

Применение эффективных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях зданий и сооружений, на основе перлита, изготовленных методом самоуплотняющихся масс

А.В. Гранева

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

Аннотация: Рассмотрена прогрессивная технология получения теплоизоляционных материалов методом самоуплотняющихся масс. Внедрение данного метода позволит получить значительный экономический эффект по сравнению с традиционными технологиями. За счет использования эффекта получения избыточного давления в замкнутой перфорированной форме, от увеличения в объеме при нагреве гранул предварительно подвспененного полистирола стало возможным удаление излишней влаги, сокращение времени технологического процесса, уменьшение энергозатрат. Метод, заложенный в технологию, позволяет совместить в одной операции ряд процессов: уплотнение смеси, тепловая обработка, удаление избыточной влаги. В результате теоретических и лабораторных исследований и опытно-производственной апробации получена возможность внедрения в массовое производство теплоизоляционных материалов широкого спектра применения с улучшенными эксплуатационными свойствами. Одним из эффективных теплоизоляционных материалов, производство которого возможно с применением метода самоуплотняющихся масс, является перлитобетон. Проведена оценка качественной эффективности перлитобетона: коэффициент теплопроводности находится в пределах, необходимых для эффективных теплоизоляционных материалов. Сделан вывод о перспективности использования перлитобетона в строительстве: возможно в 10—12 раз сократить сроки сушки, исключить сушильную усадку, ликвидировать механическую обработку изделий после тепловой обработки, получить изделия различных конфигураций и объемов, с улучшением прочностных показателей при минимальной плотности.

Ключевые слова: метод самоуплотняющихся масс, теплоизоляционный перлитобетон, электропрогрев, замкнутый перфорированный объем, бисерный полистирол, энергоэффективный материал.

Введение

Капитальное строительство является важнейшей отраслью материального производства, генеральное направление которой предусматривает непрерывное развитие основных фондов на основе эффективного использования капитальных вложений и интенсификации строительного производства [1].

Организация строительного производства - это сложный производственно-хозяйственным процесс, требующий значительных капитальных вложений, в котором задействованы производственные, транспортные, хозяйственные структуры. Для того, чтобы добиться эффективного использования капитальных вложений, необходимо наладить комплексную рациональную организацию всех процессов строительства, в том числе, изготовление деталей, сборных конструкций, строительных материалов и т.п. В настоящее время в отрасли капитального строительства постоянно возрастают требования к материалам, изделиям, конструкциям и оборудованию по показателям прочности, морозостойкости, теплопроводности, огнестойкости и тд.

Климатические условия большей части территории России определяют необходимость длительного периода отопления жилых, общественных и производственных зданий, а высокая стоимость и невосполнимость энергоносителей стимулирует повышение энергоэффективности зданий, снижение энергопотребления и рационального использования природных ресурсов. Задачи сбережения энергии, указанные в Федеральном законе "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ, предполагают реализацию правовых организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергетических ресурсов и вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии [2]. В таких условиях растет спрос на материалы, применение которых позволяет решить следующие задачи:

- снижения потребления энергетических ресурсов для изготовления материалов, уменьшения выбросов оксидов азота, серы и твердых частиц в атмосферу;

- уменьшения расходов энергии, которое ведет к уменьшению расходов на отопление и кондиционирование;

- улучшения условий и повышения комфорта в помещениях различных типов зданий. Если добыча энергетических ресурсов, их транспортировка всегда сопровождалась загрязнением всех жизнеобеспечивающих оболочек Земли, то рост потребления электроэнергии в процессе эксплуатации зданий и сооружений, сопровождающийся выбросом вредных веществ в атмосферу, более динамичен [3].

Создание энергоэкономичных зданий, в которых при проектировании, строительстве и эксплуатации осуществлено максимальное количество мероприятий, направленных на экономию топливно-энергетических ресурсов [4], в настоящее время является важной задачей. Переход к возведению новых и реконструкции старых зданий под энергоэффективное здание имеет как экономическое [5], так и экологическое и социальное значение.

