

И. М. Терещенко доц., канд. техн. наук;
А. П. Кравчук доц., канд. техн. наук;
И. В. Войтов, проф., д-р техн. наук (БГТУ, г. Минск)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕНОСТЕКЛА НА ОСНОВЕ СТЕКЛОБОЯ

Из всех известных видов теплоизоляционных материалов пеностекло на основе отходов стекольных производств (стеклобоя) считается эталоном, сочетающим высокие теплоизоляционные свойства с негорючестью, жесткостью и химической устойчивостью, экологической безопасностью и практически неограниченным сроком эксплуатации (более 100 лет). По комплексу характеристик оно значительно опережает широко используемые в настоящее время керамзит, полимерные и даже волокнистые утеплители.

Однако, при всех своих достоинствах пеностекло так и не стало материалом широкого потребления по ряду причин, которые рассматриваются ниже. На ранних этапах развития (40–80-е годы прошлого столетия) технология производства пеностекла относилась к материалосберегающим, так как опиралась на использование отходов стекольной индустрии (стеклобой) в качестве основного сырья [1, 2]. На современном же этапе над производством этого эксклюзивного утеплителя довлеют проблемы преимущественно экономического характера, поскольку за истекший период была утеряна дешевая сырьевая база.

Начиная с 70-х годов XX века стекольные предприятия стали активно возвращать стеклобой, вначале собственный, а затем и вторичный (покупной), в технологические процессы производства своей продукции. В настоящее время стеклобой – один из наиболее рециклируемых отходов производства в целом по промышленности с квотой возврата до 80% в производстве тарного стекла. Это обстоятельство привело к закрытию существовавших в СССР предприятий по производству плитного пеностекла, последнее из которых – цех пеностекла в составе ОАО «Гомельстекло» – было ликвидировано в 2014 г. К этому моменту горы стеклобоя, загромождавшие окрестную территорию, исчезли по причине рециклинга, а весьма затратный технологический процесс производства блочного пеностекла на основе порошковых композиций, обеспечивающий стоимость продукции более 300 \$/м³, признан неактуальным.

На смену пришли относительно простые технологически производства гранулированного стекла [1], в которых реализуется идея

ухода от порошковой технологии, а именно, – термообработке (вспениванию) подвергается не порошковая шихта, а гранулированный полуфабрикат.

Осуществленный в последнее десятилетие переход на производство гранулированного пеностекла позволил:

- резко снизить потребление энергии;
- использовать полуфабрикат (сырцовые гранулы) как для получения блоков, щебня, так и гравия;
- снизить чувствительность технологического процесса к качеству основного сырья (стеклобой) и, как следствие, использовать несортовой бой либо низкосортное стекло.

Как указано ранее, для выпуска гранул пригоден очищенный несортовой бой стекла, однако его рыночная стоимость в настоящее время составляет 70–75 \$ за тонну. Правда, использование несортового боя для означенной цели вызвало необходимость изменения механизма газообразования в стекле. Таким образом, от сульфатного механизма вспенивания, детально разработанного Б.К. Демидовичем, осуществлен переход к гидратному [3]. Для этого к измельченному стеклобойю добавляют жидкое стекло, усиливая его вспенивающую способность углеродсодержащими добавками, что позволяет получать продукт с насыпной плотностью менее 200 кг/м³. В итоге, при рыночной стоимости очищенного несортового боя стекла 70–75 \$ за тонну, только сырьевая составляющая себестоимости вспененного продукта составляет 26–27 \$/м³, что эквивалентно рыночной стоимости керамзита, наиболее дешевого из распространенных утеплителей.

Однако в технологическом процессе производства гранул остаются такие энергоемкие стадии как тонкое измельчение исходного стеклобоя и вспенивание шихты при 780–820 °С. В итоге, принимая минимальное значение всех составляющих себестоимости, получают полную себестоимость продукта на уровне 43–45 \$/м³. При таком раскладе пеностеклу трудно конкурировать на рынке с керамзитом, несмотря на важные особенности последнего – керамзит не может производиться в виде мелких гранул (менее 5 мм), поскольку при этом резко возрастает плотность и теряются теплоизоляционные свойства материала. Другим слабым местом керамзита является значительная открытая пористость и, как следствие, поглощение им влаги, что приводит к тем же проблемам.

Таким образом, планам по использованию пеностекла в массовом строительстве не суждено было сбыться, несмотря на комплекс его замечательных свойств, из-за отсутствия дешевой сырьевой базы.

