

Клименко В.Г., канд. техн. наук, доц.,  
Павленко В.И., д-р техн. наук, проф.,  
Гасанов С.К., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Мамин С.Н., канд. техн. наук  
Белгородский государственный университет

## ГИПСОПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫЕ КОМПОЗИТЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Klimenko3497@yandex.ru

*В статье представлены результаты исследований гипсопенополистирольных композитов, модифицированных тонкомолотыми отходами тарного стеклобоя, для получения теплоизоляционных материалов. Теплопроводность полученных материалов измеряли методом стационарного теплового потока.*

*Показано, что свойства материала зависят от вида гипсового вяжущего, количества добавки отходов стеклобоя и гранулометрии пенополистирола. Установлено, что лучшими характеристиками обладает материал на основе пенополистирола и строительного гипса, модифицированного тонкомолотыми отходами тарного стеклобоя.*

**Ключевые слова:** *нерастворимый ангидрит, гипс, строительный гипс, отходы стеклобоя, пенополистирол, эффективная теплопроводность, теплоизоляционные материалы.*

**Введение.** Теплоизоляционные материалы на основе пенополистирола (ППС) широко используются в различных отраслях народного хозяйства, что связано с рядом уникальных свойств этих материалов.

Прежде всего, ППС обладает очень низкой теплопроводностью. Коэффициент теплопроводности ППС составляет 0,028–0,034 Вт/м·К. Для сравнения, у керамзитобетона он равен 0,58 Вт/м·К, гипсокартона – 0,21 Вт/м·К, силикатного кирпича – 0,87 Вт/м·К, дерева – 0,18 Вт/м·К. На ППС не оказывают воздействия строительные растворы на основе неорганических вяжущих (гипсовых, известковых, портландцементных) и битумные смолы. Он устойчив к действию кислот и щелочей. Пенополистирольные плиты не подвержены биоразрушению плесневыми грибами и другими микроорганизмами. ППС не пылит, в отличие от минеральной ваты, и имеет низкое водопоглощение (0,4–4,0 %).

Вместе с тем ППС имеет и ряд недостатков. Основным, из которых является окислительная деструкция особенно при повышенных температурах. Продолжительность этого процесса от 1 до 20 лет. При этом могут образовываться такие вещества как: стирол, формальдегид, ксилол, бензол, толуол, метиловый спирт, ацетофенон, СО, СО<sub>2</sub>. Особенно вреден ППС низкой плотности (<40 кг/м<sup>3</sup>). Рабочие температуры, при которых ППС сохраняет свои свойства, от (-50 °С) до 75 °С. Выше 126°С он начинает разрушаться. Кроме того, на ППС оказывает разрушающее действие ультрафиолетовое излучение солнечного света [1].

В связи с этим, актуальным является поиск способов защиты ППС материалов от внешнего воздействия. Одним из таких способов может быть получение композиционных материалов на основе ППС и минеральных неорганических вяжущих – пенополистирол бетонов. Предлагается получение гипсопенополистирольных композиций.

Выбор гипсовых вяжущих обусловлен, прежде всего, их свойствами, такими как: невысокая энергоёмкость производства, высокие санитарно-гигиенические и эксплуатационные свойства, огнестойкость, хорошая обрабатываемость, а также отсутствие щелочесиликатного взаимодействия, проявляющегося при использовании в качестве вяжущего портландцемента.

**Научная гипотеза работы.** Пенополистирол имеет низкую насыпную плотность (15–50 кг/м<sup>3</sup>) и представлен сферическими гранулами различного размера. В основном он состоит из воздуха (98 %) и полистирола (2 %). Гипсовые вяжущие вещества позволяют создать вокруг гранул ППС плотные шарообразные оболочки прочно связанные друг с другом. Плотность упаковки оболочек можно регулировать фракционным составом ППС. В результате получается структура близкая к материалам поризованным газообразными веществами и обеспечивается низкая плотность и теплопроводность при достаточной прочности.