Использование энергоэффективных теплоизоляционных материалов в строительстве

Эффективная теплоизоляция применяется для утепления зданий, дымоходов, газопроводов, промышленных агрегатов, холодильников и т. п. За критерий энергоэффективности любого теплоизоляционного материала принимают величину коэффициента теплопроводности. При толщине наружной стены из каменных материалов, таких, как кирпич, керамзитобетон, ячеистый бетон и т.п в 400-600 мм материал, используемый для теплоизоляции, должен иметь коэффициент теплопроводности от 0,03 до 0,1 Вт/ (м °С). Эти значения коэффициента теплопроводности можно принять за критерий отнесения теплоизоляционного материала к эффективному [6].

Кроме основного критерия - низкой теплопроводности, эффективная теплоизоляция должна быть устойчивой к атмосферным явлениям, обладать

достаточным уровнем огнестойкости и отвечать высоким стандартам качества. Наиболее полное использование скрытых в материале возможностей позволит в перспективе применить новые, еще более эффективные, долговечные строительные материалы с заранее заданными свойствами [7]. Такими эффективными материалами являются легкие бетоны на пористых заполнителях различных видов, применение которых позволяет улучшить теплотехнические свойства зданий, уменьшить транспортные расходы, сметную стоимость строительства, трудоемкость строительства.

Значительное снижение трудозатрат возможно при применении конструкций различной конфигурации, изготовленных из легкого бетона, с наружной поверхностью, отделанной фасадной плиткой либо декоративной штукатуркой в условиях предприятий стройиндустрии.

Технология и свойства теплоизоляционного перлитобетона методом самоуплотняющихся масс

Полученные в настоящее время рациональные составы особо легких бетонов с учетом широкого спектра по выбору технологий изготовления изделий, а также наличие экспериментальных сведений по прочностным, деформационным и эксплуатационным характеристикам особо легких бетонов, как материалов для ограждающих конструкций с учетом действия кратковременных и длительных нагрузок определяют широкие возможности по их применению [8].

Основные физико-механические показатели легких бетонов зависят от многих факторов, важнейшими из которых являются вид и количество вяжущего, качество заполнителей и их зерновой состав, вид и количество добавок, содержание воды в смеси, способы и режимы укладки и уплотнения смеси.

В мировой практике перлитобетон используется в качестве теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов. Преимущества перлитобетона являются следствием специфических особенностей заполнителя, таких, как низкая плотность, наличие мелкой пористости, термостойкость, химическая инертность.

Применение перлита в виде заполнителя в легких бетонах позволяет снизить массу сборных железобетонных конструкций и изделий на 30-35% [9]. Основным недостатком перлита является высокое водопоглощение, обусловленное высокоразвитой гидрофильной поверхностью, которая составляет 300 % при размере зерен перлита более 2 мм, а для зерен 0,25-0,5 мм достигает 800-900 % [10].

Практически все разновидности перлитобетона изготавливаются по литьевой технологии, для которой характерно значительное содержание воды затворения, что приводит к высокой пористости минеральной матрицы.

Способ самоуплотняющихся масс, совмещающий в одном технологическом переделе тепловую обработку, объемное прессование и отжатие лишней влаги, позволяет решить большую часть проблем, возникающих при производстве традиционных перлитобетонных изделий.

Готовой формовочной смесью, состоящей из подвспененного полистирола, воды затворения и минеральных компонентов, с влажностью 40—50 %, полностью заполняют объем замкнутой перфорированной формы, и подвергают тепловой обработке. При температуре более 80 °С, полистирол вспенивается по всему объему, происходит уплотнение минерального компонента, физически связанная влага отжимается из формы через перфорацию. После окончания вспенивания полистирола форма открывается, и сырец на поддоне отправляется на следующие технологические посты: для бетона — тепловлажностная обработка, для жаростойких керамических материалов — досушка и обжиг [11]. На основании метода разработаны

технологии таких строительных материалов, как перлитобетон, легкий гипсобетон, битумоперлит, кварцевые керамические легковесные материалы.

Метод объемного прессования позволил получить изделия минимальной плотностью 200 кг/м^3 , чего невозможно достичь при литьевой технологии. При этом прочностные характеристики не уступают аналогам.

Результаты испытаний свойств перлитобетона объемного прессования, которые проводились автором в лабораториях МГСУ и АО «ЦНИИПромзданий», представлены на таблице 1.

