

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКОЛЬНОГО БОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Павлушкина Т.К., канд. техн. наук; Кисиленко Н.Г., канд. техн. наук
ОАО «Институт стекла», РФ, Москва

Увеличивающиеся из года в год темпы роста капитального и жилищного строительства требуют постоянного наращивания выпуска разработки и применения новых эффективных строительных материалов, характеризующихся высокими физико-механическими свойствами, долговечностью, повышенными эксплуатационными и художественными показателями, низкой стоимостью. Создание новых дешевых облицовочных материалов способствует существенному снижению стоимости капитального строительства, а также затрат, выделяемых на косметический ремонт зданий и сооружений.

В последние годы при производстве различных строительных материалов и изделий особое внимание уделяется эффективному использованию минеральных ресурсов. Проблема рационального и комплексного использования сырьевых ресурсов неразрывно связана с уровнем развития производства и в настоящее время имеет большое значение для всех промышленно-развитых стран. Создание и внедрение малоотходных и безотходных технологий, совершенствование управления качеством сырья и готовой продукции направлены на сокращение отходов и потерь сырья и материалов на всех стадиях их обработки, хранения и транспортировки и более полное использование в производстве вторичных ресурсов и попутных продуктов.

Стекольный бой – это, прежде всего, ценное сырье. Частичная замена шихты стеклосодом позволяет ощутимо сократить расход сырьевых материалов, часть из которых (например, кальцинированная сода) дефицитна и дорогостоящая. По данным ряда экономистов, утилизация 1 миллиона бутылок позволяет сохранить 300 тн кварцевого стекольного песка и 100 тн .кальцинированной соды. На каждые 100 кг вводимого стеклосода экономится 126 кг. первичного сырья.

Введение стеклосода в состав шихты перспективно в целях снижения энергетических затрат и экономии топлива, поскольку процессы силикато- и стеклообразования в расплаве протекают при более низких температурах, что

подтверждается результатами многих исследователей. Так для стекла, полученного путем плавления шихты, энергетические затраты составляют около $2 \cdot 10^9$ Дж/тн, а для стекла, полученного путем переплавки лишь стеклобоя, эти затраты не превышают $1,5 \cdot 10^9$ Дж/тн. Расчеты проводились для однотипных печей при одинаковых температурных условиях и составах стекол [1].

При исследовании возможности экономии энергии в производстве тарного стекла в зависимости от количества вводимого в шихту стеклобоя взамен первичного сырья учитывалась экономия энергозатрат не только на варку и осветление стекломассы, но также на добычу, переработку и транспортировку сырьевых материалов. Установлено, что увеличение количества стеклобоя в шихте на каждые 10% приводит к экономии топлива и электроэнергии соответственно на 4,4 и 1,1%. По другим сведениям, экономия топлива составляет 0,25% на каждый процент вводимого стеклобоя.

Ведущая в Европе немецкая фирма по переработке промышленных отходов Zippe GmbH разработала проект завода по утилизации стеклобоя [2], технологическая схема которого легла в основу создаваемых типовых линий.

Поступающий на специальные базы вторичного сырья стеклобой сгружают в бункер, откуда он вибрационным питателем подается на наклонный ленточный конвейер. Оператор может регулировать скорость подачи стеклобоя в зависимости от степени его загрязнения. В конце конвейера установлен электромагнит для отделения металлических включений.

В отделении сортировки операторы вручную на горизонтальном конвейере отбирают инородные включения из керамики, камней, бумаги, полиэтилена и др., которые затем сбрасываются в контейнеры, а стеклобой поступает в молотковую дробилку, где измельчается до размера фракции 8 – 30 мм. Непосредственно под дробилкой расположен грохот, на котором мелкая фракция стекла и прилипший грунт отделяется от остальной массы стеклобоя, а требуемая фракция очищается с помощью вакуумных сопел от легковесных включений (алюминиевых крышечек, фольги). Затем подготовленный стеклобой вторично подвергается электромагнитной обработке для окончательного удаления магнитных примесей и с помощью конвейера загружается в вагоны для отправки потребителям. Производительность таких баз по переработке стеклобоя составляет в среднем 20 – 25 тн/час.

Некоторые стекольные заводы для повышения светопрозрачности своих стеклоизделий применяют дополнительно мокрую очистку дробленого стеклобоя.

По описанной выше технологической схеме чаще всего производится также ручная сортировка стекла по цвету (бесцветное и окрашенное). Однако существует ряд технических решений для автоматизации процесса разделения отходов стекла по цвету. Так, в Германии [3] для разделения по цвету боя тарного стекла из городских и промышленных отходов предложен способ и устройство с использованием электронно-оптической системы.

Способ основан на измерении интенсивности света, проходящего через стекло, которое находится в жидкости с показателем преломления, близким к показателю преломления стекла в воздухе. В качестве такой жидкости используют воду с добавками сахара, глицерина и поверхностно-активных веществ. Емкость с жидкостью располагают в специальной камере идентификации с механизмом разделения стекла и элеваторами для выгрузки разделенного стеклобоя. В нижнюю часть камеры вертикально встроены две пары излучателей и приемников света. Излучатели связаны световодами с источником света, а приемники – цепью управления с механизмом разделения.

Описанное устройство действует следующим образом: куски стеклобоя через приемную воронку попадают в камеру. При поступлении цветного стекла интенсивность проходящего света изменяется, при этом электронно-оптическая система вырабатывает сигнал, подаваемый механизму разделения, который направляет стекло в соответствующий бункер. Механизм разделения может быть выполнен в механическом или гидродинамическом варианте. Предусматривается одновременное разделение стеклобоя на бесцветный, коричневый и зеленый цвета.

