

DOI: 10.32864/polymmattech-2020-6-1-6-24

УДК 678.029.46

## РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ (ОБЗОР)

Р. М. ДОЛИНСКАЯ<sup>+</sup>, Н. Р. ПРОКОПЧУК<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь

*Описаны виды отходов резинотехнических изделий и показана возможность их использования. Наиболее крупными по габаритам, многотоннажными и сложными по составу отходами резины являются автомобильные шины. Производство шин для автотехники, мототехники, транспортёрных лент, шлангов, дорожных и строительных машин, колесных тракторов постоянно растёт, а следовательно, непрерывно увеличиваются и отходы их потребления. Проблема их утилизации остро стоит во всех индустриально развитых странах. Несмотря на существование множества способов переработки шин и использование продуктов их утилизации, объём переработки покрышек в настоящее время не превышает 30%. В основном это связано со значительными материальными затратами, организацией дополнительных производств и недостаточной эффективностью известных процессов. Независимо от способов утилизации автомобильных шин и различных резинотехнических изделий всегда стремятся получить ту продукцию, которая успешно реализуется на рынке. В настоящее время к такой продукции относятся: регенерат; резиновая крошка; жидкие углеводородные смеси; пиролизный газ. Наибольшее внимание уделяется первым двум видам отходов. Регенерат — пластичный материал, способный подвергаться технологической обработке, вулканизоваться при введении в него вулканизирующих агентов. Добавление регенерата в резиновые смеси позволяет экономить каучук, наполнители, пластификаторы. Регенерат способствует увеличению стойкости к атмосферному старению и окислению, к повышенной температуре, сопротивлению к разрастанию трещин. Резиновую крошку получают путем измельчения вулканизованных резиновых отходов. Применяют крошку с диаметрами частиц от 0,2 до 3 мм. Используют в качестве эластичного наполнителя, что позволяет производить покрытия для пола спортивных и промышленных сооружений, различные виды резинотехнических изделий, асфальтобитумные смеси.*

**Ключевые слова:** отходы резин, рециклинг, резиновая крошка, регенерат, методы утилизации резинотехнических изделий, тонкоизмельченный резиновый порошок, пластифицированный измельченный вулканизат.

## RECYCLING OF WASTE OF RUBBER PRODUCTS (REVIEW)

R. M. DOLINSKAYA<sup>+</sup>, N. R. PROKOPCHUK<sup>1</sup>Belarusian State Technological University, Sverdlov St., 13a, 220006, Minsk, Belarus

*The types of waste are described and the possibility of their use is shown. The largest in size, large-tonnage and complex in composition rubber waste are car tires. The production of tires for vehicles, motorcycles, conveyor belts, hoses, road and construction machines, wheeled tractors is constantly growing, and therefore, their consumption waste is constantly increasing. The problem of their disposal is acute in all industrialized countries. Despite the existence of many ways to recycle tires and use the products of their disposal, the volume of tire recycling does not currently exceed 30%. This is mainly associated with significant material costs, the organization of additional production and insufficient efficiency of the known processes.*

\* Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: raisa\_dolinskaya@mail.ru

Regardless of how to dispose of car tires and various rubber products, products always strive to get the one that is successfully sold on the market. Currently they include: regenerate; rubber crumb; liquid hydrocarbon mixtures; pyrolysis gas. The greatest attention is paid to the first two names. Regenerate is a plastic material capable of undergoing technological treatment, vulcanized with the introduction of vulcanizing agents. Adding regenerate to rubber compounds allows saving rubber, fillers, plasticizers. Regenerate helps to increase resistance to atmospheric aging and oxidation, to elevated temperature, resistance to the growth of cracks. Crumb rubber — produced by grinding vulcanized rubber waste. Apply crumb with particle diameters from 0.2 to 3 mm. Used as an elastic filler that allows you to produce floor coverings for sports and industrial facilities, various types of rubber products, asphalt bitumen mixtures.

**Keywords:** ubber waste, recycling, crumb rubber, regenerate, rubber products recycling methods, overground rubber powders, plasticized crushed vulcanizates.

## Введение

В настоящее время нерациональное использование природных ресурсов привело не только к их истощению, но и к значительному загрязнению окружающей среды. В связи с этим перед человечеством встают две задачи:

– научиться тщательней и бережливей извлекать то, что еще осталось;

– по возможности, готовить заменители исчезающих и/или дорогих сырьевых продуктов [1–11].

Рост потребности в природном сырье, становящемся все более дефицитным и дорогостоящим, требует изыскания путей его экономии. Одним из таких путей является переработка и использование вторичного сырья. Вопросу экономии материалов и использованию вторичных ресурсов в настоящее время уделяют большое внимание. Поэтому важной задачей промышленности является максимально полное использование отходов в качестве вторичных материальных ресурсов как источника получения сырья и энергии, а также вместо первичного сырья, в частности в резиновой промышленности, для изготовления деталей технологического назначения, изделий ширпотреба и хозяйственного обихода [12].

Одним из основных видов многотоннажных экологически опасных отходов являются отработанные

резинотехнические изделия: автомобильные шины, транспортные ленты, шланги и др. Переработка вторичных материальных ресурсов, в частности вышедших из эксплуатации шин и других резиновых изделий, имеет большое технико-экономическое и экологическое значение. Автомобильные шины являются наиболее крупными по габаритам, многотоннажными и сложными по составу отходами резины. Опасности, связанные с накоплением отходов, могут привести к проблемам здоровья и ухудшению окружающей среды, так как этот вид отходов не подвергается достаточно быстрому самопроизвольному разложению и сохраняется в малоизменяемом виде десятки лет, в течение которых он наносит вред окружающей среде, т. е. является долговременным экологически опасным отходом [13]. Выброшенные на свалки (рис. 1) либо закопанные шины разлагаются в естественных условиях не менее 100 лет. Контакт шин с дождевыми осадками и грунтовыми водами сопровождается вымыванием ряда токсичных органических соединений: дифениламина, дибутилфталата, фенантрена и т. д. Все эти соединения попадают в почву. Нагромождения шин могут по тем или иным причинам возгораться, а затушить их весьма затруднительно — известны случаи, когда изношенные шины горели в течение нескольких месяцев. Это приводит к образованию плотного дыма,



Рисунок 1 — Свалка изношенных автомобильных шин [<http://www.1util.ru>]

Fig. 1 — Dump of used tires [<http://www.1util.ru>]

содержащего частицы технического углерода и многочисленные вредные продукты горения [1, 14–15]. Современные технологии их утилизации также экологически вредны для окружающей среды [14, 16]. Следовательно, полная утилизация резинотехнических изделий невозможна с точки зрения экономики и здравоохранения [17–19], в связи с чем важным и актуальным направлением является вторичное использование изношенных резинотехнических изделий, создание новых материалов и изделий на основе отходов резинотехнических производств и утильных резин.

**Цель работы** — анализ типов и свойств резинотехнических отходов различных отраслей промышленности и изучение возможности их применения в ресурсосберегающих технологиях создания резиновых изделий.

### Общие направления переработки резинотехнических изделий

Производство шин для автотехники, мототехники, транспортерных лент, шлангов, дорожных и строительных машин, колесных тракторов постоянно растет, а, следовательно, непрерывно увеличиваются и отходы их потребления. Проблема их утилизации остро стоит во всех индустриально развитых странах. Несмотря на существование множества способов переработки изношенных шин и использование продуктов их утилизации, объем переработки покрышек в настоящее время не превышает 30%. В основном это связано со значительными материальными затратами, организацией дополнительных производств и недостаточной эффективностью известных процессов.

Различные государства по-разному подходят к понятию утилизации шин [20–21]. Так в Германии, Великобритании и Италии считают оптимальной областью использования изношенных шин получение электроэнергии. Во Франции предпочтение отдается использованию изношенных шин в качестве топлива в цементной промышленности, сжиганию их вместе с городскими отходами и использованию резиновой крошки в дорожном строительстве. Япония отдает предпочтение пиролизу шин, а также получению резиновой крошки. Частицы размером менее 1 мм используются для изготовления балластных и пластинчатых матов, применяемых для предотвращения колебаний полотна железной дороги. В большинстве развитых стран законодательно закреплён тот факт, что 22% покрытия автодорог должны содержать резинобитумные связующие с резиновой крошкой [15, 22–27].

Проблема утилизации отработанных автомобильных покрышек, разрабатываемая в большинстве развитых стран мира уже в течение десятилетий, в странах постсоветского пространства, в том числе в Республике Беларусь, находится лишь на ранней стадии развития.

