

УДК 666.189.3

**И. М. Терещенко, И. В. Войтов, О. Б. Дормешкин, А. П. Кравчук, Б. П. Жих**  
Белорусский государственный технологический университет

### **О ПЕРСПЕКТИВАХ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО ПЕНОСТЕКЛА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Рассмотрены общие проблемы производства пеностекла, которые связаны с несовершенством и энергозатратностью технологического процесса, дороговизной исходного сырья – стеклобоя. Бурное развитие специализированных предприятий по переработке стеклобоя за рубежом и в странах СНГ привело к появлению нового вида отходов – отсевов сортировки стеклобоя (фракция менее 5 мм), которые не могут разделяться по цвету оптическими индикаторами. Особенностью отсевов является наличие в них включений керамики и органических примесей.

Изучена возможность использования отсевов сортировки стеклобоя и разработан технологический процесс получения гранулированных теплоизоляционных материалов. Разработаны составы шихт, которые при одностадийной термообработке при 800°C формируют вспененные материалы с насыпной плотностью 110–180 кг/м<sup>3</sup> (в зависимости от гранулометрии), теплопроводностью 0,051–0,059 Вт/м·К, прочностью на сжатие 0,6–0,9 МПа.

Проведенными экономическими расчетами показана целесообразность организации производства гранулированных теплоизоляционных материалов на основе отсевов сортировки стеклобоя мощностью 50 тыс. м<sup>3</sup>/год. Стоимость разработанного теплоизоляционного материала близка к стоимости керамзита.

**Ключевые слова:** пеностекло, стеклобой, вспенивание, технологический процесс.

**I. M. Tereshchenko, I. V. Voitau, O. B. Dormeshkin, A. P. Kravchuk, B. Zhykh**  
Belarusian State Technological University

### **ABOUT THE PROSPECTS OF THE ORGANIZATION OF MANUFACTURE OF GRANULATED FOAM GLASSES IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

The article deals with the general problems of foam glass production, which are associated with the imperfection and energy consumption of the technological process, the high cost of the raw material base – cullet. The rapid development of specialized cullet processing enterprises abroad and in the CIS countries has led to the emergence of a new type of waste – cullet screenings (fraction less than 5 mm), which cannot be color-separated by optical indicators. A feature of the screenings is the presence of ceramic inclusions and organic impurities in them.

The possibility of using screening screenings and a technological process for producing granulated heat-insulating materials has been studied. Glass batch compositions have been developed which, in a one-step heat treatment at 800°C, form foamed materials with a bulk density of 110–180 kg/m<sup>3</sup> (depending on particle size distribution), thermal conductivity – 0.051–0.059 W/m·K, with compressive strength – 0.6–0.9 MPa.

The economic calculations showed the feasibility of organizing the production of granular heat-insulating materials based on screenings for sorting cullet with a capacity of 50,000 m<sup>3</sup>/year. The cost of the developed thermal insulation material is close to the cost of expanded clay.

**Key words:** foamglass, cullet, foaming, technological process.

**Введение.** Требования, предъявляемые к современным теплоизоляционным материалам, весьма высоки. Во-первых, эффективные теплоизоляторы должны обладать низкой теплопроводностью, что обуславливает их плотность не выше 200 кг/м<sup>3</sup> [1]. Во-вторых, так как речь идет о строительных материалах, подразумевается, что теплоизоляционный материал должен сохранять свои свойства неизменными в течение как минимум проектного времени эксплуатации здания, а это не менее ста лет. В-третьих, материал для жилища должен быть безопасным, т. е. не только не разрушаться в силу случайных причин,

будь то кратковременный нагрев или попадание воды, но и не выделять при этом каких-либо компонентов, прямо или косвенно ухудшающих качество жизни в здании. Также потребителей интересуют такие свойства теплоизоляционных материалов, как прочность, неизменность объема, сохранение свойств воздействию влаги, низкие показатели влагопоглощения, устойчивость к биологическому воздействию, отсутствие эмиссии вредных веществ при эксплуатации и пожаростойкость.

Из всех видов теплоизоляционных материалов пеностекло считается эталоном, сочетающим высокие теплоизоляционные свойства с негорючестью,

жесткостью, экологической безопасностью и практически неограниченным сроком эксплуатации. Однако данный вид утеплителей так и не стал материалом широкого использования в силу причин, изложенных ниже.

**Основная часть.** Долгое время производство пеностекла относилось к материалосберегающим технологиям, поскольку, за редким исключением, базировалось на использовании отходов стекольных производств (стеклобоя), рециклингу которого уделялось мало внимания. Ситуация начала меняться с 1970-х гг., когда стеклоделы начали активно возвращать стеклобой в производство, причем не только собственный, но и сторонний (покупной).

В настоящее время стеклобой относится к одному из самых рециклируемых производственных отходов. В развитых странах квота возврата стеклобоя в собственное производство составляет 80% – это один из самых высоких показателей в целом по промышленности. Таким образом, предприятия по производству пеностекла практически лишились сырьевой базы.