Особый интерес у многих исследователей вызывает проблема выделения и утилизации отходов стекла из городских свалок. Состав твердых бытовых отходов может изменяться в зависимости от географического положения, времени года и климата, уровня развития данного региона.

В городском мусоре содержатся: магнитные и немагнитные металлы 6 – 9%, бумага 35 – 43%, пластик 5 – 12%, текстиль 3 – 4%, пищевые отходы 16 – 19, керамика, стекло и др. Содержание стекла в среднем составляет 8 – 10% от общего количества отходов.

Вследствие такого состава городского мусора переработка его будет оправдана при условии выделения различных материалов, т. к. выделение одного из них экономически нецелесообразно [4].

Однако в зависимости от местных условий направления переработки городских отходов могут различаться. Так, в США основной упор делается на получение топлива, магнитных металлов, алюминия и стекла. Интерес к выделению бумаги и картона значительно меньше. В европейских странах большее внимание уделяется получению бумаги и пластиков.

Стеклобой, извлеченный из твердых бытовых отходов, содержит неорганические огнеупорные примеси (корунд, муллит, кварц, фарфор и пр.), примеси магнитных и немагнитных металлов (консервные банки, металлические пробки, кольца и др.), а также органические примеси (бумага, картон, пластик).

Частицы огнеупоров при попадании в стекломассу полностью не растворяются в ней, что служит причиной образования массового брака готовых изделий в виде камней различной величины. Металлы и органика, растворяясь в расплаве стекла, могут вызывать нежелательное изменение его окраски. Поэтому стеклобой, выделяемый из городских отходов и предназначенный для вторичного использования, должен подвергаться такой обработке, чтобы при его использовании качество стекла не изменялось. Допустимые пределы содержания примесей в регенерируемом стекле: ферромагнитные металлы - 0,01%, немагнитные металлы – 0,01%, органические включения – 0,05%, неорганические примеси – 0,05%.

В настоящее время практически во всех европейских странах, США, Канаде, Японии и др. принята система сухой сортировки городских отходов, включающая следующие основные стадии: выделение ферромагнитных металлов, отделение и сортировка стекла по цвету, отделение неорганических примесей, включающий алюминий, камни, керамику и пр., отделение органических включений, дробление стекла.

Ферромагнитные металлы отделяют с помощью электромагнитов, установленных, как правило, над ленточным конвейером, по которому пропускают все поступающие отходы. Часто эта операция повторяется дважды: в начале технологической линии до измельчения стекла и после измельчения.

Отделение легких фракций (бумага, картон, пластики и др.) от более тяжелых (стекло, камни, немагнитные металлы) обычно осуществляют струей отсасываемого воздуха. Отделение камней, керамики, немагнитных металлических включений (главным образом на основе алюминия) от стекла на большинстве действующих заводов производят вручную и часто совмещают с сортировкой стекла по цвету.

Иногда для отделения этих инородных включений применяются механические устройства: вибрационные грохоты, барабаны со спиральной внутренней перегородкой и др. Разделение неорганических включений и стеклобоя возможно также методом гравитационной флотации, при которой для улучшения условий флотации и обеспечения более полного выделения частиц стекла из измельченных твердых городских отходов их поверхность рекомендуется предварительно активировать, добавив водный раствор соединений двух- или трехвалентных металлов (Ba, Ca, Al, Mg и др.). Наибольший эффект от применения ионов-активаторов достигается при значении pH, равным 3–12 для разных металлов. Эффективнее проводить флотацию в смеси воды с сульфонатами (алкилсульфонат, арилсульфонат, алкэнилсульфонат и др.), содержащими более пяти атомов углерода (предпочтительно 10-30). Количество вводимого сульфоната составляет 0,068-0,91 кг на 1 тн отходов. Оптимальный размер частиц стекла менее 2 мм.

После отделения магнитных включений измельченный материал предлагается пропускать по наклонной поверхности стальной пластины, на которой за счет разницы коэффициентов трения скольжения различных включений осуществляется его сепарация. Далее для полного удаления немагнитных металлов проводили гравитационное разделение в солевой ванне и затем методом пенной флотации получали концентрат, содержащий 99,0% стекла (в качестве примеси преимущественно уголь), однако эти способы механической сортировки не получили широкого распространения из-за низкой экономической эффективности.

Совершенно очевидно, что, с точки зрения эффективности и качества отбора вторичных ресурсов в частности стеклобоя, предпочтительна сортировка твердых бытовых отходов (ТБО) у источников их образования.

Так в соответствии с постановлением Правительства г. Москвы от 23 марта 2004 г. № 164-ПП «О концепции обращения с отходами производства и потребления города Москвы» и проекте закона города Москвы «Об обращении с отходами производства и потребления города Москвы», предусматривающими развитие селективного (раздельного) сбора отходов в рамках Закона города Москвы от 30 ноября 2005 г. № 68 «Об отходах производства и потребления в городе Москве», с целью сохранения сырьевых ресурсов, снижения потоков отходов, поступающих на городские объекты обезвреживания, и экономии затрат на их размещение, было принято Распоряжение Правительства г. Москвы от 21 сентября 2006 г. № 1870-РП «О проведении пилотного проекта по организации раздельного сбора твердых бытовых отходов (ТБО) на территории Северного административного округа», утвержден Перечень мероприятий по организации раздельного сбора твердых бытовых отходов на территории Северного административного округа города Москвы и план мероприятий пилотного проекта.

В результате реализации указанной проблемы решаются следующие задачи:

- экологическая – уменьшение расходования природных ресурсов за счет возврата в производство вторичных материалов, а также продление срока действия существующих полигонов ТБО за счет уменьшения объемов отходов, поступающих на захоронение;

- эстетическая – внедрение раздельного сбора предполагает использование евроконтейнеров и мусоровозов с задней загрузкой, которые более гармонично вписываются в инфраструктуру города, удобны при сборе и транспортировке отходов;

- экономическая – получение дохода от реализации вторичного сырья и его расходование на дальнейшее развитие системы обращения с отходами, а также уменьшение затрат на вывоз ТБО для захоронения.

