

НАУКА ДЛЯ ОБЩЕСТВА

# Полезное пеностекло

При сортировке мусора особо ценится зеленое бутылочное стекло, а при вспенивании сложных составов получаются не только Афродиты. Про новый утеплитель, стойкий и к температуре, и к другим факторам внешней среды (но не из диатомитов, а на другой основе) рассказывает сотрудник томского Института физики прочности и материаловедения СО РАН кандидат технических наук **Афанасий Саакорян**



— Казалось бы, новыми материалами для строительства, в том числе, получаемыми из промышленных, а то и бытовых отходов, сегодня трудно кого-либо удивить. Правда, такие разработки реализуются вовсе не по мановению волшебной палочки, о чем шел разговор на специальном круглом столе в Новосибирске. Да, отсутствие инжинирингового звена — ключевое препятствие, характерное не только для стройиндустрии. Но бывает и так, что новый материал «не проходит» по ограничениям уже существующих технологий: необходима слишком высокая температура (и, соответственно, энергозатраты), то целые океаны воды, то исходное сырье требует пятнадцати этапов кропотливой обработки...

...Казалось бы, именно такая участь постигла пеностекло. Оно обладает несомненными достоинствами: низкой теплопроводностью, малой средней плотностью, высокой термостойкостью, небольшим аккумулярованием теплоты и устойчивостью к тепловым ударам. Но широкому применению этого материала в промышленности препятствуют высокие энергозатраты и технологические сложности. Производство пеностекла принципиально невозможно организовать в полукустарных условиях, как это делается с пенопластом, пенополистиролом и газобетоном. А если мы начнем все же наращивать выпуск, то столкнемся с проблемой: откуда взять необходимое количество сырья? Казалось бы, каждая городская свалка сверкает тоннами битых бутылок... Но для качественного пеностекла необходимо разрабатывать рациональный состав шихты (исходной смеси) для каждого вида стеклобоя с соответствующими технологическими и теплотехническими режимами. И вместо чудо-материала из отходов мы получаем капризный в производстве продукт с весьма высокой себестоимостью.

А что будет, если не заикливаться на одном только стеклобое и поискать для состава первоначального сырья другие компоненты, столь же доступные и дешевые? Мы обратили внимание на отходы деревообрабатывающей промышленности и алюмосиликаты: и того, и другого в Томской области много. Но начали разбираться и со стеклом. Для получения пеностеклокерамики годится не какое попало, а содержащее 60-72,5% двуоксида кремния (SiO<sub>2</sub>), а также другие элементы и вещества в определенной пропорции. Самым технологически пригодным оказалось оконное стекло, зеленое бутылочное и ламповое марки СЛ96-1.

Важной составляющей шихты являются глинистые породы. В Томской области они отличаются сложностью минералогического состава и, кроме глинистых минералов (каолинита, монтмориллонита, гидрослюд и др.), содержат кварц, полевые шпаты, карбонаты, железистые и органические примеси. Наиболее пригодными являются монтмориллонитовые и гидрослюдистые глины с содержанием SiO<sub>2</sub> не более 70%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — не менее 12%, до 10% окислов железа и буквально процент-другой органических примесей. Наилучшие результаты получены при использовании

**Для справки: совсем немного экономии**

Главный мировой производитель пеностекла — это фирма *Pittsburg Corning Europe*, которая реализует продукцию 15 типов под торговой маркой «Foamglas». На сегодняшний день стоимость этого материала, производимого на заводе в Бельгии, достигает 400\$/м<sup>3</sup>. Поставки его в Москву и по России проводились по цене около 600\$/м<sup>3</sup>.

Отечественное пеностекло стоит меньше: в гранулах 2000—3130 рублей за кубометр, изделия (плиты, блоки и т.п.) — 4300—5500. На первый взгляд, цены на другие российские теплоизолирующие материалы выглядят привлекательнее. «Кубик» керамзитобетона стоит 2400—2800 рублей, пенобетонных блоков — 1700—2600, пенополистирол (один из пенопластов) — 1540-2400, минеральная вата — 1050—1200, а кубический метр насыпного керамзита марки М400 продается за 800—900 рублей. Но кроме цены есть еще и качество, точнее, сравнимые свойства: теплопроводность, термостойкость, механическая прочность, морозостойкость, возможности формования и засыпки, близость производства к потребителям. Сравним затраты на обустройство и капитальный ремонт кровли площадью 1200 м<sup>2</sup>. Для того чтобы засыпка из керамзита соответствовала засыпке из пеностеклокерамики (ПСК), необходимо соблюдать следующие параметры: насыпная плотность — у керамзита 600 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует у ПСК 200 кг/м<sup>3</sup>; толщина засыпки для керамзита составляет 0,8 м, а для ПСК вчетверо меньше, 0,2 м.

Учитывая вышеприведенные цены, получаем результаты, представленные на рисунке. И делаем вывод: насколько для утепления кровли требуется меньше ПСК, и, соответственно, каков экономический эффект.

Показатель	Керамзит с насыпной плотностью 600 кг/м <sup>3</sup>	ПСК с насыпной плотностью 200 кг/м <sup>3</sup>
Толщина, метры	0,8	0,2
Вес, тонны	480	120
Стоимость, руб.	4800	2400

глины Кандинского месторождения, расположенного недалеко от Томска и ведущей к нему из Новосибирска автодороги.

