландцемент и вспученный вермикулит в различных соотношениях и механоактивированных в вибрационной мельнице (табл. 2).

Таблица 2

Составы и физико-механические характеристики вяжущих композиций, приготовленных в вибрационной мельнице

№ составов	Время помола, мин	Состав %		Удельная поверхность м ² /кг	Физико-механические показатели в возрастах 7, 28 сут.		
					Прочность, МПа		Плотность, кг/м ³
					7	28	
-	0	0	100	308	19,2	48,1	2200
1-0	0	10	90	308	3,8	9,6	1459
1-1	5	10	90	504	14,6	36,4	1620
1-2	10	10	90	583	18,2	45,5	1803
1-3	15	10	90	597	20,0	50,1	1917
1-4	30	10	90	612	23,3	58,2	1933
1-5	40	10	90	600	20,4	51,0	1920
2-0	0	20	80	275	3,1	7,9	1043
2-1	5	20	80	517	11,96	29,9	1510
2-2	10	20	80	604	16,0	40,2	1650
2-3	15	20	80	612	18,0	45,2	1790
2-4	30	20	80	643	20,3	50,9	1881
2-5	40	20	80	620	18,6	46,5	1795
3-0	0	30	70	275	2,0	5,2	951
3-1	5	30	70	546	7,8	19,7	1400
3-2	10	30	70	616	11,1	27,8	1530
3-3	15	30	70	642	13,6	34,2	1650
3-4	30	30	70	722	17,1	42,8	1720
3-5	40	30	70	650	14,2	35,5	1665

Для всех составов вяжущих композиций, приготовленных в вибрационной мельнице (рис. 5) отмечается, что при продолжительности помола возрастает удельная поверхность, при этом отмечается, что наибольший прирост удельной поверхности наблюдается к 10 мин времени помола, свыше этой величины эффективность помола снижается у составов композиционных вяжущих, содержащих 10–20 % вермикулита. Наблюдается увеличение удельной поверхности у состава вяжущей композиции с 30 % вермикулита, что связано со значительным содержанием минерального наполнителя, представленного выветренной осадочной породой вермикулита, что связано с его генезисом. Полученные данные свидетельствуют, что с увеличением продолжительности помола снижается прочность вяжущих композиции, вследствие переизмельчения минерального наполнителя,

выступающего в качестве минеральной подложки для формирования кристаллической структуры композита.

Сравнительные показатели средней плотности и прочности на сжатие гидратированных вяжущих композиций различных составов (табл. 2, рис. 6, 7), механоактивированных в вибрационной мельнице, свидетельствуют об эффективности механообработки. Так, если плотность исходного гидратированного портландцемента составляет 2200 кг/м³, то перемешанная вручную смесь при соотношении портландцемента 90 % и вермикулита 10 % имеет плотность 1459 кг/м³ (состав 1-0). С увеличением продолжительности механоактивации указанных составов до 30 мин плотность возрастает до 1933 кг/м³ (состав 1-4), при дальнейшей активации до 40 мин. (состав 1-5), показатель плотности снижается до 1920 кг/м³.

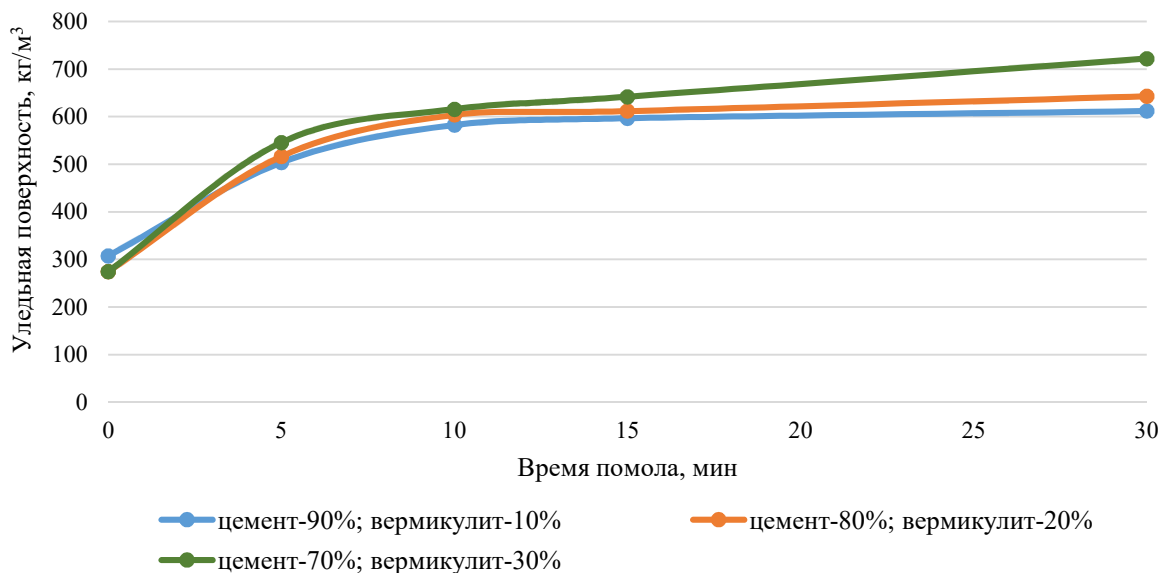


Рис. 5. Влияние продолжительности помола на удельную поверхность вяжущих композиций

