

УТИЛИЗАЦИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ И ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОБЛИЦОВОЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Торлова, И.А. Виткалова, Е.С. Пикалов, О.Г. Селиванов

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Представлены результаты исследований по разработке способа совместной утилизации отходов пенополистирола и кирпичного боя с получением полимерного композиционного материала для производства стеновых облицовочных изделий. Данный способ заключается в измельчении отходов пенополистирола с их последующим растворением в четыреххлористом углероде и холодным перемешиванием полученного раствора с кирпичным боем. Указанный способ снижает энергоемкость производства, исключает термодеструкцию полимерного связующего при переработке и дает возможность совместно утилизировать два вида крупнотоннажных отходов. Изделия, которые могут быть получены из разработанного материала, по значениям морозостойкости и водопоглощения соответствуют требованиям, предъявляемым к изделиям для наружной облицовки стен и цоколей фасадов.

Ключевые слова: полимерные отходы, пенополистирол, кирпичный бой, полимерный композиционный материал, облицовочный материал, растворение полимеров, четыреххлористый углерод

Recycling of Ceramic and Polymeric Wastes in the Production of Surfacing Composite Materials

A.S. Torlova, I.A. Vitkalova, E.S. Pikalov, O.G. Selivanov

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, 600000 Vladimir, Russia

Presents the results of research on the development of a method for joint utilization of polystyrene foam and brick waste with obtaining a polymer composite material for the production of wall cladding products. This method consists in grinding the waste polystyrene foam with their subsequent dissolution in carbon tetrachloride and cold mixing the resulting solution with a crushed brick. This method reduces the energy intensity of production, eliminates thermal decomposition of the polymer binder during processing and makes it possible to jointly dispose of two types of large-tonnage waste. Products that can be obtained from the developed material, according to the values of frost resistance and water absorption, meet the requirements for products for external facing of walls and sole plates of facades.

Keywords: polymeric waste, polystyrene foam, crushed brick, polymer composite material, surfacing material, polymer dissolution, carbon tetrachloride

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-07-36-41

Одним из наиболее перспективных направлений применения полимеров является получение полимерных композиционных материалов, которые обладают всеми преимуществами полимеров, сочетая в себе легкость и прочность, а также способны приобретать свойства, характерные для наполнителей. Данное направление позволяет широко использовать полимерные отходы, утилизация которых — трудоемкая задача в связи с ухудшением их внеш-

него вида и свойств по сравнению с полимерным сырьем из-за деструкции под воздействием факторов окружающей среды и возможного наличия непolyмерных включений [1, 2].

Полимерные композиционные материалы, получаемые в ходе переработки полимерных отходов, в основном используются в строительной индустрии. Это связано с тем, что производство строительных материалов и изделий является крупнотоннажным производством, позволяет утилизировать

большие объемы полимерных отходов при помощи технологий со сравнительно невысокими трудоемкостью и энергоемкостью, а также дает возможность с помощью вторичных ресурсов получать материалы и изделия, соответствующие нормативным требованиям. Дополнительным преимуществом утилизации полимерных отходов в строительной индустрии является возможность получения композиционных материалов, в которых наполнителями также являются вторичные ресурсы,

получаемые из отходов различного рода, что дополнительно снижает себестоимость производства и позволяет комплексно утилизировать отходы, снижая темпы их накопления [2].

В данной работе представлена разработка состава и технологии для получения облицовочного полимерного композиционного материала на основе вторичных ресурсов: отходов пенополистирола в качестве связующего и кирпичного боя в качестве наполнителя. Для данных отходов характерны высокие темпы накопления в больших количествах. Разработка метода их утилизации является актуальной задачей [3, 4].

Принципиальным отличием разрабатываемого метода получения полимерного композиционного материала от большинства аналогичных методов является применение в технологическом цикле раствора связующего, что повышает однородность при перемешивании и формовании, дает возможность проводить холодное смешивание и холодное прессование, позволяет снизить давление при прессовании и температуру при дальнейшей обработке. Дополнительными преимуществами применения связующего являются упрощенный режим измельчения отходов пенополистирола, что связано с легкостью растворения относительно больших фрагментов данного отхода, и исключение вероятности термодеструкции связующего при термообработке за счет того, что режим термообработки (85–90 °C) значительно ниже температуры начала термодеструкции полистирола (200 °C [5]).