Однако необходимость интенсификации работ в этом направлении обусловлена не только

опасностью накопления отходов, но и их преимуществами перед другими полимерными материалами. В первую очередь резина без изменения ее структуры может быть использована для создания новых изделий, например, искусственных рифов, звукозащитных барьеров, для защиты почвенных склонов от эрозии, плавающих волнорезов и т. п. [28]. Благодаря высокой поверхностной пористости резины, значительному количеству технического углерода в переработанной резине и способности к набуханию при проникновении масла отработанную шинную резину используют в качестве абсорбента нефти и нефтепродуктов [17]. Одним из главных достоинств этих отходов является их высокая теплотворная способность, значительно превосходящая по этому параметру уголь, что делает их хорошим материалом для производства энергии или восстановления отдельных ее компонентов при необходимости [9, 29–32]. Кроме того, повторное использование резины в виде резиновой крошки позволяет получать дорожные покрытия, например, в виде асфальтобетонной смеси, а также использоваться в качестве покрытий для детских и спортивных площадок и может являться системой фильтрации для очистки сточных вод [15, 18–20, 33–41].

Предлагаемый перечень изделий из отходов резины [4, 23, 42–64]: рулонный кровельный и гидроизоляционный материал; формовые резиновые изделия для сельского хозяйства; резиновые технические изделия для сантехники; резиновые и резинобитумные мастики; звуко- и теплоизоляционные материалы; порошки резиновые для производства ударопрочных пластмасс и резинопластов; порошки резиновые модифицированные — ингредиенты резиновых смесей в производстве новых шин, резинотехнических изделий; бикомпонентные наполнители для изделий из пластмасс и резины; товарная резиновая крошка; плиты для полов промышленных зданий и животноводческих ферм; поддоны для перевозки кирпича; «европоддоны»; плиты для переездов через железные дороги и трамвайные пути; резино-пластмассовая черепица; резиновый шифер.

### Виды вторичного сырья, получаемого в результате рециклинга резинотехнических отходов

*Резиновые отходы, образовавшиеся до стадии вулканизации*, по свойствам мало отличаются от исходных резиновых смесей и могут возвращаться в производство без значительной обработки. Эти отходы являются ценным сырьем и зачастую перерабатываются на стадии формования.

*Отходы вулканизированных резин*. Сложнее обстоит дело с переработкой вулканизированных резин, поскольку в отличие от других материалов они обладают высокой эластичностью, т. е. способностью подвергаться значительным (до 1000%) обратимым деформациям при малых напряжениях, что затрудняет их измельчение, являющееся первой стадией переработки практически любых твердых отходов. Несмотря на это, вулканизирован-

ные резиновые отходы также являются ценным вторичным сырьем, но требуют перед рециклингом тщательной обработки и подготовки.

Учитывая требования современного рынка, в настоящее время к наиболее востребованным видам вторичного сырья, получаемого путем переработки резинотехнических отходов, относятся:

- 1) регенерат;
- 2) резиновая крошка;
- 3) жидкие углеводородные смеси;
- 4) пиролизный газ.

Регенерат — пластичный материал, способный подвергаться технологической обработке, вулканизоваться при введении в него вулканизирующих агентов. Добавление регенерата в резиновые смеси позволяет экономить каучук, наполнители, пластификаторы. Регенерат способствует увеличению стойкости к атмосферному старению и окислению, к повышенной температуре, сопротивлению к разрастанию трещин [65].

Резиновая крошка — сырье, получаемое путем измельчения вулканизованных резиновых отходов. Применяют крошку с диаметрами частиц от 0,2 мм до 3 мм [66]. Используют в качестве эластичного наполнителя, что позволяет производить покрытия для пола спортивных и промышленных сооружений, различные виды резинотехнических изделий, асфальтобитумные смеси.

Жидкие углеводородные смеси — продукт пиролиза автомобильных шин, полученный в результате термообработки изношенных шин в реакторе с наружным обогревом при температуре 500 °С. Жидкие продукты пиролиза не соответствуют требованиям, предъявляемым к котельному топливу. Однако 60% их добавка к нефтяным или другим топливам позволяет применять их в качестве источника энергии [67].

Пиролиз покрышек производится с выделением газа, который по своим характеристикам схож с природным. Большая часть данного газа в результате горения в печи разделяется на жидкие фракции, а также невыпадающие в осадок остатки, которые поддерживают разложение резины.

Пиролизный газ образуется в процессе высокотемпературного пиролиза при 650–750 °С под низким давлением, применяется в основном для получения углеводородсодержащих газов [68]. Пиролизный газ, как правило (если нет специальных задач), используется в виде топлива для покрытия затрат тепла на собственно процесс пиролиза [69].

Наибольшее внимание уделяется первым двум видам отходов. Объясняется это следующими причинами. Миллионы изношенных шин, содержащих 65% высококачественной резины, представляют ценнейшее сырье — использование регенерата и резиновой крошки обеспечивает достаточную экономию сырья, а продукты рециклинга возможно снова использовать в резиновых смесях [1, 14, 16, 70, 15, 17, 22, 43, 71–73]. В настоящее время существует ряд технологических

направлений рециклинга отработавших автомобильных шин и других резинотехнических отходов: использование материала шин как такового; термохимическая модификация материала шин; сжигание автомобильных шин, восстановление, захоронение, использование изношенных шин, сжигание в цементных печах для получения энергии, переработка в крошку (любым способом — криогенным, с помощью озона, взрывоциркулярным, механическим и т. д.). Во всех случаях необходима предварительная операция измельчения шин, которая в значительной мере определяет экономические показатели конкретных технологий утилизации [1, 14, 43, 74–82]. При всех известных способах измельчения шины сначала разрезаются на куски, затем на все более мелкие части и на крошку. И уже из крошки получают резиновый порошок [14, 75, 83].

К настоящему времени лишь механические способы переработки изношенных шин и других резинотехнических отходов являются наиболее экономически выгодными, экологически чистыми технологиями переработки [22] и позволяют получать регенерат и резиновую крошку, которые в свою очередь, являются основой (сырьем) для получения промышленных товаров [4, 44, 84–87]. Неоспоримыми преимуществами механического диспергирования по сравнению с химическими методами являются: возможность получения дисперсного каучукосодержащего продукта с максимально сохраненной микроструктурой, экологичность переработки, низкая трудоемкость и низкие капитальные затраты на организацию производства. В настоящее время ведутся разработки оборудования, позволяющего реализовать различные методы измельчения, получая в том числе и тонкодисперсные порошки резины [88].

В результате переработки изношенных автомобильных шин скоростным механическим методом получается резиновый тонкодисперсный порошок, с дисперсностью 0,1 мм, с высокоразвитой удельной поверхностью. Скоростной способ переработки является полностью механическим, без применения криогенных технологий, что позволяет избежать вредных выбросов в окружающую среду и сохранить высокоразвитую и активную поверхность измельченного резинового порошка [89].

### Использование регенерата

Применение регенерата в резиновых смесях позволяет ускорить процесс смешения. Поскольку регенерат содержит диспергированные ингредиенты, затраты энергии уменьшаются. Использование регенерата улучшает технологические свойства смесей, повышает скорость вулканизации, сокращает расход химикатов. Вулканизаты, содержащие регенерат, характеризуются более высокой стойкостью к окислению и тепловому старению, однако уменьшаются эластичность, предел прочности при растяжении и раздире, сопротивление истиранию и усталостная прочность. Снижение прочности ограничивает применение регенерата [90].

Разработан сверхтонкий регенерат, представляющий собой тонкодисперсный порошок с размером частиц 0,02 мм. Процесс получения сверхтонкого регенерата осуществляется механическим измельчением вулканизатов при температуре окружающей среды без применения или с применением химических добавок, вызывающих девулканизацию. Корректировкой рецептуры, в частности, вулканизирующей группы, удалось получить высокие физико-механические свойства протекторных резин при содержании порошка до 100–150 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука [91].

### Использование резиновой крошки

В настоящее время растет количество публикаций, относящихся к изготовлению неотвержденных изделий [33, 82, 86, 92–96]: технологических пластин, труб, резиновых плит и т. д.

Имеются публикации о применении резиновой крошки в качестве добавки к композициям на основе пластмасс для изготовления тепло- и звукоизоляционных, защитных и изоляционных материалов. К таким композициям относятся: полиуретановая смола + мел + дробленая резина [93–94]; фенолформальдегидная смола + резиновая крошка [5]; отходы производства синтетического каучука, а также полиэтилен + резиновая крошка [2, 48–58, 88, 97–100].

Одним из способов промышленной утилизации шинных отходов является использование продуктов их переработки при строительстве автомобильных дорог. При этом получаемая резиновая крошка добавляется либо в битум с получением резинобитумного вяжущего («мокрый» способ), либо в асфальтобетонную смесь в процессе ее приготовления («сухой» способ). Одна из главных проблем получения резинобитумных вяжущих состоит в выборе размера резиновой крошки. Анализ номенклатуры размеров выпускаемой резиновой крошки показал, что резиновая крошка выпускается размером до 1 мм, 1–2 (1–3) мм и 2–5 (3–5) мм.

