

УДК 678.027.028.6

DOI 10.62595/1819-5245-2026-2-58-70

## К ВОПРОСУ О МОДИФИЦИРОВАНИИ ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**В. М. ШАПОВАЛОВ, К. В. ОВЧИННИКОВ, Ю. М. КРИВОГУЗ**

*Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси», г. Гомель*

**Д. Л. ПОДОБЕД**

*Гомельский филиал государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»*

**С. Н. ЛЕЩУН**

*Коммунальное унитарное предприятие «Спецкоммунтранс», г. Гомель, Республика Беларусь*

Выделено, что приоритетным направлением в материаловедении является создание полимерных композиционных материалов на основе отходов полимеров с улучшенными качественными показателями и их экологической безопасностью. Показано, что термопластичные отходы ограниченно применяются в производстве полимерных композиционных материалов ввиду четко прослеживаемой тенденции к деградации физико-механических характеристик с каждым последующим циклом переработки изделий из них. В то же время эффективным путем при решении этой проблемы представляется сочетание полимерных отходов с дисперсными (в том числе полидисперсными) наполнителями и функциональными добавками. При этом для наполнителей обязательны функциональная эффективность и экономическая обоснованность. Отмечено, что в связи с этим развитие технологий подготовки и модифицирования разнородных вторичных термопластичных полимеров путем введения усиливающих добавок, в том числе наполнителей, будет играть важную роль при формировании композитов, определяющую их упорядоченность и однородность для обеспечения стабильности эксплуатационных свойств материала.

**Ключевые слова:** вторичные термопласты, наполнители, функциональные добавки, рециклинг, композиты.

**Для цитирования.** К вопросу о модифицировании вторичных термопластов для изделий технического назначения / В. М. Шаповалов, К. В. Овчинников, Ю. М. Кривогуз [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2026. – № 2 (105). – С. 58–70. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2026-2-58-70>

## ON THE ISSUE OF MODIFYING SECONDARY THERMOPLASTICS FOR TECHNICAL PRODUCTS

**V. M. SHAPOVALOV, K. V. OVCHINNIKOV, Yu. M. KRIVOGUZ**

*V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel*

**D. L. PODOBED**

*Gomel branch of the University of Civil Protection  
of the Ministry of Emergency Situations  
of Republic of Belarus*

**S. N. LESHCHUN**

*Communal Unitary Enterprise “Spetskommuntrans”,  
Gomel, the Republic of Belarus*

*It is emphasized that a priority area in materials science is the creation of polymer composites based on polymer waste with improved quality properties and environmental safety. It is shown that thermoplastic waste is of limited use in the production of polymer composites due to a clear tendency toward degradation of their physical and mechanical properties with each subsequent recycling cycle. However, combining polymer waste with dispersed (including polydisperse) fillers and functional additives appears to be an effective solution to this problem. Functional efficiency and economic feasibility are essential for fillers. It is noted that, in this regard, the development of technologies for the preparation and modification of dissimilar secondary thermoplastic polymers by introducing reinforcing additives, including fillers, will play an important role in the formation of composites, determining their order and homogeneity to ensure the stability of the material's performance properties.*

**Keywords:** secondary thermoplastics, fillers, functional additives, recycling, composites.

**For citation.** Shapovalov V. M., Ovchinnikov K. V., Krivoguz Yu. M., Podobed D. L., Leshchun S. N. On the issue of modifying secondary thermoplastics for technical products. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2026, no. 2 (105), pp. 58–70 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2026-2-58-70>

**Введение**

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) с модифицированными компонентами давно вышли на передний план исследований и разработок материаловедения, так как традиционные материалы уже не отвечают потребностям современной инженерии [1]. Среди компонентов ПКМ особое место занимают функциональные добавки, способные влиять на совместимость полимерных матриц, что является необходимым условием формирования стабильной структуры и предсказуемой комбинации эксплуатационных свойств. Физическое модифицирование может осуществляться, например, введением в рецептуру ПКМ ряда дисперсных наполнителей, развитая поверхность которых способна влиять на процессы структурообразования матриц и перестройки их морфологии.

Цель работы – анализ рецептурно-технологических аспектов модифицирования вторичных термопластичных полимеров и их смесей.

**Модифицирование термопластичных отходов**

В работах [2, 3] высказывается мнение о том, что модифицирование полимерного сырья подразумевает введение в полимер активных наполнителей, способствующих, с одной стороны, протеканию в полимерной матрице химической сшивки, с другой стороны, проявлению в композиционной системе упрочняющего эффекта. При этом эффект модифицирования достигается в результате конкурирующих процессов сшивки и деструкции. Известен способ модифицирования [4], когда пероксид дикумила вводится непосредственно в процессе переработки, что обеспечивает содержание в полимере 70–80 % гель-фракции. Указанный метод модифицирования имеет значительные недостатки, связанные с невозможностью дальнейшего рециклинга материала, длительностью производственного цикла и рядом экологических аспектов [5].