Авторы ранее проводили исследования по получению облицовочного материала на основе поливинилхлоридных отходов и метилхлорида, применяемых для получения раствора связующего, и стеклового боя, выступающего в роли наполнителя [6, 7]. Целями данной работы являлись обоснование возможности использования других видов от-

ходов в производстве полимерных композиционных материалов строительного назначения, а также разработка материала с высокой морозостойкостью и низким водопоглощением, что важно для применения этого материала в производстве изделий для наружной облицовки.

Материалы и методы исследования

Для получения связующего применяли отходы пенополистирола (рис. 1, а), представляющие собой отработанные элементы упаковки бытовой техники, оборудования и т.п., которые были отобраны из общей массы отходов бытового потребления. Выбор отходов пенополистирола обоснован не только большим количеством данных отходов, но также и тем, что полистирол, получаемый из них в результате растворения, отличается простотой переработки, жесткостью, отсутствием цвета, водостойкостью и низким водопоглощением [8, 9]. Основным недостатком полистирола является склонность к фотодеструкции, однако минеральный наполнитель в составе композиционного материала будет снижать этот недостаток, выступая в качестве фотостабилизатора [10]. Существует возможность и окислительной деструкции, которая интенсифицируется с повышением температуры, переходя в термоокислительную деструкцию. Повышение температуры для изделий из разрабатываемого материала возможно при нагревании фасада здания под действием солнечных лучей в летний сезон (возможен нагрев до 65–80 °C) и при пожарах. Известно, что для полистирола характерны токсичность продуктов термоокислительной деструкции (пары стирола, бензола, этилбензола, толуола, оксида углерода) и низкая токсичность продуктов горения (оксид углерода, диоксид углерода, сажа) [11]. Однако в разрабатываемом материале количество этих продуктов и вероятность их



Рис. 1. Отходы пенополистирола (а) и кирпичный бой (б)

Fig. 1. Expanded polystyrene waste (a) and crushed brick (b)

выделения снижаются благодаря достаточной высокой степени наполнения и плотности разрабатываемого композиционного материала и за счет того, что наполнитель снижает интенсивность процессов деструкции. Также следует учесть, что предполагается применение изделий из разрабатываемого материала для наружной облицовки фасадов, а следовательно, продукты деструкции и горения в случае их выделения будут рассеиваться в больших объемах атмосферного воздуха и их концентрация будет незначительна.

Как и для большинства других термопластичных отходов, для пенополистирола переработка может проводиться путем растворения или плавления [3], однако растворение позволяет применять сравни-

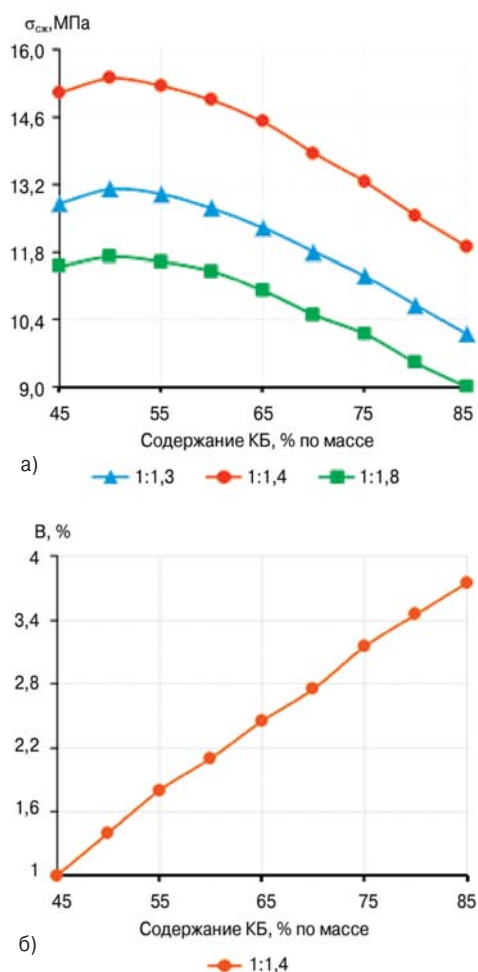


Рис. 2. Зависимость прочности КБ на сжатие (а) и водопоглощение (б) от состава сырьевой смеси для разных ПС:ЧХУ
Fig. 2. The dependence of the strength of the CB in compression (a) and water absorption (b) on the composition of the raw mix for different PS:Chu

тельно более крупные куски и является альтернативным вариантом перевода полимера в вязкотекучее состояние.