Таблица 1

Свойства перлитобетона объемного прессования

Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Теплопроводность, Вт/(м °С)	Сорбционная влажность, %		Водопоглощение, %	
	при сжатии	при изгибе		1 сут	3 сут	массовое	объемное
200	0,16-0,22	0,1	0,048—0,052	2,3	2,7	179	51
250	0,26-0,44	0,19	0,05—0,06	2,3	3	146	49,8
300	0,34-0,58	0,26	0,062—0,068	2,3	3,2	102	37,9
350	0,55-0,65	0,35	0,065—0,069	2,2	2,8	95,6	37,3
400	0,7- 0,8	0,59	0,07—0,072	2,4	2,8	85,7	37

В соответствии с требованиями ГОСТа 25820-2014 «Бетоны легкие», теплоизоляционные бетоны должны удовлетворять следующим основным показателям:

- теплопроводность бетона в сухом состоянии не более $0,14 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$;
- марка по средней плотности не выше D500;
- прочность на сжатие не менее $0,3 \text{ МПа}$. Свойства исследуемого материала значительно превосходят требования ГОСТа 25820-2014 Бетоны легкие.

Так как коэффициент теплопроводности полученного материала не превышает $0,1 \text{ Вт/ (м } ^\circ\text{C)}$, его можно отнести к группе эффективных теплоизоляционных материалов.

Изучение процессов формирования микроструктуры перлитобетона проводилось в НИИЖБе на основе термического анализа, рентгенофазового анализа и электронной микроскопии. Перлитобетон, полученный по технологии объемного прессования, имеет более сложную минеральную основу, чем перлитобетон, изготовленный по литьевой технологии, что может объясняться вовлечением в процесс формирования связей между зернами цемента и перлита фаз, образование которых является следствием химических превращений в зернах перлита в среде твердеющего цемента. Кроме того, в образцах перлитобетона объемного прессования наблюдается повышение степени кристалличности от 0,3 до 2%, что приводит к улучшению прочностных показателей материала, содержание гидроксида кальция в бетоне, изготовленном по традиционной технологии, — около 4,7%, а в бетоне объемного прессования — только 0,2%. Это также подтверждает более активное взаимодействие стеклофазы перлита с продуктами гидратации цемента [12].

Эффективность теплоизоляционного перлитобетона объемного прессования можно доказать при сравнении приведенного сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции, в состав которой входит исследуемый материал либо традиционный пенобетон. Для сравнения берется пенобетон, так как минимальная плотность перлитобетона, изготовленного по традиционной технологии - 600 кг/м^3 .

Сравним условное сопротивление теплопередаче стены, состоящей из кирпичной кладки толщиной 380 мм, выполненной из глиняного обыкновенного кирпича плотностью 1400 кг/м^3 и традиционного пенобетона толщиной 200 мм и плотностью 300 кг/м^3 , и стены из кирпичной кладки и

теплоизоляционного перлитобетона толщиной 200 мм и плотностью 300 кг/м³. Для административного здания в Москве условия эксплуатации в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности “Б”. Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций стен по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» актуализированная редакция СНиП 23-02-2003, таб. 3 $R_{np} = 2,57 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Условное сопротивление теплопередаче R_o , м²·°C/Вт, однородной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями или ограждающей конструкции в удалении от теплотехнических неоднородностей, не менее чем на две толщины ограждающей конструкции следует определять по формуле:

$$R_o = R_{si} + R_k + R_{se},$$

$$\text{где } R_{si} = 1 / \alpha_{int};$$

α_{int} - коэффициент теплообмена внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C), принимаемый для стен равным 8,7 Вт/(м²·°C);

$$R_{se} = 1 / \alpha_{ext};$$

α_{ext} - коэффициент теплообмена наружной поверхности ограждающих конструкций для условий холодного периода, Вт/(м²·°C), принимаемый для наружных стен равным 23 Вт/(м²·°C);

R_k - термическое сопротивление одно- или многослойной ограждающей конструкции, (м²·°C) /Вт, $R_k = \sum \delta / \lambda$

Состав стены с применением традиционного пенобетона:

- внутренняя штукатурка $\delta = 20$ мм, $\lambda = 0,87$ Вт/м·°C;

- пенобетон $\delta = 200$ мм, $\lambda = 0,13$ Вт/м·°C;

- кирпич пустотелый $\gamma = 1400$ кг/м³, $\delta = 380$ мм, $\lambda = 0,64$ Вт/м·°C.