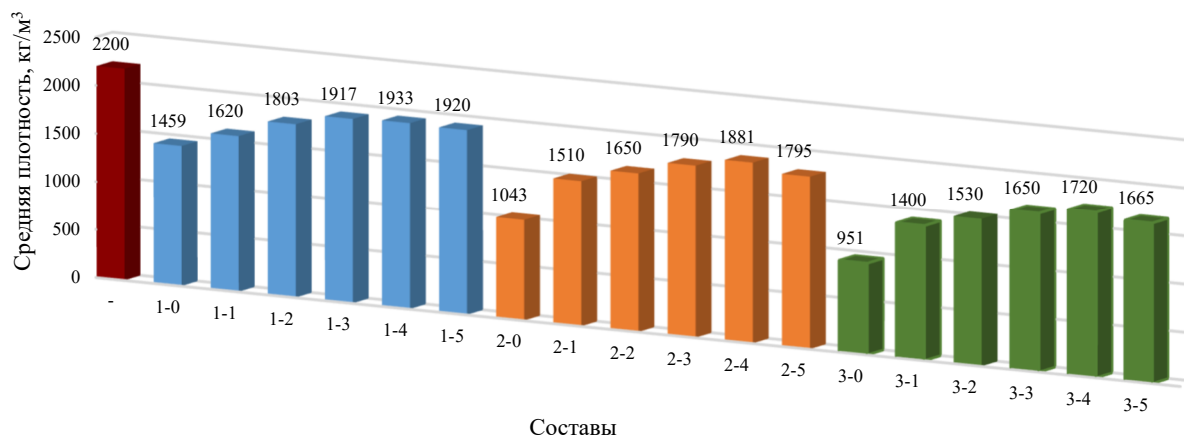


Рис. 6. Сравнительные показатели средней плотности вяжущих композиций различных составов, приготовленных в вибрационной мельнице в возрасте 28 суток

Рассматривая смеси состава портландцемент 80 % и вермикулит 20 %, следует отметить, что ручное смешение обеспечило плотность 1043 кг/м^3 (состав 2-0), обусловленную меньшим содержанием портландцемента в сравнении с составами 1-5. Анализ изменения плотности с 1510 кг/м^3 до 1881 кг/м^3 , гидратированных вяжущих композиций составов с 2-1 по 2-4, указывает на увеличение плотности составов до продолжительности помола до 30 мин.

При дальнейшей механоактивации средняя плотность композиции состава 2-5 снижается до

1795 кг/м^3 , что связано с уменьшением удельной поверхности материала, так как в составе присутствуют сырьевые компоненты с различными исходными плотностями, минеральным составом и особенностями их структур.

Гидратированные вяжущие композиции составов 70 % портландцемента и 30 % вермикулита ручного смешения, имеют плотность 951 кг/м^3 вследствие значительного содержания пористого наполнителя.

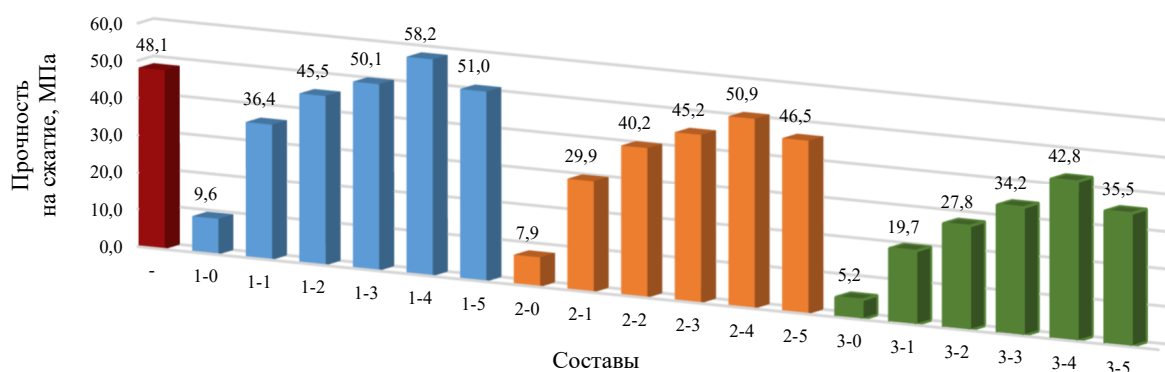


Рис. 7. Сравнительные показатели прочности на сжатие вяжущих композиций различных составов, приготовленных в вибрационной мельнице в возрасте 28 суток

Механоактивация составов с 3-1 по 3-4 при различной продолжительности помола показала, что наблюдается увеличение средней плотности с 1400 кг/м^3 до 1720 кг/м^3 у составов с 3-1 по 3-4, а затем средняя плотность снижается до 1665 кг/м^3 при дальнейшей активации до 40 мин (состав 3-5).

Результаты исследований влияния длительности механоактивации на среднюю плотность составов с различным содержанием портландцемента и вермикулита свидетельствует, что все составы независимо от количества наполнителя при механоактивации до 30 мин приобретают наибольшую плотность, при которой формируется наиболее эффективная структура вяжущих композиций.