Для растворения отходов пенополистирола использовали чистый четыреххлористый углерод (ЧХУ) по ГОСТ 20288-74. Применение указанного растворителя обосновано его высоким сродством к полистиролу, связанным с низкой полярностью и близкими значениями молярных объемов данных веществ, что обеспечивает эффективное растворение отходов пенополистирола. Кроме того, четыреххлористый углерод, в отличие от большинства растворителей, характеризуется низкими пожаро- и взрывоопасностью, а также отличается высокой летучестью, что ускоряет процесс его удаления

при термообработке, и сравнительно низкой стоимостью. Чтобы свести к минимуму потери растворителя при термообработке в разрабатываемом способе предлагается отвод образующихся паров для последующей конденсации и повторного использования [6].

В качестве наполнителя применяли бой рядового одинарного полнотелого керамического кирпича (кирпичный бой — КБ) (рис. 1, б) получали в результате сбора кирпичных отходов из различных источников с последующим измельчением до частиц размером менее 0,63 мм, усреднением состава и высушиванием до постоянной массы. Выбор КБ обоснован как большими объемами данных отходов, так и тем, что данный наполнитель, относящийся к дисперсным минеральным наполнителям, повышает прочность и твердость композиционного материала, снижает усадку и горючесть [12].

Перед использованием отходы пенополистирола измельчали и высушивали до постоянной массы. После этого их растворяли в ЧХУ, а полученный раствор перемешивали с предварительно подготовленным КБ в требуемых для экспериментов соотношениях до получения однородной сырьевой массы. Из полученной массы одноступенчатым прессованием формовали образцы, которые подвергали термообработке при температуре 85–90 °С с выдержкой в течение 45 мин для испарения растворителя.

Образцы по каждому составу сырьевой смеси изготавливали сериями по три образца в каждой, и при обработке экспериментальных данных для построения зависимостей использовались данные, представляющие собой средние арифметические значения по трем параллельным опытам.

У образцов по стандартным для материалов строительного назначения методикам определялись основные для облицовочных материалов свойства:

прочность на сжатие ($\sigma_{сж}$, МПа) и изгиб ($\sigma_{изг}$, МПа), водопоглощение (B , %), морозостойкость (M , циклы) и теплопроводность (λ , Вт/м·°С). Макроструктуру поверхности анализировали при помощи микроскопа Micros MC-20 (MICROS Produktions- und HandelsgesmbH, Австрия).

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе исследований определялись зависимости прочности на сжатие и водопоглощения, являющихся основными характеристиками облицовочного композиционного материала, от соотношения полистирола (ПС), получаемого в результате растворения, ЧХУ в растворе связующего и от количества вводимого КБ при давлении прессования, равном 8 МПа. Выбор величины давления связан с тем, что при 8 МПа ранее разработанная смесь уплотнялась с получением наиболее высокого значения прочности на сжатие и наиболее низкого значения водопоглощения [6].

По результатам приготовления растворов связующего с различным содержанием ПС было установлено, что при соотношениях ПС:ЧХУ менее 1:1,3 получаемый раствор обладает слишком высокой вязкостью, что затрудняет его дозировку и перемешивание с наполнителем. Кроме того, при этих соотношениях переход связующего в твердое состояние начинается еще на стадии перемешивания с наполнителем, что затрудняет перемешивание и является причиной прилипания сырьевой смеси к поверхностям перемешивающего устройства и к поверхностям пресс-формы. Все это не позволяет получить образцы разрабатываемого композиционного материала хорошего качества. При соотношениях ПС:ЧХУ более 1:1,8 в получаемом растворе наблюдается недостаток ПС, что увеличивает время термообработки из-за длительности перехо-

