

Модификация отечественного полипропилена бутадиен-стирольным термоэластопластом

Надежда И. Бондаренко¹ bondarenko-71@mail.ru

ID

ID

Ирина Д. Сквортsova¹ suhonosovairina46@gmail.comАлександр А. Сквортsov¹ krokus.777@bk.ru

ID

1 Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул.Костюкова, 46, г. Белгород, 308012, Россия

Аннотация. Разработан близкий по эксплуатационным и физико-механическим свойствам аналог полимерного материала, основанного на гомополипропилене, модифицированном бутадиен-стирольным термоэластопластом (СБС ТЭП). Подобрано оптимальное соотношение массовых частей наиболее подходящих сырьевых материалов отечественных торговых марок, а именно гомополимера пропилена и линейного бутадиен-стирольного термоэластопласта. Исследовано влияние бутадиен-стирольного термоэластопласта, представляющего собой сополимер, состоящий из бутадиеновых и стирольных блоков с различным соотношением жестких, играющих роль сетки и наполнителя, и мягких фаз, определяющих гибкую эластомерную природу, с линейным или разветвленным строением, на гомополимер пропилена. Процесс смешения компонентов осуществлялся с использованием метода экструзии и последующей перегрануляцией. Температурный режим переработки и смешения полимерных материалов был подобран через проведение экспериментальной работы с сырьевыми материалами. С помощью исследования физико-механических свойств полученных полимерных материалов, было выявлено, что введение бутадиен-стирольного термоэластопласта в полипропилен позволяет получить материал, что имеет улучшенные эксплуатационные характеристики по сравнению с «оригинальным» полипропиленом. Разработанный полимерный материал более устойчив к работе в условиях эластичных нагрузок. Полученный полимерный композиционный материал имеет расширенный температурный диапазон работы за счет снижения температуры хрупкости на 30 °C и повышения ударной вязкости при -30°C. При этом полученный в ходе эксперимента полипропилен, модифицированный бутадиен-стирольным термоэластопластом является аналогом по эксплуатационным свойствам некоторым зарубежным материалам, при этом состоит из сырьевых материалов отечественного производства. С точки зрения технологии, данный материал имеет потенциал к удешевлению за счет введения в его состав минеральных наполнителей, как в зарубежных аналогах.

Ключевые слова: термоэластопласти, полипропилен, полимерные материалы, экструзия, модифицирующие добавки.

Modification of domestic polypropylene with styrene butadiene thermoplastic

Nadezhda I. Bondarenko¹ bondarenko-71@mail.ru

ID

Irina D. Skvortsova¹ suhonosovairina46@gmail.com

ID

Alexander A. Skvortsov¹ krokus.777@bk.ru

1 Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, st. Kostyukova, 46, Belgorod, 308012, Russia

Abstract. An analog of a polymer material based on homopolypropylene modified with styrene butadiene thermoplastic (SBS TEP), which is similar in operational and physico-mechanical properties, has been developed. The optimal ratio of the mass parts of the most suitable raw materials of domestic brands, namely propylene homopolymer and linear styrene butadiene thermoplastic, was selected. The effect of styrene-butadiene thermoplastics, which is a copolymer consisting of butadiene and styrene blocks with a different ratio of rigid, acting as a mesh and filler, and soft phases, defining a flexible elastomeric nature, with a linear or branched structure, on the homopolymer of propylene, has been studied. The process of mixing the components was carried out using the extrusion method and subsequent rearrangement. The temperature regime of processing and mixing of polymer materials was selected through experimental work with raw materials. By studying the physico-mechanical properties of the obtained polymer materials, it was revealed that the introduction of styrene-butadiene thermoplastic into polypropylene makes it possible to obtain a material that has improved performance characteristics compared to the "original" polypropylene. The developed polymer material is more resistant to work under elastic loads. The resulting polymer composite material has an extended operating temperature range by reducing the brittleness temperature by 30 °C and increasing the impact strength at -30°C. At the same time, the polypropylene obtained during the experiment, modified with styrene butadiene thermoplastic, is similar in performance properties to some foreign materials, while it consists of raw materials of domestic production. From the point of view of technology, this material has the potential to be cheaper due to the introduction of mineral fillers into its composition, as in foreign analogues.