Для улучшения физико-механических характеристик вторичных полиолефинов (ПО) и технологичности их переработки эффективно введение в состав композита эластопласта (около 5 мас. ч.) в присутствии полиэтиленового воска. При этом формируются композиты с высокой однородностью ПКМ, на что указывает малый разброс показателей прочности композита [6].

Для эффективной модификации вторичных ПО широко используется малеиновый ангидрид, который даже при незначительной его концентрации проявляет высокую химическую активность [4], что сказывается на повышении теплостойкости и механических свойств таких ПКМ. При модифицировании отходов ПО добавками на основе кремнийорганических соединений происходит дополнительное формирование химических связей силоксановых групп с кислородосодержащими группами полимерной составляющей, способствующих процессу образования сшитых структур. Это приводит к получению композита с повышенной прочностью и стойкостью к атмосферным факторам, что подтверждается в работе [4]. Общим недостатком таких композитов являются длительный цикл их получения и относительно высокая стоимость. Таким образом, химические методы модифицирования вторичных полимеров не представляются абсолютным решением проблемы.

Физико-химические методы утилизации стали широко применяться с развитием облучающих установок, что связано с совершенствованием режимов их работы и повышением производительности до определенных значений. Радиационно сшитые полимеры отличаются повышенными прочностными свойствами (в том числе и плотностью), химической стойкостью, на которую значительно влияет способ сшивки (химически или радиационно сшитый полимер), неплохими шумоизолирующими свойствами. В то же время к недостаткам модифицирования ионизирующим излучением можно отнести: избирательное влияние метода на различные виды полимеров (облучение материалов из полиэтиленов низкого давления (ПЭНД) приводит к снижению их прочности), избирательное влияние на степень усадки при нагревании, усиление тенденции к охрупчиванию ПО с ростом поглощенной дозы, ограниченность сфер применения полученных материалов, потребность в специфическом оборудовании, сложность его эксплуатации и обслуживания, возникающая термоокислительная деструкция полимерного материала, необходимость в специальных добавках (антиоксиданты, сенсибилизаторы), значительные сложности в получении достаточно равномерного распределения поглощенной дозы в материале (например, для сшивания полиэтиленовой изоляции необходимы дозы 0,2–0,4 МГр) [7].

Применительно к физическому модифицированию отходов полимеров существует обширная номенклатура дисперсных наполнителей минерального и органического происхождения, включая измельченные полимеры [8]. Их выбор обычно реализуется на основе применения принципа наименьшей стоимости. В частности, в работе [4] предложено использовать диоксид кремния, аналогом которого выступают высокодисперсные наполнители типа аэросила и монтмориллонита (не производятся в Республике Беларусь), что способствует удорожанию процесса и требует трудоемких операций по дополнительному диспергированию и деагломерации. В связи с этим идет непрерывный поиск наполнителей, оптимально сочетающих модифицирующий эффект и экономическую целесообразность применения в ПКМ.

В качестве экономичных наполнителей во вторичных полимерах применяют тальк, каолин, мел, фосфогипс, ракушечник, сланцевую золу и другие материалы [4]. Композиты с подобными наполнителями востребованы главным образом при изготовлении малоответственных изделий. Согласно исследованиям для вторичных полимеров, обычно характеризующихся значительным разбросом характеристик и их нестабильностью, малоактивные (инертные) наполнители не всегда способны сыг-

рать требуемую функциональную роль [9]. При этом эффективность их введения в полимерные отходы зависит не только от степени наполнения, но и от их воздействия на расплав полимера. Так, на основе результатов проведенных исследований лигнина установлено наличие в нем фенольных соединений, которые способствуют термостабилизации полимерной матрицы [10]. Гранулированный в полиэтиленовом воске фосфогипс повышает удлинение при растяжении композитов [11], что обусловлено пластифицирующим действием воска. Особенности кристаллического строения слюды и хорошее характеристическое отношение диаметра к толщине частицы обеспечивают повышение тепло- и атмосферостойкости композитов с использованием вторичных ПО.

### **Совмещение полимерных отходов**

Одним из перспективных и эффективных направлений модифицирования смесей полимерных материалов при рециклинге является использование в них компатибилизаторов, которые улучшают совместимость между полимерными материалами, не смешивающимися в обычных условиях. Они способствуют образованию прочной и однородной структуры, улучшают механические свойства и стабильность конечного продукта. К полимерам прививали акриловую кислоту, рицинолосазолин, глицидилметакрилат, малеиновый ангидрид. Именно последний оказался наиболее перспективным [12].

В начале 2000-х гг. на российском рынке компатибилизаторов лидировали три компании: DuPont – с серией компатибилизаторов марки Fusabond®, Atofina – с несколькими продуктовыми линиями модификаторов, в том числе Lotader®, и British Petroleum – с маркой Polybond™. Компатибилизаторы, выпускаемые компанией SIGroup, представляют собой гомополимер полипропилена (ПП), модифицированный малеиновым ангидридом.