В работе [101] нами установлено, какая из фракций наиболее пригодна для получения резинобитумных вяжущих. Авторами [40] проведены исследования влияния размеров крошки на технологические параметры, такие как температура и время приготовления, необходимые для растворения резиновой крошки до размера неоднородностей, не превышающих 0,1 мм, а также физико-химические показатели композиционного вяжущего, такие как температура размягчения по кольцу и шару и низкотемпературные свойства. Резинобитумное вяжущее получали в две стадии, на первой стадии получали суспензию, а на второй — конечный продукт. Это связано с тем, что при длительном высокотемпературном воздействии химический состав битума изменяется с увеличением высокомолекулярных (в том числе и твердых) и уменьшением низкомолекулярных соединений. Суспензию на основе резиновой крошки размером менее 1 мм получить не удалось. Это связано с

тем, что удельная поверхность частиц такой резиновой крошки достаточно большая и для ее полного смачивания оказалось недостаточным количество пластификатора, что потребовало дополнительного введения вяжущего, но при этом не удалось сохранить свойства исходного битума.

Отношение максимального диаметра резиновой крошки к минимальному диаметру также оказывает существенное влияние на качество вяжущего. При величине отношения максимального диаметра к минимальному 10 и более в процессе приготовления вяжущего происходит полная деструкция мелких частиц резины с образованием низкомолекулярных углеводородных соединений и только частичная деструкция крупных частиц. Это приводит к снижению температуры размягчения по кольцу и шару резинобитумного вяжущего, составленного в нашем случае +42 °С, в то время как у исходного битума данный показатель равнялся +44 °С.

Однако применение тонкодисперсной резиновой крошки позволило получить резинобитумное вяжущее при невысокой температуре (185–195 °С) и при относительно небольшом времени перемешивания (1,0–1,5 ч).

С целью сопоставления результатов исходная резиновая крошка размером менее 1 мм была просеяна через сито № 0,5, и при аналогичных технологических параметрах получено резинобитумное вяжущее на резиновой крошке фракции 0,5–1,0 мм. Температура размягчения по кольцу и шару полученного композиционного материала составила +50 °С. При изгибе пластин с вяжущим на стержне диаметром 10 мм (косвенная характеристика температуры хрупкости по Фраасу) при температуре –25 °С трещины не образовались (температура хрупкости по Фраасу не превышает –25 °С).

На первой стадии получения резинобитумного вяжущего при использовании резиновой крошки размером 1–3 мм поверхность всех частиц резины оказалась достаточно смоченной для того, чтобы происходило их набухание и последующее растворение. При температуре 185–195 °С процесс растворения резины протекал медленно и через 6 часов заметного уменьшения размеров частиц не наблюдалось. При увеличении температуры до 200–220 °С произошло растворение резиновой крошки за 2,0–2,5 ч. Температура размягчения по кольцу и шару полученного резинобитумного вяжущего составила +55 °С, температура хрупкости по показателю гибкости не выше –25 °С. Таким образом, при использовании резиновой крошки размером 1–3 мм удалось получить резинобитумное вяжущее, имеющее значительно лучшие физико-химические характеристики, чем у исходного битума (температура размягчения по кольцу и шару +44 °С, температура хрупкости по Фраасу –17 °С).

Резиновая крошка размером от 3 мм до 5 мм практически не растворялась в вяжущем при температуре 210–220 °С, увеличение температуры до 235–245 °С привело к выгоранию пластификатора,

частицы резины оказались в полном объеме не смоченными и начали распадаться с образованием низкомолекулярных соединений. Полный распад наблюдали через 3,0–3,5 ч. Это привело к тому, что резинобитумное вяжущее имело температуру размягчения по кольцу и шару +45 °С, а температуру хрупкости через показатель гибкости выше –25 °С.

Таким образом, можно сделать вывод, для достижения более равномерной деструкции резины и улучшения физико-химических свойств резинобитумного вяжущего отношение максимального размера резиновой крошки к минимальному должно быть наименьшим, а размер частиц резиной крошки 1–3 мм.

### Использование тонкоизмельченного порошка резины

Наибольший интерес вызывают тонкоизмельченные (независимо от способа получения) резиновые порошки. Благодаря более высокой степени дисперсности они могут использоваться в тех же резинах, что и крошка, но со значительно большей эффективностью и в больших дозировках. Изделия, содержащие тонкоизмельченные резиновые порошки, по качеству и внешнему виду превосходят изделия с крошкой. Подобно резиновой крошке тонкоизмельченный резиновый порошок находит применение как в неответственных, так и в ответственных резинотехнических изделиях.

Известен способ [45] изготовления кровли, который включает в себя вальцевание порошка при температуре более 170 °С и зазоре, близком к нулю, до состояния чешуек, смешения их с поливинилхлоридом и последующее формование в листы. На 100 мас. ч. поливинилхлорида вводят 10–80 мас. ч. утильной резины (размер порошка до 0,1 мм). В эту смесь могут быть также добавлены обычные наполнители, пластификаторы, окрашивающие агенты.

Различные композиции для покрытий [4, 97–98, 102–106] составляют из порошков с размерами частиц 0,3 мм, короткого волокна и смолы смешением с натуральным или синтетическим латексом или резорциноформальдегидной смолой. Изготавливают смесь измельченной резины и дорожного битума, которую специальной обработкой превращают в устойчивую тиксотропную эмульсию, способную к течению при перемешивании. Для приготовления композиции в качестве связующего применяют также жидкий полибутадиен, уретановый форполимер.

Процесс изготовления композиции для литья изделий под давлением включает измельчение утильных шин до частиц размером 0,5 мм, добавление десульфорирующего агента к полученной порошкообразной массе, добавление к полученной аморфной массе на 10 мас. ч. 0,2–2,0 мас. ч. серы, перемешивание, введение 30,0–100,0 мас. ч. термопластичной смолы и последующую высокотемпературную обработку смеси. Изделия имеют превосходный внешний вид [3, 84, 107–108].

Для изготовления формовых изделий используют [46, 109–112] резиновую смесь с высокими прочностными показателями, которая включает 5–95% каучука, 95–5% тонкоизмельченного резинового порошка, полученного измельчением утильных шин, и ряд других добавок и обычно применяемых ингредиентов.

Тонкоизмельченную резину с размером частиц 0,3–0,8 мм используют при изготовлении антиадгезива для крошки каучука и резиновой смеси с целью снижения слипаемости крошки в процессе хранения и повышения ее сыпучести [46].

Авторы [49, 53–56, 58, 109–112] исследовали возможность полностью исключить из состава эластомерных композиций каучук для создания на основе резиновой крошки полимерных композиций. В результате была разработана рецептура эластомерного материала и показана целесообразность его использования в напольных и дорожных покрытиях. Разработанное полнопрофильное эластомерное покрытие, по сравнению с металлическим, обладает хорошими амортизационными свойствами. Используется при строительстве железнодорожных переездов. Переезд такой конструкции долговечен и практически не требует обслуживания даже в зимнее время, так как материал покрытия имеет способность к самоочищению от образовавшейся наледи. В районах с нормированным уровнем шума, шумопоглощающие покрытия снижают шум в деловых и жилых кварталах (рис. 2, а)

Напольное покрытие, изготавливаемое в виде пластин (рис. 2, б), предназначено для покрытия деревянных, бетонных и др. полов в тренажерных залах, в гаражах, у входов в здания и т. д. Благодаря рельефной поверхности настил из резиновых пластин обеспечивает хорошее сцепление, не скользит. Пластины выпускают черные и цветные трех видов: центральная, угловая и боковая пластины с размерами 500×500 мм с рисунком на поверхности высотой 5 мм, диаметром 18 мм, общей высотой 15 мм. С помощью соединительных планок из ПЭВД обеспечивается соединение и крепление плит между собой в размер, кратный 500 мм.

В табл. 1, 2 представлены результаты испытаний разработанных материалов. Установлено, что значения физико-механических показателей материалов, полученных из вторичного сырья, регенерата и крошки, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к плитам напольным и покрытиям транспортных переездов.