Keywords: thermoplastic elastomer, polypropylene, polymer materials, extrusion, modifying additives.

Для цитирования

Бондаренко Н.И., Сквортsova И.Д., Сквортsov A.А.Модификация отечественного полипропилена бутадиен-стирольным термоэластопластом // Вестник ВГУИТ.2025. Т. 87. №. С. 234–240. doi:[10.20914/2310-1202-2025--234-240](http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025--234-240)

For citation

Bondarenko N.I., Skvortsova I.D., Skvortsov A.A.Modification of domestic polypropylene with styrene butadiene thermoplastic. Vestnik VGUIt [Proceedings of VSUET]. 2025. vol.87. no. . pp. 234–240. (in Russian). doi:[10.20914/2310-1202-2025--234-240](http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025--234-240)

Введение

Термоэластопласти (ТЭП) имеют большое распространение в отрасли полимерной промышленности, а также научной среде. Ключом к популярности этих материалов служат их уникальные свойства [1]. Термоэластопласти, будучи аналогами натурального каучука и других традиционных резин по своим характеристикам, выделяются рядом технологических и эксплуатационных преимуществ. Они позволяют осуществлять получение изделий на высокоскоростном и автоматизированном оборудовании, поддаются многократной переработке, обеспечивают безотходность процесса производства и исключают этап вулканизации из технологии [3–6].

Сфера применения термоэластопластов обширна: от производства шлангов, уплотнителей, труб и контейнеров до создания различных покрытий (включая защитные), kleев, герметиков и электроизоляционных материалов. Данные полимерные материалы также активно используются в обувной и дорожной промышленности [2–4].

Благодаря уникальному сочетанию свойств термоэластопластов, включающему эластичность и термопластичность, они служат отличными модификаторами для полимерных материалов, обеспечивая их необходимыми характеристиками даже в процессе производства.

Термоэластопласти широко применяются для модификации смесей из несовместимых гомополимеров. Поливинилароматические и полидиеновые блоки термоэластопластов, совмещаясь с соответствующими гомополимерами смесей играют роль эмульгирующего агента типа «масло в масле». Термоэластопласт влияет на степень диспергируемости фаз гомополимеров и обеспечивает адгезию на поверхности раздела фаз.

Применение термоэластопласта в качестве компонента полимерных смесей способствует улучшению ряда ключевых физико-механических показателей. В частности, наблюдается увеличение относительного удлинения, повышение устойчивости к раздиру и улучшение морозостойкости. Важным преимуществом является также повышение ударной вязкости, причем это изменение сохраняется как при положительных, так и при отрицательных температурах эксплуатации. Помимо этого, термоэластопласт способен снижать температуру текучести, что упрощает процесс переработки за счет возможности использования более низких температур. Однако стоит отметить, что перечисленные выше свойства не являются универсальными для всех типов полимеров. Процентное содержание термоэластопласта в конечной смеси подбирается индивидуально, исходя из требований к готовому изделию, его предполагаемым

условиям эксплуатации и необходимым физико-механическим характеристикам [7–9].

Наиболее часто в качестве компонентов для модификации термоэластопласти используются для полистирола, полиэтилена, полипропилена и поливинилхлорида. Важно отметить, что термоэластопласти также могут выступать в роли модификаторов полимеров и сополимеров, улучшая их характеристики. Примерами такого применения являются введение термоэластопласта для повышения ударной вязкости поли-4-метилпентена-1 или введение термоэластопласта для улучшения эластичности поликарбоната [9–11].

Термоэластопласти, применяемые как модификаторы полимеров, обогащают их свойства, что приводит к созданию полимерных композиций с расширенными эксплуатационными характеристиками. Вследствие этого, такие материалы отличаются высокой универсальностью и находят широкое применение в различных отраслях [12–15].

В зарубежных компаниях продажа таких полимерных материалов уже давно имеет большое распространение, за счет чего компании могут предложить более подходящий под запрос клиента сырьевый материал [16].

В связи с изменением политической ситуации в мире, многие зарубежные компании отказались от поставок своих сырьевых материалов из-за чего на рынке образовалась незаполненная ниша, так как ведущие отечественные производители не продают полимеры, модифицированные термоэластопластами. Несмотря на это, потребность у заводов-изготовителей в данном сырье все еще есть, в связи с чем появляется необходимость в создании доступного аналога таким материалам.