Заслуживает внимания опыт компании «Стекло Ресурс», являющейся ведущей компанией в Санкт-Петербурге и области по сбору и сортировке стеклобоя. Компания сотрудничает с ведущими пивными компаниями и стекольными производителями России и стран СНГ и имеет широкую сеть приемных пунктов стеклотары, что позволяет накапливать и хранить большое количество сортированного стеклобоя. В 2006 году компания поставила 20000

тонн отсортированного стеклобоя на стекольные предприятия, выпускающие стеклотару.

Указанная компания решает важную экологическую проблему любого мегаполиса – сбор одного из опасных видов отхода – стекла, которое не разлагается в земле. Централизованный сбор битого стекла и неликвидной бутылки позволяет пивоваренным и ликероводочным заводам избавляться от битой и бракованной бутылки, стекольного мусора по удобной схеме, а также очищать улицы городов от бутылок, которые не попадают под номенклатуру приемных пунктов стеклотары.

Наряду с поставкой собранного и отсортированного стеклобоя, компания предлагает переработанный стеклобой европейского качества. В этом случае, стеклобой отсортировывается по цвету. При этом из него извлекаются все механические примеси и мусор. Затем стеклобой промывается и дробится до фракции 50 мм. В составе стеклобоя допускается присутствие корковой пробки, бумаги и других органических примесей не более 2%.

Стеклобой должен храниться на специальных площадках с твердым покрытием или в отдельных отсеках, исключающих его загрязнение и смешивание по маркам.

Источником боя листового стекла являются предприятия по промпереработке стекла: резке, механической обработке, тонированию, моллированию, закалке и упрочнению.

В частности, в г. Москве существует более 50 организаций, занимающихся изготовлением изделий из листового стекла, производящими стеклянную мебель, полы, стеклопакеты, витринное стекло, двери, тонированное стекло, закаленное стекло, архитектурное стекло, витражи, зеркала и т.д. При этом образуется большое количество отходов в виде обрезков, битого стекла, некачественных изделий.

Указанные отходы листового стекла вполне могут быть рекомендованы к использованию в производстве облицовочных декоративных материалов.

Схема подготовки стеклобоя включает: сбор стекла, дробление, очистку от посторонних примесей, измельчение до стадии стеклопорошка.

В организациях, занимающихся производством упрочненного пуленепробиваемого, ударопрочного стекла, в частности для остекления

авиационного транспорта, банков, музеев, павильонов и т.д., могут скапливаться отходы так называемого триплекса, т.е. многослойного стекла, скрепленного органической пленкой. Указанное стекло не подвергается дроблению, на нем образуются поверхностные трещины. Межслойная пленка может выгорать при нагреве изделия до высокой температуры, порядка 600-750°C. При этом выделяются в атмосферу вредные органические составляющие, что требует обеспечения вытяжной вентиляции, оснащенной фильтрующей системой. Другими словами, переработка триплекса требует использование высокотемпературных, энергоемких агрегатов, многостадийности и сложности процесса.

Наиболее простой и широко распространенный способ утилизации стеклобоя – введение его в состав шихты для варки промышленных стекол (преимущественно тарных). Новым в этом направлении является лишь значительное расширение пределов содержания боя в шихте, которое может быть доведено 90 – 95%. Однако для обеспечения высокого качества получаемого стекла необходимо избегать введения очень больших количеств стеклобоя других цветов и составов. Так, в шихту для получения зеленого стекла допустимо вводить до 25% коричневого стеклобоя, до 10% светлого и не более 1% стеклобоя других цветов.

В последние годы широко проводятся исследования по использованию стеклобоя в других перспективных направлениях.

Измельченный стеклобой может быть использован в качестве заполнителя в дорожных покрытиях в сочетании с асфальтом и битумным бетоном. Наиболее известен асфальт, прошедший испытания в США [5], который возможно эксплуатировать в холодную погоду. Он содержит 60% молотого стекла, 33% каменной муки и 5% асфальта. При его изготовлении можно применять и несортированный стеклобой. Получаемые поверхности имеют хорошие структурные свойства, поскольку стекло хорошо сохраняет тепло, «гласфальт» можно укладывать при более низких температурах, чем обычные смеси. Однако расход его очень большой. Так, для покрытия дороги длиной около 300 м (Тоledo, штат Огайо) потребовалось 1450 тн стеклобоя.

В МИСИ им. Куйбышева разработаны составы и технология производства бесцветных бетонов повышенной эксплуатационной стойкости (кислотостойкий

бетон), облегченных бетонов (ячеистый бетон) на основе различных видов стеклобоя (бой кинескопов и электроламп, оконного и тарного стекла и др.). По разработанной технологии можно изготавливать тротуарные плиты, бордюрный камень, кирпич, плиты для облицовки цоколей зданий и пр.

Получаемые изделия можно использовать как плиты полов промышленных, сельскохозяйственных зданий и сооружений с повышенной агрессивностью среды.

Рассеянный на определенные фракции (крупная 6,35-19,0 мм, средняя 1,4 – 6,35 мм, мелкая менее 0,18 мм) стеклобой может использоваться в виде добавки к портландцементам и полимерам. Состав для получения композиционного материала в сочетании с полимером включает стеклобой различных фракций в следующих соотношениях (вес. %): крупной 45, средней 25, мелкой 30. Среднее содержание стеклобоя составляет примерно 20%, но может достигать и 50%.