**Методология.** В качестве вяжущих веществ при получении теплоизоляционных материалов на основе ППС, выбраны гипсовые вяжущие – строительный гипс марки Г-5 ЗАО «Хабезский гипсовый завод», ангидритовое вяжущее, мно-

гофазовые гипсовые вяжущие (МГВ). Величина рН водных суспензий строительного гипса равна 10,54. Ангидритовое вяжущее получали на основе термического ангидрита ( $\text{CaSO}_4$  II) и добавки сульфата калия ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) в качестве активатора твердения. Для получения термического  $\text{CaSO}_4$  II гипс обжигали при 650 – 700 °С в течение 3 час. Величина рН его водных суспензий равна 11,09. МГВ готовили из термического  $\text{CaSO}_4$  II и гипса с количеством гидратной воды

3,5 % ( $\Gamma_{3,5}$ ). Массовое соотношение  $\text{CaSO}_4$  II и  $\Gamma_{3,5}$  составляло 70:30.

Дополнительно в гипсовые вяжущие вводили тонкомолотые отходы тарного стеклобоя (Na-СТБ) и отходы флинтгов (К-СТБ). Химический состав отходов СТБ представлен в табл.1. Упаковочный ППС предварительно измельчали до отдельных гранул. В работе использованы отходы ППС с разным фракционным составом (табл. 2).

Таблица 1

## Химический состав стекол

Вид стекла	Химический состав, мас. %									
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{PbO}$	$\text{CeO}_2$	$\text{Rh}_2\text{O}_3$	$\text{ZnO}$
Na-СТБ	70,0	2,0	17,0	–	8,0	2,0	–	–	–	–
К-СТБ	64,1	–	2,25	14,8	0,309	–	15,9	0,303	0,632	0,809

Таблица 2

## Фракционный состав отходов ППС

Вид отходов ППС	Массовые доли фракций с размером гранул, мм			
	0,0–2,5	2,5–5,0	5,0–10,0	>10,0
ППС-1	1	88	10	1
ППС-2	1	97	2	0

Теплопроводность полученных материалов измеряли на приборе ИТС-1 методом стационарного теплового потока в соответствии с ГОСТ 7076-99.

При изготовлении образцов компоненты смешивались в следующей последовательности. Отвешенное количество отходов ППС помещалось в фарфоровую чашку. Туда же вводили добавку тонкомолотых отходов СТБ и отмеренное количество воды. Смесь тщательно перемешивали. При этом гранулы ППС смачивались водой и покрывались частицами тонкомолотых СТБ. Далее при постоянном перемешивании в

смесь вводили вяжущее. Укладка смеси в формы размером 3,5х3,5х3,5 см, проводилась трамбованием. Соотношение вяжущего и отходов ППС в смеси изменяли от 18,5 до 44,5 табл. 3. По предварительно полученным результатам такое соотношение компонентов позволяет получить теплоизоляционный материал с плотностью < 600 кг/м<sup>3</sup>. Перед испытанием образцы высушивали до постоянного веса при 65 °С. В качестве выходных параметров выбраны механическая прочность на сжатие ( $R_{сж.}$ ), плотность образцов ( $\rho$ ) и эффективная теплопроводности ( $\lambda_{eff}$ ).

Таблица 3

## Составы исходных композиций

№ состава	Состав композиции, г				Соотношение по массе вяжущее/ППС	В/Г
	Вяжущее	ППС-1	Na-СТБ	$\text{H}_2\text{O}$		
1.	50	2,7	2,5	33	18,5	0,6
2.	60	2,7	3,0	40	22,2	0,6
3.	80	2,7	4,0	52	29,6	0,6
4.	100	2,7	5,0	65	37,0	0,6
5.	120	2,7	6,0	77	44,4	0,6

**Основная часть.** Технология получения ППС бетонов предполагает предварительное смачивание поверхности гранул водой. Для интенсификации этого процесса в воду вводят вещества, изменяющие ее поверхностное натяжение или модифицирующие поверхность ППС. В

представленной работе в качестве таких веществ предложены тонкомолотые отходы тарного стеклобоя и «флинтгов». Стекло это твердое, аморфное и хрупкое вещество. При подготовке его к переработке (дробление, помол) образуются значительные количества мелкой фракции.