Материалы и методы

В качестве зарубежных сырьевых материалов были использованы полимерные композиции на основе полипропилена торговых марок: Expalex производства компании PolyPacific Pty. Ltd, Австралия и Finalloy производства компании Fina Chemicals, Petrofina SA, Бельгия. Характеристики данных материалов приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, данные материалы по физико-механическим свойствам являются аналогами друг для друга.

В качестве сырьевых материалов для создания аналога были использованы полимерные материалы производства компании «Сибур», имеющие торговые марки: ДСТ Л 30–01, ДСТ Р 30–00, РР Н030. Физико-механические свойства полипропилена РР Н030 приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что устойчивость к физическому воздействию при низких температурах у стандартного полипропилена на 45% ниже, чем у полипропиленов, модифицированных бутадиен-стирольным термоэластопластом.

Для связи термоэластопласта с полипропиленом использовался метод совмещения через расплав в процессе экструзии с последующей перегрануляцией.

Условная прочность при растяжении определялась согласно ГОСТ 11262–2017 и для исследуемых зарубежных полимерных композиций составляет: Expalex – 32,0 МПа и Finalloy – 32,1 МПа соответственно, согласно таблице 1.

Относительное удлинение при разрыве определялось по ГОСТ 270–75, так для исследуемых зарубежных полимерных композиций составляет: Expalex – 52% и Finalloy – 55% соответственно, что видно из таблицы 1.

Определение ударной вязкости при -30°C проводилось в соответствии с ГОСТ 4647–2015, результаты данного испытания показали, что материалы Expalex и Finalloy имеют схожие эксплуатационные характеристики при низких температурах.

Температура хрупкости, °С была измерена согласно ГОСТ 16782–92, данный эксперимент доказал, что модифицированные бутадиен-стирольным термоэластопластом полипропилены имеют достаточно высокую устойчивость к низким температурам.

Температура плавления, °С была определена по ГОСТ 21553 – 76.

Результаты и обсуждение

В рамках исследования по поиску оптимального соотношения бутадиен-стирольного термоэластопласта (СБС ТЭП) и полипропилена было сформировано шесть экспериментальных композиций. Содержание бутадиен-стирольного термоэластопласта (ДСТ Л 30–01 или ДСТ Р 30–00): пять массовых частей, десять массовых частей и двадцать массовых частей от всей полимерной смеси. Составы композиционных материалов, полученных с использованием ДСТ Л 30–01, представлены в таблице 3, а составы композитов с добавлением ДСТ Р 30–00 приведены в таблице 4.

Для создания композиционного материала был подобран оптимальный технологический режим: установлена подходящая температура расплава, чтобы структура полимера не разрушалась из-за повышенного давления в голове экструдера, и при этом все введенные компоненты полноценно смешались. Так как термоэластопласти перерабатываются в форме расплава, то температуру поднимали выше температуры плавления жестких блоков. В связи с этим,

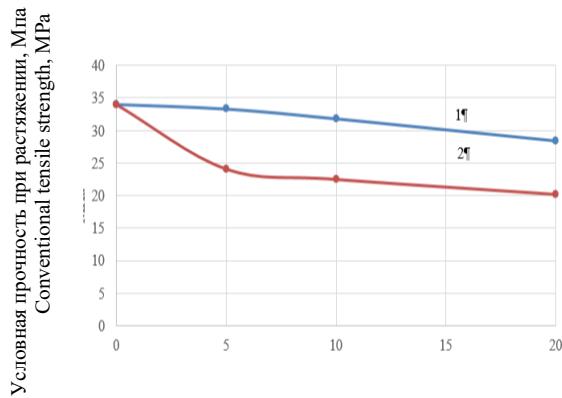
на основе данных, полученных при исследовании температур плавления материалов Expalex и Finalloy, а также полипропилена РР Н030, было выявлено, что минимально допустимая температура переработки и изготовления экспериментальных материалов составила – 165°C.

В процессе получения и изготовления образцов 1–6 (таблица 3, 4) было установлено, что 170 °C – оптимальная температура расплава при переработке, при которой не происходит температурная деструкция, а давление в голове экструдера не достигает предельно допустимых значений.