Основными недостатками производства блочного пеностекла, еще недавно производимого в Республике Беларусь, являлись необходимость тонкого измельчения стеклобоя, вспенивания порошковых смесей, использование форм из жаростойкой стали, применение сортового стеклобоя [2]. Издержки технологии плитного пеностекла обуславливали его высокую рыночную стоимость (более 300 долл. США/м<sup>3</sup>).

Переход к технологиям получения гранулированного пеностекла позволил снизить производственные издержки, впрочем, недостаточно для того, чтобы конкурировать по цене с доминирующими на рынке в настоящее время теплоизоляционными материалами (ТИМ).

К примеру, в Российской Федерации в настоящее время функционирует 4 предприятия по производству гранулированного пеностекла («Пеностек», «Баугран», «Пенокам» и «Saitax»), однако выпуск продукции осуществляется в ограниченных объемах и наблюдаются проблемы со сбытом по следующим причинам:

- несовершенство технологий, что обуславливает повышенный уровень затрат;
- необходимость использования очищенного смешанного стеклобоя, стоимость которого на рынке достигает 80–85 долл. США/т.

Можно констатировать, что несмотря на комплекс замечательных характеристик пеностекла, планы по широкому его использованию в массовом строительстве до сих пор не удалось реализовать по причине неконкурентоспособности пеностекла на рынке в сравнении с аналогами (керамзит, пенопласты, волокнистые материалы) при реально существующих ценах.

Ниже произведена ориентировочная оценка себестоимости гранулированного пеностекла, получаемого на основе стеклобоя. Материал в отличие от плитного пеностекла получают из смешанного очищенного стеклобоя (примем его стоимость 80 долл. США/т) с добавлением жидкого стекла (вспенивание по гидратному механизму). На 1 т стекла требуется 80–100 л жидкого стекла при модуле 2–3 и плотности 1,4 г/см<sup>3</sup> при стоимости 250 долл. США/т, на что затрачивается около 35 долл. США. Не менее 20 долл. США/т обходится тонкий помол шихты до дисперсности менее 5 мкм. В соответствии с техпроцессом необходимо в шихту ввести не менее 0,5% углеродсодержащего газообразователя, в качестве которого используется глицирин. Это увеличивает стоимость сырья еще минимум на 5 долл. США. В итоге на сырье и его помол при получении 1050 кг продукта затрачивается не менее 140 долл. США. При насыпной плотности вспененного продукта 200 кг/м<sup>3</sup> сырьевая составляющая себестоимости 1 м<sup>3</sup> вспененного продукта составляет 28 долл. США/м<sup>3</sup>.

Расчет затрат на энергопотребление показывает, что расход энергии на термообработку 1 м<sup>3</sup> гранулированного стекла составляет 360 МДж/м<sup>3</sup> – 5 долл. США/м<sup>3</sup>. Добавим затраты на зарплату и обслуживание оборудования 7 долл. США. В итоге, принимая минимальные значения всех составляющих, получаем себестоимость насыпного гранулированного стекла не менее 40 долл. США/м<sup>3</sup>. Поэтому на рынке его можно приобрести по цене от 85 долл. США/м<sup>3</sup> (крупные фракции и крупный опт).

Конечно, при таком раскладе пеностекло не может конкурировать с керамзитом (заводская цена около 30 долл. США/м<sup>3</sup>) даже с учетом его недостатков: поглощения воды и невозможности получения мелкогранулированного продукта (фракция менее 5 мм), поскольку при этом резко возрастает плотность и теряются теплоизоляционные свойства материала.

В БГТУ проведен цикл исследований, в ходе которых показана возможность организации производства в Республике Беларусь мелкогранулированного пеностекла (фракция 1,0–4,0 мм) по технологии, обеспечивающей его стоимость не выше 30 долл. США/м<sup>3</sup>. Данная задача решается за счет использования в качестве основного сырьевого компонента отсевов сортировки стеклобоя, получаемых в условиях ГУ «Белресурсы». Речь идет о перерабатывающем комплексе смешанного стеклобоя, функционирующем в пригороде Минска, мощностью до 100 000 т/год по сортированному очищенному стеклобою.

Деятельность данного предприятия охватывает территорию Минской области, где организованы пункты сбора бросового стеклобоя, который

затем транспортируется к перерабатывающей установке, где осуществляется его очистка от органических, металлических и керамических включений, мойка, сушка, измельчение и, наконец, автоматическое сортирование по цвету оптическими индикаторами с разделением получением зеленого, коричневого и бесцветного стекла.

Однако решение одной проблемы часто приводит к появлению новых. Так, в частности, внедрение инновационной технологии переработки отходов стекла порождает проблему утилизации возникающих отходов. Поскольку индикаторы, используемые для оптического сортирования стекла, не различают цвета мелких частиц, фракция менее 5 мм удаляется в середине цикла переработки. Таким образом образуются отсеивы – отход сортировки стеклобоя в объеме 15–16 тыс. т/год, которые вывозятся в отвалы или продаются в малых объемах.