Крупная фракция используется, как наполнитель и наполнитель в композиционных материалах. Мелкая же фракция, как правило, не используется или используется незначительно. Нами выполнены исследования по применению мелкой фракции СТБ в качестве компонента композиционных гипсовых вяжущих. Удельная поверхность ( $S_{уд.}$ ) отходов СТБ –  $1150 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Установлено [2,3], что физико-механические характеристики строительного гипса улучшаются при введении в его состав 2,0–5,0 мас. % отходов СТБ. Тонкомолотые СТБ уменьшают В/Г, увеличивают сроки схватывания, и прочность гипса улучшают формуемость композиции. С увеличением содержания тонкомолотых СТБ в строительном гипсе его В/Г уменьшается линейно, в отличие от других добавок (зола гидроудаления, доменный шлак, бой керамзита, бой кирпича) [4], увеличивающих его.

Тонкомолотые СТБ, введенные в строительный гипс, увеличивают рН его суспензий. Зависимость эта носит экспоненциальный характер. Особенно резкий рост рН среды с 8,0 до 11,5 наблюдается при количестве добавки СТБ 3,5 – 25,0 мас.%. При количестве добавки > 25 %

величина рН стабилизируется. Щелочная среда способствует увеличению сроков схватывания строительного гипса, на что указывает анализ зависимостей изменения рН суспензий строительного гипса с добавками СТБ [5]. Так, у бездобавочного строительного гипса конец схватывания наступает через 15 мин., а у вяжущего с добавкой СТБ – через 27 мин. Тонкомолотые СТБ изменяют прочностные характеристики строительного гипса. Без существенного снижения прочности в строительный гипс можно вводить до 20 % СТБ.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о двояком влиянии тонкомолотых СТБ на свойства строительного гипса. Небольшие количества (3-7 %) СТБ увеличивают сроки схватывания строительного гипса и его прочностные свойства. При количестве добавки СТБ 10-20 мас.%, за счет оптимизации структуры материала, прочность также увеличивается. Вяжущее с добавкой СТБ 15 мас. % имеет большую плотность ( $1,285 \text{ г}/\text{см}^3$ ), чем холостые пробы ( $\rho=1,150 \text{ г}/\text{см}^3$ ), что говорит о более плотной упаковке его структурных единиц.