Условное сопротивление теплопередаче стены:

$$R_{np} = 1 / \alpha_v + \sum \delta / \lambda + 1 / \alpha_n = 1 / 8,7 + 0,02 / 0,87 + 0,2 / 0,13 + 0,38 / 0,64 + 1 / 23 = 2,31 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

Состав стены с применением теплоизоляционного перлитобетона:

- внутренняя штукатурка $\delta = 20$ мм, $\lambda = 0,87$ Вт/м °С;
- теплоизоляционный перлитобетон $\delta = 200$ мм, $\lambda = 0,068$ Вт/м °С;
- кирпич пустотелый $\gamma = 1400$ кг/м³, $\delta = 380$ мм, $\lambda = 0,64$ Вт/м °С.

Приведенное сопротивление теплопередаче стены:

$$R_{np} = 1/\alpha_{в} + \sum \delta/\lambda + 1/\alpha_{н} = 1/8,7 + 0,2/0,87 + 0,2/0,068 + 0,38/0,64 + 1/23 = 3,71 \text{ м}^2 \text{ °С /Вт.}$$

Для того, чтобы параметры наружной стены рассматриваемого здания с одним из слоев из пенобетона соответствовали нормативу, необходимо увеличение толщины слоя из пенобетона. Исследуемый материал эффективнее традиционного в 1,6 раз.

Варианты применения теплоизоляционного перлитобетона в строительных конструкциях.

Учитывая широкие возможности изготовления изделий из перлитобетона методом самоуплотнения как по плотности и прочности, так и по конфигурации, возможно использование данного материала в несущих наружных стенах, в качестве теплоизоляционного слоя в конструкциях наружных стен, кровель, перекрытий над холодными подвалами и т. д.

На рис. 1.1. и 1.2 представлены варианты использования перлитобетона плотностью 500 кг/м³ в несущей стене и плотностью 200 кг/м³ в качестве теплоизоляционного слоя с несущей стеной из монолитного железобетона с внешней поверхностью, отделанной фактурной штукатуркой в заводских условиях.

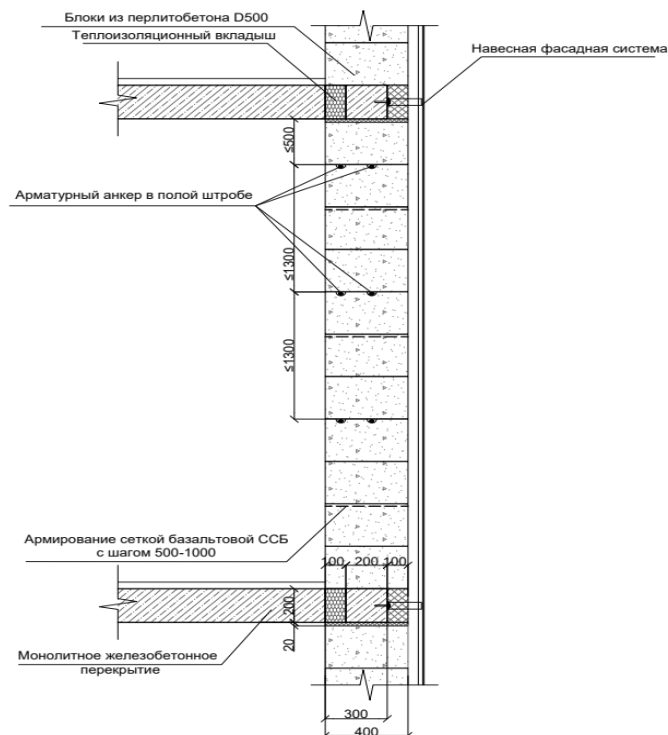


Рис. 1.1 Применение перлитобетона в несущей стене.

