

### 3. ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СТРОИТЕЛЬСТВО И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 691.55

#### ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ШТУКАТУРНЫЕ СМЕСИ С ПОРИСТЫМИ ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ

В.И. Калинин, М.А. Смирнов, В.И. Трофимов, В.В. Белов

© Калинин В.И., Смирнов М.А.,  
Трофимов В.И., Белов В.В., 2024

***Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме теплоизоляции зданий и сооружений. Представлены теплоизоляционные растворы пониженной плотности с улучшенными теплотехническими характеристиками. Указано, что применение теплоизоляционных перлитовых штукатурок для наружной отделки зданий является дополнительной мерой, улучшающей теплоизоляцию наружных стен и увеличивающей звукоизоляции помещений. Сделан вывод, что вышеназванные штукатурки превосходят остальные по своим теплотехническим свойствам, т. е. имеют наименьший коэффициент теплопроводности и паропроницаемости, малую плотность, что обеспечивает наименьшие тепловые потери всей конструкции и отдельного слоя.*

***Ключевые слова:** вермикулитовый концентрат, пористые заполнители, вспученный вермикулит, органоминеральный гидрофобизатор, теплоизоляционные смеси, физико-химические анализы, водопоглощение, физико-механические характеристики, гипсовермикулитовые растворы.*

#### Введение

Энергопотребление городских зданий и загородных коттеджей составляет около 43 % от всей вырабатываемой энергии, причем 90 % из указанного количества уходит на отопление, что в 2,5–4 раза больше по сравнению с таковым в развитых западных странах. В связи с отсутствием хорошей теплозащиты зданий и сооружений около 70 % энергии, растворяясь в воздухе, отапливает окружающую среду, что отрицательно сказывается на защите и поддержании устойчивого климата на планете. При строительстве дома затраты на создание теплоизоляции относительно малы; при вводе здания в эксплуатацию основные затраты приходятся на его отопление. Создание качественной теплоизоляции обеспечивает экономию до 50 % энергии, затрачиваемой на обогрев помещений. Рост цен на энергоносители, а также климатические условия многих стран

требуют активного развития производства теплоизоляционных материалов.

Во многих государствах популярны теплоизоляционные растворы, содержащие заполнители с пористой структурой, которые гарантируют получение высоких теплозащитных свойств (о таких свойствах свидетельствует значительный опыт использования пемзы, вспученных глин, диатомита, вспученного перлита, вспученного вермикулита, отходов пенополистирола, каучука). Особую значимость при разработке теплоизоляционных растворов получил вермикулит как заполнитель, имеющий низкую плотность, обеспечивающую высокие теплозащитные характеристики создаваемых композитов. Вермикулит, относящийся к группе гидрослюд, при термообработке значительно увеличивается в объеме, приобретает «гармошкообразную» форму и состоит из неэластичных и гибких пластинок твердостью 1,5, которые представлены гидратированными силикатами магния, алюминия и железа, образовавшимися вследствие метаморфизма слюды, в которой слои первичной слюды чередуются с гидробиотитом и вермикулитом.

Применение вермикулита при приготовлении композиционного вяжущего позволяет получить пористую вяжущую композицию, в которой благодаря высокой дисперсности и гомогенности минералов портландцементного клинкера и вермикулита образуется высокодисперсная объемная структура. В ней частички мельчайших вермикулитовых зерен выступают как подложки, на которых формируются кристаллогидраты кальция, алюминия, срастаясь по объему и постепенно создавая пористые гидрогранаты. Использование вспученного вермикулита как легкого заполнителя при приготовлении теплоизоляционного раствора обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства, так как структура вышеназванного вермикулита представлена вспученными пакетами и содержит значительное количество мелких и крупных пор, характеризующихся продолговатой формой [1; 2].