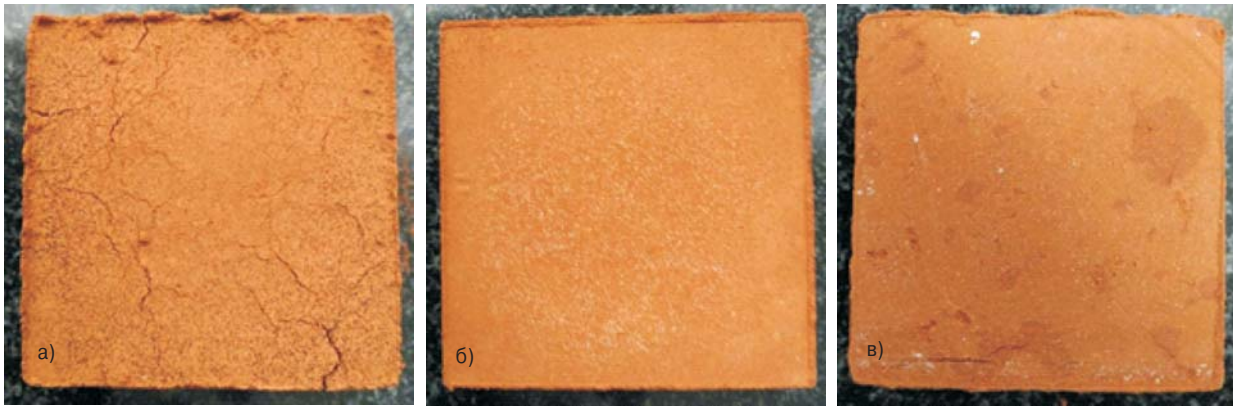


Рис. 3. Внешний вид образцов, полученных при давлениях прессования 5 МПа (а); 8 МПа (б) и 10 МПа (в)

Fig. 3. Appearance of samples obtained at pressing pressures of 5 MPa (a); 8 MPa (b) and 10 MPa (c)

да связующего в твердое состояние и не позволяет достичь хорошей связующей способности для частиц наполнителя в образцах.

При перемешивании растворов связующего, в которых соотношение ПС:ЧХУ менялось от 1:1,3 до 1:1,8, с наполнителем было установлено, что при использовании более 85 % по массе КБ получаемый композиционный материал обладает низкой прочностью (менее 9 МПа) и высоким водопоглощением (более 12 %), грани образцов осыпаются. При использовании менее 45 % по массе КБ прочность материала начинает существенно снижаться по сравнению с материалом, содержащим более высокое количество наполнителя.

Зависимости прочности на сжатие и водопоглощения разрабатываемого материала при разном соотношении компонентов в составе сырьевых смесей представлены на рис. 2.

Как следует из полученных данных, прочность на сжатие разрабатываемого материала достигает максимальных значений при соотношении ПС:ЧХУ равном 1:1,4 и при введении 45–55 % по массе КБ. Это связано с тем, что при перемешивании наблюдается хорошая смачиваемость поверхности частиц наполнителя раствором связующего и, как следствие, создание прочного каркаса из частиц КБ, соединенных между собой через слои ПС. При более высоком содержании наполни-

теля количества ПС недостаточно для создания каркаса из частиц КБ, а при более низком содержании наполнителя толщина слоев связующего в объеме материала повышается настолько, что прочность материала начинает складываться из прочностей КБ и ПС. При этом стоит учитывать, что прочность КБ выше, чем прочность ПС, а следовательно, прочность материала при содержании КБ менее 45 % будет уменьшаться в сторону понижения количества наполнителя.

Зависимость водопоглощения разрабатываемого материала от состава сырьевой смеси носит линейный характер. Чем выше содержание ПС и чем ниже содержание КБ в составе смеси, тем ниже будут значения рассматриваемого свойства. Это связано с тем, что связующее заполняет поры и пустоты в объеме материала, снижая его водопоглощение. Водопоглощение практически не зависит от соотношения ПС и ЧХУ в составе раствора связующего, и для разных соотношений были получены близкие по значениям величины, границы диапазона рассеяния которых частично перекрывались друг другом. В связи с этим на рис. 2 представлена только зависимость водопоглощения от соотношения ПС:ЧХУ = 1:1,4, которое позволяет получить максимальное значение прочности на сжатие.