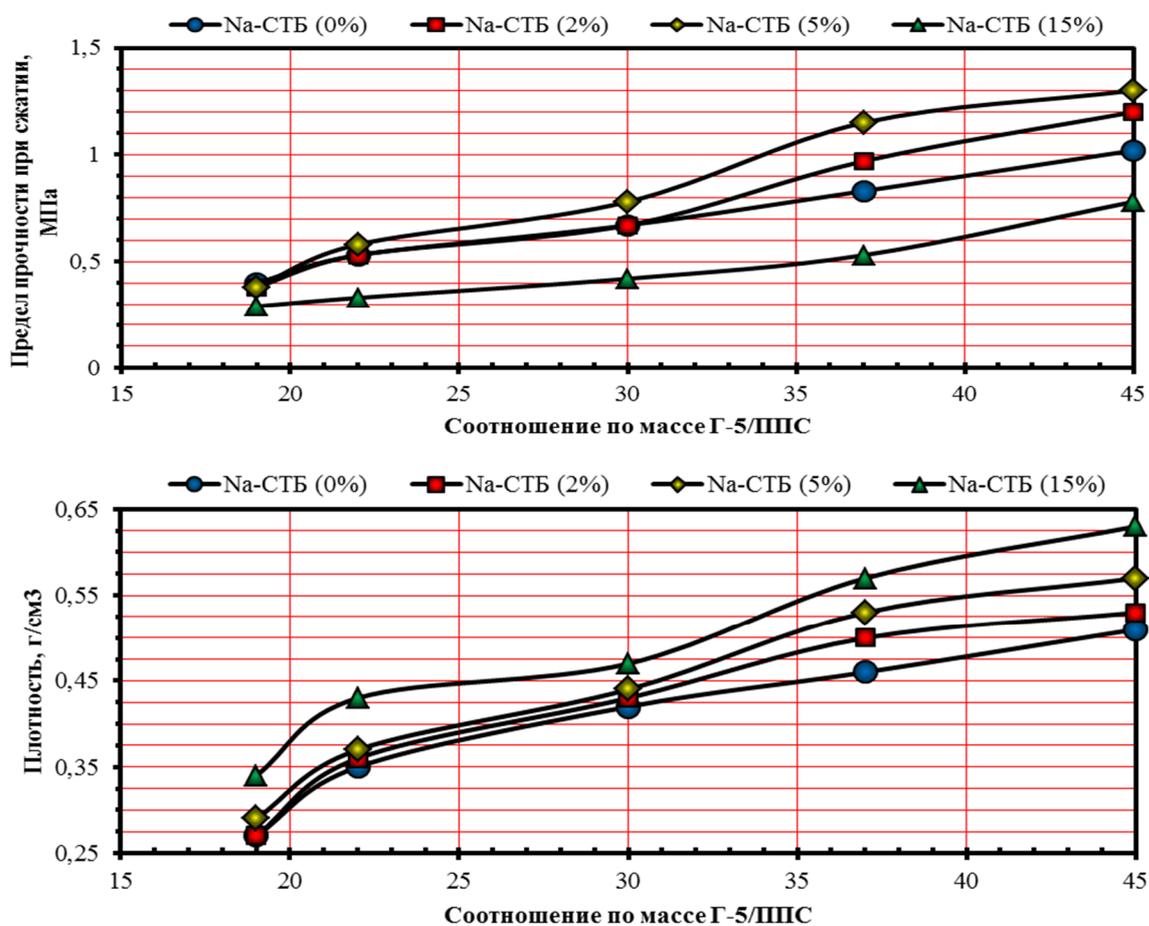


Рис. 1. Влияние количество добавки Na-СТБ на свойства теплоизоляционных материалов

Частицы стеклобоя, состоящие преимущественно из диоксида кремния, выступают в роли наполнителя, уплотняющего структуру материала, а также в роли подложки, на которой формируются кристаллы гипса. Тонкомолотые стеклоотходы структурируют твердеющую гипсовую систему и выступают в качестве центров кристаллизации. В материалы на основе строительного гипса и ППС можно вводить до 5 % тонкомолотых отходов Na-СТБ (рис.1).

Для изучения влияния состава отходов стеклобоя на свойства гипсопенополистирольных композиций выбраны два их вида. Одни – с повышенным количеством  $\text{Na}^+$ , другие – с по-

вышенным количеством  $\text{K}^+$  и  $\text{Pb}^{2+}$ . Полученные результаты рис.2 показывают, что состав СТБ практически не влияет на свойства гипсопенополистирольных материалов. На наш взгляд, это связано с одинаковой величиной pH их водных суспензий, которая находится в пределах 11,5. Щелочную среду создают продукты гидролиза силикатов щелочных и щелочноземельных металлов, входящих в состав стекла. Образцы, приготовленные без добавок тонкомолотых СТБ, показали меньшее значение прочности и плотности, особенно при соотношении Г-5/ППС > 29,6.