Для улучшения адгезии стекла с матрицей на основе смолы (или цемента) стеклобой рекомендуется подвергать предварительной обработке. Так при использовании полиэфирных смол поверхность стекла модифицируют с помощью триметоксисиланов общей формулы $(\text{CH}_3\text{O})_3 \text{SiR}$, которые взаимодействуют с ОН-группами на поверхности стекла. В случае виниловых полимеров хорошо зарекомендовал себя хлорсодержащий органический комплекс хрома. После модифицирования поверхности стекла его высушивают и смешивают с мономером, связующим агентом, катализатором и промотором, затем формуют и полимеризуют. Конечная прочность материала зависит от зернового состава используемого стеклобоя и в большей степени от предварительной обработки (модифицирования) его поверхности.

В случае использования цементной матрицы наблюдаются те же тенденции. Например, у образца, содержащего 35% стекла в цементной матрице, без каких либо добавок наблюдалось снижение прочности при сжатии на 25% после 18 месяцев хранения при температуре 20⁰С. При введении 3% поливинилацетатной эмульсии при тех же условиях выдержки происходило увеличение прочности образца при сжатии на 40%, хотя начальная прочность была ниже.

Из композиций на основе отходов стекла и полимеров методом отливки можно получать блоки объемом до 0,3 м³. При правильно выбранном процентном содержании и определенном зерновом составе стекла растрескивания и

деформации отливок за счет выделения тепла при полимеризации смолы не наблюдается.

Возможно получение изделий более сложной конфигурации. Например, из смеси, содержащей частицы стеклобоя размером 0,195 – 1,4 мм, был получен фланец с внутренним диаметром 12 см. Стеклобой перед введением в полиэфирную смолу подвергали предварительной обработке. Указанные пределы размеров частиц стекла были выбраны таким образом, чтобы получить оптимальное сочетание значений прочности при сжатии и растяжении. В рассматриваемом случае они составили соответственно 1294 и 390 кг/см², что несколько ниже прочностных показателей подобных изделий с наполнителем из стеклянного волокна. В ряде случаев такие изделия вполне удовлетворяют потребителей, т. к. имеют большие преимущества в технике формования. Упомянутый фланец был изготовлен менее чем за 30 мин. Обычная техника формования стекловолнистых изделий предусматривает нарезку волокон и индивидуальную укладку их в форму. Необходимо уложить 20 или более слоев для получения фланца толщиной 9,5 мм. Нужно произвести не менее трех выдержек в процессе формования, чтобы обеспечить отвод тепла, выделяемого при твердении и полимеризации полиэфирной смолы.

Большим недостатком изделий с наполнителем из стекловолнистого волокна является их водопроницаемость: вода проникает в изделие за счет диффузии вдоль волокон, находящихся в контакте друг с другом. При использовании в качестве наполнителя стеклобоя каждая его частица располагается индивидуально и не контактирует с соседними.

Эффективные результаты достигнуты при использовании тонкодисперсного порошка стекла, получаемого путем измельчения стеклобоя.

Он может быть использован в качестве наполнителя пластмасс, особенно технических термопластов. Введение стеклопорошка в краски повышает их кроющую способность, стойкость к истиранию и химическому воздействию, придает поверхности определенную текстуру. Порошок стекла может использоваться также в качестве наполнителя резины, увеличивая ее абразивную стойкость и твердость.

Стеклобой в сочетании с полимерами или цементами может использоваться для прессования плиток. Разнообразие и интенсивность окраски плиток

обеспечиваются введением красителей в виде растворов либо сухих добавок при помеле. Молекулы красителя адсорбируются на поверхности стекла и не удаляются при воздействии воды и обычных растворителей.

Характер поверхности плиток (глянцевая, матированная, рифленая, шероховатая и пр.) определяется конструкцией формы. В отдельных случаях после отливки предусматривается полировка поверхности плитки алмазной или карборундовой пастой. Такие поверхности характеризуются очень высоким сопротивлением скольжению, царапанию и истиранию.

Сопротивление скольжению, особенно при мокрых испытаниях – важная характеристика плиток. Чем выше его значение, тем больше сопротивление скольжению. По величине коэффициента сопротивления мокрому скольжению материалы для полов в общественных зданиях делятся на следующие категории: 19 и ниже – опасные, не пригодные к применению; 20–39 - нижний допустимый предел, необходимо повысить шероховатость поверхности; 40-74 - удовлетворительные; 75 и выше - очень хорошие. Следует отметить, что сопротивление скольжению плиток с наполнителем из молотого стеклобоя достаточно высокое (70-100).

Сопротивление истиранию плиток с наполнителем из стеклобоя очень высокое: потери (уменьшение толщины) составили 0,584-0,813 мм после 2500 оборотов вращения при скорости испытания 65 об./мин. и нагрузке 1 кг. Для сравнения сопротивление истиранию высококачественного отделочного бетона составляет 0,89-1,53 мм.

Положительное влияние стеклобоя на свойства фасадных керамических плиток отмечено в работах, проводимых в НИИСтройкерамики [6]. При введении в прессмассу до 30% молотого стекла интенсифицируется процесс спекания черепка, снижается влажностное расширение плиток, увеличивается их морозостойкость.

Стеклобой может использоваться для производства декоративных панелей. Светопропускание таких панелей на основе полимеров и окрашенного стеклобоя может изменяться в весьма широких пределах, но обычно составляет 10-20% (при $\lambda = 5890 \text{ \AA}$). Их можно использовать в качестве декоративных перегородок и перекрытий. Многослойные панели с гладкими наружными поверхностями и заполненными в качестве наполнителя дробленным пеностеклом обладают

высокими звуко– и теплоизолирующими свойствами и могут быть рекомендованы в качестве стальных перегородок зданий.