На основании полученных данных было принято решение

при дальнейших исследованиях для получения раствора связующего использовать соотношение ПС:ЧХУ = 1:1,4, которое обеспечивает высокое значение прочности на сжатие и низкое значение водопоглощения.

При разработке нового материала также необходимо учесть влияние технологических параметров на его свойства. В данном исследовании к регулируемым технологическим параметрам можно отнести давление прессования и температурный режим при удалении растворителя. В связи с тем, что при термообработке не происходит химических превращений и идет только удаление ЧХУ из раствора связующего, температурный режим будет определять только время перехода связующего из жидкого состояния в твердое.

Таким образом, на втором этапе исследований было необходимо определить влияние давления прессования на прочность на сжатие и водопоглощение разрабатываемого материала. У образцов, полученных при давлении прессования 6 МПа и ниже, наблюдалась рыхлая структура и непрочная связь между частицами КБ, приводящая к тому, что поверхность и края образцов осыпались (рис. 3, а), и, как следствие, прочность у них была невысокой. У образцов, полученных при давлении прессования 10 МПа и выше, наблюдались расслоения в гори-

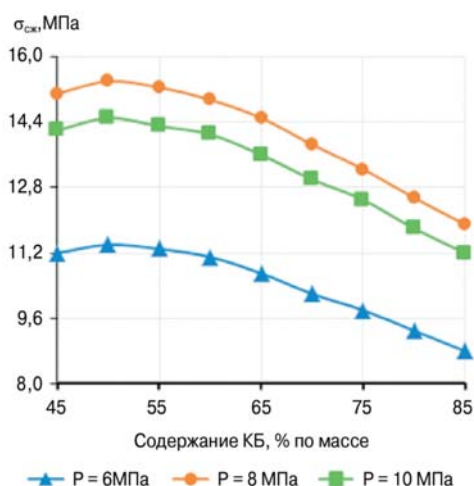


Рис. 4. Зависимость прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ от содержания КБ при разном давлении прессования P

Fig. 4. The dependence of the compressive strength $\sigma_{сж}$ on the content of CB with different pressing pressure P

зонтальной плоскости и появление перепрессовочных трещин, а также появление пятен связующего на поверхности из-за его выдавливания из объема образца под действием избыточного давления (рис. 3, в).

Как видно из полученных в результате экспериментов данных (рис. 4), наибольшая прочность на сжатие получена при давлении прессования 8 МПа (см. рис. 3, б). При давлениях от 9 до 10 МПа наблюдается снижение прочности, связанное с перепрессовкой, а

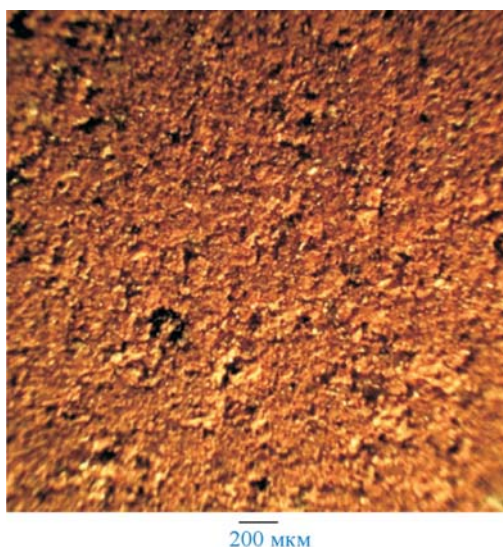


Рис. 5. Макроструктура поверхности образца, полученного при давлении прессования 8 МПа

Fig. 5. Macrostructure of the sample surface obtained at a pressing pressure of 8 MPa

давления от 6 до 7 МПа недостаточно для получения максимально возможной для данного состава сырьевой смеси прочности на сжатие.

В ходе эксперимента было также установлено, что водопоглощение практически не зависит от изменения давления прессования в рассматриваемых пределах и незначительно уменьшается при увеличении давления от 6 и достигает минимума при 8 МПа. Это может быть связано с тем, что при уплотнении материала его объем уменьшается, и связующее заполняет все большую его долю, препятствуя проникновению влаги. Небольшое повышение водопоглощения при давлении прессования от 9 до 10 МПа связано с тем, что вода может проникать в перепрессовочные трещины.