Известен способ изготовления искусственной кожи с тонким вогнуто-выпуклым рисунком на поверхности [57], который предусматривает добавление частиц тонкоизмельченной резины с размером менее 1,27 мм к раствору винилхлоридной смолы, введение других ингредиентов (жидкого каучука, пластификаторов, стабилизаторов), интенсивное перемешивание смеси, нанесение

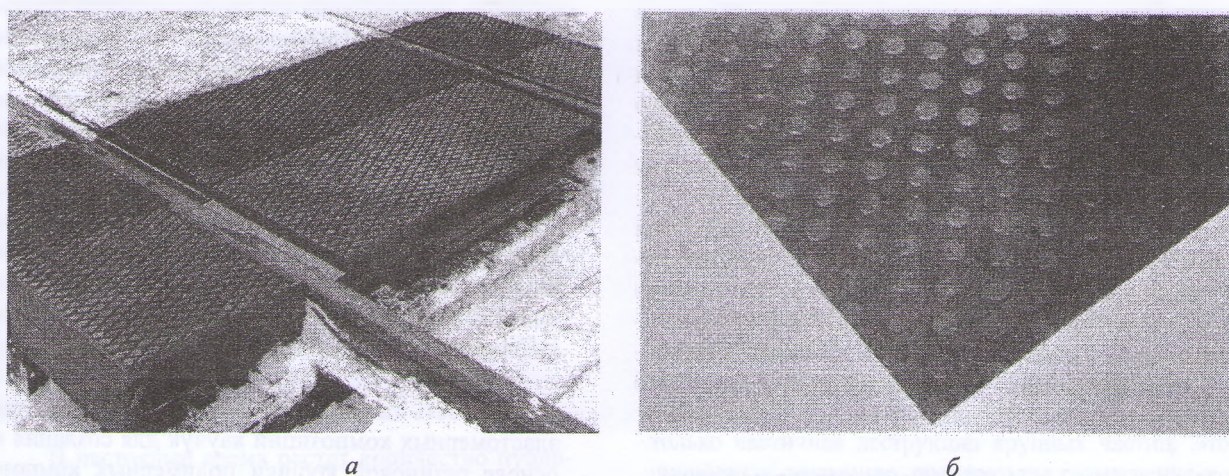


Рисунок 2 — Транспортные переезды (а) и напольные покрытия (б) с использованием отходов из резины [58]  
Fig. 2 — Railroad crossings (a) and floorings (b) using rubber waste [58]

Таблица 1 — Физико-механические показатели композиций для изготовления массива плит напольных  
Table 1 — Physical and mechanical properties of compositions for the manufacturing of an array of floor slabs

Наименование показателя	Образцы				
	1	2	3	4	5
Условная прочность при растяжении, МПа	1,6	1,8	2,4	2,0	1,9
Относительное удлинение при разрыве, %	80	75	69	58	50
Твердость по Шору А, ед. Шора	70	75	80	80	80

Таблица 2 — Физико-механические свойства композиций для изготовления цветного слоя плит напольных  
Table 2 — Physical and mechanical properties of compositions for the manufacturing of a color layer of floor slabs

Наименование показателя	Образцы							
	6	7	8	9	10	11	12	
Условная прочность при растяжении, МПа	5,9	6,3	6,8	6,9	7,0	7,2	7,5	
Относительное удлинение при разрыве, %	350	340	320	310	300	290	280	
Твердость по Шору А, ед. Шора	55	60	65	67	67	68	70	
Сопrotивление истиранию, Дж/мм <sup>3</sup>	2,5	2,1	1,8	1,6	1,2	0,9	0,9	

полученного раствора на ткань, трикотажное полотно и другие материалы, тепловую обработку материала при 100–180 °С до отверждения раствора и последующее придание ворсистости. Количество тонкоизмельченного резинового порошка составляет более 15 мас. ч. на 100 мас. ч. раствора винилхлоридной смолы. Искусственная кожа характеризуется превосходными морозостойкостью и мягкостью. Ее применяют для изготовления одежды, перчаток.

Особый интерес представляет применение тонкоизмельченного резинового порошка в качестве основного ингредиента резиновых смесей. Например, из резинового порошка формуют листы методом компрессионного формования при 100–250 °С под давлением более 1,0 МПа без использования других ингредиентов, а также при добавлении 0,3–3 мас. ч. (на 100 мас. ч. крошки) ускорителя вулканизации, 0,5–4 мас. ч. стеариновой кислоты и последующим формованием смеси при повышенных температуре и давлении. Полученные резиновые листы могут быть использованы при изготовлении звуко-

непроницаемых стен, полов, покрытий [53].

Для улучшения технологических свойств резиновых смесей, снижения себестоимости на 20–40% и потребления энергии в них вводится тонкоизмельченный резиновый порошок с величиной частиц менее 0,2 мм, получаемый по специально разработанной технологии [54]. Свойства резиновых смесей остаются на уровне смесей без добавок даже при высокой степени наполнения. В Германии используют резиновый порошок из утильных шин с размерами частиц около 0,5 мм, предварительно обработанный специальным составом на вальцах, в качестве наполнителя резиновых смесей. При введении 20% порошка наблюдается рост модуля упругости, показателей эластичности, прочности, сопротивления раздиру. Причем порошок, специально обработанный этим составом, дает лучшие результаты по износостойкости композиций [113].

Представляют интерес резиновые смеси [55], в которые тонкоизмельченный резиновый порошок вводится с целью повышения усталостной выносливости резин. Благодаря этому качеству, а

также возможности повышения износостойкости и сохранения прочности, тонкоизмельченный резиновый порошок может использоваться в шинных резиновых смесях.

Работами отечественных и зарубежных авторов [24–25, 47, 56, 62–63, 88, 99–100, 102–103] показана возможность применения тонкодисперсного резинового порошка в протекторных резиновых смесях, как при изготовлении, так и при восстановительном ремонте шин. Так, например, введение в протекторные резины до 50% измельченного вулканизата с размером частиц около 0,3 мм практически не влияет на характеристики шин.

ОАО «Чеховский регенератный завод» и ЗАО «Невинномысский шиноремонтный завод» используют в протекторных резинах при восстановительном ремонте шин резиновый порошок размером до 0,5 мм в количестве до 5 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука, получаемый доизмельчением отходов, образующихся при шероховке автопокрышек.

На Ярославском шинном заводе внедрена технология изготовления шин, содержащих в протекторе и каркасе до 5 мас. ч. резинового порошка из изношенных шин с размером до 0,5 мм. По комплексу показателей опытные шины не уступают серийным, а по отдельным показателям (усталостной выносливости, сопротивлению истиранию и потерям на качение) незначительно превосходят эталонные.

### Технологии применения измельченных вулканизатов

В последние 10–15 лет особое внимание отечественных и зарубежных исследователей привлекает проблема применения измельченных вулканизатов [23, 29–30, 39, 32, 101, 105, 112, 114–115].

*Технологии введения измельченного вулканизата.* При введении в резиновые смеси измельченного вулканизата, полученного криогенным методом и способом скоростного резания, происходит дополнительное измельчение частиц. В случае измельченного вулканизата, полученного на вальцах и представляющего собой агрегаты достаточно прочно связанных между собой мелких частиц, их среднегеометрический размер в резинах уменьшается более чем в два раза.

Имеется два механизма разрушения частиц при диспергировании в резиновой смеси [108, 116]:

1) в результате поглощения энергии деформации частицами, находящимися в зазоре между рабочими органами оборудования;

2) вследствие деформации сдвига частиц каучуковой матрицы в процессе вязкого течения.

Для вулканизатов, полученных измельчением на вальцах при высокой скорости сдвига (частицы плохо рассеиваются из-за наличия агрегатов и агломерации частиц) используется следующая схема:

измельчение → получение маточной смеси с измельченным вулканизатом → стрейнирование → введение в резиновую смесь.

Для измельченного вулканизата, полученного

высокоскоростным резанием, приготовление резиновых смесей осуществляют по следующей схеме: измельчение → рассев → введение в резиновую смесь.

Разработан [51] двухстадийный режим введения вулканизованных отходов в резиновые смеси. На первой стадии готовят смесь теуглера с каучуком, в которую затем вводят отходы. На второй стадии в полученную смесь добавляют оставшуюся часть каучука и остальные ингредиенты. Это позволяет измельчать отходы без применения специального оборудования и улучшает физико-механические свойства резин. Для получения высокопрочных резин целесообразно увеличивать дозировку либо серы, либо ускорителя в зависимости от содержания измельченного вулканизата.

*Влияние степени деструкции измельченного вулканизата на свойства резин.* Частичная деструкция поверхностного слоя измельченного вулканизата приводит к усилению адгезионного взаимодействия частиц с эластомерной матрицей и улучшает свойства содержащих их резин. На основании этого можно прогнозировать свойства резин с измельченным вулканизатом, полученных различными способами [64].