Стеклобой успешно применяется как добавка при изготовлении кирпичей без предъявления к его качеству особых требований. При замене 50% глины стеклосодержащей температурой обжига кирпича можно понизить с 1170⁰С до 900⁰С. При этом производительность печи возрастает ~ на 30%. Качественные кирпичи получаются из смеси: стеклосодержащей -30%, отходы кирпича 60% и глина-10%. Такие кирпичи имеют высокое сопротивление погодным воздействиям и пригодны для использования в качестве облицовочных материалов.

Наиболее целесообразным способом утилизации стеклосодержащего боя является производство тепло- и звукоизоляционных и композиционных строительных материалов, в частности различных видов пеностекла [7-14].

В Японии разработано пеностекло с высокой механической прочностью при сохранении высокой огнеупорности [26]. Этот дешевый материал изготавливается из стеклосодержащего порошка, жидкого стекла и слабощелочного шлама. Получаемое пеностекло имеет объемный вес 0,2 – 1,2 тн/м³, прочность при изгибе свыше 100 кг/см² и коэффициент теплопроводности 0,05 – 1,5 ккал/м.час.град.

Из стеклосодержащего боя можно получать гранулированное пеностекло с оплавленной поверхностью. В этом случае стеклосодержащий измельчают до прохождения через сито 200 меш., увлажняют, гранулируют, опудривают золой и спекают. В зависимости от типа гранул пеностекла перед гранулированием в сырьевую смесь могут быть добавлены зола или отходы пеностекла. Количество золы, диспергированной в гранулах, может составлять до 75% от массы гранул [15-16].

Известны другие способы получения ячеистого материала, при котором стеклосодержащий сначала измельчают в шаровой мельнице до размера 4-5 мм (вместе с пенообразующей добавкой, например сажой). Смесь спекают в виде плотного материала в восстановительной атмосфере при температуре 760⁰С и охлаждают. Затем спекшуюся массу дробят, просеивают через сито с размером ячеек ~ 2 мм и затем вновь спекают в формах при температуре 870-900⁰С, получая ячеистый материал, который после удаления из печи извлекают из формы и отжигают. Плотность материала регулируется изменением температуры и составляет в среднем 0,144-0,48 г/см³. Преимущество описанного способа – в возможности быстрого нагрева до температуры пенообразования.

Пеностекольный гранулят прочностью при сжатии 4-12 МПа, предназначенный для использования в качестве заполнителя легких бетонов и изготовления формованных облегченных строительных материалов, получают из сырьевой смеси, включающей наряду со стеклом до 85% пемзы, лавы или туфа. Туф и лава могут вводиться одновременно. Сырье измельчают, смешивают с органическими порообразующими добавками и формуют сырые гранулы размером 0,1 – 1,5 мм, которые сушат при температуре 600⁰С и вспенивают в вибропечах при 650-900⁰С в течение 5 – 180 сек. Вспененные гранулы удаляют из печи до момента возможного слияния пузырьков в крупные поры. Например, отходы стекла расплавляют и полученный расплав раздувают в волокно, измельчаемое затем в тонкий порошок. Далее составляют смесь, состоящую из: воды – 100%, жидкого стекла – 32%, глицерина 4%, бентонита натрия – 15%. Ее смешивают с 500 масс.ч стеклянной муки и формуют на грануляторе сырые гранулы размером около 1 мм. Их сушат в ленточной сушилке при температуре 600-900⁰С, опудривают порошком Al₂O₃ во избежание слипания и вспенивают во вращающейся вибропечи при температуре 700⁰С. Размер гранул 0,2-3,0 мм, содержание газовых пор 10⁶ – 10⁷ см⁻³, насыпная объемная масса 100-500 г/л, наибольший размер пор 0,1 мм.

Японские исследователи считают, что введение стеклобоя улучшает свойства шлаковаты [17]. При замещении доменного шлака отходами стекла (например, боем стеклотары) склонность расплава к расстекловыванию уменьшается и расширяется область температур выработки шлаковаты. Щелочеустойчивость материала, содержащих до 60% стеклобоя, удовлетворительное.

В ОАО «Институт стекла» (Москва) разработана и внедрена технология производства долговечного и экологически чистого теплоизоляционного материала – пеностекла, в виде плит, блоков и гранул, включая базу стекловарения, а также разработаны и синтезированы стекла для производства высококачественного пеностекла на основе различных видов исходного природного сырья, стеклобоя и отходов промышленных производств [18, 19]. Институт стекла является одним из первых разработчиков технологии получения пеностекла и имеет возможность организовать производство современного теплоизоляционного материала, не уступающего зарубежным аналогам.

Технология предусматривает поточное производство с высоким уровнем механизации, отсутствием промышленных отходов, отсутствием вредных выделений в атмосферу. Комплектация производства осуществляется на базе большинства стандартного и нестандартного отечественного оборудования.

В МГСУ, на кафедре «Технология отдельных и изоляционных материалов» разработан эффективный теплоизоляционный водостойкий и экологически чистый материал ячеистой структуры с пониженной средней плотностью на основе жидкого стекла и несортированного боя технических стекол. Прогрессивная технология «сухой минерализации пены» и отказ от энергоемкой автоклавной обработки позволяют получать изделия из ячеистого бетона на основе стеклобоя, предназначенные для устройства тепловой изоляции промышленных и гражданских зданий, а также промышленного оборудования и трубопроводов с температурой изолируемой поверхности до 6000 °С и более [20].

