

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ИЗ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТОВ  
СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Обзор

Тихомирова В.В.<sup>1</sup>, Смирнова П.С.<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-4222-0904;

<sup>2</sup>ORCID : 0000-0002-8097-3210;

<sup>1,2</sup>Владимирский государственный университет, Владимир, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (poliinchiik888[at]gmail.com)

**Аннотация**

В данной работе дается общее понятие о полимерных композиционных материалах и их преимуществах при применении в качестве строительных материалов и изделий, включая разнообразие, легкость, прочность, водостойкость. Учитываются основные проблемы применения полимерных композиционных материалов в строительстве, в первую очередь, их высокая по сравнению с другими материалами стоимость, а также характерные для полимерной основы горючесть, склонность к деструкции и старению. Даны рекомендации по снижению недостатков полимерных композиционных материалов и сделан акцент на снижение их стоимости за счет применения полимерных отходов. Дополнительно рассматриваются актуальность и проблемы переработки отходов термопластичных полимеров и полимерных композиционных материалов, обосновывается актуальность их переработки в производстве строительных композиционных материалов. Рассмотрены наиболее распространенные примеры использования полимерных отходов для получения строительных композиционных материалов. Как наиболее перспективные выделены технологии по совместной утилизации нескольких видов отходов, в т.ч. полимерных, в качестве наполнителей и связующих для получения материалов и изделий строительного назначения.

**Ключевые слова:** полимерные отходы, термопластичное связующее, полимерные композиционные материалы, строительные материалы, утилизация.

APPLICATION OF THERMOPLASTIC POLYMER WASTE FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITES FOR  
CONSTRUCTION PURPOSES

Review article

Tikhomirova V.V.<sup>1</sup>, Smirnova P.S.<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-4222-0904;

<sup>2</sup>ORCID : 0000-0002-8097-3210;

<sup>1,2</sup>Vladimir State University, Vladimir, Russian Federation

\* Corresponding author (poliinchiik888[at]gmail.com)

**Abstract**

This work gives a general concept of polymer composite materials and their advantages in application as building materials and products, including diversity, lightness, strength, water resistance. The main problems of application of polymer composite materials in construction are taken into account, foremost, their high cost in comparison with other materials, as well as flammability, tendency to degradation and ageing characteristic for polymer base. Recommendations are given to reduce the disadvantages of polymer composite materials, and emphasis is placed on reducing their cost through the use of polymer waste. In addition, the relevance and problems of processing of wastes of thermoplastic polymers and polymer composite materials are considered, the relevance of their processing in the production of construction composite materials is substantiated. The most widespread examples of polymer wastes utilization for production of construction composite materials are considered. The technologies of joint utilization of several types of wastes, including polymeric wastes, as fillers and binders for production of materials and products for construction purposes are highlighted as the most perspective ones.

**Keywords:** polymer waste, thermoplastic binder, polymer composite materials, construction materials, utilization.

**Введение**

С давних времен в строительстве применяются такие материалы как камень, дерево и керамика. С развитием промышленности к этим материалам добавились и получили более широкое распространение металлические, бетонные и железобетонные конструкции, изделия из стекла и полимерных материалов [1], [2], [3]. С 20 века в строительстве, наряду с другими областями человеческой деятельности, получили распространение композиционные материалы (композиты), в первую очередь полимерные композиционные материалы (ПКМ) [4], [5], [6].

По сравнению с другими строительными материалами, композиты обладают меньшим весом и отличаются многообразием форм, являются гибкими, прочными, стойкими к действию агрессивных сред и комбинируют в себе свойства других строительных материалов [7], [8]. Эти преимущества обеспечиваются за счет того, что композиты представляют собой комбинации из двух или более индивидуальных компонентов, среди которых есть по крайней мере одно связующее (матрица), отвечающее за получение определенной конфигурации изделия и являющееся сплошной фазой для других компонентов, и по крайней мере один наполнитель, который в большинстве случаев применяется для повышения прочности и снижения усадки, но может обеспечивать и специфические свойства (повышать стойкость к различным внешним воздействиям, изменять теплотехнические характеристики и т.д.). Связующие бывают металлическими, полимерными и керамическими. В свою очередь полимерные связующие также

бывают нескольких видов: термореактивные, термопластичные и комбинированные, в т.ч. с использованием эластомеров [9], [10].