Предел прочности при сжатии гидратированных вяжущих композиций составов с 1-1 по 3-5 (табл. 2) изменяется прямо пропорционально показателям средних плотностей.

Механоактивация вяжущих композиций в зависимости от продолжительности обработки в сравнении с неактивированными смесями увеличивает прочность на сжатие в возрасте 28 суток: для состава 1-0 (9,6 МПа) в 3,8-6,1 раза, для состава 2-0 (7,9 МПа) в 3,8-6,5 раза и для состава 3-0 (5,2 МПа) в 3,8-8,2 раза.

Таким образом, механоактивация в вибрационной мельнице исследуемых композиций при продолжительности механообработки до 30 мин позволяет получить вяжущие композиции с высокими показателями предела прочности при сжатии, превосходящие показатели исходного цемента на 20,1 % для состава: портландцемент 90 % и вермикулит 10 % (составов 1-4); на 6 % для состава: портландцемент 80 % и вермикулит 20 % (состав 2-4), а также позволяющие экономить до 10 – 20 % дорогостоящего энергоёмкого цемента.

Проведенными исследованиями по определению теплопроводности вяжущей композиции был установлен показатель теплопроводности, равный $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Применение полученных вяжущих композиций, приготовленных из смеси портландцемента и вермикулита, в сочетании с пористым наполнителем – вспученным вермикулитом в соответствии законом сродства структур [6], позволит получить теплоизоляционный раствор с высокими теплозащитными показателями и гарантированной прочностью.

Сравнительный рентгенофазовый анализ гидратированной вяжущей композиции состава 1-4 (рис. 9) с гидратированным портландцементом (рис. 8) в возрасте 28 суток показал, что дифрактограммы вяжущих композиций содержат

все фазы, свойственные портландцементу: $(Ca)OH_2$ ($d=4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79$); $CSH(I)$ ($d = 3,04; 2,88; 1,83; 2,78; 1,66$ Å); $CSH(II)$ ($d = 9,8; 3,04; 2,88; 2,81; 1,84$ Å); $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ($d = 9,83; 5,62;$

$4,69; 5,88; 3,48; 3,25; 2,72; 2,55; 2,25; 2,19$, Å), а также дифракционные максимумы, присущие вермикулиту: ($d = 11,38; 4,54; 3,45; 2,66; 2,43; 2,19; 1,70; 1,44$ Å).