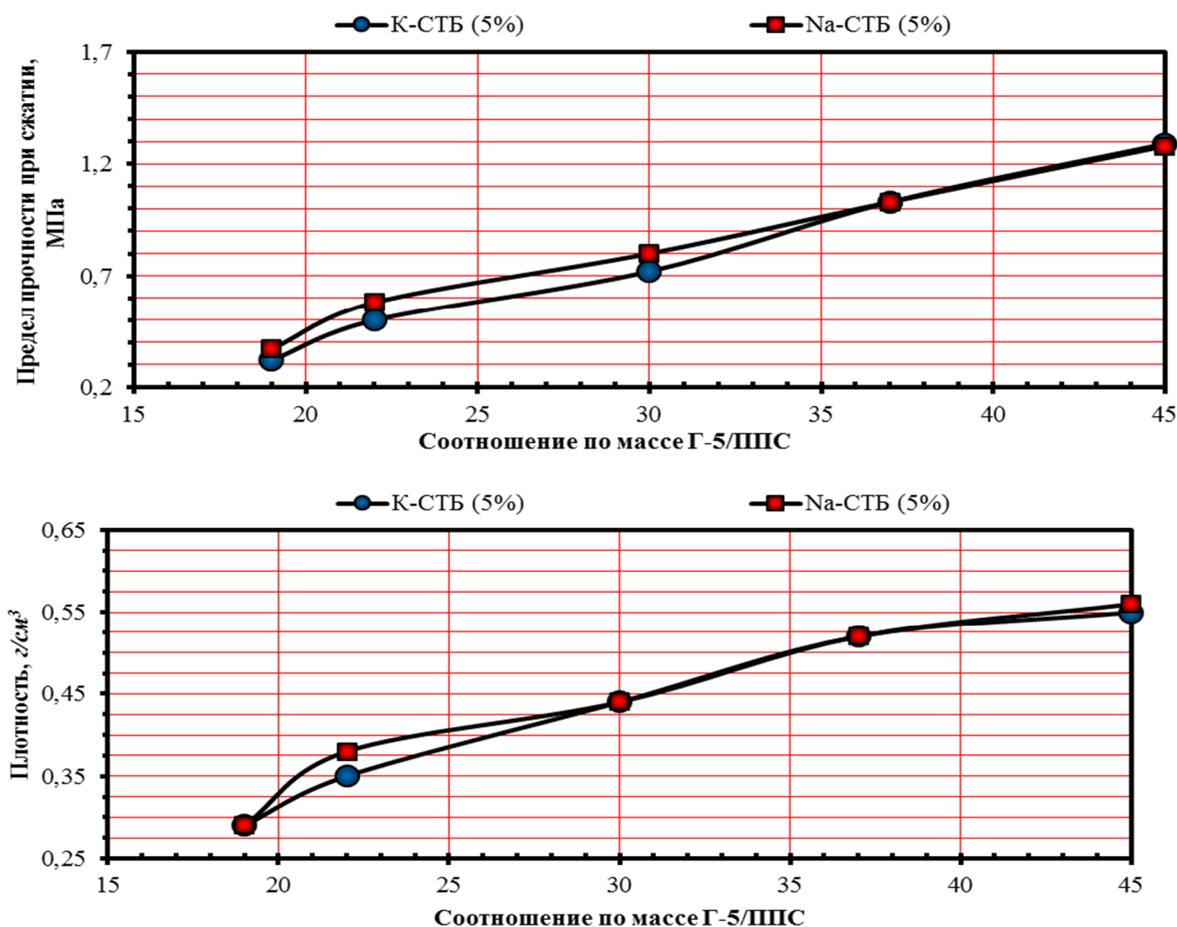


Рис. 2. Влияние состава СТБ на свойства теплоизоляционных материалов

Кроме строительного гипса в работе в качестве вяжущих использован ангидритовый цемент и МГВ. Кроме того, вяжущее получали на основе  $\text{CaSO}_4$  II и тонкомолотых СТБ. Известно [3], что тонкомолотые СТБ выступают в качестве активаторов твердения нерастворимого ангидрита. Дополнительно в ангидритовый цемент и МГВ также вводили тонкомолотые СТБ.

Проведенные исследования показали, что теплоизоляционный материал на основе ППС и ангидрита, активированного тонкомолотыми СТБ, получить нельзя. В присутствии ППС тонкомолотые СТБ термический  $\text{CaSO}_4$  II активи-

руют плохо. Возможно, нарушается кислотно-основной баланс системы. Отмечено, что вторичный ППС снижает кислотность дистиллированной воды с 5,9 до 7,0.

Ангидритовое вяжущее на основе термического  $\text{CaSO}_4$  II, активированного  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , можно использовать для получения теплоизоляционных материалов (рис. 3). Вместе с тем, из-за сильно щелочной среды термического ангидрита необходимо предусмотреть возможность снижения pH среды вяжущего. Введение тонкомолотых СТБ в такие системы ухудшает характеристики материалов.