*Влияние пластифицированных измельченных вулканизатов на свойства резин.* При увеличении степени диспергирования измельченных вулканизатов в резиновых смесях улучшаются упруго-прочностные свойства содержащих его вулканизатов. Качество диспергирования повышается в случае применения пластифицированного измельченного вулканизата. В качестве пластификаторов испытаны масло ПН-6ш, стабиллол-18 и т. п. Максимальную прочность имеют резины, содержащие измельченный вулканизат, набухший в масле ПН-6ш, при соотношении 1:1. Предварительная обработка пластифицированного измельченного вулканизата на смесительном оборудовании повышает прочность резин [117].

*Влияние модифицированных измельченных вулканизатов на свойства резин.* Механохимическая модификация измельченных вулканизатов приводит к созданию модифицированных слоев с высокой степенью сшивания на границе раздела измельченный вулканизат–каучук. Модификация осуществляется серой, ускорителями, белой сажей, рубраксом, низкомолекулярным полиэтиленом. Модификаторы уменьшают уровень падения прочности при растяжении и прочности связи резины с кордом [118].

*Влияние измельченного вулканизата на сшивание и структурирование резин.* В присутствии измельченного вулканизата процесс сшивания ускоряется пропорционально площади межфазной поверхности (т. е. увеличению дисперсности и количеству измельченного вулканизата). Ускорению способствует направленная диффузия компонентов вулканизирующей группы к границе раздела фаз, вследствие чего растет интенсивность образования сшивков. Исследование структуры переходных слоев в резинах, содержащих измельченный вулканизат, показало, что вблизи раздела фаз плотность упаковки макромолекулярных цепей каучу-



ков существенно возрастает [119–120].

*Применение измельченного вулканизата в шинных резинах* Применение резиновой крошки, полученной при измельчении шин, наиболее эффективно в шинных резинах. В этом случае близкий химический состав каучуков и измельченного вулканизата обуславливает образование развитого переходного слоя на границе измельченный вулканизат–каучук, обеспечивающего наибольшее взаимодействие между фазами. Известно [120–121], что при введении измельченного вулканизата, по мере увеличения его дозировки, происходит ухудшение некоторых физико-механических показателей резин. Прежде всего, это относится к прочности при растяжении. Поэтому увеличение содержания измельченного вулканизата в каждой рецептуре возможно лишь до тех пределов, пока технические свойства материала соответствуют нормируемым значениям. Поэтому необходимо создать рецептурные и технологические приемы, позволяющие увеличить дозировку измельченного вулканизата в резинах при сохранении высоких физико-механических показателей. Например показано [122–123], что при применении в протекторных и обкладочных резинах до 5 мас. ч. измельченного вулканизата с частицами 2 мм требуется увеличить содержание ускорителя вулканизации на 3–4%, а в обкладочных резинах дополнительно уменьшить содержание воска с 2 мас. ч. до 1 мас. ч., повысить содержание масла ПН-6ш и т. д. Такая корректировка обеспечивает меньшее снижение прочности, улучшение усталостной выносливости и упругогистерезисных характеристик резин. Такие резины были опробованы при изготовлении шин. Эксплуатационные испытания показали, что средний пробег шин, содержащих в протекторе измельченный вулканизат с размером частиц не более 0,8 мм, выше, чем эталонных. Так, шина размера 220–508 с 5 мас. ч. измельченного вулканизата в протекторе имеет больший средний пробег, чем серийная, а при увеличении содержания измельченного вулканизата до 10 мас. ч. он уменьшается только на 0,7% [99].

Имеются сведения о возможности изготовления шин с протектором, содержащим до 30% ультратонкого резинового порошка с размером частиц 20 мкм. Такие шины по усталостной выносливости, сопротивлению скольжению и силе сцепления с дорогой не уступают шинам, изготовленным без применения измельченного вулканизата. Корректировка рецептуры (вулканизирующей группы) позволяет увеличить содержание резинового порошка с размером частиц 20 мкм в протекторных резинах до 100–150 мас. ч. при сохранении высоких физико-механических свойств вулканизата [105].

Увеличение верхнего предела содержания измельченного вулканизата и снижения эффекта ухудшения свойств резин можно достичь также путем модификации измельченного вулканизата реакционноспособными соединениями. Модификаторы, как правило, являются би- или полифункциональными соединениями (модификатор РУ, гексол, нит-

розоаминовые соединения и др.) [46]. Показана возможность применения в шинных резинах подвулканизированной резиновой крошки и бикомпонентных наполнителей, состоящих из волокна с регулируемой длиной и тонкодисперсного резинового порошка. Выпущенные на ОАО «Ярославский шинный завод» автопокрышки, содержащие по 3 мас. ч. резиновой крошки бутадиеннитрильного каучука в протекторной, брекерной и каркасной резинах, по ходимости не уступают серийным [122].

*Применение измельченного вулканизата в резинотехнических изделиях.* Резинотехническая промышленность по сравнению с шинным производством располагает значительно большими возможностями для создания безотходных технологий. Продукты измельчения в небольших количествах могут быть использованы в составе резин для ответственных изделий и в значительных количествах в неответственных изделиях, которые составляют существенную часть продукции предприятий этого профиля.

Основные приемы увеличения дозировок измельченного вулканизата в производстве резинотехнических изделий такие же, как и в случае шинных резин:

- применение тонкодисперсных порошков резин;
- корректировка рецептуры и введение модификаторов различной химической природы.

Имеется большое число сообщений [13, 49, 59–60, 74–75, 83, 124–131] о применении измельченного вулканизата в формовых резинотехнических изделиях. Известно, что 10% выпуска формовых резинотехнических изделий составляют резиновые манжеты, изготовленные преимущественно на основе бутадиеннитрильных каучуков. При этом почти 1/3 резин теряется в виде отходов технологического производства. Использование измельченного вулканизата, полученного на основе этих отходов, обеспечивает в целом необходимый комплекс прочностных и усталостных свойств, стойкости к истиранию и фрикционной износостойкости при содержании в резиновых смесях 35–45 мас. ч. с размером частиц измельченного вулканизата 0,3–0,5 мм.

На основе научных исследований разработаны и внедрены рецептуры резиновых смесей для формования обуви с использованием вулканизированных отходов обувного производства. Вулканизаты в измельченном состоянии (0,5 мм) применяют при изготовлении подошвенных резин. Дробленая резина более тонкого помола с размером менее 0,25 мм может применяться в качестве эластичного наполнителя в резиновых смесях для более ответственных изделий. Показано, что при введении в смеси 5–10 мас. ч. тонкодисперсного измельченного вулканизата резиновой муки физико-механические показатели резин практически не изменяются. Сообщается также о возможности использования в рецептуре подошвенных резин до 30% тонкоизмельченного вулканизата близкого состава [61].

В ряде работ показана возможность использования измельченного вулканизата в количестве 5–15% в

составе композиций для наружной оболочки кабеля [62]. Предложен состав композиции для пористых материалов на основе бутадиенового и бутадиенстирольного каучука, 9–11 мас. ч. резинового порошка и полиэтиленамина. Рассмотрено применение резиновой и резинотекстильной муки в резинах для формовых изделий, для транспортёрных лент и шлангов [85].

*Применение вулканизата в качестве основы изготавливаемых изделий.* В этом случае измельченный вулканизат является основным полимерным компонентом. Если при использовании измельченного вулканизата для замены небольшой части каучука требуется лишь корректировка смешения, переработки и вулканизации, то при применении измельченного вулканизата в качестве основы полимерных материалов необходима разработка специальных технологий. Можно выделить два способа получения монолитных материалов из измельченной резины.

Первый способ заключается в прессовании резиновой крошки при сверхвысоких давлениях (200 МПа) и температуре 20–60 °С [109].

Второй способ основан на смешении измельченного вулканизата в порошкообразном или вязкотекучем состоянии с полимерными, олигомерными или низкомолекулярными добавками, которые обеспечивают связывание частиц измельченного вулканизата в единую пространственную сетку [88]. Способ смешения резиновой крошки с различными связующими имеет более широкое применение [132–133]. Так, смешением резиновой крошки с серой и ускорителями можно получать вторичные вулканизаты в виде прочного эбонитоподобного материала. Этим же способом можно получать материалы для покрытия площадок, крыш зданий, полов животноводческих ферм, для получения тары, изоляционных и звукоизоляционных материалов.

В качестве связующего часто используются эластомеры и битум. Такой состав связующего необходим для повышения степени взаимодействия между частями крошки — в состав композиции вводят низко- и высокомолекулярные соединения [22].

Повышение прочности связи между частицами измельченного вулканизата, а также между частицами других компонентов композиции может быть достигнуто путем специальной обработки их поверхности. К таким способам относится смешение резинового порошка с соединениями, содержащими гидроксильные, карбоксильные группы [48]. Предлагается также обрабатывать поверхность резинового порошка смесью газов (газообразный фтор, кислород, диоксид серы, хлор) [93]. Особый вид материалов представляют смеси измельченного вулканизата с термопластами. Их преимущество — относительно невысокая стоимость, возможность исключения вулканизации и сочетание свойств компонентов [115, 134]. Эти материалы получили название резинопласты. Преобладание свойств того или иного компонента зависит от его содержания в композиции.