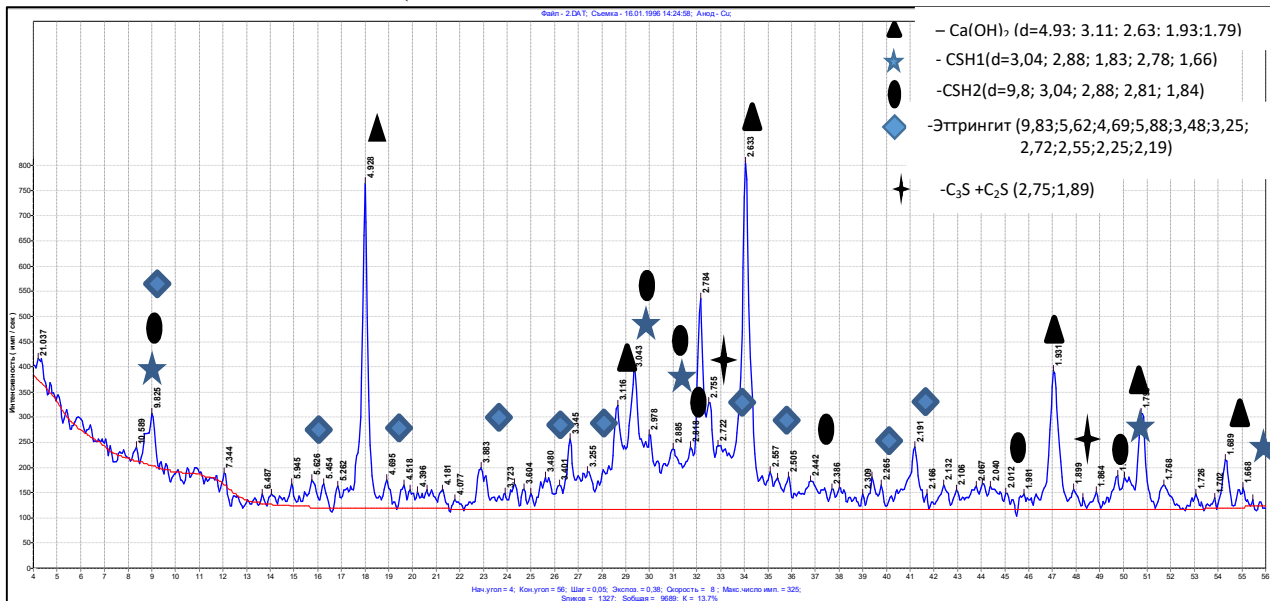


Рис. 8. Дифрактограмма гидратированного портландцемента в возрасте 28 сут

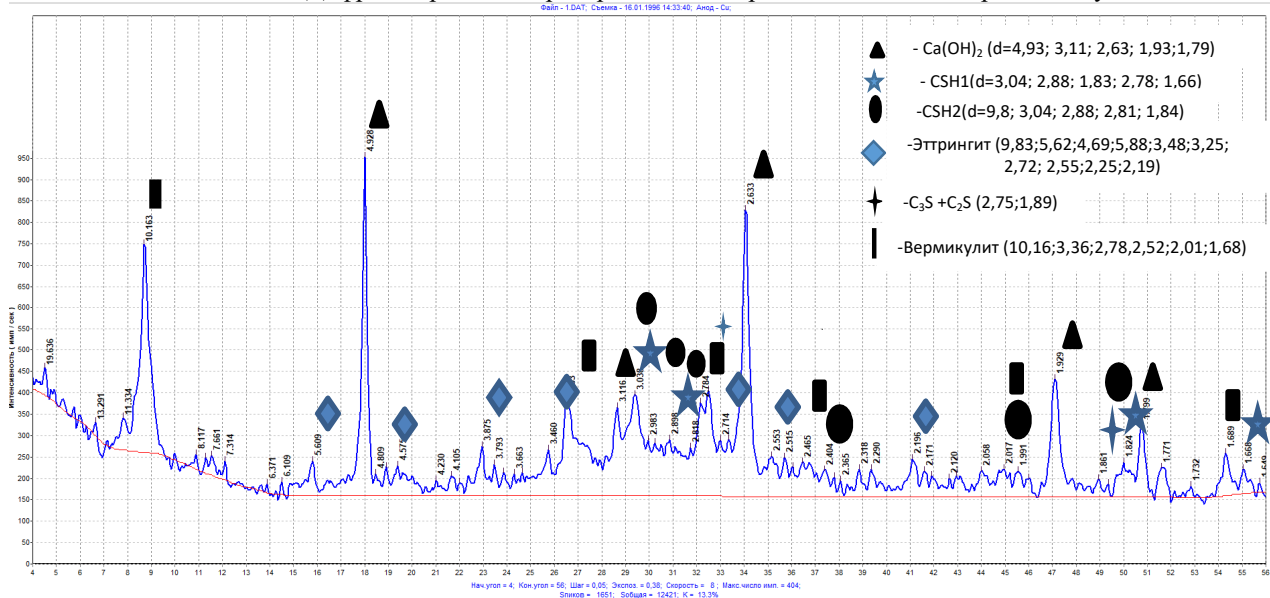
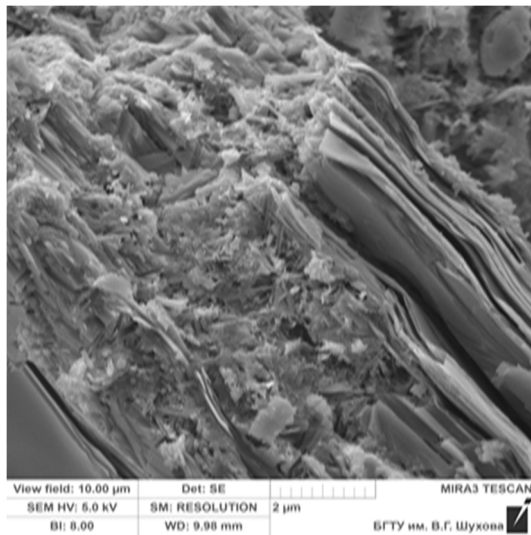


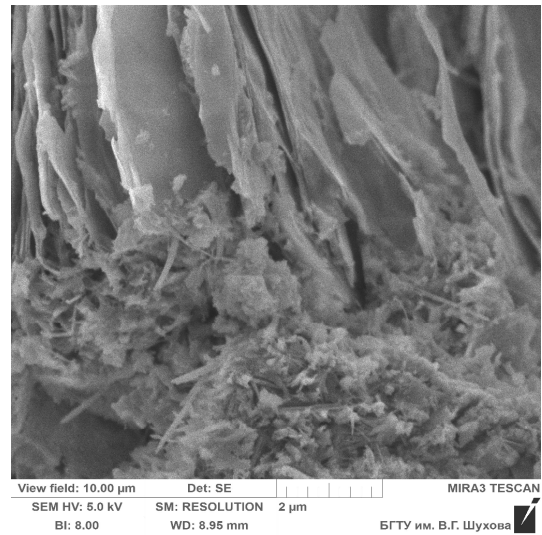
Рис. 9. Дифрактограмма гидратированной вяжущей композиции состава 1-4 в возрасте 28 сут

Изучение микроструктуры цементных камней вяжущих композиций наилучших составов 1-4; 2-4; 3-4; в возрасте 7 и 28 суток, представленных на (рис. 10) свидетельствует, что все образцы, изготовленные на основе вяжущей композиции и различного количества минеральной добавки, имеют незначительные отличия, обусловленные количественным присутствием вермикулитового наполнителя. Во всех образцах отмечается слитная структура и значительное количество пор, созданных пористым вермикулитовым наполнителем, также отмечается пористость по всему объему, в этих порах прорастают гидросиликаты кальция и алюминия. Отчетливо просмат-