Серия полимерных модификаторов Polybond охватывает не только компатибилизаторы, но и продукты в виде модифицированного ПП, представляющие собой связующие агенты для стеклянных и наполненных слюдой полипропиленовых систем и обеспечивающие хорошую адгезию с самыми разными материалами, включая алюминий и нержавеющую сталь (например, клеи марки Polybond 1001N, Polybond 1002 и др.). Переход модификаторов марки Polybond в сегмент компатибилизаторов начался с серии Polybond 3000, который также представляет собой химически модифицированный ПП, рекомендованный для смесей с полярными полимерами, такими как полиамиды (ПА) и этиленвиниловый спирт (EVOH).

Материал Fusabond включает в себя так называемые функциональные полимеры: Fusabond E226 (полиэтилен (ПЭ), модифицированный малеиновым ангидридом), Fusabond N216 (полиолефиновый эластомер с высокой гибкостью и эластичностью с привитым малеиновым ангидридом; может использоваться при совместной переработке ПЭ, ПК, полиэфиров). Базовыми продуктами являются Fusabond N493 (сополимер этилена с низкой температурой стеклования, привитый малеиновым ангидридом) и Fusabond A560 (химически модифицированный сополимер этиленакрилата; предназначен для совместной переработки ПЭ и ПА). До недавнего времени на рынке был доступен продукт Fusabond E100, представляющий собой ПЭВП, модифицированный малеиновым ангидридом и предназначенный для использования в качестве компонента в смеси с другими полимерами, включая ПО и ПА [13].

К аддитивам, которые могут выполнять функции как модификаторов ударопрочности, так и компатибилизаторов одновременно, относятся ПО, модифицированные малеиновым ангидридом. Японская Mitsui Chemicals предлагает модифицированные ПО с функциональными группами Admer™, предназначенные для сцепления с различными ПО, иономерами, полиамидами, EVOH, полиэфиром и металлами [14].

Продукты Admer также используются в качестве связующих агентов, улучшителей совместимости и модификаторов ударной вязкости для различных типов композитов. Китайская компания Guangzhou Lushan New Materials разработала продукт серии Lushan Polymer Compatibilizer, который позиционируется как макромолекулярный компатибилизатор. Компания использует технологии прививки расплава с использованием реактивной экструзии для переноса мономеров с сильными полярными функциональными группами в матрицы таких материалов, как ПЭ, ПП, этиленвинилацетат (EVA), полиолефиновый эластомер (POE) и др., придавая им чрезвычайно высокую реакционную способность [15].

К перспективным модификаторам вторичных термопластов следует отнести модификаторы на основе добавок углеродных наноматериалов (УНМ) – многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ), а также технического углерода (ТУ) на свободнорадикальную прививку транс-этилен-1,2-дикарбоновой кислоты (ТЭДК) к линейному полиэтилену низкой плотности (ЛПЭНП) и сополимеру этилена с пропиленом (с-ПП), осуществляемую в расплаве в экструзионном реакторе. Установлено, что МУНТ при их концентрации в реакционной смеси (0,01–0,05 мас. %) активируют реакции прививки ТЭДК к макромолекулам, а при повышенных концентрациях (0,1–0,3 мас. %) ингибируют процессы деструкции и сшивания ПО. Технический углерод в отличие от нанотрубок действует исключительно как ингибитор реакции прививки. Показано, что ТУ и добавки МУНТ независимо от их типа оказывают влияние на кристаллическую структуру функционализированных ПО [16].

#### **Физическое модифицирование для упрочнения композитов**

В работе [17] отмечается большое значение в композиционной системе дисперсности наполнителя. Например, наличие во вторичном полиэтилене высокодисперсных частиц золы-уноса в пределах 5–7 мас. % повышает прочность композита до 40 %. Наполнение вторичных термопластов природными наполнителями, в особенности древесной мукой и отходами шлифовальной пыли, способствует эффекту улучшения свойств композитов, обусловленному волокнистой структурой наполнителя и наличием в нем модифицирующего вещества [18]. Несмотря на проведенные в этой области знания исследования, очевидна недостаточность проработки следующих вопросов:

- закономерности взаимосвязи эффективности наполнителей и их фракционного состава;
- влияния модифицирования частиц наполнителей на совместимость с полимерной матрицей;
- перспектив сочетания в композитах наполнителей с различной функциональной ролью по отношению к вторичным полимерам.

При создании ПКМ применение наполнителей, обладающих поверхностной активностью и структурообразующим эффектом, позволяет регулировать ряд параметров:

- интенсивность межмолекулярных сил;
- условия кристаллизации матрицы;
- степень упорядоченности.

Введением в композит наполнителей можно повысить его механические свойства и теплостойкость, улучшить технологичность изготовления изделий путем снижения усадки и повышения их размерной стабильности [19].

Среди наполнителей минерального происхождения широкое распространение получили: кварц, диоксид кремния, каолин, слюда, тальк, кремнезем и др. Для повышения эффективности использования данных композитов необходимо учитывать следующие факторы:

- применение экономически целесообразных наполнителей;
- недефицитность наполнителя и его приемлемые исходные свойства;
- совместимость разных наполнителей, в том числе с модифицирующими добавками и полимерной матрицей, в композиционной системе;
- исследование возможностей интенсификации поверхностной активности частиц наполнителя в ПКМ.