При переработке и изготовлении материалов 4–6 (таблица 4) на основе полипропилена РР Н030 и ДСТ Р 30–00 были получены образцы с большим количеством газовых включений, изменение и корректировка технологических режимов производства и переработки не дали видимого результата. При этом материалы на основе полипропилена РР Н030 и ДСТ Л 30–01 при получении и переработке имели достаточно однородную структуру. Это говорит о том, что разветвленная структура ДСТ Р 30–00 оказала негативное влияние на качество материала.

После получения и переработки материалы 1–6 прошли ряд испытаний, чтобы определить такие характеристики, как условная прочность при растяжении, относительное удлинение при разрыве, ударная вязкость при температуре -30 °C, температура хрупкости и плавления.

На рисунке 1 приведена зависимость изменения условной прочности при растяжении при соотношении полипропилен / бутадиен-стирольный термоэластопласт.



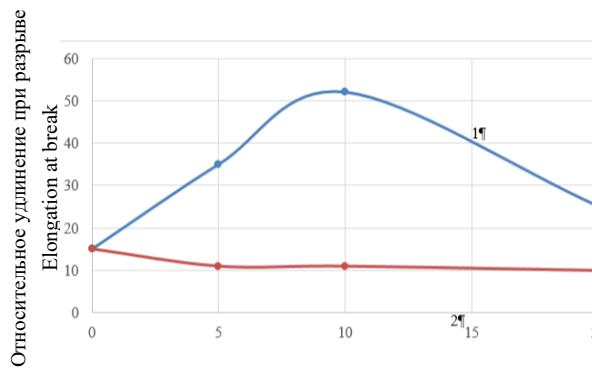
Содержание, массовые части | Contents, mass parts

Рисунок 1. Зависимость изменения условной прочности при растяжении при соотношении полипропилен / бутадиен-стирольный термоэластопласт: 1 – композиции 1–3; 2 – композиции 4–6

Figure 1. Dependence of the change in conditional tensile strength on the ratio of polypropylene to butadiene-styrene thermoelastoplast: 1 – compositions 1–3; 2 – compositions 4–6

Как следует из рисунка 1, с ростом содержания бутадиен-стирольного термоэластопласта в композиции уменьшается условная прочность при растяжении. Вместе с этим достаточно заметна разница между композициями с использованием ДСТ Л 30–01 и с использованием ДСТ Р 30–00. Этую разницу возможно объяснить наличием большого количества газовых включений в толще материала и, как следствие, значительное снижение условной прочности при растяжении и неоднородность материала. Таким образом, при использовании ДСТ Л 30–01 условная прочность при растяжении снижается максимально на 27%, а при использовании ДСТ Р 30–00 на 41%.

На рисунке 2 приведена зависимость изменения относительного удлинения при разрыве при соотношении полипропилен / бутадиен-стирольный термоэластопласт.



Содержание, массовые части | Contents, mass parts

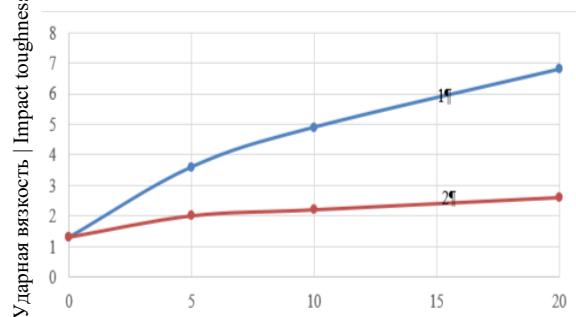
Рисунок 2. Зависимость изменения относительного удлинения при разрыве при соотношении полипропилен/бутадиен-стирольный термоэластопласт: 1 – композиции 1–3; 2 – композиции 4–6

Figure 2. Dependence of the change in relative elongation at break on the ratio of polypropylene to butadiene-styrene thermoelastoplastic: 1 – compositions 1–3; 2 – compositions 4–6

Как видно из рисунка 2, относительное удлинение при разрыве растёт по мере увеличения содержания бутадиен-стирольного термоэластопласта, но после 20 массовых частей происходит резкое снижение этого показателя. Это свидетельствует о том, что при введении 10 массовых частей ДСТ Л 30–01 в полипропилен PP H030, получившийся композиционный материал обладает наибольшей структурной подвижностью по сравнению с материалами, в которые введено 5 и 20 массовых частей ДСТ Л 30–01

Вместе с этим явно прослеживается разница между композициями, созданными на основе ДСТ Л 30–01 и ДСТ Р 30–00, и, вероятно, она связана с неоднородностью материала, в котором используется ДСТ Р 30–00. Таким образом, при использовании ДСТ Л 30–01 возможно получить материал с высоким показателем относительного удлинения при разрыве.