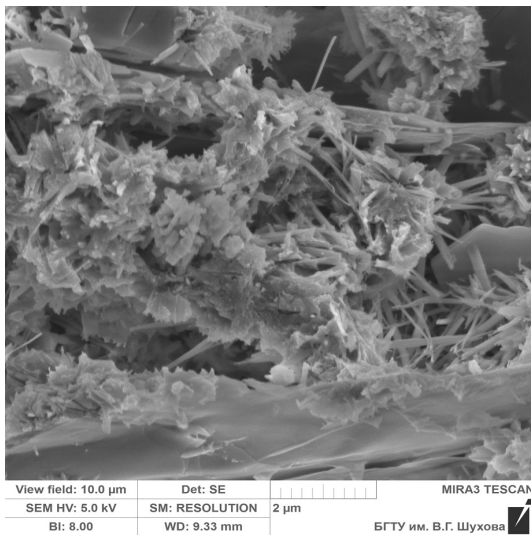
ривается формирование контактных зон на границах вермикулитового наполнителя и формирующихся кристаллогидратов. Следует отметить, что на поверхностях наполнителя, как на подложке формируется равномерная кристаллическая структура, пронизывающая весь композит по объему, отчетливо видны срастания кристаллогидратов различных фаз. Микрофотографии свидетельствуют о текущем формировании гидроалюминатов и гидросиликатов в возрасте 7 и 28 суток, что свидетельствует о дальнейшем нарастании прочности в образце. Данные микроскопических исследований, четко согласуются с результатами и физико-механических испытаний.



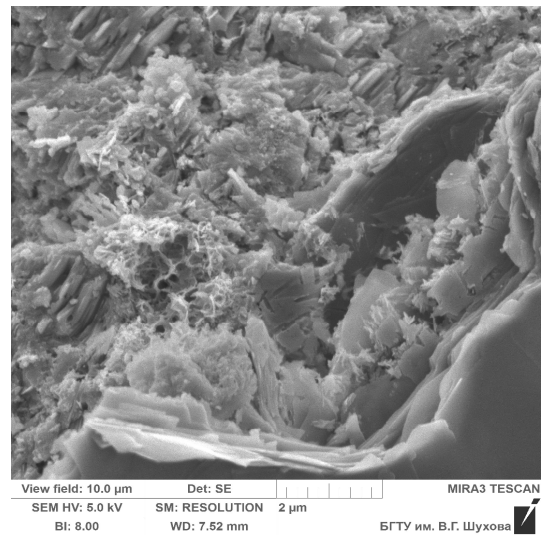
Микроструктура цементного камня из вяжущей композиции состава 1–4 в возрасте 7 суток



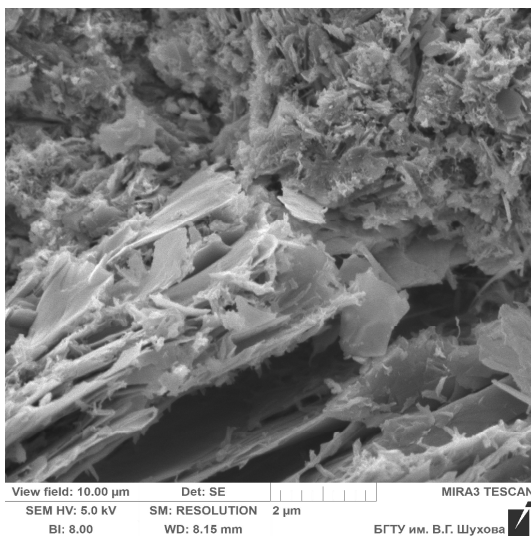
Микроструктура цементного камня из вяжущей композиции состава 1–4 в возрасте 28 суток



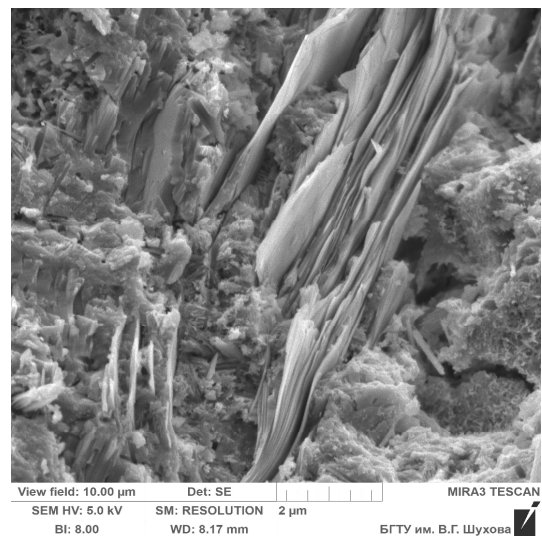
Микроструктура цементного камня из вяжущей композиции состава 2–4 в возрасте 7 суток



Микроструктура цементного камня из вяжущей композиции состава 2–4 в возрасте 28 суток



Микроструктура цементного камня из вяжущей композиции состава 3–4 в возрасте 7 суток



Микроструктура цементного камня из вяжущей композиции состава 3–4 в возрасте 28 суток

Рис. 10. Микроструктура цементных камней из вяжущих композиций, составов 1–4, 2–4, 3–4 в возрасте 7 и 28 суток

Выводы. Цементный камень из разработанных вяжущих композиций создается за счет формирования пространственного каркаса, создаваемого пористым минеральным наполнителем, который за счет высокой дисперсности занимает значительный пространственный объем и на этом минеральном наполнителе, как на подложках, формируется кристаллическая структура, создаваемая гидросиликатами и гидроалюминатами кальция, постепенно наращивая как бы вторичный каркас кристаллическими новообразованиями на тонкодисперсных вермикулитовых зернах – пластинах. Разработанная вяжущая композиция обладает пористой структурой за счет введения вермикулитового наполнителя, что обеспечивает снижение теплопроводности создаваемого композита.