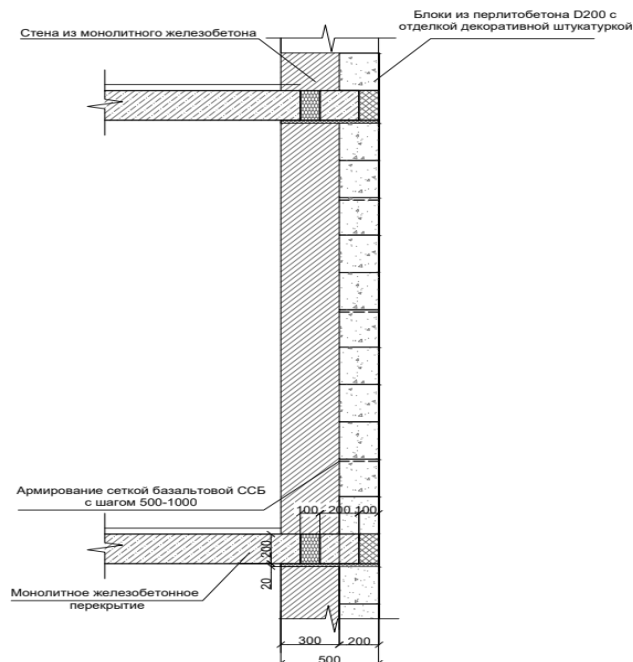


Рис. 1.2 Применение перлитобетона в качестве теплоизоляционного слоя в наружной стене.

Поскольку современные тенденции в строительной отрасли направлены на постоянное совершенствование материалов с целью уменьшения воздействия на окружающую среду и улучшения противопожарных свойств, существует потребность в новых решениях, когда речь идет о материалах, используемых для теплоизоляции дымоходов. Применение перлитобетона при устройстве промышленных дымоходов повышает уровень теплоизоляции и пожаробезопасности. Применение перлитобетона при изготовлении кожуха дымохода с устройством воздушной прослойки обеспечивает необходимые свойства даже без применения дополнительных слоев минеральной ваты. Максимальная температура при испытаниях на пожарную безопасность в длительных условиях эксплуатации (выдержка при 700 °С - 210 минут) температура на блоке достигала 82 °С, а на деревянной конструкции, расположенной на расстоянии 50 мм – не превышала 26 °С [13].

Заключение

В настоящее время в условиях жесткой конкуренции в строительной отрасли строительным организациям необходимо уделять особое внимание рациональной организации строительного производства на всех этапах. Одним из важных направлений является совершенствование материально-технической базы, которая включает в себя предприятия строительной индустрии, в том числе предприятия по производству строительных материалов. Продукция таких предприятий должна быть конкурентноспособной, должно учитываться наличие спроса на продукцию, близость рынка сбыта, степень обеспеченности трудовыми, топливно-энергетическими и сырьевыми ресурсами [1].

Использование в строительстве теплоизоляционных материалов, изготовленных методом самоуплотняющихся масс с применением перлита имеет следующие преимущества:

- отсев полистерола не используется в производстве, то есть является ОТХОДОМ;

- в 10—12 раз сокращаются сроки сушки, а следовательно и всего производственного процесса;

- исключается сушильная усадка, необходимость механической обработки изделий после тепловой обработки;

- появляется возможность создавать изделия различных конфигураций и объемов, что может быть актуальным при возведении нетиповых зданий;

- метод позволяет получить перлитобетон плотностью 200 кг/м^3 , что приведет к уменьшению массы конструкции, стоимости транспортировки материала и монтажа конструкций.

Преимущества метода самоуплотняющихся масс позволяют сделать вывод о перспективности развития данного направления. Внедрение метода позволит получить значительный экономический эффект по сравнению с традиционными технологиями.

Литература

1. Олейник П.П. Организация, планирование и управление в строительстве. - Москва, 2014. 160 с.

2. Пирожникова А.П., Василенко В.В., Букаров Н.В. К вопросу совершенствования нормативной базы по обеспечению энергоэффективности зданий и сооружений в рамках СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

// Инженерный вестник Дона, 2019, № 8. URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6128.

3. Абрамян С.Г., Матвийчук Т.А. К вопросу об энергетической эффективности зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2017, № 1. URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3993.

4. Беляев В.С. Энергоэффективность и теплозащита зданий. М.: Издательство АСВ, 2016. 400 с.