На рисунке 3 приведена зависимость изменения ударной вязкости при -30°C , при соотношении полипропилен/бутадиен-стирольный термоэластопласт.



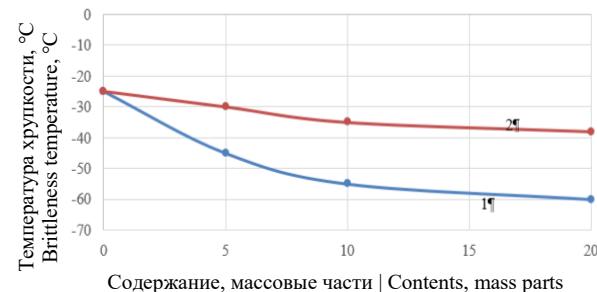
Содержание, массовые части | Contents, mass parts

Рисунок 3. Зависимость изменения ударной вязкости при -30°C при соотношении полипропилен / бутадиен-стирольный термоэластопласт: 1 – композиции 1–3; 2 – композиции 4–6

Figure 3. Dependence of the change in impact strength at -30°C at the poly-propylene / butadiene-styrene thermoelastic layer ratio: 1 – compositions 1–3; 2 – compositions 4–6

На рисунке 3 заметно, что ударная вязкость при -30°C линейно растёт по мере увеличения содержания бутадиен-стирольного термоэластопласта по сравнению с оригинальным полипропиленом.

На рисунке 4 приведена зависимость изменения температуры хрупкости, при соотношении полипропилен / бутадиен-стирольный термоэластопласт.



Содержание, массовые части | Contents, mass parts

Рисунок 4. Зависимость изменения температуры хрупкости при соотношении полипропилен / бутадиен-стирольный термоэластопласт: 1 – композиции 1–3; 2 – композиции 4–6

Figure 4. Dependence of the change in brittleness temperature at the ratio of polypropylene / butadiene-styrene thermoplastic: 1 – compositions 1–3; 2 – compositions 4–6

На рисунке 4, заметно, что с увеличением содержания бутадиен-стирольного термоэластопласта температура хрупкости линейно снижается, что говорит о повышении устойчивости материала к низким температурам. При этом важно отметить, что у полимерных композиций с применением ДСТ Л 30–01 температура хрупкости значительно ниже.

В ходе экспериментального исследования температуры плавления, ее изменение с увеличением содержания бутадиен-стирольного термоэластопласта не было выявлено.

Таким образом, использование 10 массовых частей бутадиен-стирольного термоэластопласта ДСТ Л 30-01 значительно улучшает свойства материала. Относительное удлинение при разрыве возрастает более чем в 3 раза, что критически важно для работы в условиях динамических нагрузок. Температура хрупкости снижается на 30 °C, что делает материал более устойчивым к низким температурам.

Таблица 1.
Характеристики материалов Expalex и Finalloy

Table 1.
Characteristics of Expalex and Finalloy materials

Показатель Indicator	Expalex	Finalloy
Условная прочность при растяжении, МПа Tensile strength, MPa	32,0	32,1
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	52	55
Ударная вязкость при 30°C, МПа Impact strength at 30°C, MPa	4,6	4,9
Температура хрупкости, °C Brittle point, °C	-52	-55
Температура плавления, °C Melting point, °C	165	167

Таблица 2.
Характеристики полипропилена PP H030

Table 2.
Characteristics of polypropylene PP H030

Показатель Indicator	Expalex	Finalloy
Условная прочность при растяжении, МПа Tensile strength, MPa	32,0	32,1
Относительное удлинение при разрыве, % Elongation at break, %	52	55
Ударная вязкость при 30°C, МПа Impact strength at 30°C, MPa	4,6	4,9
Температура хрупкости, °C Brittle point, °C	-52	-55
Температура плавления, °C Melting point, °C	165	167

Таблица 3.
Состав композиционного материала для эксперимента с добавлением ДСТ Л 30-01 и PP H030

Table 3.
Composition of the composite material for the experiment with the addition of DST L 30-01 and PP H030

Композиция Composition	1	2	3
Количество массовых частей полипропилена PP H030 Number of mass parts of polypropylene PP H030	95 мас. ч.	90 мас. ч.	80 мас. ч.
Количество массовых частей ДСТ Л 30-01 Number of mass parts of DST L 30-01	5 мас. ч.	10 мас. ч.	20 мас. ч.