Применение разработанных вяжущих композиций с высокими показателями по прочности до 58,2 МПа и относительно низкой плотностью 1933 кг/м³ позволят получить теплозащитные растворы, за счет создания пространственного высокопрочного каркаса и обеспечит высокие теплозащитные и термостойкие свойства строительным растворам и бетонам.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 22-19-20115, <https://rscf.ru/project/22-19-20115/> и Правительства Белгородской области, Соглашение №3 от 24.03.2022.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Degirmenci N., Arin N.Y. Use of pumice fine aggregate as an alternative to standard sand in production of lightweight cement mortar // *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2011. Vol. 18. Pp. 61–68.
2. Unal O., Uygunoglu T., Yildiz A. Investigation of properties of low-strength lightweight concrete for thermal insulation // *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Pp. 584–590.
3. Koksal F., Gencil O., Hagh-Lobland H.E., Brostow W. Effect of high temperature on mechanical and physical properties of lightweight cement based refractory including expanded vermiculite // *Materials Research Innovations*. 2012. Vol. 16. Iss. 1. Pp. 7–13.
4. Zagorodnyuk L., Sums koy D., Lesovik V., Fediuk R. Modified heat insulating binder using jet-grinded waste of expanded perlite sand // *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 260. Pp. 120440. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120440.
5. Загороднюк Л.Х., Рахимбаев Ш.М., Сумской Д.А., Рьжих В.Д. Особенности процессов гидратации вяжущих композиций с использованием отходов вспученного перлитового песка // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2020. № 11. С. 75–88. DOI 10.34031/2071-7318-2020-5-11-75-88.
6. Лесовик В. С., Загороднюк Л. Х., Чулкова И. Л. Закон сродства структур в материаловедении // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 3-2. С. 267–271.
7. Lanzon M., Garcia-Ruiz P.A. Lightweight cement mortars: advantages and inconveniences of expanded perlite and its influence on fresh and hardened state and durability // *Construction Building Materials*. 2008. Vol. 22. Iss. 8. Pp. 1798–1806.
8. Munoz-Ruiperez C., Rodriguez A., Gutierrez-Gonzales S., Calderon V. Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 118. Pp. 139–145.
9. Kayali O. Fly ash lightweight aggregates in high performance concrete // *Construction Building Materials*. 2008. Vol. 22. Iss. 12. Pp. 2393–2399.
10. Shafiq P., Jumaat M.Z., Mahmud H. Oil palm Shell as lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete // *Construction Building Materials*. 2011. Vol. 25. Iss. 4. Pp. 1848–1853.
11. Merino M.R., Astorqui J.S.C., Cortina M.G. Viability analysis and constructive applications of lightened mortar (rubber cement mortar) // *Construction and Building Materials*. 2007. Vol. 21. Pp. 1785–1791. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.05.014.
12. Suvorov S.A., Skurikhin V.V. Vermiculite – a promising material for hightemperature heat insulation // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2003. Vol. 44. No. 3. Pp. 186–193.
13. Shmuradko V.T., Panteleenko F.I., Reut O.P., Panteleenko E.F., Kirshina N.V. Composition structure and property formation of heat insulation fire and heat-reflecting materials based on vermiculite for industrial power generation // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2012. Vol 53. Iss. 4. Pp. 254–258.
14. Bors J., Gorny A., Dultz S. Iodide, cerium and strontium adsorption by organophilic vermiculite // *Clay Minerals*. 1997. Vol. 32. Iss. 1. Pp. 21–28.
15. Yurkon A.L., Akselrod L.M. Properties of heat-insulating materials // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2005. Vol. 46. Iss. 3. Pp. 170–174.
16. Abdeen M.A.M., Hodhod H. Experimental investigation and development of artificial neural network model for the properties of locally produced light weight aggregate concrete // *Engineering*. 2010. Vol. 2. Pp. 408–419.
17. Lei G. Togay Ozbakkaloglu. Use of recycled plastics in concrete: a critical review // *Waste Management*. 2016. Vol. 51. Pp. 19–42. doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.005.

18. Kligys M., Laukaitis A., Sinica M., Sezemanas G., Dranseika N. Investigations into the fire hazard of a composite made from aerated concrete and crushed expanded polystyrene waste // *Mechanics Composite Materials*. 2008. Vol. 44. Pp. 173–180.

19. Noguchi T., Miyashita M., Inagaki Y., Watanabe H. A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent. Part 1. // *A new recycling technique, Pack 3. Technical science*. 1998. Vol. 11. Iss. 1. Pp. 19–27. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1522(199802)11:1<19::AID-PTS414>3.0.CO;2-5.