Благодаря развитию нанотехнологий существенное развитие как в фундаментальном, так и прикладном материаловедении получили исследования возможностей интенсификации поверхностной активности частиц наполнителя в ПКМ. Данное направление обуславливает целенаправленное регулирование структурных и фазовых изменений в композиционных материалах вследствие применения высокоразмерных частиц [20]. По размерности дисперсных наполнителей для полимерного композиционного материаловедения выделяют: ТУ (5–50 мкм), мел (1–50 мкм), каолин (0,1–10 мкм), асбест (1–50 мкм), шамот (30–50 мкм), тальк (10–50 мкм), диоксид кремния, отходы различных сфер производства. Высокая дисперсность частиц относится также к оксидам металлов, углеродным нанотрубкам, графену и в целом способствует целенаправленному регулированию характеристик полимерных композитов для получения изделий с заданными эксплуатационными параметрами. Важно учитывать принципиальную возможность дальнейшего диспергирования данных наполнителей, в том числе в присутствии других твердых или жидких модификаторов. Одним из перспективных направлений улучшения эксплуатационных свойств изделий на основе полимеров (в частности, эластомерных композиций) является использование высокодисперсных углеродных наноматериалов [21].

Высокая однородность композиционных материалов, во многом определяющая стабильность их свойств, обеспечивается равномерным распределением частиц наполнителя в объеме материала без их агломерирования в процессе подготовки и переработки композита. Внедрение в композит наполнителя, характеризующегося полидисперсностью, открывает возможности реализации активационного эффекта в полимерном расплаве. Такое направление способствует структурным изменениям в композите и улучшению его свойств. При этом целенаправленная реализация обозначенного эффекта становится достижима посредством применения поверхностно-активных веществ, способствующих модифицированию поверхности дисперсных частиц. Изучение и совершенствование данного подхода для введения высокодисперсных наполнителей в термопластичные полимерные отходы и их смеси представляется перспективным направлением исследований [22]. Несомненно, для создания ПКМ с заданными свойствами путем наполнения дисперсными частицами необходимо знать закономерности влияния наполнителей на свойства как первичных, так и вторичных полимеров. В то же время эти закономерности по отношению ко вторичным полимерам в полной мере не исследованы.

Перспективна разработка композитов с использованием смесей вторичных полимеров. Прежде всего, исключается сортировка полимерных отходов, что будет снижать себестоимость процесса переработки. Смесей часто представляют собой несовместимую субстанцию, что в целом ухудшает их свойства. Использование гоменизирующих добавок позволяет повысить однородность материала и его механические свойства. Так, введение в композит функциональных добавок производства концерна BASF (Joncryl<sup>TM</sup> ADR) способствует присоединению молекул к концам нарушенных полимерных цепочек и позволяет улучшать показатели прочности расплава [23]. Несмотря на положительный аспект такого подхода, существенно усложняется и растет стоимость издержек в процессе переработки.

На базе Institut für Werkstofftechnik Kunststoff und Recyclingtechnik Кассельского университета (Германия) показана целесообразность и эффективность рециклинга полимеров, в том числе в сочетании с другими вторичными материалами – древесиной, резиной и др. При изучении смеси «полистирол (ПС)/ПЭ<sub>рец</sub>», «ПА/ПЭ<sub>рец</sub>» и «ПЭ/пенополиуретан (ППУ<sub>рец</sub>)» с использованием в качестве модифицирующих добавок частиц летучей золы и микросфер установлено, что структура и свойства полимерных композиций на основе смесей вторичных термопластов зависят от кратности переработки. Показано, что при двухкратном температурно-силовом воздействии на смеси на основе отходов ПС/ПЭ и ПЭ/ППУ наблюдается интенсификация диспергирования ПС и полиуретана (ПУ) в полиолефиновой матрице, обеспечивающая формирование более однородной структуры материала [24].

Одним из вариантов эффективного использования вторичных полимеров являются работы, которые отражают исследования материалов и технологии получения изделий на основе отходов ПУ, в том числе с применением волокнистых и дисперсных наполнителей [25]. Сдерживающим фактором развития таких материалов представляется высокая температура их переработки, негативно сказывающаяся на совместимости с другими полимерами и органическими наполнителями.

С точки зрения решения комплексных задач исследования, включающих улучшение механических свойств и снижение пожароопасности композитов, целесообразно рассмотреть вопрос использования наполнителей со свойством замедлителей горения, в качестве которых перспективным усматривается применение бентонитовой глины (БГ) и ее смесей с другими добавками, в том числе антипиреновыми. В Республике Беларусь имеются значительные запасы БГ. Однако для вторичных ПО и их смесей в должной мере не изучены процессы перевода частиц БГ в высокодисперсное состояние посредством модифицирования механоактивацией или деагломерированием, воздействие высокодисперсных частиц БГ на совместимость с матрицей при экструзии, а также особенности структурообразования таких композитов. Интерес представляет исследование процесса сцепления частиц добавок и надмолекулярных образований матрицы, что влияет на стабильную структурную однородность композита.