Таблица 4.
Состав композиционного материала для эксперимента с добавлением ДСТ Р 30-00 и PP H030

Table 4.
Composition of the composite material for the experiment with the addition of DST P 30-00 and PP H030

Композиция Composition	4	5	6
Количество массовых частей полипропилена PP H030 Number of mass parts of polypropylene PP H030	95 мас. ч.	90 мас. ч.	80 мас. ч.
Количество массовых частей ДСТ Л 30-01 Number of mass parts of DST L 30-01	5 мас. ч.	10 мас. ч.	20 мас. ч.

Заключение

Введение 10 массовых частей бутадиен-стирольного термоэластопласта ДСТ Л 30-01 в полипропилен приводит к модифицированию его свойств за счет изменений в надмолекулярной структуре, при этом степень кристалличности полипропилена остается неизменной. ДСТ Л 30-01, вероятно, располагается в межкристаллитных областях полипропилена, препятствуя росту кристаллитов. При введении ДСТ Л 30-01 в размере 10 массовых частей наблюдается пик тангенса угла механических потерь, что указывает на максимальную молекулярную и структурную подвижность, минимум динамического модуля Юнга, о чём свидетельствует изменение относительного удлинения при разрыве. Это говорит об ослаблении внутри- и межмолекулярных взаимодействий в структуре полимера. Эти структурные изменения, в свою очередь, обуславливают наблюдаемые изменения физико-механических характеристик модифицированного полипропилена.

Исходя из вышеперечисленного и результатов экспериментальных исследований получившихся смесей на основе полипропилена с добавлением бутадиен-стирольного термоэластопласта возможно сделать вывод, что наиболее близкой по свойствам композицией к зарубежным материалам Expalex и Finalloy является композиция 2 с использованием 10 массовых частей от смеси бутадиен-стирольного термоэластопласта. Данная композиция является близким по свойствам аналогом, также она имеет потенциал к улучшению эксплуатационных свойств необходимых потребителю и удешевлению себестоимости за счет введения различных минеральных наполнителей.