20. Rashad Alaa M. A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. Pp. 338–353.

21. Кальянов Н.Н., Мерзляк А.Н. Вермикулит и перлит – пористые заполнители для теплоизоляционных изделий. Москва: Госстройиздат, 1961. 155 с.

22. Schackow A., Effting C., Folgueras M.V., Güths S., Mendes G.A. Mechanical and thermal

properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 57. Pp. 190–197.

23. Abdul Rahman S., Babu G. An experimental investigation on light weight cement concrete using vermiculite minerals // *International Journal Innovative Research Science Engineering Technology*. 2016. Vol. 5. Iss. 2. Pp. 2389–2392.

24. Sutcu M., Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks // *Ceramics International*. 2015. Vol. 41. Pp. 2819–2827.

25. Ахтямов Р.Я. Вермикулит – сырье для производства огнеупорных теплоизоляционных материалов // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2009. №1-2. С. 58–64.

26. Ахтямов Р.Я. Применение эффективных теплоизоляционных материалов и жаростойких бетонов в футеровках печей обжига керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2004. № 2. С. 26–28.

Информация об авторах

Аль Мамури Саад Кхалил Шаид, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: saad.shadeed.ss71@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Загороднюк Лилия Хасановна д-р. техн. наук, профессор кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: LHZ47@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сумской Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Бочарников Андрей Леонидович, студент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: andrew220399@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Шеметова Ольга Михайловна, аспирантка кафедры механического оборудования. E-mail: olga95kizilova@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 22.12.2022 г.

© Аль Мамури Саад Кхалил Шаид., Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Бочарников А.Л., Шеметова О.М., 2023

Al Mamouri Saad Khalil Shadid, *Zagorodniuk L.Kh., Sumskoy D.A., Bocharnikov A.L., Shemetova O.M.

Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov

**E-mail: lhz47@mail.ru*

BINDING COMPOSITIONS USING VERMICULITE FOR HEAT PROTECTIVE SOLUTIONS

Abstract. *The study of cement mortars containing expanded vermiculite as a filler is presented. The use of vermiculite up to 30 % or more leads to good thermal insulation properties of solution, but low compressive strength. Features of the nature of expanded vermiculite contribute to reducing the density and providing heat-shielding properties. Mechanical activation of binder compositions depending on the duration of treatment in a vibrating mill compositions: Portland cement 90–70 %, vermiculite 10–30 %, allow to obtain a density in*

the range of 1720–1933 kg/m³, with a strength of 42.8–58.2 MPa, while saving up to 10–20 % of expensive energy-intensive cement. Cement stone from binder compositions is created due to the formation of a spatial framework created by a porous mineral filler, which, due to its high dispersion, occupies a significant spatial volume and a crystalline structure is formed on this mineral filler, as on substrates, created by calcium hydro-silicates and hydroaluminates. It builds up a secondary framework with crystalline neoplasms on finely dispersed vermiculite grains – plates. The developed binder has a porous structure due to the introduction of vermiculite filler, which reduces the thermal conductivity of the created composite. The use of the resulting binder compositions prepared from a mixture of Portland cement and vermiculite, in combination with a porous filler - expanded vermiculite, allows obtaining a heat-insulating mortar with high heat-shielding performance and guaranteed strength.

Keywords: expanded vermiculite, binder composition, heat protection solutions, Portland cement, low density, microstructure.