Также стоит отметить, что перепрессовочные трещины не только снижают физико-механические характеристики изделий, но и облегчают выделение продуктов деструкции и продуктов горения полимерного связующего, поэтому их наличие недопустимо.

На основании полученных данных было принято решение в дальнейших исследованиях, как и на первом этапе проведения экспериментов, формировать образцы при давлении 8 МПа, при котором в материале формируется однородная мелкодисперсная структура и отсутствуют перепрессовочные трещины (рис. 5), что обеспечивает его высокие эксплуатационные свойства.

Для оценки значений основных эксплуатационных свойств разрабатываемого облицовочного полимерного композиционного материала были проведены дополнительные исследования для образцов, полученных на основе сырьевой смеси, включающей 50 % по массе наполнителя. Как следует из полученных данных, разработанный материал обладает высокой морозостойкостью (62 цикла) и низким водопоглощением (1,4 %) при средних для строи-

тельных материалов теплопроводности (0,497 Вт/м²·°С) и прочностных характеристиках ($\sigma_{сж} = 15,4$ МПа, $\sigma_{изг} = 3,8$ МПа).

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют сделать выводы, что на основе сырьевой смеси, включающей 50 % по массе КБ и 20,8 % по массе ПС, получаемого при растворении отходов пенополистирола с использованием 29,2 % по массе ЧХУ, может быть произведен полимерный композиционный материал, который по значениям морозостойкости и водопоглощения соответствует требованиям ГОСТ 13996-93 и соответствует требованиям, предъявляемым к керамическим фасадным плиткам. Значение морозостойкости материала превышает 50 циклов, следовательно, он может применяться для облицовки не только стен, но и цоколей зданий и сооружений. Механическая прочность материала относительно невысокая, однако его можно рекомендовать для применения при условии отсутствия высоких механических нагрузок, которые практически не возникают при эксплуатации облицовочных материалов. Также следует отметить, что по прочности разработанный материал примерно соответствует ранее разработанному облицовочному композиционному материалу ($\sigma_{сж} = 15,5$ МПа и $\sigma_{изг} = 3,7$ МПа) [6] и керамическому кирпичу марки М150 ($\sigma_{сж} = 15$ МПа и $\sigma_{изг} = 2,8$ МПа).

Следовательно, по разработанному в данной работе способу при невысокой энергоёмкости производства могут совместно утилизироваться два вида крупнотоннажных отходов (отходы пенополистирола и кирпичный бой), переработка которых снижает негативное воздействие на окружающую среду и уменьшает занимаемые ими площади, с получением изделий для наружной и внутренней облицовки стен, цоколей зданий и сооружений.

Литература

1. Снежков В.В., Речиц Г.В. Полимерные отходы – в готовые изделия. Твердые бытовые отходы. 2011. №1 (55). С. 16–19.
2. Шахова В.Н., Воробьева А.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования. Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11–2. С. 320–325. [Электронный ресурс]. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36408> (дата обращения 20.02.2019).
3. Шинский О.И., Тихонова О.А., Стрюченко А.А., Дорошенко В.С. Термокомпактирование отходов пенополистирола. Твердые бытовые отходы. 2011. № 4 (58). С. 48–50.
4. Фоменко А.И., Грызлов В.С., Каптюшина А.Г. Отходы керамического кирпича как эффективный компонент строительных композитов. Современные наукоемкие технологии. 2016. № 2–2. С. 260–264. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35613> (дата обращения 20.02.2019).
5. Штарке Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс: Пер. с нем. В.А. Брагинского Л., Химия, 1987. 176 с.
6. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекольных отходов. Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2–6.
7. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Влияние наполнителя на свойства композиционного материала, получаемого из стекольных и полимерных отходов. Современные наукоемкие технологии. 2018. № 11. С. 17–21. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37230> (дата обращения 20.02.2019).
8. Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов. Фундаментальные исследования. 2017. № 10–2. С. 290–295. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41827> (дата обращения 20.02.2019).
9. Вторичная переработка пластмасс. Ф. Ла Мантия (ред.). Пер. с англ. под. ред. Г.Е. Заикова. СПб., Профессия, 2006. 400 с.
10. Кудяков А.И., Турнаева Е.А., Хафизова Э.Н. Наполненные полимерные композиции на основе стирол-акриловых дисперсий для декоративных покрытий строительных изделий. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 3 (28). С. 182–191.
11. Лирова Б.И., Русинова Е.В. Анализ полимерных композиционных материалов: учеб. пособие. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2008. 187 с.
12. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов. Фундаментальные исследования. 2017. № 10–3. С. 459–465. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41858> (дата обращения 20.02.2019).