Отличительной особенностью предлагаемого нами состава шихты для производства пеностеклокерамики, в отличие от традиционных, стал ввод органических добавок. Точнее, древесных опилок. Их добавление позволяет:

- увеличить температуру гранул и газов в период вспенивания;
- обеспечить равномерное температурное поле по сечению гранулы;
- увеличить объем газа в период пенообразования;
- поднять парциальное давление газа внутри гранулы;
- получить поры одинакового размера и равномерно распределенные по сечению гранулы.

Правда, опилки, как и стекло, «не все одинаково полезны». В лиственных породах в 2—3 раза больше, чем в хвойных, содержится пентозанов, а эти соединения в присутствии воды и щелочей



гидролизуются и превращаются в хорошо растворимые простые сахара, которые, в свою очередь, препятствуют сцеплению частиц шихты с древесиной. Поэтому в композициях «стеклопорошок-глина-кокс-вода» лучше использовать отходы сосны, лиственницы, ели и пихты.

Древесные опилки вводились в смесь на этапе тонкого помола стекла, что обеспечивало их измельчение до муки с получением частиц размером не более 560 мкм. При проведении исследований использовался следующий состав шихты: бой стекла 67—84 массовых процентов, глина — 8—25%, кокс — 5% и древесные опилки — 3%. Кстати, о коксе. При обосновании выбора газообразователя принималось во внимание совпа-

дение температурных интервалов появления расплава требуемой вязкости и образования наибольшего парциального давления газов при выгорании органики. По этой причине и был выбран кокс

Характеристики	Параметры
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	200 - 290
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	0,06-0,085
Коэффициент звукопоглощения, % при частоте 600-1200 Гц	15-20
Прочность при сжатии, МПа	0,8-2,5
Водопоглощение, объёмных %	менее 3,0
Температура эксплуатации, °С	от - 50 до + 600

(новокузнецкого производства).

Конечный продукт в форме гранул готовился следующим образом: стеклобой вначале измельчался в дробилке до 1,5—3,0 мм, а затем — в шаровой мель-



нице совместно с древесными опилками до удельной поверхности частиц 300—350 м<sup>2</sup>/кг. В этом же агрегате происходил помол кокса и глины. Все полученные порошки дозировались и загружались в стержневую вибрационную мельницу, где перемешивались и дополнительно подвергались совместной механоактивации до удельной поверхности 400 м<sup>2</sup>/кг. Полученная шихта разбавлялась водой (10—15% от массы шихты) для достижения требуемой пластичности, а затем из нее формовались гранулы размером 5-10 мм. Чтобы они не слипались, их припудривали тонкодисперсными древесными опилками и укладывали на керамический поддон. Адсорбционно связанная влага благоприятно влияет на протекание процесса вспучивания смеси, поэтому нет необходимости полного высушивания: можно начинать обжиг. Он проводился при температуре 830-850°С в течение 4-6 минут.

Этот отрезок времени, вероятно, можно назвать самым важным. Согласно механизму формирования силикатных пен, максимум замкнутых ячеек образуется при вспенивании гомогенных систем с оптимальной вязкостью расплава, в которых обеспечиваются, с одной стороны, плавное и беспрепятственное пенообразование, с другой — высокая устойчивость сформированной пены за счет ее структурно-механического фактора. Проще говоря, при обжиге происходит вспенивание материала гранул, и, как следствие — они становятся мелкопористыми.

Три самых важных для стройиндустрии параметра — механическая прочность на сжатие, плотность и теплопроводность — зависят от размера и количества пор, от толщины и состава перегородок. И можно сказать, что в научной лаборатории получен не просто новый строительный материал. В потенциале это своеобразный «технологический конструктор», в котором есть переменные характеристики, регулирование которых дает разные свойства конечного продукта. Так, если мы увеличим процентное содержание глины в рациональном составе шихты, то повысим ее плотность и, в результате, теплопроводность и механическую прочность гранул. По мере роста температуры — снижается вязкость расплава, увеличивается давление газа, развивается сдвигающее действие капиллярных сил.

Но строительство, как и любая технология, жидется на стандартах. Поэтому наша работа привела к тому, что уже разработаны технические условия на гранулированный материал ТУ 5914-001-43189350-2004. Он же — пеностеклокерамика. Знакомьтесь, вот ее паспорт.

Гуманитарно образованному человеку ничего (или почти ничего) не скажут все эти коэффициенты и мегапаскалы. Но строитель-технолог поймет, что перед ним нечто весьма привлекательное: легкие, почти не гигроскопичные гранулы, очень плохо пропускающие тепло и плохо — звук. Пеностеклокерамикой можно изолировать, например, нагревательный котел, хоть в Крыму, хоть на севере Якутии. Использовать ее для изоляции межэтажных и чердачных перекрытий, ограждающих конструкций, тепловых установок и сетей. Да мало ли еще для чего?

Андрей Соболевский  
На фото, предоставленных Афанасием Саакоряном: — А.С. Апкарьян; — гранулы пеностеклокерамики; — шаровая мельница для приготовления компонентов шихты.