### **Эффективные сухие растворные смеси для использования вспученных заполнителей**

В связи с высокой востребованностью теплоизоляционных растворов перед строительным рынком стоит задача создания теплоизоляционных растворов с улучшенными теплозащитными характеристиками. При формировании такого раствора нами проведена многократная оптимизация на всех стадиях его приготовления, а именно: на стадии получения композиционных вяжущих, приготовленных на основе портландцемента и минерального наполнителя; на стадии введения функциональных добавок, заполнителя (вспученного перлитового песка); на стадии добавления пенополистирольных микросфер. Для снижения плотности теплоизоляционных растворов необходимо создать качественное композиционное вяжущее [1–5]. Для выбора оптимального состава указанного

вяжущего были исследованы некоторые вяжущие композиции с различным процентным соотношением, проходящими (одним, двумя и тремя) через вихревую струйную мельницу. В качестве исходных компонентов использовали вспученный перлитовый песок М75 производства ОАО «Осколнаб» (г. Старый Оскол), соответствующий ГОСТ 10832-91 «Песок и щебень перлитовые вспученные. Технические условия», и отходы его производства, портландцемент производства ЗАО «Белгородский цемент» ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия». Товарный цемент сравнивался с вяжущей композицией, содержащей отходы перлитового производства в количестве 5; 7,5; 10 % по массе дозированных компонентов.

Для вяжущих композиций и портландцементов были определены физико-механические показатели, нормальная плотность, сроки схватывания, проведен гранулометрический анализ на приборе ANALYSETTE 22 NanoТес plus и изучена микроструктура на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU. Лучшие составы по прочности при сжатии были получены при дозировке отходов производства вспученного перлитового песка в количестве 5 % (55,6 МПа при одном проходе через вихревую струйную мельницу; 52,0 МПа – при трех). При соотношении «портландцемент : отходы производства вспученного перлитового песка» 90 : 10 % прочность была равна 53,3 МПа. Исходя из соображений экономии электроэнергии, в дальнейших исследованиях приняли соотношение 95 : 5 % и один проход через указанную мельницу [3; 4].

Композиционные строительные смеси на основе гидрофобизированного вспученного вермикулита приготовлены методом гомогенизации исходных материалов в лабораторном миксере в течение 20 мин [2; 3]. Для улучшения строительно-технических свойств теплоизоляционных композиционных штукатурных смесей использованы химические добавки (прежде всего водоудерживающие (эфир целлюлозы, водорастворимые полимерные порошки, суперпластификатор JK-02) и замедлители процесса кристаллизации полугидрата сульфата кальция). Теплопроводность композиционных строительных смесей определяли по ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме», физико-механические и строительно-технические свойства гипсовермикулитовых теплоизоляционных растворов – в соответствии с ГОСТ 31376-2008 «Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Методы испытаний» [3; 4].

## **Композиционные строительные смеси на основе гидрофобизированного вспученного вермикулита**

Основной кристаллической фазой, присутствующей в вермикулитовом концентрате, является вермикулит. Имеются примеси кальцита, флогопита и (в минимальном количестве) биотита. Дифракционные максимумы, характерные для минералов, не в полной мере отвечают в плане интенсивности справочным данным, что свидетельствует о несовершенстве структуры присутствующих в вермикулитовом концентрате минералов [5]. Установлено, что потери массы образцов тонкоизмельченного вермикулита составляют 2,56 % при 96,6 °С, далее при 293,7 °С они равны 0,23 %, при 634,5 °С – 1,32 %. Эндоеффект при 836,1 °С сопровождается потерей массы образца в количестве 1,39 %. Максимальная потеря массы происходит при 971,4 °С и составляет 1,66 %. Общая потеря массы – 7,19 %.

Проведенные опыты показали, что исследуемый вермикулитовый концентрат характеризуется наличием значительных количеств слабо связанной воды, что обуславливает высокую способность сырья к вспучиванию. Благодаря легкости и высокой температуростойкости (до 1 100 °С) вспученный вермикулит, полученный методом термической обработки вышеназванного концентрата, применяют в качестве засыпной изоляции для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в качестве заполнителя в акустических штукатурках и легких бетонах. Кроме того, его применяют для изоляции оборудования с температурой поверхности от –26 до +900 °С [6].

Во время разработки составов композиционных теплоизоляционных штукатурных смесей вспученный вермикулит образовался в лабораторных условиях обжигом вермикулитового концентрата месторождения «Тебинбулак» (Республика Каракалпакстан). Проведенные исследования выявили, что применение органоминерального модификатора для гидрофобизации вспученного вермикулита способствует уменьшению количества воды при приготовлении формовочного раствора, следовательно, улучшились прочностные показатели и адгезионные свойства. Во время разработки составов композиционных легких штукатурных смесей в качестве водоудерживающей добавки использовали известь пушонка с тонкостью помола 3 500–4 000 см<sup>2</sup>/г, а в качестве мелкого наполнителя – микрокальцит [6; 7].