В ИММС НАН Беларуси также проводятся исследования по модифицированию композитов с использованием вторичных термопластов. Так, рециклинг полиолефиновых отходов путем использования полифункциональных добавок с модифицированной БГ представляется эффективным путем получения на их основе изделий машиностроительного, электротехнического и иного назначения, что позволяет уменьшить нагрузку на окружающую среду и улучшить жизненный цикл и технические характеристики вторичных ПО.

На опытно-технологическом участке ИММС НАН Беларуси осуществлена апробация полимерной композиции согласно табл. 1.

Таблица 1

**Рецептурный состав с использованием вторичного ПЭВД для литьевых изделий**

Наименование компонентов	Состав № 1, мас. %	Состав № 2, мас. %	Состав № 3, мас. %
ПЭНД <sub>вт</sub>	–	–	50,85–45,8
ПЭВД <sub>вт</sub>	50,0	47,0–50,0	47,0–50,0
ПЭВД	50,0	50,85–45,8	–
БГ, модифицированная ПМС-200 или гудроном жировым	–	2,0–4,0	2,0–4,0
Стеарат кальция или стеарат цинка	–	0,15–0,20	0,15–0,20

Предварительно полиэтилен высокого давления (ПЭВД<sub>вт</sub>) и ПЭНД<sub>вт</sub> измельчали преимущественно до размера частиц 3 мм. Композиции готовили путем смешения ПЭВД<sub>вт</sub> и ПЭНД<sub>вт</sub> или ПЭВД<sub>вт</sub> и ПЭВД (первичный) в лопастном смесителе со стеаратом кальция или стеаратом цинка и модифицированной дисперсной БГ до получения однородной массы. Полученную композицию перерабатывали в гранулят методом экструзии при следующих технологических режимах, представленных в табл. 2. Сравнительные свойства композиций приведены в табл. 3.

Таблица 2

## Технологические режимы переработки композиций в гранулят

Температурные зоны экструдера	Температура в экструдере по зонам, °С
1 зона	120 ± 5
2 зона	145 ± 5
3 зона	170 ± 5
4 зона	185 ± 5
5 зона (формующая головка)	190 ± 5

Таблица 3

## Физико-механические свойства композиций на основе вторичных полиолефинов

Наименование показателей	Рецептурные составы		
	№ 1	№ 2	№ 3
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	21	24–27	25–26
Деформация при разрыве, %	170	103	93
ПТР, г/10 мин	4,0	3,9	3,7

Данные табл. 3 указывают на то, что составы № 2, 3 обладают более высокой механической прочностью, чем аналогичная композиция № 1. При этом состав № 3 состоит до 95,0 % из отходов ПО и не содержит в своем составе дефицитных и дорогостоящих компонентов, что значительно снижает ее стоимость и решает проблему утилизации отходов полимеров.

Полученный гранулят перерабатывали на литьевой машине в изделие. Технологические режимы переработки представлены в табл. 4.

Таблица 4

## Технологические режимы переработки композиций на литьевой машине

Температурные зоны экструдера	Температура по зонам в термопластавтомате, °С
1 зона	110 ± 5
2 зона	125 ± 5
3 зона	160 ± 5
4 зона	175 ± 5
5 зона (формующая оснастка)	190 ± 5

На рис. 1 представлена технологическая схема получения литьевых изделий. На основе проведенных исследований получена опытная партия литьевых изделий: заглушка – в количестве 148 шт. и соединительная муфта – в количестве 1440 шт. (рис. 2). Полученные изделия были использованы при монтаже полимерных азраторов в систе-

мах биологической очистки сточных вод ОАО «Нафтан». Выпущена опытно-промышленная партия литьевого изделия «гайка-шпилька» в количестве 3 тыс. шт. и внедрена при изготовлении фильтровальных установок (рис. 3).

Предложена переработка смешанных термопластичных вторичных полимеров в изделия, предназначенные для быстросборных покрытий строительных, спортивных площадок, тротуаров, сельских и дачных дворов, подъездных путей, территорий животноводческих ферм и др. (рис. 4).



Рис. 1. Технологическая схема получения литевых изделий



Рис. 2. Внешний вид заглушки и соединительной муфты



Рис. 3. Внешний вид литьевого изделия

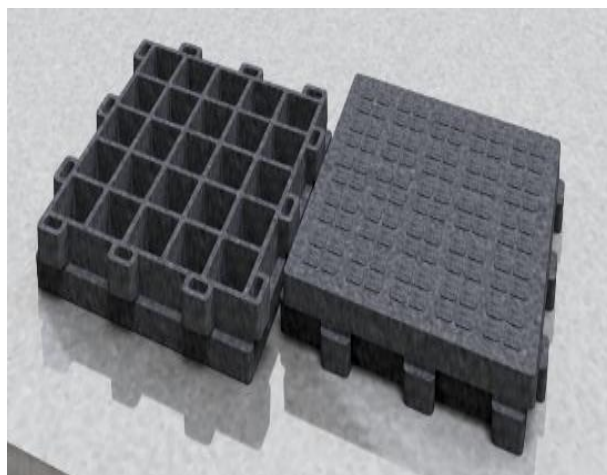


Рис. 4. Быстрособорные плитные покрытия

Примером использования модифицированных термопластичных отходов является также производство полимерпесчаных изделий, которые успешно применяются в строительстве и ЖКХ (рис. 5).