References

1. Snezhkov V.V., Rechits G.V. Polimernye otkhody – v gotovye izdeliya. Tverdye bytovye otkhody. 2011. №1 (55). S. 16–19.
2. Shakhova V.N., Vorob'eva A.A., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Sovremennye tekhnologii pererabotki polimernykh otkhodov i problemy ikh ispol'zovaniya. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2016. № 11–2. S. 320–325. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36408> (data obrashcheniya 20.02.2019).
3. Shinskii O.I., Tikhonova O.A., Stryuchenko A.A., Doroshenko V.S. Termokompaktirovanie otkhodov penopolistirola. Tverdye bytovye otkhody. 2011. № 4 (58). S. 48–50.
4. Fomenko A.I., Gryzlov V.S., Kaptyushina A.G. Otkhody keramicheskogo kirpicha kak effektivnyi komponent stroitel'nykh kompozitov. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2016. № 2–2. S. 260–264. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35613> (data obrashcheniya 20.02.2019).
5. Shtarke L. Ispol'zovanie promyshlennykh i bytovykh otkhodov plastmass: Per. s nem. V.A. Braginskogo L., Khimiya, 1987. 176 s.
6. Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Razrabotka sposoba polucheniya oblitsovochnogo kompozitsionnogo materiala na osnove polimernykh i stekol'nykh otkhodov. Ekologiya promyshlennogo proizvodstva. 2018. № 3. S. 2–6.
7. Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Vliyanie napolnitelya na svoystva kompozitsionnogo materiala, poluchaemogo iz stekol'nykh i polimernykh otkhodov. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2018. № 11. S. 17–21. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37230> (data obrashcheniya 20.02.2019).
8. Sokol'skaya M.K., Kolosova A.S., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Svyazuyushchie dlya polucheniya sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov. Fundamental'nye issledovaniya. 2017. № 10–2. S. 290–295. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41827> (data obrashcheniya 20.02.2019).
9. Vtorichnaya pererabotka plastmass. F. La Mantiya (red.). Per. s angl. pod. red. G.E. Zaikova. SPb., Profesiya, 2006. 400 s.
10. Kudyakov A.I., Turnaeva E.A., Khafizova E.N. Napolnennye polimernye kompozitsii na osnove stiroil-akrilovykh dispersii dlya dekorativnykh pokrytii stroitel'nykh izdelii. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2010. № 3 (28). S. 182–191.
11. Lirova B.I., Rusinova E.V. Analiz polimernykh kompozitsionnykh materialov: ucheb. posobie. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2008. 187 s.
12. Kolosova A.S., Sokol'skaya M.K., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Napolniteli dlya modifikatsii sovremennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov. Fundamental'nye issledovaniya. 2017. № 10–3. S. 459–465. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41858> (data obrashcheniya 20.02.2019).

A.S. Torlova – магистрант, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, 600000 Россия, г. Владимир, ул. Горького 87, e-mail: astorlova@mail.ru • И.А. Виткалова – магистрант, e-mail: scream7687@yandex.ru • Е.С. Пикалов – канд. техн. наук, доцент, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru • О.Г. Селиванов – инженер-исследователь, e-mail: selivanov6003@mail.ru

A.S. Torlova – Graduate Student, Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, 600000 Russia, Vladimir, Gorky Str. 87, e-mail: astorlova@mail.ru • I.A. Vitkalova – Graduate Student, e-mail: scream7687@yandex.ru • E.S. Pikalov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru • O.G. Selivanov – Research Engineer, e-mail: selivanov6003@mail.ru