Цель данной работы заключается в обосновании применения отходов из термопластичных полимеров в производстве строительных ПКМ в рамках решения таких проблем как снижение себестоимости ПКМ при сохранении их качества и защита окружающей среды от накопления в ней отходов.

### **Перспективы применения полимерных отходов в производстве ПКМ**

Основными проблемами распространения ПКМ в строительстве являются их высокая стоимость, склонность к деструкции и старению, горючесть полимерных связующих и сложность переработки отходов ПКМ. Однако широкие возможности по применению различных сырьевых материалов и модификации свойств ПКМ позволяют свести к минимуму указанные недостатки. Склонность к деструкции и старению снижается введением в состав полимерных композиций различных стабилизаторов, а горючесть связующих можно уменьшить за счет введения антипиренов, в т.ч. негорючих наполнителей.

Проблема утилизации ПКМ, как и проблема утилизации полимерных отходов, являются на сегодняшний день одной из приоритетных задач в области переработки отходов [11], [12], [13]. Сложность решения этих двух проблем с одной стороны заключается в увеличивающихся объемах и темпах накопления данных отходов, токсичностью продуктов их разложения и горения, с длительными сроками их разложения в естественных условиях. С другой стороны, утилизация данных отходов осложняется наличием определенной доли посторонних включений, в т.ч. из-за проблем с селективным сбором и сортировкой отходов, и снижением качества полимерного сырья в результате различного рода деструкций, возникающих как в процессе переработки, в т.ч. вторичной, так и во время эксплуатации изделий под действием внешних факторов (температуры, влажности, ультрафиолетового излучения и т.д.). В то же время надо учитывать, что полимеры являются ценным для производства сырьем, стоимость которого только увеличивается пропорционально росту цен на нефть и нефтепродукты.

Следовательно, переработка полимерных отходов и отходов ПКМ, особенно отходов потребления, в ответственные изделия практически невозможна. Уничтожение или захоронение этих отходов нерационально с экономической и экологической точек зрения. Поэтому наиболее перспективными методами утилизации являются переработка данных отходов совместно с первичным полимерным сырьем, утилизация в других производственных процессах или деполимеризация с получением вторичного химического сырья [12], [13]. При этом смешивание с первичным сырьем ограничено по объемам в связи со снижением качества изделий, а деполимеризация является трудоемким и затратным процессом. В то же время наиболее актуальным направлением утилизации является производство строительных материалов. Это связано с малой стоимостью, крупнотоннажностью и простотой применяемых технологий, широким ассортиментом получаемой продукции и возможностью комплексной переработки нескольких видов отходов с получением полиматричных связующих и использованием разных отходов в качестве наполнителей [11], [14].

Например, при утилизации отходов из таких термопластов как полиэтилен, полипропилен и полистирол, в т.ч. при использовании смеси из этих полимеров, можно получить прочные и водостойкие композиты, где наполнителями являются кварцевый песок, стекловолокно, асбест и другие минеральные наполнители [8], [15], [16]. Прочные и стойкие к горению изделия получают расплавлением термопластичных полимеров с последующим смешиванием с цементом и заливкой в формы [13], [15], [17]. Такие материалы широко применяются в производстве облицовочных плиток, кирпича, брусчатки, черепицы, водоотводных люков, колодцев и т.д. [8], [15], [18].

При наполнении вторичного поливинилхлорида золой уноса может быть получен отделочный и конструкционный композит, который назван разработчиками винизол и отличается высокой прочностью, твердостью, химической стойкостью, огнестойкостью и водостойкостью [19].

Вторичные термопластичные полимеры, в основном полипропилен, полиэтилен, поливинилхлорид и полистирол, также часто используют как связующие для производства древесно-полимерных композитов (ДПК), наполненных древесной мукой, получаемой из древесных отходов [13], [15], [18]. ДПК успешно применяют для производства полимерной доски (декинга), при обустройстве ограждений для грядок и клумб, веранд и т.д.

В качестве органических наполнителей для вторичных термопластов также возможно использование растительных отходов, например, шелухи и лузги, для производства изгородей, полов и облицовочных плит [20]. Наполнение вторичного полиэтилена дисперсными отходами производства цементно-стружечных плит позволяет получить прочный материал с низким водопоглощением и высокой химической стойкостью для производства изделий технического или строительного назначения [21].