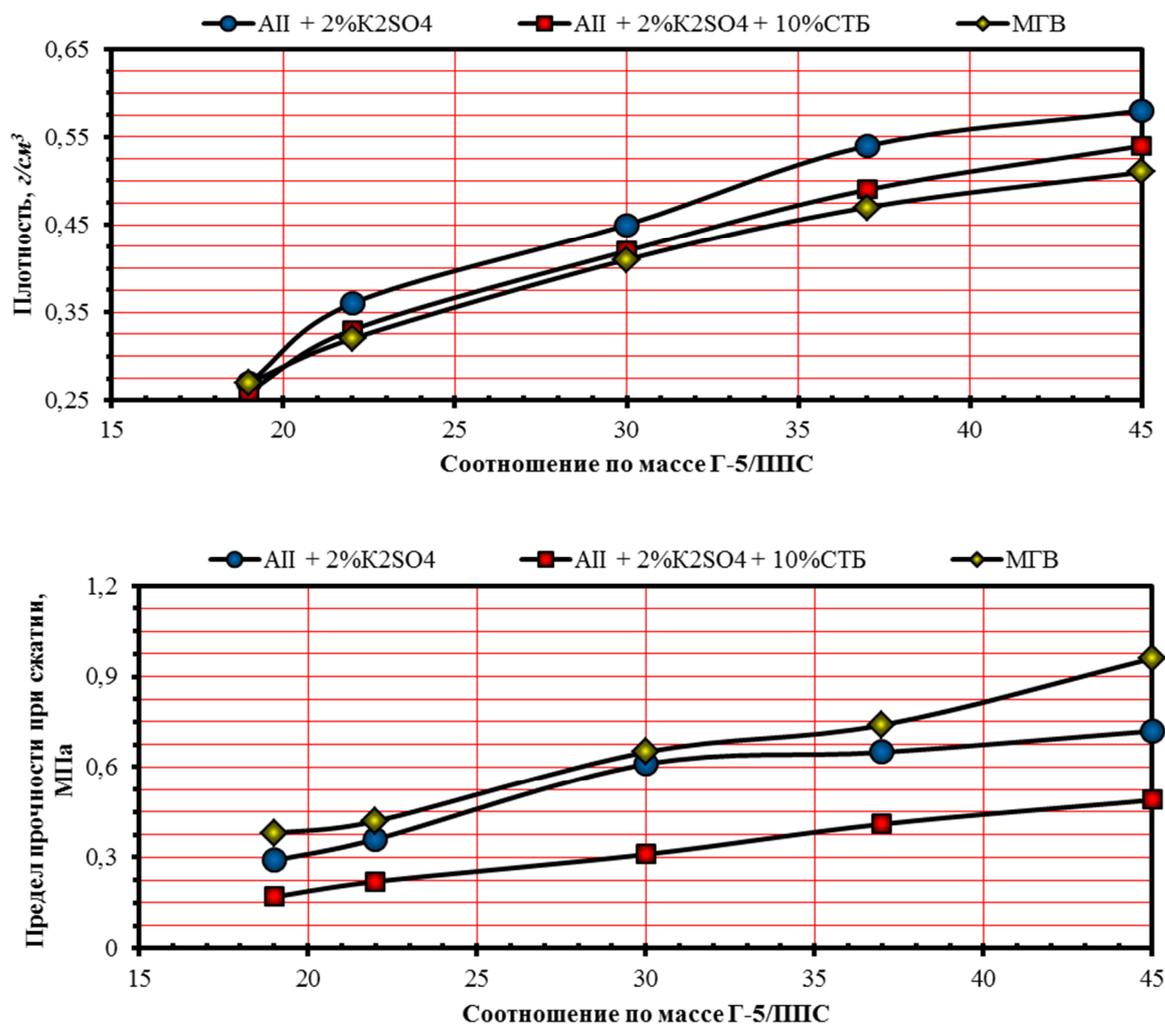


Рис. 3. Влияние природы вяжущего на свойства теплоизоляционного материала

Теплотехнические свойства материалов изучены для составов гипсопенополистиролбетонов на основе строительного гипса, ангидритового вяжущего, МГВ и тонкомолотых СТО (5

мас. %). Для сравнения были изготовлены образцы на основе строительного гипса и ангидритового вяжущего. Результаты исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4