5. Wahlstrom MH. Doing good but not that well? A dilemma for energy conserving homeowners. *Energy Economics*. (2016); Volume: 60; pp. 197-205. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.09.025.

6. Гликин С.М. Энергосбережение в зданиях, прогрессивные ограждающие конструкции и практические методы их расчета. - Москва, 2005. 310 с.

7. Соков В.Н. Конструирование комплексных паро-, тепло- и гидроизоляционных полистиролбетонов, монография; Москва: НИУ МГСУ, 2015. 201 с.

8. Рахманов В.А. Полистирол системы «Юникон» - энергоэффективный материал XXI века. - Москва, 2017. 512 с.

9. Педан М.П. и др. Перлитовая промышленность. Киев: Наукова думка, 1980. 158 с.

10. Сергеев Н.И. Особенности технологии получения вспученного перлита из сырья различных месторождений. В кн: Перлиты - Сборник научных трудов- М: Наука, 1981. -с.225-241.

11. Соков В.Н. Создание теплоизоляционных материалов в электрогидротеплосиловом поле. Монография. - М: 2013. 316с

12. Подпоринова А.В. Теплоизоляционный перлитобетон объемного прессования. Диссертация кандидата технических наук. – Москва, 2020. 140с.

13. Drozdol K. Thermal and Mechanical Studies of Perlite Concrete Casing for Chimneys in Residential Buildings. *Materials*. 2021; 14(8):2011. URL: doi.org/10.3390/ma14082011

References

1. Oleinik P.P. Organizatsiya, planirovanie i upravlenie v stroitel'stve.[Organization, planning and management in construction]. Moskva, 2014. 160 p
2. Pirozhnikova A.P., Vasilenko V.V., Bukarov N.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 8. URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6128.
3. Abramyan, S.G., Matviychuk T.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №1, URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3993.
4. Belyaev V.S. Energoeffektivnost' i teplozashchita zdaniy [Energy efficiency and thermal protection of buildings]. M. Publishing house ASV, 2016. 400 p.
5. Wahlstrom MH. Doing good but not that well? A dilemma for energy conserving homeowners. Energy Economics. (2016); Volume: 60; pp. 197-205. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.09.025.
6. Glikin S.M. Energoberezhenie v zdaniyakh, progressivnye ogradhdayushchie konstruktsii i prakticheskie metody ikh rascheta. [Energy saving in buildings, progressive enclosing structures and practical methods of their calculation]. Moskva, 2005. 310 p.
7. Sokov V. N. Konstruirovaniye kompleksnykh paro-, teplo- i gidroizolyatsionnykh polistirolobetonov [Construction of complex steam, heat and waterproofing polystyrene concrete], monograph; Moskva: NRU MGSU, 2015. 201 p.
8. Rakhmanov V.A. Polistirolova sistema «Yunikon» - energoeffektivnyy material XXI veka. [Polystyrene of the Unicon system is an energy-efficient material of the 21st century]. Moskva, 2017. 512 p.
9. Pedan M.P. i dr. Perlitovaya promyshlennost'. [Perlite industry] Kiev: Naukova dumka, 1980. 158 p.
10. Sergeev N.I. Osobennosti tekhnologii polucheniya vspuchennogo perlita iz syr'ya razlichnykh mestorozhdenii. [Features of the technology for obtaining



expanded perlite from raw materials of various deposits.] Perlity - Sbornik nauchnykh trudov M: Nauka, 1981. p.225-241.

11. Sokov V.N. Sozдание teploizolyatsionnykh materialov v elektrogidroteplosilovom pole. [Creation of thermal insulation materials in the electrohydrothermal field]. Monografiya. M: 2013. 316 p.

12. Podporinova A.V. Teploizolyacionnyj perlitobeton ob"emnogo pressovaniya. [Heat-insulating perlite concrete of volumetric pressing]. Dissertaciya kandidata tekhnicheskikh nauk. Moskva, 2020. 140p.

13. Drozdol K. Thermal and Mechanical Studies of Perlite Concrete Casing for Chimneys in Residential Buildings. 2021; 14(8):2011. URL: doi.org/10.3390/ma14082011.