Строительно-технические характеристики и физико-механические свойства легких теплоизоляционных растворов, полученные на основе гидрофобизированного вспученного вермикулита, находили в соответствии с ГОСТ 31376-2008 «Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Методы испытаний». Результаты показали, что при введении в состав сухих теплоизоляционных смесей водорастворимых модифицированных эфиров целлюлозы в количестве 0,30–0,50 % от веса вяжущего наблюдается

увеличение водоудерживающей способности. При этом чем выше дисперсность наполнителя, тем больше адсорбционной воды удерживается на поверхности частиц. Установлено, что при введении в состав теплоизоляционных строительных смесей 0,4 % эфира целлюлозы и до 5,0 % гашеной извести водоудерживающая способность достигает 94,5–96,7 %. Водоудерживающая способность растворов, не содержащих указанных компонентов, составляет 75–85 %.

Изучены возможности регулирования сроков (начала и конца) схватывания приготовленных гипсовермикулитовых штукатурных растворов и обрабатываемости нанесенных растворов при подвижности растворной смеси 8–10 см. Проведенные исследования показали, что удобоукладываемость зависит от пластичности (подвижности или консистенции), водоудерживающей способности, расслаиваемости растворной смеси, способности смеси сохранять названные свойства во времени. Как правило, если композиционный штукатурный раствор имеет высокую водоудерживающую способность, то он обладает и хорошей удобоукладываемостью [8].

Мы пришли к выводу, что увеличение количества гидрофобизатора приводит к снижению водопоглощения вспученного вермикулита. Было также установлено, что процесс гидрофобизации вспученного наполнителя обуславливается составом и количеством органоминерального модификатора, длительностью модификации исходных материалов.

В процессе проведения экспериментов обнаружено, что коэффициент теплопроводности разработанных легких штукатурных составов средней плотности 400–600 кг/м<sup>3</sup> при содержании вспученного и гидрофобизированного вермикулита 25–37,5 % равняется 0,16–0,20 Вт/м °С. Установлено, что легкие строительные растворы с вермикулитовым наполнителем отличаются более высокими значениями, чем растворы, содержащие другие легкие наполнители (перлитовый вспученный песок, пенополистирол, керамзит и т. д.). Это объясняется слоистой структурой и более высокой упругостью частиц вспученного вермикулита, состоящих из множества гибких слюдяных слоев. Способность вспученного вермикулита упругопластически деформироваться даже при незначительных нагрузках обеспечивает релаксацию напряжений на границе между легким штукатурным раствором и отделяемой поверхностью (в отличие от традиционных типов строительных растворов). Благодаря своей слоистой структуре указанный вермикулит обладает сильным теплоизолирующим эффектом [3; 8].

Необходимо отметить особое влияние на коэффициент теплопроводности плотности и влажности затвердевшей растворной смеси. При проведении испытаний было установлено, что коэффициент теплопроводности разработанных легких гипсовермикулитовых штукатурных составов зависит от количества наполнителя и его фракционного состава. По

сравнению с обычными (песчаными) строительными растворами гипсовермикулитовые вследствие высокой пористости имеют в 2–4 раза меньший объемный вес, в 4–6 раз меньший коэффициент теплопроводности и относятся к группе легких растворов. Было обнаружено, что слой из гипсовермикулитовой штукатурки толщиной 2,5 см может заменить слой из цементно-песчаного раствора в 10–15 см по теплопроводности. При толщине гипсовермикулитового штукатурного слоя до 3 см толщина кирпичной стены может быть уменьшена на 25 %. Установлено, что применение в составе отделочных смесей тонкодисперсных минеральных наполнителей обеспечивает создание необходимых условий для получения высокотехнологичных и удобоукладываемых растворных смесей [8; 9]. Результаты исследований строительно-технических свойств показали, что теплоизоляционные строительные растворные смеси на мелком (0,6–3,0 мм) и пылевидном (до 0,6 мм) гидрофобизированном вермикулите обладают высокой пластичностью, удобоукладываемостью и затираемостью, т. е. гипсовермикулитовые теплоизоляционные штукатурные смеси при высыхании не растрескиваются и не усаживаются. Таким образом, композиционные строительные смеси на основе гипсового вяжущего применяются для внутренней отделки строительных конструкций и могут выполнять не только теплозащитные и звукопоглощающие функции, но и декоративные [10].