**Характеристики теплоизоляционных материалов**

№. п/п	Состав исходных композиций	Характеристики полученного материала		
		R <sub>сж.</sub> , МПа	ρ, кг/м <sup>3</sup>	λ <sub>эфф.</sub> , Вт/м·К
1.	Строительный гипс*	0,60	1157	0,2333
2.	Строительный гипс + ППС*	1,03	510	-
3.	Строительный гипс + ППС+ Na-СТО*	1,26	558	0,1074
4.	Ангидритовый цемент**	32,00	1800	0,2399
5.	Ангидритовый цемент + ППС**	0,72	510	-
6.	Ангидритовый цемент + ППС+ Na-СТО**	0,48	551	0,1519
7.	Многофазовое гипсовое вяжущее (МГВ)**	25,00	1501	-
8.	МГВ + ППС+ Na-СТО**	0,97	510	0,1576

\* – R<sub>сж</sub> через 2 сут; \*\* – R<sub>сж</sub> через 7 сут

Из полученных данных следует, что наименьшую теплопроводность (0,1074 Вт/м·К) имеет материал на основе строительного гипса. Теплопроводность материалов на основе ангидритового вяжущего и многофазового гипсового

вяжущего выше (0,1519-0,1576 Вт/м·К). Необходимо отметить, что теплопроводности материалов на основе чистого строительного гипса и ангидритового вяжущего отличаются незначительно (0,2333-0,2399 Вт/м·К). Причину этого

мы видим в неполной гидратации ангидрита, в то время, как строительный гипс гидратируется полностью.

**Выводы.** Таким образом, на основе строительного гипса, отходов упаковочного пенополистирола и тонкомолотых отходов тарного стеклобоя получен теплоизоляционный материал, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 16381-77, со следующими характеристиками:  $R_{сж}$  – 0,72–1,26 МПа; плотность материала – 440–550 кг/м<sup>3</sup> и коэффициент теплопроводности 0,1074 Вт/м·К.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ясин Ю.Д., Ясин В.Ю., Ли Л.В. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций // Строительные материалы. 2002. № 5. С. 33–35.

2. Клименко В.Г., Гасанов С.К. Гипсостеклянные композиты – эффективный путь утилизации стеклобоя // Современные строительные

материалы, технологии и конструкции: Сб. докл. Юбилейной Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова» – Грозный. В 2-х томах. Т.1. Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий»». 2015. С. 253–260.

3. Клименко В.Г., Павленко В.И., Гасанов С.К. Отходы стеклобоя – как важный компонент композиционных материалов на основе гипсовых вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 6. С. 33–38.

4. Завадская Л.В., Бердов Г.И., Агалакова Я.С., Шишмакова Е.А. Изменение свойств гипсового камня при введении дисперсных техногенных добавок // Известия вузов. Строительство. 2013. № 9. С. 23–27.

5. Клименко В.Г., Павленко В.И., Гасанов С.К. Кислотно-основные взаимодействия в гипсостеклянных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 77–81.

---

**Klimenko V.G., Pavlenko V.I., Gasanov S.K., Mamin S.N.**

### GYPSUM-POLYSTYRENE COMPOSITES FOR BUILDING INDUSTRY

*In this paper being showed results of investigations gypsum-polystyrene composites, milled cullet was used for modification of binder, polystyrene foam was used for getting heat-insulation structure. Thermal conductivity the materials was measured by method of stationary thermal stream.*

*Also being showed, that characteristic of materials depends on type of gypsum binder, quantity of cullet in the composite and size of polystyrene foam particles. Have been proved that the best quality have materials based on hemihydrate plaster (alabaster) and polystyrene foam with addition of milled cullet.*

**Keywords:** *gypsum, insoluble anhydrite, hemihydrate gypsum, cullet, polystyrene foam, thermal conductivity, heat-insulation materials.*

---

**Клименко Василий Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

E-mail: Klimenko3497@yandex.ru

**Павленко Вячеслав Иванович**, доктор технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Гасанов Суфимар Курбанович**, аспирант кафедры теоретической и прикладной химии.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

E-mail: sufimmar\_bl@mail.ru

**Мамин Сергей Николаевич**, кандидат технических наук, кафедра общей химии.

Белгородский государственный университет.

Адрес: Россия, 308015, Белгород, ул. Победы дом 85