На кафедре разработана методика подбора состава пенобетона на основе стеклобоя, технологическая схема, включающая дробильно-помольное отделение, отделение приготовления формовочной массы, посты формования, тепловой обработки, выдержки и доводки изделий, распалубки и упаковки. Проведенные испытания полученного материала в соответствии с действующими ГОСТ показали, что ограждающие конструкции из ячеистого бетона на основе стеклобоя средней плотностью 400-900 кг/м³ не только не уступают по свойствам конструкциям на основе автоклавных цементных ячеистых бетонов, но и значительно превосходят их. Значения некоторых свойств пенобетонов на основе стеклобоя приведены в таблице. Надо отметить, что на основе стеклобоя также можно получать и плотные мелкозернистые бетоны, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками.

Экономический эффект от капитальных вложений в промышленности строительных материалов может выявиться в сфере промышленного производства (в виде снижения себестоимости продукции и уменьшения удельных капиталовложений) и также в сфере применения продукции.

Несомненным преимуществом полученного материала на основе стеклобоя является то, что его можно производить на действующих предприятиях стройиндустрии по производству пенобетонов без значительных капиталовложений. Экономическая эффективность определяется также

возможностью экономии портландцемента, песка и крупного заполнителя. Необходимо также отметить, что цена стеклобоя будет меняться в зависимости от источника его поступления. Так цена чистого стеклобоя, закупаемого непосредственно на стекольных заводах, будет колебаться от 500 до 800 рублей за тонну и будет зависеть от поставщика, степени удаленности от стекольного завода и состояния рынка строительных материалов на данный момент. В том случае, если стеклобой автотранспортом поступает с мусороперерабатывающих заводов, необходимо учитывать расходы, связанные с очисткой стеклобоя и усреднением его состава.

Проведенные расчеты показывают, что проблему переработки стекольных отходов в Москве и Московской области может решить один небольшой завод по производству пенобетонных изделий на основе стеклобоя производительностью 20 тыс. м³ в год. В случае его расположения в северном районе Московской области, в непосредственной близости от большинства мусороперерабатывающих заводов и свалок, себестоимость продукции будет составлять 700-900 руб. за 1 м³, что позволит составить конкуренцию выпускаемым пенобетонным изделиям, себестоимость которых на сегодняшний день 1000-1200 руб. за 1 м³.

Согласно болгарской заявке [21], для получения декоративных плиток стеклобой измельчают до размера 0,8 - 20 мм, насыпают слоем 6-20 мм в металлические формы, обмазанные каолином и спекают в зависимости от состава стекла при температуре 750 – 900⁰С в течение 15 – 25 мин.

Декоративные облицовочные изделия можно получать из смеси, содержащей 89 масс.ч стеклобоя и 1 масс. ч. красителя на основе циркония. Из смеси прессуют гладкие диски диаметром 40 мм, которые спекают при температуре 780⁰С в течение 1 часа на лотках из нержавеющей стали [22].

Авторы работы [23] предлагают использовать стеклобой в смеси с карбонатной рудой для получения безборных, бесфтористых грунтовых эмалей, которые могут быть использованы в качестве покрытий стальных деталей бытовой и газовой аппаратуры.

Из отходов тарного стекла или боросиликатного пеностекла рекомендуется получать тонкоизмельченный стеклопорошок размером частиц менее 0,044 мм, который в сочетании с инертным заполнителем и связующим в виде золя

коллоидной кремнекислоты образуют кислото- и жаростойкий раствор для укладки пеностеклянных блоков [24]. Рекомендуемый состав раствора (в масс.%): стеклопорошок 26-60, наполнитель 23-61, связующее 13-45; при соотношении 1,8:1 - 2:1. Заполнителем может служить кварцевый песок, измельченное пеностекло или β -сподумен. Блоки, уложенные на таком растворе, обладают высокими термоизоляционными свойствами, механической прочностью, термостойкостью. Прочность на изгиб шва, высушенного при комнатной температуре, достигает 89% прочности самого блока. При многократном термоциклировании от комнатной температуры до 315 °С прочность на изгиб такого шва понижается только до 80% от прочности самого блока.

В Канаде разработан эффективный строительный материал на основе стекляных отходов с добавкой природной слюды [25]. Для этих целей используется бой тарного стекла, который предварительно подвергается дроблению, а затем помолу до фракции 150 – 300 мкм. Полученный порошок стекла смешивается с порошком молотой слюды такой же granulометрии и увлажняется до 6%. Из смеси прессуют заготовки, которые затем в течение 60-120 мин. обжигаются в печи при температуре 700 – 1000°С. Полученные материалы обладают высокой механической прочностью и морозостойкостью.

Авторами работы [26] установлена целесообразность применения боя электровакуумного стекла для изготовления низковольтного электротехнического фарфора. Он оказывает положительное влияние на такие важнейшие для электрокерамики свойства как тангенс угла диэлектрических потерь, объемное сопротивление, электрическую прочность.

В работе [27] изучалась возможность применения боя известково-натриевого, боросиликатного и других стекол в качестве связки абразивного материала на основе карбида кремния. Стекло измельчали до размера 63 мкм и менее. Для устранения коррозии зерна карбида кремния покрывали пленкой двуокиси титана. Определяли обрабатываемость ряда материалов, в том числе стали марки 55. Максимальная производительность и наименьшая шероховатость поверхности получены в случае применения связки из боросиликатного и известково-натриевого стекол. Подготовка связки не требует дополнительных операций, кроме помола и просеивания. Температура обжига абразива понижается.

Минским институтом строительных материалов на основе отходов тарного стекла и сортовой посуды разработана технология получения облицовочных материалов – стекломрамора и пенодекора [28-29] на основе несортированного утилизируемого стекла без корректирующих добавок.

На Ленинском стекольном заводе разработана технология получения эффективного облицовочного материала – стеклокремнезита, получаемого медом спекания смеси стеклогранулята и кварцевого песка с нанесенным декоративным слоем из цветных гранул, а также технология порокремнезита, отличающегося от последнего меньшей объемной массой [30].