### **Заключение**

В результате проведенных теоретических исследований выявлены многочисленные преимущества перлитовых теплоизоляционных штукатурок перед другими видами отделочных материалов, таких как простой цементно-песчаный раствор, используемый повсеместно, либо отделочный керамический кирпич. Вышеназванные штукатурки в качестве наружного отделочного материала превосходят остальные по своим тепло-техническим свойствам, т. е. имеют наименьший коэффициент теплопроводности и паропроницаемости, малую плотность, что обеспечивает наименьшие теплопотери всей конструкции и отдельного слоя. Кроме того, они не утяжеляют конструкцию, так как имеют малый вес и плотность; менее трудоемки в возведении, чем другие виды материалов, поскольку обладают хорошей адгезией (состав наносится непосредственно на основание и не требует дополнительных липких составов (в отличие от, допустим, отделочного кирпича)).

### **Библиографический список**

1. Досанова Г.М., Талипов Н.Х., Левицкий И.А. Получение вспученного и гидрофобизированного вермикулита для производства теплоизоляционных строительных смесей // *Universum: технические науки*. 2020. № 7 (76). С. 17–21.

2. Чекардовский М.Н., Гусева К.П., Лебедев С.Ю. Теплоизоляционные перлитовые штукатурки // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». 2020. Т. 20. № 3. С. 28–33.

3. Особенности процессов гидратации вяжущих композиций с использованием отходов вспученного перлитового песка / Л.Х. Загороднюк, Ш.М. Рахимбаев, Д.А. Сумской, В.Д. Рыжих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 75–88.

4. Бабешко А.В., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х. Теплоизоляционные сухие строительные смеси на основе композиционного вяжущего // Университетская наука. 2021. № 2 (12). С. 13–15.

5. Гильмиярова Ю.В., Малясова А.А., Кириллов С.Ю. Разработка сухих смесей для штукатурных фасадных поризованных растворов // Ползуновский альманах. 2021. № 1. С. 47–49.

6. Теплоизоляционные растворы с использованием вермикулита и их оптимизация / Л.Х. Загороднюк, С.К.Ш. Аль Мамури, Д.А. Сумской, А.Л. Бочарников // Вестник Инженерной школы ДФУ. 2023. № 1 (54). С. 90–101.

7. Загороднюк Л.Х., Сумской Д.А., Золотых С.В. Эффективная теплозащитная система с использованием теплоизоляционного раствора пониженной плотности // Вестник СибАДИ. 2019. Т. 16. № 3 (67). С. 324–333.

8. Вяжущие композиции с использованием вермикулита для теплозащитных растворов / С.К.Ш. Аль Мамури, Л.Х. Загороднюк, Д.А. Сумской, А.Л. Бочарников, О.М. Шеметова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. Т. 8. № 2. С. 8–9.

9. Откеев Р.В. Проектные решения с использованием материалов на основе вермикулита: магистерская диссертация: 08.04.01. Красноярск, 2020. URL: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/136753?show=full> (дата обращения: 03.03.2024).

10. Сумской Д.А. Теплоизоляционный раствор на основе композиционного вяжущего // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 2 (76). С. 283–289.

## **THERMAL INSULATION PLASTER MIXES WITH POROUS FILLERS**

**V.I. Kalinin, M.A. Smirnov, V.I. Trofimov, V.V. Belov**

***Abstract.** The article is devoted to the actual problem of thermal insulation of buildings and structures. Thermal insulation solutions of reduced density with improved thermal engineering characteristics are presented. It is indicated that the use of heat-insulating perlite plasters for exterior decoration*

*of buildings is an additional measure that improves the thermal insulation of exterior walls and increases the sound insulation of premises. It is concluded that the above-mentioned plasters are superior to others in their thermal properties, that is, they have the lowest coefficient of thermal conductivity and vapor permeability, low density, which ensures the least heat loss of the entire structure and a separate layer.*

**Keywords:** *vermiculite concentrate, porous fillers, expanded vermiculite, organo-mineral hydrophobizer, thermal insulation mixtures, physico-chemical analyses, water absorption, physicomachanical characteristics, hypsovermiculite solutions.*

Об авторах:

КАЛИНИН Вячеслав Игоревич – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: slava\_kalinin\_02@mail.ru

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

ТРОФИМОВ Валерий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vitrofa@mail.ru

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

About the authors:

KALININ Vyacheslav Igorevich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: slava\_kalinin\_02@mail.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

TROFIMOV Valery Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vitrofa@mail.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: vladim-bel@yandex.ru