Порошкообразные полимеры, такие как поливинилхлорид, полиэтилен, полиформальдегид и др. используют и как наполнители для ПКМ из смесей полимерных отходов в тех случаях, когда температура переработки не превышает температуры их размягчения и плавления [12], [15]. Из таких смешанных ПКМ получают строительные блоки, бруски, плиты, черепицу, армирующие профили, кровельные конструкции и т.п. К полимерным дисперсным наполнителям можно также отнести некоторые реактопласты и резиновую крошку, получаемую из изношенных автомобильных шин. С использованием резиновой крошки в качестве наполнителя можно получить прочный, гибкий и стойкий к воздействию агрессивных сред резинопласт, применяемый для производства плиток, гидроизоляционных и кровельных материалов [7].

Возможно использование вторичных нейлоновых волокон в качестве наполнителя для вторичного полиолефинового связующего с получением композитных напольных плиток, характеризующихся сочетанием прочности и легкости [22].

### **Заключение**

Из представленной в данной работе информации следует, что вторичные термопластичные полимеры можно использовать и как связующие, и как наполнители для ПКМ, что дает возможность существенно снизить стоимость материалов и изделий из них, которая является одной из главных причин их низкого распространения в строительной отрасли. При этом переработка отходов из термопластичных полимеров в производстве ПКМ дает возможность

получать качественную продукцию, сохраняя все преимущества ПКМ, способствует росту объемов их производства и расширению их ассортимента.

Кроме того, это направление утилизации позволяет существенно уменьшить темпы и объемы накопления полимерных отходов в окружающей среде при малых затратах на переработку.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Руднов В.С. Строительные материалы и изделия: Учеб. пособие / В.С. Руднов, Е.В. Владимирова, И.К. Доманская [и др.]; под общ. ред. И.К. Доманской. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 203 с.
2. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия: Учебник для студ. сред. проф. образования / Ю.Г. Барабанщиков. — Москва: Академия, 2008. — 368 с.
3. Колосова А.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия / А.С. Колосова, Е.С. Пикалов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2020. — № 10. — С. 54-67.
4. Шитова И.Ю. Современные композиционные строительные материалы: Учеб. пособие / И.Ю. Шитова, Е.Н. Самошина, С.Н. Кислицына [и др.]. — Пенза: Изд-во ПГУАС, 2015. — 136 с.
5. Орехова А.Р. Композиционные материалы и их применение в строительстве / А.Р. Орехова, Е.П. Дорофеев // *Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ*. — 2020. — Т. 2. — С. 240-246.
6. Власенко Ф.С. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях / Ф.С. Власенко, А.Е. Раскутин // *Труды ВИАМ*. — 2013. — № 8. — С. 3.
7. Колосова А.С. 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.
8. Павлычева Е.А. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные материалы / Е.А. Павлычева, Е.С. Пикалов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2020. — № 7. — С. 76-87.
9. Алентьев А.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов: учебное пособие / А.Ю. Алентьев, М.Ю. Яблокова. — Москва: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010. — 69 с.
10. Бейдер Э.Я. Термопластичные связующие для полимерных композиционных материалов / Э.Я. Бейдер, Г.Н. Петрова // *Труды ВИАМ*. — 2015. — № 11. — С. 5.
11. Пикалов Е.С. Теплоизоляционный строительный материал на основе древесной золы и полимерных отходов / Е.С. Пикалов // *Экология промышленного производства*. — 2022. — № 4. — С. 2-7.
12. Петров А.В. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов (обзор) / А.В. Петров, М.С. Дориомедов, С.Ю. Скрипачев // *Труды ВИАМ*. — 2015. — № 8. — С. 9.
13. Шайерс Д. Рециклинг пластмасс: наука, технология, практика / Д. Шайерс. — Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2012. — 640 с.
14. Колосова А.С. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древесных и полимерных отходов / А.С. Колосова, Е.С. Пикалов, О.Г. Селиванов // *Экология и промышленность России*. — 2020. — № 2. — С. 28-33.
15. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности: Учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. — 368 с.
16. Thiam M. Mechanical, physical and microstructural properties of a mortar with melted plastic waste binder / M. Thiam, M. Fall // *Construction and Building Materials*. — 2021. — № 302. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124190.
17. Eskander S.B. Towards potential applications of cement-polymer composites based on recycled polystyrene foam wastes on construction fields: Impact of exposure to water ecologies / S.B. Eskander, H.M. Saleh, M.E. Tafwik [et al.] // *Case Studies in Construction Materials*. — 2021. — № 15. — DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00664.
18. Goli V.S.N.S. Application of Municipal Plastic Waste as a Manmade Neo-construction Material: Issues & Wayforward / V.S.N.S. Goli, A. Mohammad, D.N. Singh // *Resources, Conservation and Recycling*. — 2020. — № 161. — DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105008.
19. Барахтенко В.В. Исследование свойств современных строительных материалов на основе промышленных отходов / В.В. Барахтенко, А.Е. Бурдонов, Е.В. Зелинская [и др.] // *Фундаментальные исследования*. — 2013. — № 10-12. — С. 2599-2603.
20. Астанин В.К. Утилизация полимерных и растительных отходов агропромышленного комплекса путем создания растительно-полимерных композиционных материалов / В.К. Астанин, А.А. Измайлов, А.В. Ворохобин [и др.] // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. — 2012. — № 2. — С. 154-156.
21. Беляев П.С. Разработка технологии получения композита на основе отходов термопласта и ЦСП / П.С. Беляев, О.С. Примеров, А.В. Савин // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. — 2018. — № 2. — С. 367-373.
22. Owen M.M. Thermal and mechanical characterization of composite materials from industrial plastic wastes and recycled nylon fibers for floor paving tiles application / M.M. Owen, E.O. Achukwu, A.Z. Romli [et al.] // *Waste Management*. — 2023. — № 166. — P. 25-34.