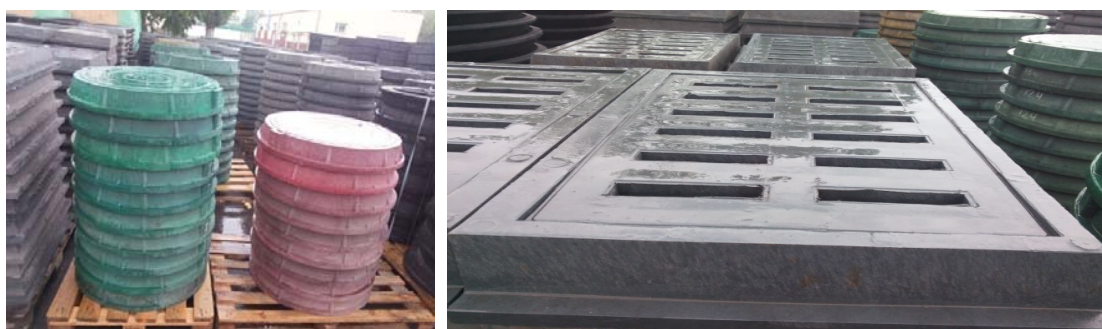


Рис. 5. Изделия из полимерпесчаных композиций

### Заключение

Термопластичные отходы ограниченно применяются в производстве ПКМ ввиду четко прослеживаемой тенденции к значительному снижению их физико-механических характеристик с каждым последующим циклом переработки. Таким образом, приоритетным направлением современного материаловедения является создание ПКМ на основе отходов полимеров и их смесей для получения экологически безопасных изделий с улучшенными качественными показателями и стабильными эксплуатационными свойствами. Это может быть достигнуто путем модифицирования вторичного сырья с использованием функциональных добавок и дисперсных (полидисперсных) наполнителей. Для такого подхода обязательным условием является функциональная эффективность модификаторов и наполнителей и экономическая обоснованность их применения.

*Статья подготовлена в рамках выполнения работ по мероприятию «Разработать научно-технологические принципы создания ресурсосберегающих технологий рециклинга разнородных полимерных и полимерсодержащих отходов для изделий технического назначения» задачи 3 «Создание опытных участков по выпуску высокоавтоматизированных систем и материалов с заданными свойствами» подпрограммы 4 «Развитие научно-производственной деятельности НАН Беларуси» Государственной программы «Наука для экономики и общества» на 2026–2030 гг.*