Разработаны композиции на основе полиэтилена высокого давления, полиэтилена низкого давления и полипропилена с резиновым порошком до 30%. Эти композиции могут быть использованы для изготовления различных видов тары, колес для торгового оборудования методом литья под давлением [135–137]. Повышая содержание измельченного вулканизата до 40–75%, можно получить хорошо формуемые материалы с резиноподобными свойствами. При высоком содержании измельченного вулканизата (до 75–80%) пластик выполняет, по существу, роль связующего, соединяя частицы крошки в процессе горячего вальцевания. Благодаря незначительному количеству связующего материал может получиться пористым, например, материал «Резипол» для покрытия полов спортивных сооружений [50, 114, 138].

### Выводы

Таким образом, в настоящее время назрела острая необходимость интенсифицировать исследования в области рециклинга эластомеров. Внедрение в производство новых разработок в этой области будет способствовать снижению экологической нагрузки на предприятия в условиях сложной ситуации, сложившейся в системе снабжения материальными ресурсами, и при решении экологических проблем. В первую очередь это касается возможностей повторного использования изношенных шин, а также применения продуктов измельчения других амортизированных резиновых изделий, которые не подлежат восстановлению, в составе композиционных материалов.

Работы по разработке эластомерных материалов с использованием вторичного сырья выполняются достаточно интенсивно, но, несмотря на их значительное количество, результаты носят преимущественно экспериментальный характер, являются разрозненными и не обобщенными. Однако анализ литературных данных показал, что резинотехнические отходы являются перспективными ингредиентами резиновых смесей, позволяющими снизить каучукосодержание резин и их себестоимость.

Наиболее перспективным вторичным сырьем, получаемым в результате рециклинга резинотехнических отходов, для дальнейшей переработки являются такие материалы, как регенерат и крошка вулканизированных резин. Эксплуатационные характеристики изделий, полученных с использованием вторичного сырья, определяются не только физико-химическими свойствами и количеством используемого сырья, но и его дисперсностью. При использовании тонкодисперсных порошков, размером до 1 мм, возможно значительно снизить количество первичного каучука в составе разрабатываемых резиновых смесей без ухудшения их качества. Чем меньше размер частиц диспергированного вторичного сырья, тем лучше сохраняются свойства резин, тем большее его количество можно ввести в рецептуры без ухудшения качества резины.

Для дальнейшего увеличения объемов переработки и применения измельченных резиновых отходов необходимо:

- использовать эффективные виды оборудования для тонкого измельчения резины;
- совершенствовать действующие рецептуры и вводить модификаторы различной химической природы;
- совершенствовать технологические приемы изготовления и переработки резиновых смесей с целью увеличения содержания добавок измельченного вулканизата без ухудшения комплекса физико-механических свойств резин;
- расширить ассортимент изделий и материалов на основе 100% измельченного вторичного резинового сырья.

## Литература

1. Технология утилизации автомобильных шин, а также их восстановление // *ЭкоРезина*: сайт компании [Электронный ресурс] URL: <http://www.ecorezina.ru/information> (дата обращения: 14.04.2019).
2. Самойленко А. Ю., Тужиков О. И. Получение сульфидрильных катионитов на основе измельченной протекторной резины // *Поволжский экономический вестник*. 2000. Вып. 7. С. 69–71.
3. Ахметханов Р. М., Кадыров Р. Г., Минскер К. С. Вторичная переработка поливинилхлорида с использованием метода упруго-деформационного диспергирования // *Пластические массы*. 2002. № 4. С. 45–46.
4. Дроздовский В. Ф., Разгон Д. Р. Переработка и использование изношенных шин (направления, экономика, экология) // *Каучук и резина*. 1995. № 2. С. 2–8.
5. Носков Л. В., Овчинникова Г. П., Артеменко С. Е. Оценка пригодности к рециклингу вторичных полимеров. // *Пластические массы*. 2002. № 8. С. 45–46.
6. Никулина Н. С., Седых В. А. Отход сернокислотного производства вулканизирующий агент резиновых смесей на основе бутадиен-стирольного каучука // *Материалы V Межрегиональной научно-практической конференции «Промышленность и наука» (21–23 марта 2009 г.)*. Воронеж, 2009. С. 96–98.
7. Семенов Г. В., Анянцев В. В., Кирш И. А., Герасимов А. И., Старостин Н. П. Переработка полимерных отходов при влиянии ультразвука // *Пластические массы*. 2008. № 10. С. 41–44.
8. Шаповалов А. Б. Рециклинг отходов нанодеструкцией в товарные продукты // *Справочник эколога*. 2015. № 3. С. 82–90.
9. Никулина Н. С., Вережников В. Н., Никулин С. С., Провоторова М. А., Пугачева И. Н. Перспектива применения отхода свеклосахарного производства – мелассы в технологии выделения каучука из латекса // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2018. Т. 61, № 11. С. 109–115.
10. Володина Д. А., Азарова С. В., Перегудина Е. В. Рециклинг отходов пластмасс // *Молодой ученый*. 2015. № 11. С. 535–537.
11. Давидок А. А., Иващенко А. С., Одноров Е. П. Исследование применения материалов, полученных путем вторичной переработки сырья // *Научное обозрение*. 2017. № 18. С. 19–21.
12. Трофименко Ю. В., Воронцов Ю. М., Трофименко К. Ю. Переработка и использование изношенных шин // *Твердые бытовые отходы*. 2014. № 3 (93). С. 42–49.
13. Переработка и использование полимерных, шинных и резинотехнических отходов в мировой практике. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002. 160 с.
14. Долинская Р. М. Не в отходы, а в доходы или как разработки белорусских химиков неожиданно решили застарелые проблемы // *Химия и бизнес*. 2008. № 4. С. 52–53.
15. Беляев П. С., Забавников М. В., Маликов О. Г., Волков Д. С. Исследование влияния резиновой крошки на физико-механические показатели нефтяного битума в процессе его модификации // *Вестник Тамбовского государственного технического университета*. 2005. Т. 11, № 4. С. 923–930.
16. Ruikun Dong, Mengzhen Zhao. Research on the pyrolysis process of crumb tire rubber in waste cooking oil // *Renewable Energy*, 2018, vol. 125, pp. 557–567. doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.133
17. Пугачева И. Н., Черных О. Н., Никулин С. С. Влияние природы коагулирующих агентов и волокнистого наполнителя на свойства резиновых смесей и вулканизатов на основе каучука СКС-30 АРК // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2013. № 2. С. 153–155.
18. Пономарева В. Т., Ляхачева Н. Н., Ткачик З. А. Использование пластмассовых отходов за рубежом // *Пластические массы*. 2002. № 5. С. 44–48.
19. Фомин В. А., Гузев В. В. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования // *Пластические массы*. 2001. № 2. С. 42–48.
20. Серенко О. А., Мурадова У. А., Мешков И. Б., Оболонкова Е. С., Зеленецкий С. Н., Музафаров А. М. Измельчение отходов силоксановой резины методом упругодеформационного воздействия // *Каучук и резина*. 2008. № 3. С. 24–27.
21. Свицерская Т. Д., Долинская Р. М., Щербина Е. И. Использование вторичных эластомерных материалов для изготовления изделий // *Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы X Международной научно-технической конференции (Гродно, 15–16 октября 2013 г.)*. Минск. Белорусская наука, 2014. С. 344 – 347.
22. Беляев П. С., Маликов О. Г., Меркулов С. А., Полушкин Д. Л., Беляев В. П. К вопросу о комплексном решении проблем экологии и качества дорожных покрытий // *Вопросы современной науки и практики*. Университет им. В. И. Вернадского. 2012. № S(39). С. 184–189.
23. Битумнорезиновое композиционное вяжущее Битрэк, его свойства и особенности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.bitrack.ru> (дата обращения: 14.04.2019).
24. Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Изучение совместимости компонентов в композиции эластомер–регенерат // *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2017. № 199. С. 55–59.
25. Прокопчук Н. Р., Щербина Е. И., Долинская Р. М., Свицерская Т. Д. Разработка технологии использования отходов резиновой промышленности с целью получения новых изделий // *Труды БГТУ. Серия 4. Химия и технология органических веществ, материалов и изделий*. 2007. Т. 1, № 4. С. 121–123.
26. Фролов И. А., Зверева У. Г., Дударева Т. В., Красоткина И. А., Никольский В. Г., Лясова Л. Р., Наумова Ю. А. Использование многотоннажных техногенных отходов для создания битумных композитов с улучшенными показателями долговечности // *Тонкие химические технологии*. 2018. Т. 13, № 2. С. 64–71.
27. Гузь Р. В., Кудрявцева Ю. С., Ермакова Л. С. Теоретические аспекты использования резиновой крошки в качестве связующего компонента в битумных эмульсиях для дорожного строительства // *Новая наука в интерпретации современного образовательного процесса: сборник научных трудов / под ред. С. В. Кузьмина*. Казань, 2017. С. 275–277.
28. Амаева Ф. Ш., Алигаджиев М. М., Абдурахманов А. А. О размещении искусственного рифа в Каспийском море // *Аридные экосистемы*. 2016. Т. 22, № 2. С. 87–92.
29. Yang Li, Shuai Zhang, Ruijun Wang, Fanning Dang. Potential use of waste tire rubber as aggregate in cement concrete – A comprehensive review // *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 225, pp. 1183–1201.
30. Dobrotă Dan, Dobrotă Gabriela. An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development // *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 172, pp. 3591–3599.
31. Кушкимбаева И. Н., Кунавина Е. А. Исследование возможности применения отходов резины для изготовления шумоизолирующего материала. // *Актуальные вопросы в науке и практике: сборник статей по материалам XIV Международной научно-практической конференции, Самара, 04 февраля 2019. Часть 1 (3)*. Уфа: Дендра, 2019. С. 9–12.
32. Кушкимбаева И. Н., Кунавина Е. А. Физико-химическое обоснование возможности использования отходов резины с древесным наполнителем для изготовления шумоизолирующего материала. // *Современные научные исследования: теория, методология, практика: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции*.