REFERENCES

1. Degirmenci N., Arin N.Y. Use of pumice fine aggregate as an alternative to standard sand in production of lightweight cement mortar. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2011. Vol. 18. Pp. 61–68.
2. Unal O., Uygunoglu T., Yildiz A. Investigation of properties of low-strength lightweight concrete for thermal insulation. *Building and Environment*. 2007. Vol. 42. Pp. 584–590.
3. Koksall F., Gencil O., Hagh-Lobland H.E., Brostow W. Effect of high temperature on mechanical and physical properties of lightweight cement based refractory including expanded vermiculite. *Materials Research Innovations*. 2012. Vol. 16. Iss. 1. Pp. 7–13.
4. Zagorodnyuk L., Sumskey D., Lesovik V., Fediuk R. Modified heat insulating binder using jet-grinded waste of expanded perlite sand. *Construction and Building Materials*. 2020. Vol. 260. Pp. 120440. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.120440.
5. Zagorodnyuk L.Kh., Rakhimbaev Sh.M., Sumskey D.A., Ryzhykh V.D. Features of the processes of hydration of binder compositions using waste expanded perlite sand. [Osobennosti processov gidratatsii vyazhushchih kompozitsij s ispol'zovaniem othodov vspuchennogo perlitovogo peska]. *Vestnik BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 11. Pp. 75–88. DOI:10.34031/2071-7318-2020-5-11-75-88. (rus)
6. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. The law of structure affinity in materials science [Zakon srodstva struktur v materialovedenii]. *Fundamental research*. 2014. No. 3-2. Pp. 267–271. (rus)
7. Lanzon M., Garcia-Ruiz P.A. Lightweight cement mortars: advantages and inconveniences of expanded perlite and its influence on fresh and hardened state and durability. *Construction Building Materials*. 2008. Vol. 22. Iss. 8. Pp. 1798–1806.
8. Munoz-Ruiperez C., Rodriguez A., Gutierrez-Gonzales S., Calderon V. Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 118. Pp. 139–145.
9. Kayali O. Fly ash lightweight aggregates in high performance concrete. *Construction Building Materials*. 2008. Vol. 22. Iss. 12. Pp. 2393–2399.
10. Shafiq P., Jumaat M.Z., Mahmud H. Oil palm Shell as lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete. *Construction Building Materials*. 2011. Vol. 25. Iss. 4. Pp. 1848–1853.
11. Merino M.R.; Astorqui J. S. C.; Cortina M. G. Viability analysis and constructive applications of lightened mortar (rubber cement mortar). *Construction and Building Materials*. 2007. Vol. 21. Pp. 1785–1791. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.05.014.
12. Suvorov S.A., Skurikhin V.V., Vermiculite – a promising material for hightemperature heat insulation. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2003. Vol. 44. No. 3. Pp. 186–193.
13. Shmuradko V.T., Panteleenko F.I., Reut O.P., Panteleenko E.F., Kirshina N.V. Composition structure and property formation of heat insulation fire and heat-reflecting materials based on vermiculite for industrial power generation. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2012. Vol 53. Iss. 4. Pp. 254–258.
14. Bors J., Gorny A., Dultz S. Iodide, cerium and strontium adsorption by organophilic vermiculite. *Clay Minerals*. 1997. Vol. 32. Iss. 1. Pp. 21–28.
15. Yurkon A.L., Akselrod L.M. Properties of heat-insulating materials. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2005. Vol. 46. Iss. 3. Pp. 170–174.
16. Abdeen M.A.M., Hodhod H. Experimental investigation and development of artificial neural network model for the properties of locally produced light weight aggregate concrete. *Engineering*. 2010. Vol. 2. Pp. 408–419.
17. Lei G. Togay Ozbakkaloglu. Use of recycled plastics in concrete: a critical review. *Waste Management*. 2016. Vol. 51. Pp. 19–42. doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.005.
18. Kligys M., Laukaitis A., Sinica M., Sezemanas G., Dranseika N. Investigations into the fire hazard of a composite made from aerated concrete and

crushed expanded polystyrene waste. *Mechanics Composite Materials*. 2008. Vol. 44. Pp. 173–180.

19. Noguchi T., Miyashita M., Inagaki Y., Watanabe H. A new recycling system for expanded polystyrene using a natural solvent. Part 1. A new recycling technique, Part 3. *Technical science*. 1998. Vol. 11. Iss. 1. Pp. 19–27. doi.org/10.1002/(SICI)1099-1522(199802)11:1<19::AID-PTS414>3.0.CO;2-5.

20. Rashad Alaa M. A synopsis about perlite as building material – A best practice guide for Civil Engineer. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. Pp. 338–353.

21. Kalyanov N.N., Merzlyak A.N. Vermiculite and perlite - porous fillers for heat-insulating products [Vermikulit i perlit – poristye zapolniteli dlya teploizolyacionnyh izdelij]. Moscow: Gosstroyizdat. 1961. 155 p. (rus)

22. Schackow A., Effting C., Folgueras M.V., Güths S., Mendes G.A. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 57. Pp. 190–197.

23. Abdul Rahman S., Babu G. An experimental investigation on light weight cement concrete using vermiculite minerals. *International Journal Innovative Research Science Engineering Technology*. 2016. Vol. 5. Iss. 2. Pp. 2389–2392.

24. Sutcu M., Influence of expanded vermiculite on physical properties and thermal conductivity of clay bricks. *Ceramics International*. 2015. Vol. 41. Pp. 2819–2827.

25. Akhtyamov R. Ya. Vermiculite as a raw material for the production of refractory heat-insulating materials [Vermikulit – syr'e dlya proizvodstva ognepurnykh teploizolyacionnyh materialov]. *Refractories and technical ceramics*. 2009. No. 1-2. Pp. 58–64. (rus)

26. Akhtyamov R. Ya. The use of effective heat-insulating materials and heat-resistant concretes in the lining of furnaces for firing ceramic bricks [Primenenie effektivnykh teploizolyacionnyh materialov i zharostokih betonov v futerovkah pechej obzhiga keramicheskogo kirpich]. *Stroitel'nye materialy*. 2004. No. 2. Pp. 26–28. (rus)

Information about the authors

Al Mamouri Saad Khalil Shadid. Postgraduate student. E-mail: saad.shadeed.ss71@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Zagorodnyuk, Liliya K. DSc, Professor. E-mail: LHZ47@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Sumskoy, Dmitry A. PhD. E-mail: pr9nik2011@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Bocharnikov, Andrey L. Student. E-mail: andrew220399@gmail.com. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Shemetova, Olga M. Postgraduate student. E-mail: olga95kizilova@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 22.12. 2022

Для цитирования:

Аль Мамури Саад Кхалил Шаид, Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Бочарников А.Л., Шеметова О.М. Вяжущие композиции с использованием вермикулита для теплозащитных растворов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 2. С. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-8-19

For citation:

Al Mamouri Saad Khalil Shadid, Zagorodnyuk L.Kh., Sumskoy D.A., Bocharnikov A.L., Shemetova O.M. Binding compositions using vermiculite for heat protective solutions. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 2. Pp. 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-8-19