## Литература

1. Современные композиционные строительные материалы : учеб. пособие / И. Ю. Шитова, Е. Н. Самошина, С. Н. Кислицына, С. А. Болтышев. – Пенза : ПГУАС, 2015. – 136 с.
2. Модификация полимеров кремнийорганическими соединениями / С. Н. Русанова, О. В. Стоянов, Н. Е. Темникова [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. – 2014. – № 12. – С. 13–25.
3. Ксантос, М. Функциональные наполнители для пластмасс : монография / М. Ксантос ; пер. с англ. под ред. В. Н. Кулезнева. – СПб. : Науч. основы и технологии, 2010. – 462 с.
4. Тимошенко, В. В. Композиционные материалы на основе вторичных полиолефинов и ультрадисперсного диоксида кремния для длинномерных машиностроительных изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.09 / Тимошенко Вадим Васильевич ; Ин-т механики металлополимер. систем НАН Беларуси. – Гомель, 2011. – 127 л.
5. Дядичев, В. В. Анализ технологий утилизации и вторичной переработки полимеров / В. В. Дядичев, А. Г. Шулика // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2014. – № 6–1 (213). – С. 188–191.
6. Composite heat-resistant materials based on thermoplastic matrices / E. T. Krutko, A. S. Antonov, A. N. Lesun, V. A. Struk // Processes of Petrochemistry and oil Refining. – 2024. – N si1. – P. 23–31.
7. Пикаев, А. К. Современная радиационная химия. Твердое тело и полимеры. Прикладные аспекты : монография / А. К. Пикаев. – М. : Наука, 1987. – 448 с.
8. Колосова, А. С. Применение древесных отходов для получения теплоизоляционного композиционного материала на основе вторичного полимерного связующего / А. С. Колосова, Е. С. Пикалов, О. Г. Селиванов // Экология промышленного производства. – 2020. – № 2 (110). – С. 6–10.
9. Торлова, А. С. Влияние количества наполнителя на свойства композиционного материала на основе керамических и полимерных отходов / А. С. Торлова, И. А. Виткалова, Е. С. Пикалов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 9–1 (87). – С. 62–66.
10. Современные полимерные композиционные материалы и их применение / А. С. Колосова, М. К. Сокольская, И. А. Виткалова [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 5-1. – С. 245–256. – URL: <https://s.applied-research.ru/pdf/2018/5/12252.pdf> (дата обращения: 07.02.2021).
11. Кац, Г. С. Наполнители для полимерных композиционных материалов : справ. пособие / Г. С. Кац, Д. В. Милевски ; пер. с англ. П. Г. Бабаевского, В. В. Гитина ; под ред. П. Г. Бабаевского. – М. : Химия, 1981. – 736 с.
12. Пименова, А. С. Модификация атактического полипропилена малеиновым ангидридом / А. С. Пименова, И. Н. Сбитнев, В. Е. Капрелев // Материалы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. им. проф. Л. П. Кулёва, г. Томск, 29 мая – 1 июня 2017 г. / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2017. – Секция 8. Хим. технология полимер. материалов. – С. 287–289.
13. Полимерные смеси / под ред. Д. Р. Пола и К. Б. Бакнелла. – СПб. : Науч. основы и технологии, 2009. – Т. 1 : Систематика. – 618 с.
14. Фомина, Н. Н. Компатибилизация смесей полимеров при переработке отходов изделий из термопластов / Н. Н. Фомина, В. Г. Хозин // Нанотехнологии в строительстве. – 2021. – Т. 13, № 4. – С. 229–236.
15. Модификаторы полиолефинов полифункционального действия (обзор) / И. А. Старостина, Р. А. Перелыгина, К. Б. Вернигоров [и др.] // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2024. – № 1. – С. 3.
16. Влияние добавок углеродных наноматериалов на функционализацию полиолефинов в процессе реакционной экструзии / Ю. М. Кривогуз, В. А. Бородуля, О. С. Рабинович, О. М. Макаренко // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 52–62.

17. Наноструктурированные композиты и полимерное материаловедение / Н. Т. Кахраманов, А. Г. Азизов, В. С. Осипчик [и др.] // Пластические массы. – 2016. – № 1–2. – С. 49–57.
18. Шаповалов, В. М. Технология переработки высоконаполненных композитов / В. М. Шаповалов, В. Г. Барсуков, Б. И. Купчинов ; под общ. ред. Ю. М. Плескачевского. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2000. – 259 с.
19. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала / О. В. Ершова, Э. Р. Муллина, Л. В. Чупрова [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-3. – С. 487–491.
20. Симонов-Емельянов, И. Д. Влияние размера частиц наполнителя на некоторые характеристики полимеров / И. Д. Симонов-Емельянов, В. Н. Кулезнев, Л. З. Трофимичева // Пластические массы. – 1989. – № 5. – С. 61–64.
21. Шашок, Ж. С. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях : монография / Ж. С. Шашок, Н. Р. Прокопчук. – Минск : БГТУ, 2014. – 232 с.
22. Бурихов, Р. В. Гомонезирующие добавки для повышения качества смесей вторичных пластмасс / Р. В. Пурихов // Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии. – 2020. – № 10. – С. 26–29.
23. BASF Joncryl® ADR-4400/ADR-4468 / Shanghai H&B New Material Technology Co. – 2020. – URL: <http://www.lithlon.com/en/ProductDetail/2887400.html> (date of access: 21.01.2024).
24. Шаповалов, В. М. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов : монография / В. М. Шаповалов, З. Л. Тартаковский. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 2003. – 262 с.
25. Радюк, А. Н. Получение волокнисто-наполненных материалов и изделий на основе отходов производства / А. Н. Радюк, А. Н. Буркин // Химические волокна. – 2021. – № 6. – С. 12–14.

### References

1. Shitova I. Yu., Samoshina E. N., Kislitsyna S. N., Boltyshev S. A. *Modern composite building materials*. Penza, Penza State University of Architecture and Construction, 2015. 136 p. (in Russian).
2. Rusanova S. N., Stoyanov O. V., Temnikova N. E., Kimel'blat V. I., Chalykh A. E., Gerasimov V. K. Modification of polymers with organosilicon compounds. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2014, no. 12, pp. 13–25 (in Russian).
3. Ksantos M. *Functional fillers for plastics*. Saint Petersburg. Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2010. 462 p. (in Russian).
4. Timoshenko V. V. *Composite materials based on secondary polyolefins and ultra-dispersed silicon dioxide for long-length engineering products*. Gomel', 2011. 127 p. (in Russian).
5. Dyadichev V. V., Shulika A. G. Composite materials based on secondary polyolefins and ultra-dispersed silicon dioxide for long-length engineering products. *Visnik Shidnoukrains'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja*, 2022, no. 6-1 (213), pp. 188–191 (in Russian).
6. Krutko E. T., Antonov A. S., Lesun A. N., Struk V. A. Composite heat-resistant materials based on thermoplastic matrices. *Processes of Petrochemistry and oil Refining*, 2024, no. 1, pp. 23–31.
7. Pikaev A. K. *Modern Radiation Chemistry. Solids and Polymers. Applied Aspects*. Moscow, Nauka Publ., 1987. 448 p. (in Russian).
8. Kolosova A. S., Pikalov E. S., Selivanov O. G. The use of wood waste to produce thermal insulation composite material based on a secondary polymer binder. *Jekologija promyshlennogo proizvodstva = Industrial ecology*, 2020, no. 2 (110), pp. 6–10 (in Russian).
9. Torlova A. S., Vitkalova I. A., Pikalov E. S. The influence of the amount of filler on the properties of a composite material based on ceramic and polymer waste. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2019, no. 9-1 (87), pp. 62–65 (in Russian).