- Уфа, 2019. С. 35–38.
33. Абрамова Н. Л., Зобина М. В., Акопян Л. А. Релаксационные свойства гидрированных бутадиен-нитрильных эластомеров // *Каучук и резина*. 2006. № 6. С. 5–9.
  34. Ильясов Р. С., Дорожкин В. П., Минигалиев Т. Е. Влияние мягчителя РО на релаксационные и термомеханические характеристики резиновых смесей и резин // *Каучук и резина*. 2006. № 3. С. 27–30.
  35. Шишляников В. М., Корчагин П. А., Танков Д. Ю., Пичхидзе С. Я. Резиновые смеси для шлангов с пониженной топливопроницаемостью // Сборник докладов XI международной научно-практической конференции «Шины, РТИ и каучуки» (20–24 мая 2008 г.). М., 2008. С. 38–39.
  36. Лаптева В. С., Пугачева И. Н. Создание перспективных эластомерных композиций на основе вторичных полимерных материалов // *Международный студенческий научный вестник*. 2017. № 4-2. С. 145–148.
  37. Порфирьева С. В., Петров В. Г., Павлова Н. В., Кольцов Н. И. Утилизация отходов полипропиленов при получении полиуретанов // *Пластические массы*. 2008. № 4. С. 55–56.
  38. Gang Liu, Yangshi Liang, Hao Chen, Hao Wang, Xin Gu. Influence of the chemical composition and the morphology of crumb rubbers on the rheological and self-healing properties of bitumen // *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 210, pp. 555–563.
  39. Ayman Abdelmonem, M. S. El-Feky, El-Sayed A. R. Nasr, Mohamed Kohail. Performance of high strength concrete containing recycled rubber // *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 227, article 116660.
  40. Farhad Aslani, Guowei Ma, Dominic Law Yim Wan, Vinh Xuan Tran Le. Experimental investigation into rubber granules and their effects on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete // *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 172, pp. 1835–1847.
  41. Ачкасов М. А., Немахов И. В., Гончарова М. А. Исследование стойкости резиновой крошки к набуханию в различных средах // *Молодежный научный вестник: электронный научно-практический журнал*. 2017. № 2 (14). С. 114–116. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mnvnauka.ru/2017/02/Achakosov.pdf> (дата обращения: 15.05.2019).
  42. Beirach L. Ya. Crucial outbreak in the field of recycling of rubber wastes // *Каучук и Резина*. 2016. № 4. С. 52–55.
  43. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I. Utilization of Fine-Dispersion Phosphoanhydrite in Rubber-Technical Products Manufacturing // *Paper of 3-rd World Congress on Desalination and Water Reuse*. France, 1987, pp. 234–236.
  44. Гиршик Р. Л. Низкотемпературная экологически чистая установка для переработки изношенных шин. Нижнекамск, 2000. 50 с.
  45. Макаров В. М., Дроздовский В. Ф. Использование амортизированных шин и отходов резиновых изделий. Л.: Химия, 1986. 248 с.
  46. Ващенко Ю. Н., Голуб Л. С., Захаров Ю. И., Мануилова С. А., Савельев В. В., Чепурный В. В. Применение модифицированного измельченного вулканизата в резинах для шин и РТИ // *Вопросы химии и химической технологии*. 2004. № 5. С. 73–80.
  47. Новаков И. А., Новопольцева О. М., Кракшин М. А. Методы оценки и регулирования пластозластических и вулканизационных свойств эластомеров и композиций на их основе. М.: Химия, 2000. 239 с.
  48. Дроздовский В. Ф. Применение модифицированных и немодифицированных измельченных вулканизатов // *Каучук и резина*. 1997. № 2. С. 48–50.
  49. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. New Rubber Products made on the Basis of Recycled scrap Tires // *Materials of the 6 Russian Rubber Conference «Materials Rubber 2016: Traditions and Innovations»*. Moscow, 2016, pp. 99–100.
  50. А. с. 925920 СССР, МКИ С04 В 45/12, С08 L 95/00. Состав для получения рулонного изоляционного материала / Р. М. Долинская, Е. И. Щербина, Л. М. Виноградова, Я. И. Трипутина. N 2996413/23-05; заявл. 17.09.80; опубл. 07.05.82, Бюл. N 17.
  51. А. с. 925921 СССР, МКИ С04 В 45/12, С08 L 95/00. Состав для получения рулонного изоляционного материала / Р. М. Долинская, Е. И. Щербина, Л. М. Виноградова, Я. И. Трипутина. N 2996414/23-05; заявл. 17.09.80; опубл. 07.05.82, Бюл. N 16.
  52. Гордеева И. В., Люсова Л. Р., Наумова Ю. А., Никольский В. Г., Зверева У. Г. Бинарный модификатор асфальтобетонов серии «ПОЛИЭПОР-РП», получаемый методом высокотемпературного сдвигового соизмельчения резиновой крошки и термоэластопласта // *Каучук и резина*. 2016: традиции и инновации. Материалы VI Всероссийской конференции. Москва: КиР, 2016. С. 65–66.
  53. Долинская Р. М., Сви́дерская Т. Д., Щербина Е. И. Модифицированные эластомерные композиции – энергосберегающий композиционный материал // *Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (29–30 октября 2009 г.)*: в 2 ч. Ч. 1. Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2010. С. 292–299.
  54. Долинская Р. М., Сви́дерская Т. Д., Щербина Е. И. Энергосберегающий материал для изготовления шприцованных изделий // *Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (29–30 октября 2009 г.)*: в 2 ч. Ч. 1. Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2010. С. 284–292.
  55. Долинская Р. М., Щербина Е. И., Крутько Э. Т., Галиева Ж. Н. Использование отходов производства в составе эластомерных композиций // *Вопросы химии и химической технологии*. 2008. Т. 13, № 6. С. 59–60.
  56. Сви́дерская Т. Д., Долинская Р. М., Щербина Е. И., Марусова С. Н., Русецкий В. В., Прокопчук Н. Р. Утилизация отходов резиновой промышленности // *Материалы Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (24–26 ноября 2010 г.)*: в 2 ч. Ч. 1. Минск: БГТУ, 2010. С. 42–44.
  57. Долинская Р. М., Сви́дерская Т. Д., Щербина Е. И. Ресурсосберегающая технология переработки отходов резиновых производств с целью получения новых материалов // *Материалы I Международной конференции Российского химического общества имени Д. И. Менделеева «Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической и нефтехимической промышленности» (29–30 сентября 2009 г.)*. М., 2009. С. 114.
  58. Rusetsky V. V., Shcherbina E. I., Dolinskaya R. M. Progressive technologies recycling wastes rubber in qualitative industrial goods // *Materials of International Conference sustainable waste management and recycling: Challenges and opportunities (14–15 September 2004)*. London: Kingston University, 2004, pp. 98–103.
  59. Долинская Р. М., Бомбер О. В., Прокопчук Н. Р. Использование отходов химической промышленности в производстве резинотехнических изделий // *Сборник научных трудов 27-го международного симпозиума «Проблемы шин, РТИ и эластомерных композиций» (10–14 октября 2016 г.)*. М., 2016. С. 122–131.
  60. А. с. 812808 СССР, МКИ С08 L 95/00, С08 K 5/01. Композиция для рулонного гидроизоляционного материала / Р. М. Долинская, Е. И. Щербина, А. И. Зеленский, В. Г. Сузанский, В. П. Ковалерчик, В. Ф. Воронкова. N 2632627/23-05; заявл. 19.06.78; опубл. 15.03.81, Бюл. N 10.
  61. Kosior E., Forrest A. Durable Pipe Compounds from High Density Polyethylene Milk Bottles // *EcoRecycle Victoria*, Melbourne, Australia, 2000 [Электронный ресурс]. URL: [www.ecorecycle.vic.gov.au](http://www.ecorecycle.vic.gov.au) (дата обращения: 23.04.2019)
  62. А. с. 857191 СССР, МКИ С08 L 95/00. Состав для получения рулонного изоляционного материала / Р. М. Долинская, Е. И. Щербина, Н. Г. Алексеев. N 2807215/23-05; заявл. 06.08.79; опубл. 23.08.81, Бюл. N 31. 4 с.
  63. Пат. 2705 РБ, МПК 6 С08 L 23/34, E04 B 1/62, E08 D 5/00. Рулонный гидроизоляционный материал / Долинская Р. М., Качан В. А.; заявитель и патентообладатель Долинская Р. М., Качан В. А. N 960403; заявл. 01.08.1996; опубл. 30.03.1998, Бюл. № 2. 3 с.
  64. Долинская Р. М., Кудинова Г. Д., Щербина Е. И. Использование отходов химической промышленности Белоруссии в производстве резинотехнических изделий. Минск, 1990. 36 с.
  65. Введенский П. С. Изучение механических свойств дистракционного регенерата // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 9-6. С. 1172–1178.
  66. Христофорова А. А., Филиппов С. Э., Лебедев А. В., Гоголев И. Н., Соколова М. Д., Заровняев Б. Н. Перспективы применения резиновой крошки в составе дорожных покрытий глубоких