В НПО «ЭКСТРАСТЕП» выпущена опытная партия эффективного декоративно-облицовочного материала «Экстрагранит» с использованием стеклобоя и кварцевого песка, который обладает высокими эксплуатационными свойствами [31-33]. Наибольший эффект достигается при использовании экстрагранита для облицовки цоколей промышленных, общественных, торговых, культурно-развлекательных, спортивных и др. строений с целью защиты их от внешних вредных воздействий.

В Днепропетровском химико-технологическом институте разработана технология облицовочных плит («авантюрина») на основе отходов стекла с добавками оксидов хрома и меди [34].

В НИИавтостекло разработана технология облицовочных строительных материалов, позволяющая утилизировать безвозвратные отходы производства армированного стекла, триплекса и шлакоситалла. Разработаны составы глушенных цветных стекол и черного цвета – марблит [36].

На Борском стекольном комбинате разработан состав и технология производства эффективного теплоизоляционного материала «Кремнепор», в состав которого в виде наполнителя входит молотое стекло. Этот материал прошел успешное испытание на нескольких атомных электростанциях в виде утеплителя на кровлях машинных залов [36].

Весьма перспективным направлением и экономически выгодным является использование стекольного боя в смеси со шлаком при изготовлении различных пористых изоляционных материалов [37-39].

В ОАО «Институт стекла» на основе стеклобоя разработан новый декоративно-облицовочный материал стеклокерамит. Он представляет собой

двухслойный композиционный материал, получаемый путем термообработки при температуре 930 – 960⁰С измельченной смеси стекла и глины. Новый материал по своим декоративным свойствам аналогичен выпускавшемуся ранее стеклокремнезиту, а по физико-механическим и технико-экономическим показателям существенно превосходит его [40].

Нижний слой (подложка) стеклокерамита, состоящий из вышеназванных ингредиентов, представляет собой спеченный монолит, имеющий шероховатую поверхность для обеспечения надежного крепления его со строительными конструкциями. Для изготовления подложки может быть использован покупной стекlobоя, соответствующий отраслевому стандарту. При этом наличие в незначительных количествах загрязнений неорганического характера (огнеупоры, глина, песок) не играют отрицательной роли при применении стекlobоя в производстве стеклокерамита.

Технология позволяет получать не только плиты правильной геометрической формы в виде квадратов и прямоугольников, но и детали различной конфигурации и размеров, заданные контурами форм для обжига, что значительно расширяет область их применения.

На лицевую поверхность плит наносится декоративный слой из цветной стеклокрошки.

В Институте также разработана технология получения декоративной облицовочной плитки, получаемой путем прессования измельченного бесцветного или цветного стекlobоя, однородного или смешанного двух и более видов или однородного с добавкой красителей в массу, обожженная в интервале 700-850 °С и характеризующаяся равномерной окраской в массу или разноцветной с неповторяющимся рисунком или с декорированной красками лицевой поверхностью [41]. Также представляет практический интерес разработка новых типов облицовочных материалов на основе отходов стекла, отличающихся разнообразной цветовой гаммой [42] и авантюриновым эффектом [43].

Стеклобой – ценный вторичный сырьевой материал, применение которого имеет большое практическое значение с точки зрения экономии сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, а также решения вопросов охраны окружающей среды.

В индустриально-развитых странах сбору и переработке стекольных отходов уделяется серьезное внимание. Этим занимаются специализированные фирмы, организующие сбор тары и других стекольных отходов, обеспечивающие переработку стеклобоя (очистку, сортировку и пр.) и поставляющие потребителям отсортированный по цвету стеклобой определенного гранулометрического состава с минимальным содержанием железистых и других включений.

Экономически целесообразной является также комплексная переработка городского мусора с извлечением отходов стекла. В настоящее время технология переработки стеклобоя достигла уровня, обеспечивающего экономичное и полноценное его обогащение.

Из существующих направлений применения стеклобоя – традиционный способ использования его в шихте для вторичной варки стекла. Введение в состав шихты повышенных количеств стеклобой (до 90-95%) дает значительную экономию сырьевых материалов (в первую очередь кальцинированной соды) и топлива. Вместе с тем, это повлечет за собой некоторые изменения в технологии варки таких стекол (изменение температурного режима печи, времени плавления и осветления стекломассы, выработочных свойств стекол).

Таким образом, утилизация стеклобоя, большое количество которого имеется по всей территории России, позволит решить ряд производственных проблем и улучшить экологию промышленных регионов, а безотходные экологически чистые энергосберегающие технологии позволят получить существенный экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Moore H . Glass container technology. // Glass Industry._1983._Vol.64._№2._ P.14-17.
2. Moser H. A complete plant. // Glass. 1979._Vol. 56._№5._P. 152-157.
3. Заявка ФРГ №320 7447. МКИ С 038 1/00. Способ и устройство для идентификации и разделения стекольного боя по оптическим свойствам.
4. Саркисов П.Д., Чернякова Р.М., Петров П.Д. Извлечение стекла из твердых городских отходов. // Стекольная промышленность. Э.И. ВНИИЭСМ._1986_ Вып. 8._С. 13-15.
5. Miller I.J., Bailey M.D. Uses for waste glass a survey. // Report._1981._№2289._ P.33.
6. Зотов С.Н. Исследование влияния различных видов стеклобоя на свойства керамических изделий. // Труды НИИСтройкерамики._М., 1986._Вып. 58._С.24-25.
7. Демидович Б.К., Фисюк Г.К. Декоративно-акустическое пеностекло. // Реферативная информация. Стекольная промышленность._1985._ Вып. 6._ Сер. 9._С.6.
8. Патент РФ 2291845 СОЗС 011/00. Способ получения пеностекла. // Дамдинова Д.В., Церимпилов А.Д., Будаева И.И.
9. Россомагина А.С., Пузанов И.С., Кетов А.А. Химико-технологические основы производства пеностекла из стеклобоя._М.: Спутник, 2003._С.321.
10. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности._М.: Феникс, 2007._С.368.
11. Кетова Г.Б., Пузанов А.И., Пузанов И.С. и др. проблемы вторичного использования стеклобоя и путей их решения. // Сборник. Промышленная экология на рубеже веков._ Пермь, 2001._С. 247-252.
12. Белокопытова А.С. Разработка процессов утилизации стеклобоя путем создания композиционных материалов. // Автореф. дис. канд. техн. наук._М., 2006._ С.18.
13. Кетов А.А., Кетова Г.Б., Пузанов А.И. и др. Стеклобой как сырье для получения теплоизоляционного материала. // Экология и промышленность России._2002._№ 8._С. 17-20.
14. Гулоян Ю.А. Технология стекла и стеклоизделий._Владимир._2003._С.478.
15. Демидович Б.К., Иодо С.С. Гранулированное пеностекло. // Экспресс-информация. Стекольная промышленность. Отечественный опыт._1985._ Сер. 9._Вып. 4._С. 13.
16. Смирнова Л.Б. Гранулированное пеностекло. // Стекло и керамика._1990._ №12._С. 22.
17. Заявка Японии. 56-37249. МКИ С 03С 13/00. Доменный шлак в смеси с отходами стекла.