Так, в Российской Федерации в настоящее время известно около

двух десятков предприятий-производителей пеностекла, однако, одни приостановили производство, другие выпускают продукцию в ограниченном объеме, имея трудности со сбытом.

Основная причина – неконкурентность пеностекла по цене в сравнении с аналогами (керамзит, пенопласт, волокнистые материалы) при реально действующих ценах. И выход в данном случае единственный – снижение стоимости сырьевой составляющей. Расчеты показывают, что конкурентность пеностекла на рынке обеспечивается при граничном значении его себестоимости ниже 25 \$/м³.

Как известно, решение одной проблемы, часто приводит к возникновению новых, возникающих в результате решения первой. Так, в частности, внедрение новых технологий сортировки бросового боя стеклоизделий, в свою очередь, порождает проблему утилизации образующихся при этом отходов.

В Республике Беларусь функционирует предприятие ГО «Белресурсы» по сбору, транспортированию, переработке вторичного стеклобоя с разделением получаемого продукта (очищенный стеклобой) по цвету: коричневый, зеленый, бесцветный. Предприятие производит около 100 тыс. т/год очищенного и измельченного стеклобоя трех цветов: зеленого, коричневого и бесцветного. В то же время имеют место отходы: органические, металлические, а также два вида стекло-видных:

- содержащие керамические включения – около 7 000 т/год (вывозятся в отвалы);

- неразделенное по цвету стекло (фракция менее 5 мм), удаляемое на последней стадии переработки, поскольку оптические индикаторы не различают цвета мелких частиц – около 10 000 т/год. Общее количество отсевов составляет 17 000 т/год, что эквивалентно мощности цеха по производству 85 000 м³/год пеностекла с плотностью 200 кг/м³.

Работами, проведенными на кафедре технологии стекла и керамики БГТУ, показано, что данный вид отходов является ценным сырьем для производства гранулированного пеностекла, способного по себестоимости конкурировать с керамзитом, намного превосходя его по комплексу характеристик. В частности, разработаны составы шихт на основе указанных отсевов, которые при одностадийной термообработке при 820 °С формируют вспененные материалы с насыпной плотностью 60–150 кг/м³ (в зависимости от гранулометрии), теплопроводностью – 0,045–0,059 Вт/(м·К), прочностью на сжатие – 0,4–0,9 МПа. Рассчитанная полная себестоимость конечного продукта (гранулированного пеностекла) составляет 23 \$/м³, что делает его

конкурентным по цене со всеми используемыми в современном строительстве теплоизоляционными материалами.

Затраты на сырье в производстве гранулированного пеностекла приведены ниже в таблице.

Таблица – Затраты на основное сырье в производстве гранулированного пеностекла

Наименование	Затраты на 1 м ³ пеностекла		
	Расход материала, т	Цена за 1 т, руб.	Сумма, руб.
Отсевы сортировки стеклобоя	0,2	14,7	2,94
Связующее	0,005	120	0,6
Жидкое стекло	0,095	520	9,88
Итого	—	—	13,42

Проведенными экономическими расчетами определены основные технико-экономические показатели проекта по производству гранулированного пеностекла объемом 85 000 м³/год на основе отсевов сортировки стеклобоя:

- затраты на строительно-монтажные работы – 0,68 млн. \$;
 - затраты на оборудование – 6,8 млн. \$;
 - оборотные средства – 1,16 млн. \$;
 - прочие затраты – 0,41 млн. \$;
- Итого 9,05 млн. \$.

Срок окупаемости составит – 5,05 года. Рентабельность – 24,3%.

Таким образом, в БГТУ разработана технология получения гранулированного пеностекла на основе шихты, включающей 94 % отсевов сортировки стеклобоя с добавками, гарантирующая получение гранул размером 5–20 мм с насыпной плотностью от 80 до 160 кг/м³.

В настоящее время руководство РУП «Белорусской стекольной компании» изъявило желание организовать в Республике Беларусь производство пеностекла в виде, так называемого, пеностекольного щебня на основе упомянутых отсевов, что на наш взгляд не является оптимальным решением.

Щебень в виде кусков пеностекла неправильной формы появился вначале как отход производства плит из пеностекла и фактически имел ту же себестоимость, что и плиты. Однако, как правило, все затраты включались в себестоимость плит, что породило иллюзию дешевизны щебня. На самом деле, при производстве пеностекольного щебня в качестве целевого продукта его себестоимость достаточно велика из-за необходимости вспенивать порошкообразную шихту, являющуюся теплоизолятором. При этом большие затраты энергии на вспенивание слоя шихты вполне компенсируют относительную про-

стоту технологических процессов.