10. Kolosova A. S., Sokol'skaja M. K., Vitkalova I. A., Torlova A. S., Pikalov E. S. Modern polymer composite materials and their application. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*, 2018, no. 5-1, pp. 245–256. Available at: <https://s.applied-research.ru/pdf/2018/5/12252.pdf> (accessed 07 February 2021) (in Russian).
11. Kac G. S., Milevski D. V. *Fillers for polymer composite materials*. Ed. Babaevskij P. G. Moscow, Himija Publ., 1981. 736 p. (in Russian).
12. Pimenova A. S., Sbitnev I. N., Kaprelev V. E. Modification of atactic polypropylene with maleic anhydride: *materialy XVIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. im. L. P. Kuljova, g. Tomsk, 29 maja – 1 ijunja 2017 g.* [Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference named after L. P. Kulev, Tomsk, May 29 – June 1, 2017 g.]. Tomsk, Tomskij politehnicheskij institut, 2017, section 8. Himicheskaja tehnologija polimernyh materialov, pp. 287–289 (in Russian).
13. Eds. Pola D. R., Baknella K. B. *Polymer mixtures*. Vol. Systematics. Saint Petersburg. Nauchnye osnovy i tehnologii Publ., 2009. 618 p. (in Russian).
14. Fomina N. N., Hozin V. G. Compatibilization of polymer blends in the recycling of thermoplastic waste. *Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in construction*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 229–236 (in Russian).
15. Starostina I. A., Perelygina R. A., Vernigorov K. B., Bushkov V. V., Tutov S. V., Kazakov Yu. M., Stoyanov O. V. Polyfunctional polyolefin modifiers (review). *Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov = Industrial production and use elastomers*, 2024, no. 1, P. 3 (in Russian).
16. Krivoguz Yu. M., Borodulya V. A., Rabinovich O. S., Makarenko O. M. The influence of carbon nanomaterial additives on the functionalization of polyolefins during reactive extrusion. *Polymer materials and technologies = Polymer materials and technologies*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 52–62 (in Russian).
17. Kakhramanov N. T., Azizov A. G., Osipchik V. S., Mamedli U. M., Arzumanova N. B. Nanostructured composites and polymer materials science. *Plasticheskie massy = Plasticheskie massy*, 2016, no. 1-2, pp. 49–57 (in Russian).
18. Shapovalov V. M., Barsukov V. G., Kupchinov B. I. *Technology for processing highly filled composites*. Ed. Pleskachevskii Yu. M. Gomel', IMMS NAN Belarusi Publ., 2000. 259 p. (in Russian).
19. Ershova O. V., Mullina E. R., Chuprova L. V., Mishurina O. A., Bod'yan L. A. Study of the influence of the composition of inorganic filler on the physicochemical properties of polymer composite material. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, no. 12-13, pp. 487–491 (in Russian).
20. Simonov-Emel'yanov I. D., Kuleznev V. N., Trofimicheva L. Z. The influence of filler particle size on some characteristics of polymers. *Plasticheskie massy = Plasticheskie massy*, 1989, no. 5, pp. 61–64 (in Russian).
21. Shashok Zh. S., Prokopchuk N. R. *Application of carbon nanomaterials in polymer compositions*. Minsk, Belorusskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet, 2014, 232 p. (in Russian).
22. Purikhov R. V. Homogenizing additives for improving the quality of recycled plastics mixtures. *Polimernye materialy. Izdeliya, oborudovanie, tekhnologii = Polymer materials. Products, equipment, technology*, 2020, no. 10, pp. 26–29 (in Russian).
23. BASF Joncryl® ADR-4400/ADR-4468 / Shanghai H&B New Material Technology Co, 2020. Available at: <http://www.lithlon.com/en/ProductDetail/2887400.html> (accessed 21 January 2024).
24. Shapovalov V. M., Tartakovskii Z. L. *Multicomponent polymer systems based on recycled materials*. Gomel', IMMS NAN Belarusi Publ., 2003. 262 p. (in Russian).
25. Radyuk A. N., Burkin A. N. Production of fiber-filled materials and products based on industrial waste. *Khimicheskie volokna = Fibre Chemistry*, 2021, no. 6, pp. 12–14 (in Russian).