## Список литературы на английском языке / References in English

1. Rudnov V.S. Stroitel'nye materialy i izdeliya: Ucheb. posobie [Building materials and products: Textbook] / V.S. Rudnev, E.V. Vladimirova, I.K. Domanskaya [et al.]; under the general editorship of I.K. Domanskaya. — Yekaterinburg: Publishing House of the Ural University, 2018. — 203 p. [in Russian]
2. Barabanschikov Ju.G. Stroitel'nye materialy i izdelija: Uchebnik dlja stud. sred. prof. obrazovanija [Building materials and products: Textbook for students. secondary vocational education] / Ju.G. Barabanschikov. — Moscow: Akademija, 2008. — 368 p. [in Russian]
3. Kolosova A.S. Sovremennye gazonapolnennye polimernye materialy i izdelija [Modern gas-filled polymer materials and products] / A.S. Kolosova, E.S. Pikalov // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. — 2020. — № 10. — P. 54-67. [in Russian]
4. Shitova I.Ju. Sovremennye kompozitsionnye stroitel'nye materialy: Ucheb. posobie [Modern composite building materials: Textbook] / I.Ju. Shitova, E.N. Samoshina, S.N. Kislitsyna [et al.]. — Penza: Publishing house of Penza State University of Architecture and Construction, 2015. — 136 p. [in Russian]
5. Orekhova A.R. Kompozicionnye materialy i ih primenenie v stroitel'stve [Composite materials and their application in construction] / A.R. Orekhova, E.P. Dorofeev // Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU [New ideas of the new century: materials of the international scientific conference of Institute of Architecture and Design of Pacific State University]. — 2020. — Vol. 2. — P. 240-246.
6. Vlasenko F.S. Primenenie polimernyh kompozitsionnyh materialov v stroitel'nyh konstruksijah [Application of polymer composite materials in building structures] / F.S. Vlasenko, A.E. Raskutin // Trudy VIAM [Works of All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials]. — 2013. — № 8. — P. 3. [in Russian]
7. Kolosova A.S. Sovremennye polimernye kompozitsionnye materialy i ih primenenie [Modern polymer composite materials and their application] / A.S. Kolosova, M.K. Sokol'skaja, I.A. Vitkalova [et al.] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. — 2018. — № 5-1. — P. 245-256. [in Russian]
8. Pavlycheva E.A. Sovremennye energoeffektivnye konstruksionnye i oblitsovochnye materialy [Modern energy-efficient structural and cladding materials] / E.A. Pavlycheva, E.S. Pikalov // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. — 2020. — № 7. — P. 76-87. [in Russian]
9. Alent'ev A.Ju. Svjazujuschie dlja polimernyh kompozitsionnyh materialov: uchebnoe posobie [Binders for polymer composite materials: textbook] / A.Ju. Alent'ev, M.Ju. Jabloko. — Moscow: MSU named after M.V. Lomonosov, 2010. — 69 p. [in Russian]
10. Bejder E.Ja. Termoplastichnye svjazujuschie dlja polimernyh kompozitsionnyh materialov [Thermoplastic binders for polymer composite materials] / E.Ja. Bejder, G.N. Petrova // Trudy VIAM [Works of All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials]. — 2015. — № 11. — P. 5. [in Russian]
11. Pikalov E.S. Teploizoljatsionnyj stroitel'nyj material na osnove drevesnoj zoly i polimernyh othodov [Thermal insulation building material based on wood ash and polymer waste] / E.S. Pikalov // Jekologija promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production]. — 2022. — № 4. — P. 2-7. [in Russian]