Литература

- 1 Ковылова Ю.В., Конченкова А.Н., Ковылов А.Л. и др. Композиционные материалы на основе бутадиен-стирольного каучука // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием: сборник докладов. В 3-х ч. Ярославль, 2022. С. 116–119.
- 2 Павленко В.И., Кашибадзе В.В., Бондаренко Н.И. и др. Модифицирование наполнителя полимерных композитов силикатными системами // Международная научно-практическая конференция «Перспективные технологии и материалы»: сборник докладов. Севастополь, 2021. С. 140–143.
- 3 Трофимов А.Н., Иванов А.А., Петров С.В. и др. Характеристики полых стеклянных микросфер и проектирование легких полимерных композиционных материалов различного состава и дисперсной структуры // Известия Национальной академии наук Беларусь. Серия химических наук. 2023. Т. 59. № 1. С. 56–66.
- 4 Klyuchnikova N.V., Klepikova M.A., Denisova L.V. Finishing materials in construction using polymer composites // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 012011. P. 012011.
- 5 Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Ковылова Ю.В. и др. О возможности получения нефриттованных глазурей для керамической плитки с применением вторичных источников сырья // Вестник Технологического университета. 2023. Т. 26. № 4. С. 29–32. doi: 10.5542/1998-7072_2023_26_4_29
- 6 Бондаренко Д.О., Строкова В.В. Использование отходов промышленности для покрытий на мелкозернистом бетоне // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 256–259.
- 7 Прокопчук Н.Р., Долинская Р.М. Изготовление формовых резинотехнических изделий на основе вторичного сырья // Нефтехимия-2020: сборник статей, 2020. С. 75–76.
- 8 Гармонов И.В. История науки и промышленности синтетического каучука в СССР 1931–1990 гг. Казань: Изд-во КНИТУ, 2013. 240 с.
- 9 Евстратов В.Ф., Яшунская Ф.И. Новые каучуки. Свойства и применение: сборник переводов статей из иностранной периодической литературы. Москва: Изд-во иностранной литературы, 1958. 500 с.
- 10 Шишкина Н.Н., Закирова Л.Ю. Исследование деформационно-прочностных свойств эластомерных композиций с добавками на основе фенилкарбамида // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 8. С. 131–134. doi: 10.5542/1998-7072_2022_25_8_131
- 11 Догадкин Б.А. Химия и физика каучука. Москва; Ленинград: Госхимиздат, 1947. 422 с.
- 12 Ключникова Н.В., Пискарева А.О., Урванов К.А. и др. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 96–105. doi: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105
- 13 Спиридонов И.С., Белов А.В., Козлов Д.Н. и др. Исследование влияния бутадиен-стирольных каучуков на свойства резины для изделий, работающих в морской воде // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2024. Т. 17. № 1. С. 68–73.
- 14 Пат. 2172788 Российская Федерация, МПК C22B7/00. Способ переработки пиритных огарков / С.Н. Шин, Р.И. Гуляева; заявитель и патентообладатель Институт металлургии Уральского отделения РАН. № 2000118920/02; заявл. 17.07.2000; опубл. 27.08.2001, Бюл. № [укажите номер бюллетеня]. 7 с.
- 15 Бондаренко Н.И., Ковылова Ю.В., Даценко А.О. Пиритные огарки как наполнитель композиционного материала на основе бутадиен-стирольного каучука // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 1. С. 78–86. doi: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-78-86
- 16 Котов А.М. Полимерные поверхностно-активные вещества для повышения нефтеотдачи пластов, 2021. С. 37.
- 17 Singh P., Katiyar P., Singh H. Impact of compatibilization on polypropylene (PP) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS) blend: A review // Materials Today: Proceedings. 2023. V. 78. P. 189–197.
- 18 Yang K., Zhang L., Chen J. et al. Performance and Preparation of Styrene-Butadiene Copolymer Modified Polypropylene Matte Films // Journal of Composites Science. 2025. V. 9. № 10. P. 566.
- 19 Luna C.B.B., Silva A.L.N., Araujo R.C. et al. Transforming vulcanized styrene–butadiene waste into valuable raw material: an opportunity for high-impact polypropylene production // Polymer Bulletin. 2024. V. 81. № 1. P. 423–447.
- 20 Azeez T.O. Thermoplastic Recycling: Properties, Modifications, and Applications // Thermosoftening Plastics, 2020. P. 53.

References

- 1 Kovyllova Yu.V., Konchenkova A.N., Kovyllov A.L. et al. Composite materials based on styrene-butadiene rubber. Seventy-fifth All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates and Postgraduates with International Participation: collection of reports. In 3 parts. Yaroslavl, 2022. pp. 116–119. (in Russian)
- 2 Pavlenko V.I., Kashibadze V.V., Bondarenko N.I. et al. Modification of filler of polymer composites with silicate systems. International Scientific and Practical Conference "Advanced Technologies and Materials": collection of reports. Sevastopol, 2021. pp. 140–143. (in Russian)
- 3 Trofimov A.N., Ivanov A.A., Petrov S.V. et al. Characteristics of hollow glass microspheres and design of lightweight polymer composite materials of various composition and dispersed structure. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Chemical Sciences. 2023. vol. 59. no. 1. pp. 56–66. (in Russian)
- 4 Klyuchnikova N.V., Klepikova M.A., Denisova L.V. Finishing materials in construction using polymer composites. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. vol. 880. p. 012011.
- 5 Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Kovyllova Yu.V. et al. On the possibility of obtaining unglazed glazes for ceramic tiles using secondary raw material sources. Bulletin of the Technological University. 2023. vol. 26. no. 4. pp. 29–32. doi: 10.5542/1998-7072_2023_26_4_29 (in Russian)
- 6 Bondarenko D.O., Strokska V.V. Use of industrial waste for coatings on fine-grained concrete. Resource and Energy Efficient Technologies in the Regional Construction Complex. 2018. no. 10. pp. 256–259. (in Russian)