Тем не менее специализированные производства пеностеклового щебня получили распространение в странах, где за каждую тонну утилизированного стеклобоя платятся хорошие деньги. Кроме того, подобные предприятия имеют значительные льготы по налогообложению, так что все затраты на переработку стеклобоя в щебень практически компенсируются. А поскольку щебень на рынке реализуется за цену близкую к 50 евро за м³, то такое производство становится экономически выгодным. Кстати, цена щебня на рынке ограничивается законодательством, хотя она почти в 8 раз ниже стоимости пеностеклольных плит.

Как же используется пеностеклольный щебень? Учитывая нестабильные параметры и довольно низкие эксплуатационные характеристики щебня, он имеет практически одно применение. Его удел быть закопанным в грунт (утепление грунтов и ландшафтные работы).

В качестве засыпного утеплителя его не применяют из-за высокого пыления и больших размеров кусков. Он не пригоден для производства легких бетонов так как высокая открытая пористость приводит к перерасходу цементного связующего. Малая прочность засыпки из щебня объясняется сколами его граней при нагрузках, поэтому ее используют только после уплотнения (не менее чем на 30 %). При этом возрастают плотность, теплопроводность и стоимость засыпки. Малый угол естественного откоса препятствует использованию щебня в качестве засыпного утеплителя в стеновых конструкциях из-за невозможности его равномерного распределения.

Можно, конечно, улучшить одну из характеристик щебня – снизить размер кусков путем дробления, однако при этом до 40 % щебня превращается в пыль и растет его стоимость.

Гранулированное же пеностекло (гравий) является совершенно другим продуктом, поскольку его производство направляется не на дешевую переработку стеклобоя, а на выпуск высококачественного строительного материала. Низкая теплопроводность и прочная оплавленная наружная корка делают его незаменимым наполнителем бетонов и блоков.

Фракционный состав продукта целенаправленно формируется на стадии синтеза сырьевых гранул, а не в ходе дробления конечной плиты. В засыпке он практически не пылит, прекрасно заполняет пространство, не требуя трамбования. Закрытая пористость обеспечивают 100 % влагостойкость и долговечность – срок службы до 100 лет. К тому же получение мелких гранул пеностекла во всех случаях более выгодно с точки зрения теплообмена.

В силу сказанного выше, на наш взгляд, следует предусмотреть диверсификацию производимой продукции на основе отсевов сортировки стеклоотходов, обеспечить гибкость производства. Сущность предложения заключается в получении на первой стадии гранулированного полуфабриката, который на последующих стадиях перерабатывается в пеностекольные плиты и блоки, пеностекольный щебень и пеностекольный гравий.

Будущее же гранулированного пеностекла видится в вертикальной интеграции с конечными потребителями – заводами ЖБИ, товарного бетона и других строительных смесей при производственной мощности 80–100 тыс. м³ в год, при этом следует ориентироваться на выпуск мелкогранулированного продукта (фракция менее 5 мм), особенно востребованного на рынке.

Огромное значение имеет возможность получения в заводских условиях однослойных крупногабаритных стеновых панелей на основе пеностекла с нормативным уровнем защиты, не требующих монтажа теплоизоляции. Применение пористых заполнителей в производстве пеностеклобетонных блоков, сухих строительных смесей, теплых штукатурок и кладочных растворов (требуются фракции наполнителя менее 4 мм) потребуют сотни тысяч кубометров наполнителя.

Из других областей применения вспененных гранулированных материалов следует отметить:

- применение в составе звуко- и теплоизоляционных межэтажных перекрытий;
- производство сэндвич-панелей;
- производство наливных полов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терещенко И.М., Дормешкин О.Б., Кравчук А.П., Жих Б.П. Состояние и перспективы развития производства стекловидных вспененных теплоизоляционных материалов // Стекло и керамика. – 2017. Т. 90, № 6. – С. 29–32.
2. Демидович Б.К. Производство и применение пеностекла // Минск: «Наука и техника». 1975. – 248 с.
3. Кетов А.А. Нанотехнологии при производстве пеностекольных материалов нового поколения // Научный интернет-журнал: Нанотехнологии в строительстве. – 2009, № 3. – С. 15–23.