12. Petrov A.V. Tehnologii utilizatsii polimernyh kompozitsionnyh materialov (obzor) [Technologies of utilization of polymer composite materials (review)] / A.V. Petrov, M.S. Doriomedov, S.Ju. Skripachev // Trudy VIAM [Works of All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials]. — 2015. — № 8. — P. 9. [in Russian]
13. Shajers D. Retsikling plastmass: nauka, tehnologija, praktika [Recycling of plastics: science, technology, practice] / D. Shajers. — Saint Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2012. — 640 p. [in Russian]
14. Kolosova A.S. Teploizoljatsionnyj kompozitsionnyj material na osnove drevesnyh i polimernyh othodov [Thermal insulation composite material based on wood and polymer waste] / A.S. Kolosova, E.S. Pikalov, O.G. Selivanov // Jekologija i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia]. — 2020. — № 2. — P. 28-33. [in Russian]
15. Dvorkin L.I. Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti: Uchebno-spravochnoe posobie [Construction materials from industrial waste: Educational and reference manual] / L.I. Dvorkin, O.L. Dvorkin. — Rostov-na-Donu: Phoenix, 2007. — 368 p. [in Russian]
16. Thiam M. Mechanical, physical and microstructural properties of a mortar with melted plastic waste binder / M. Thiam, M. Fall // Construction and Building Materials. — 2021. — № 302. — DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124190.
17. Eskander S.B. Towards potential applications of cement-polymer composites based on recycled polystyrene foam wastes on construction fields: Impact of exposure to water ecologies / S.B. Eskander, H.M. Saleh, M.E. Tafwik [et al.] // Case Studies in Construction Materials. — 2021. — № 15. — DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00664.
18. Goli V.S.N.S. Application of Municipal Plastic Waste as a Manmade Neo-construction Material: Issues & Wayforward / V.S.N.S. Goli, A. Mohammad, D.N. Singh // Resources, Conservation and Recycling. — 2020. — № 161. — DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105008.
19. Barahtenko V.V. Issledovanie svojstv sovremennyh stroitel'nyh materialov na osnove promyshlennyh othodov [Investigation of the properties of modern building materials based on industrial waste] / V.V. Barahtenko, A.E. Burdonov, E.V. Zelinskaja [et al.] // Fundamental'nye issledovanija [Fundamental research]. — 2013. — № 10-12. — P. 2599-2603. [in Russian]
20. Astanin V.K. Utilizatsija polimernyh i rastitel'nyh othodov agropromyshlennogo kompleksa putem sozdanija rastitel'no-polimernyh kompozitsionnyh materialov [Utilization of polymer and plant waste of the agro-industrial complex by creating plant-polymer composite materials] / V.K. Astanin, A.A. Izmajlov, A.V. Vorohobin [et al.] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University]. — 2012. — № 2. — P. 154-156. [in Russian]

21. Beljaev P.S. Razrabotka tehnologii poluchenija kompozita na osnove othodov termoplasta i TsSP [Development of technology for producing a composite based on waste thermoplastics and CBPB] / P.S. Beljaev, O.S. Primerov, A.V. Savin // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta [Bulletin of the Tambov State Technical University]. — 2018. — № 2. — P. 367-373. [in Russian]
22. Owen M.M. Thermal and mechanical characterization of composite materials from industrial plastic wastes and recycled nylon fibers for floor paving tiles application / M.M. Owen, E.O. Achukwu, A.Z. Romli [et al.] // Waste Management. — 2023. — № 166. — P. 25-34.