18. Орлов Д.Л. Пеностекло – теплоизоляционный материал XXI века. // Стекло мира. 2003. № 2. С. 69.
19. Осипов А.Н. Пеностекло – эффективный теплоизоляционный материал. // Glass Russia. Стекло. 2010. Июнь. № 6. С. 30.
20. Зайцева Е.И. Поризованный теплоизоляционный материал на основе стеклобоя. // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М. МГСУ. 1998.
21. Способ получения декоративных стеклянных деталей из отходов стекла. // Авторское свидетельство Болгарии 30061. МКИ С 03 В. 17/00.
22. Заявка Японии 53-140313. МКИ С 03 В. 19/06. Декоративные облицовочные стеклоизделия.
23. Саруханишвили А.В., Зедгинидзе И.Г. // Исследование отходов промышленности в безборных и бесфтористых грунтовых эмалях. Стекло и керамика. 1987. №4. С. 6.
24. Кислото- и жаростойкий раствор для укладки пеностекольных блоков. // Патент Великобритании 1525777. МКИ С 03 В. 19/00.
25. Low N.M. Новые строительные материалы на основе природной слюды и стекольных отходов. // Реферативная информация. Стекольная промышленность. 1983. Вып. 1. Сер. 9. С.4.
26. Гаврилова Л.П. Использование боя стекла в электрокерамике. // Стекло и керамика. 1987. №7. С. 6.
27. Mosniak K., Herman D. // Szklo i ceramika. // 1985. Vol.36. №2. P.3-5.
28. Демидович Б.К. Новая технология производства отделочного материала из стекла. // Экспресс-информация. Стекольная промышленность. Отечественный опыт. 1985. Сер. 9. Вып. 7. С. 9.
29. Демидович Б.К. Производство пенодекора - облицовочного материала из вспененного стекла. // Экспресс-информация. Стекольная промышленность. 1985. Вып. 9. С. 6.
30. Лясин В.Ф., Саркисов П.Д. Облицовочные стеклянные и стеклокристаллические материалы. // М.: Высшая школа. 1988. С. 146.
31. Экстрагранит – облицовка XXI века. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в.. 1998. №2. С. 6.
32. Патент 2164896 РФ. Способ изготовления декоративно-облицовочных плит и установка для их непрерывного получения // Резник В.Ю.
33. Патент 2169709 РФ. Декоративно-облицовочный материал.
34. Щеглова М.Д. Декоративно-облицовочные плитки на основе отходов стекла. // Реферативный сборник ВНИИЭСМ «Использование промышленных отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды». 1988. Сер. 11. Вып. 8. С. 19
35. Гомозова В.Г. Облицовочные плиты из марблита на основе отходов производства. // Стекло и керамика. 1989. №5. С. 7.

36. Жималов А.Б. Разработка состава и технологии теплоизоляционного материала «кремнепор». // Автореферат дисс. канд. техн. наук. _М._1988_С.24.
37. Павлов В.Ф. Способ получения пористых стекломатериалов из мартеновских шлаков. // Патент РФ № 2132306 С1. 27.06.99. Бюл. № 18. 99.
38. Шабанов В.Ф., Павлов В.Ф., Павлов И.В. и др. Способ получения пористых стекломатериалов из шлаков. Патент РФ № 2192397 С 2. 10.11.2002. _Бюл. 31._С. 111.
39. Добросецкая Г.Я. Синтез новых облицовочных материалов на основе стекла и шлака методом спекания. Автореф. дис...канд.техн.наук._М._1982._С.24.
40. Павлушкина Т.К. Цветные декоративные облицовочные материалы на основе стекла. // Glass Russia Стекло._2011._Январь._С. 16-18.
41. Патент РФ на полезную модель 69514, СО ЗС 6/02, ВИИС 5/04. Декоративная облицовочная плитка. // Павлушкина Т.К., Лимитовский В.В., Морозова И.В.
42. Патент РФ на полезную модель 47003, СОЗС 17/28. Декоративная облицовочная плитка. // Игнатов С.В., Кулаков И.В., Павлушкина Т.К., Рыженков С.И.
43. Патент РФ на полезную модель 96117, СОЗС 17/04. Стеклопанель декоративная облицовочная плитка. // Павлушкина Т.К., Банюк Я.Э., Морозова И.В., Игнатов С.В.