Работами, проведенными на кафедре технологии стекла и керамики, показано, что данный вид отходов является ценным сырьем для производства гранулированного пеностекла, обладающего рядом уникальных свойств и, что в особенности важно, способного по себестоимости конкурировать с керамзитом, превосходя его по комплексу основных характеристик.

Получаемые отсеивы стеклобоя содержат около 80–85% несортированного стекла и 15–20% примесей: органических (бумага, пластик и др.) и неорганических (грунт, керамика).

На основе отсеивов сортировки стеклобоя ГУ «Белресурсь» разработаны составы шихт, которые при одностадийной термообработке при 800°C формируют вспененные материалы с насыпной плотностью 110–180 кг/м<sup>3</sup> (в зависимости от гранулометрии), теплопроводностью 0,051–0,059 Вт/м·К, прочностью на сжатие 0,6–0,9 МПа. При этом из составов шихт выведены дорогостоящие компоненты – жидкое стекло и глицерин. В итоге стоимость

сырья и его измельчения не превышает 11 долл. США/м<sup>3</sup>, а себестоимость конечного продукта составляет около 23 долл. США/м<sup>3</sup>, что делает его конкурентным по цене с основными типами теплоизоляционных материалов: пенопластами, волокнистыми материалами на основе минерального и стекловолокна, пено- и газобетонами, керамзитом.

**Выводы.** 1. Использование технологических комплексов по сбору, транспортированию и переработке смешанного стеклобоя следует расширять, учитывая достигнутые экономические результаты (рентабельность более 40%) при рыночной стоимости сортированного стеклобоя 75–80 долл. США/т.

2. Выделяющиеся при переработке стеклобоя отходы в большом количестве являются ценным и дешевым сырьем для получения универсального теплоизолирующего материала – гранулированного пеностекла. В связи с этим в состав специализированных предприятий по сортировке стеклобоя целесообразно включать отделения по производству гранулированного пеностекла на основе отсеивов сортировки стеклобоя с объемом производства до 70 тыс. м<sup>3</sup>/год.

3. На кафедре технологии стекла и керамики БГТУ разработан технологический процесс производства мелкогранулированного пеностекла, особенно востребованного на рынке, обеспечивающий стоимость получаемых продуктов ниже 30 долл. США/м<sup>3</sup>. Получаемый стелогранулят имеет плотность в пределах 110–180 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение до 3%, механическую прочность более 0,7–0,9 МПа, он водостоек, негорюч, долговечен, экологически безопасен.

4. Проведенные технико-экономические расчеты указывают на высокую конкурентоспособность нового теплоизоляционного материала – гранулированного пеностекла – с доминирующими на рынке керамзитом, ячеистым бетоном, изделиями из волокна (минерального и стеклянного).

### Литература

1. Кетов А. А. Нанотехнологии при производстве пеностеклянных материалов нового поколения // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2009. № 3. С. 15–23. URL: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU/journal/Nanobuild\\_3\\_2009\\_RUS.pdf](http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_3_2009_RUS.pdf) (дата обращения: 15.08.2019).
2. Демидович Б. К. Производство и применение пеностекла. Минск: Наука и техника, 1975. 248 с.

### References

1. Ketov A. A. *Nanotekhnologii pri proizvodstve penosteklyannykh materialov novogo pokoleniya* [Nanotechnology in the production of newgeneration foam glass materials]. Available at: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU/journal/Nanobuild\\_3\\_2009\\_RUS.pdf](http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild_3_2009_RUS.pdf) (accessed 15.08.2019).
2. Demidovich B. K. *Proizvodstvo i primeneniye penostekla* [Production and use of foam glass]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1975. 248 p.

### Информация об авторах

**Терещенко Игорь Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [keramika@belstu.by](mailto:keramika@belstu.by)

**Войтов Игорь Витальевич** – доктор технических наук, профессор, ректор. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rector@belstu.by

**Дормешкин Олег Борисович** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dormeshkin@belstu.by

**Кравчук Александр Петрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kravchuk@belstu.by

**Жих Божена Петровна** – младший научный сотрудник кафедры технологии стекла и керамики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zhykh@belstu.by

#### **Information about the authors**

**Tereshchenko Igor Mikhaylovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, the Department of Glass and Ceramics Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: keramika@belstu.by

**Voitau Ihar Vital'evich** – DSc (Engineering), Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rector@belstu.by

**Dormeshkin Oleg Borisovich** – PhD (Engineering), Professor, Vice-rector for Research. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dormeshkin@belstu.by

**Kravchuk Alexander Petrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, the Department of Glass and Ceramics Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kravchuk@belstu.by

**Zhykh Bazhena** – Junior Researcher, the Department of Glass and Ceramics Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: zhykh@belstu.by

*Поступила 25.10.2019*