- 7 Prokopchuk N.R., Dolinskaya R.M. Manufacture of molded rubber products based on secondary raw materials. Petrochemistry-2020: collection of articles, 2020. pp. 75–76. (in Russian)
- 8 Garmonov I.V. History of the science and industry of synthetic rubber in the USSR 1931–1990. Kazan: Publishing House of KNRTU, 2013. 240 p. (in Russian)
- 9 Evstratov V.F., Yashunskaya F.I. New rubbers. Properties and applications: collection of translations of articles from foreign periodical literature. Moscow: Publishing House of Foreign Literature, 1958. 500 p. (in Russian)
- 10 Shishkina N.N., Zakirova L.Yu. Investigation of deformation and strength properties of elastomeric compositions with additives based on phenylcarbamide. Bulletin of the Technological University. 2022. vol. 25. no. 8. pp. 131–134. doi: 10.5542/1998-7072_2022_25_8_131 (in Russian)
- 11 Dogadkin B.A. Chemistry and physics of rubber. Moscow; Leningrad: State Chemical Publishing House, 1947. 422 p. (in Russian)
- 12 Klyuchnikova N.V., Piskareva A.O., Urvanov K.A. et al. Influence of shungite on the operational properties of polymer composite material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. no. 2. pp. 96–105. doi: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105 (in Russian)
- 13 Spiridonov I.S., Belov A.V., Kozlov D.N. et al. Study of the influence of styrene-butadiene rubbers on the properties of rubber for products operating in sea water. Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2024. vol. 17. no. 1. pp. 68–73. (in Russian)
- 14 Shin S.N., Gulyaeva R.I. Method for processing pyrite cinders. Patent RF, no. 2172788, 2001. (in Russian)
- 15 Bondarenko N.I., Kovyllova Yu.V., Datsenko A.O. Pyrite cinders as filler for composite material based on styrene-butadiene rubber. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. no. 1. pp. 78–86. doi: 10.34031/2071-7318-2023-9-1-78-86 (in Russian)
- 16 Kotov A.M. Polymeric surfactants for enhanced oil recovery, 2021. p. 37. (in Russian)
- 17 Singh P., Katiyar P., Singh H. Impact of compatibilization on polypropylene (PP) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS) blend: A review. Materials Today: Proceedings. 2023. vol. 78. pp. 189–197.
- 18 Yang K., Zhang L., Chen J. et al. Performance and Preparation of Styrene-Butadiene Copolymer Modified Polypropylene Matte Films. Journal of Composites Science. 2025. vol. 9. no. 10. p. 566.
- 19 Luna C.B.B., Silva A.L.N., Araujo R.C. et al. Transforming vulcanized styrene–butadiene waste into valuable raw material: an opportunity for high-impact polypropylene production. Polymer Bulletin. 2024. vol. 81. no. 1. pp. 423–447.
- 20 Azeez T.O. Thermoplastic Recycling: Properties, Modifications, and Applications. Thermosoftening Plastics, 2020. p. 53.

Сведения об авторах

Надежда И. Бондаренко к.т.н., доцент, кафедра технологии стекла и керамики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия, bondarenko-71@mail.ru

 <https://orcid.org/введите здесь orcid>

Ирина Д. Сквортова малярант, кафедра технологии стекла и керамики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия, suhonomosovairina46@gmail.com

Александр А. Сквортsov малярант, кафедра технологии стекла и керамики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия, krokus.777@bk.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за plagiat

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nadezhda I. Bondarenko Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Glass and Ceramics Technology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, st. Kostyukova, 46 Belgorod, 308012, Russia, bondarenko-71@mail.ru

 <https://orcid.org/введите здесь orcid>

Irina D. Skvortsova Master student, Department of Glass and Ceramics Technology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, t. Kostyukova, 46 Belgorod, 308012, Russia, suhonomosovairina46@gmail.com

Alexander A. Skvortsov Master student, Department of Glass and Ceramics Technology, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, t. Kostyukova, 46 Belgorod, 308012, Russia, krokus.777@bk.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/08/2025

После редакции 25/08/2025

Принята в печать 04/09/2025

Received 11/08/2025

Accepted in revised 25/08/2025

Accepted 04/09/2025