- карьер // Научный журнал КубГА. 2011. № 74 (10). С. 12–22.
67. Яцун А. В., Коновалов Н. П., Ефименко И. С. Жидкие продукты пиролиза отработанных автомобильных шин под воздействием СВЧ // Химия твердого топлива. 2013. № 4. С. 60–62.
  68. Ривин Э. М. Новые направления использования отходов нефтехимии: вып. 3. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1994. 16 с. (Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность. Обзорная информация. Серия: промышленность синтетического каучука).
  69. Бабаш С. Е., Мухина Т. Н. Возможные направления развития технологии и конструктивного оформления процесса пиролиза углеводородного сырья // Химическая промышленность сегодня. 1998. № 11. С. 12–14.
  70. Долинская Р. М., Свицерская Т. Д., Щербина Е. И., Прокопчук Н. Р., Цыбульская Е. И. Использование отходов резиновой промышленности для создания новых резинотехнических изделий // Труды БГТУ. Серия IV. Химия и химическая технология органических веществ. 2008. Вып. XVI. С. 100–102.
  71. Ямпольский В. Б., Сечина Г. Ю. Способ переработки отходов производства литьевых полиуретанов в клеевые композиции // Пластические массы. 2001. № 5. С. 41–42.
  72. Шаховец С. Е., Богданов В. В. Комплексная регенерация шин. Санкт-Петербург: Проспект науки, 2008. 191 с.
  73. Шаховец С. Е., Смирнов Б. Л. Интенсивная технология регенерации резин // Каучук и резина. 2006. № 1. С. 34–36.
  74. Касапкин М. М. Переработка амортизированных автомобильных (авиационных) шин и отходов резины. М.: СигналЪ, 2000. 29 с.
  75. Корнев А. Е., Буканов А. М., Швердяев О. М. Технология эластомерных материалов. М.: Химия, 2000. 288 с.
  76. А. с. 956297 СССР, МКИ В 29 Н 19/00, С08 L 9/00. Способ измельчения резин / М. Е. Соловьев, Н. Д. Захаров, Е. М. Соловьев, К. Ф. Колжир, В. А. Сапронов, А. Г. Шварц, В. Ф. Дроздовский. N 3267090/23-05; заявл. 27.03.81; опубл. 07.09.82, Бюл. N 33.
  77. Белобородова Т. Г., Панов А. К., Минскер К. С. Универсальная установка измельчения «мягких» полимерных отходов // Пластические массы. 2002. № 7. С. 46–48.
  78. Шаховец С. Е., Бузид Х., Богданов В. В. Малозатратная регенерация отходов резинотехнического и шинного производства // Каучук и резина. 2006. № 2. С. 30–31.
  79. Пат. 70659 РФ, МПК C10G 1/10, C10J 3/02. Установка для переработки резиносодержащих отходов / Шаповалов А. Б.; заявитель и патентообладатель Шаповалов А. Б. N 2007142728/22; заявл. 21.11.2007; опубл. 10.02.2008, Бюл. № 4. 3 с.
  80. Aoudia K., Azem S., Ait Hocine N., Gratton M., Pettarin V., Seghar S. Recycling of waste tire rubber: microwave devulcanization and incorporation in a thermoset resin // Waste Management, 2017, vol. 60, pp. 471–481.
  81. Zhenzhen Cheng, Mengwen Yan, Liming Cao, Jiarong Huang, Xianwu Cao, Daosheng Yuan, Yukun Chen. Design of nitrile rubber with high strength and recycling ability based on  $Fe^{3+}$ -catechol group coordination // Industrial and Engineering Chemistry Research, 2019, vol. 58, no. 9, pp. 3912–3920. doi:10.1021/acs.iecr.8b05993
  82. Meng Chen, Wei Chen, Hui Zhong, Dong Chi, Yuhan Wang, Mingzhong Zhang. Experimental study on dynamic compressive behaviour of recycled tyre polymer fibre reinforced concrete // Cement and Concrete Composites, 2019, vol. 98, pp. 95–112.
  83. Шутилин Ю. Ф. Справочное пособие по свойствам и применению эластомеров. Воронеж: Воронеж. гос. техн. акад., 2003. 871 с.
  84. Голуб Л. С., Солдатова Т. А., Ващенко Т. В., Сирченко И. А., Захаров Ю. И., Ващенко Ю. Н. Аспекты применения измельченных вулканизатов в составе композиционных эластомерных материалов // Тезисы докладов Международной конференции по каучуку и резине (1–4 июня 2004 г.). М., 2004. С. 77–78.
  85. Адов М. В., Краснов П. Л., Пичихидзе С. Я., Панова Л. Г. Применение мелкодисперсного порошка резины на основе этиленпропиленового каучука в рецептуре резиновых смесей на основе этого каучука // Каучук и резина. 2009. № 6. С. 32–34.
  86. Семенов Г. В., Ананьев В. В., Кириш И. А., Козьмин Д. В., Губанова М. И. Переработка полимерных отходов при влиянии на них ультразвука // Пластические массы. 2008. № 10. С. 41–44.
  87. Савченко Б. М., Гриненко В. М., Пахаренко А. В., Кострицкий В. В., Пахаренко В. А. Влияние отходов резины на свойства полипропиленовых композиций // Пластические массы. 2007. № 1. С. 30–33.
  88. Адов М. В., Зуев А. В., Пичихидзе С. Я., Юровский В. С. Применение мелкодисперсного порошка резины на основе хлоропренового каучука в рецептуре резиновых смесей на основе этого каучука // Каучук и резина. 2010. № 4. С. 25–27.
  89. Петухова Н. А., Гусев А. Д., Карпухин Г. А., Зайцев И. И. Сравнительный анализ качества травмобезопасных покрытий в зависимости от метода переработки резинотехнических изделий // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 382.
  90. Усачев С. В., Соловьев О. Ю., Воронов В. Н., Галыбин Г. М., Сергеева Н. Л. Особенности вторичной переработки амортизированных вторичных камер и диафрагм // Каучук и резина. 2005. № 1. С. 24–31.
  91. Пат. 22966780 РФ, МПК C08 J 5/10, C08 J11/08. Способ активации измельченных отходов вулканизированной резины и материал на их основе / Серенко О. А., Музафаров А. М., Мешков И. Б., Баженов С. Л.; заявитель и патентообладатель институт синтетических полимерных материалов имени Н. С. Ениколопова РАН, Казань. N 2005138338/01; заявл. 09.12.2005г; опубл. 10.04.2007, Бюл. N 10. 9 с.
  92. Шаповалов А. Б. Рециклинг изношенных шин нанодеструкцией // Экологический вестник. 2011. № 11. С. 108–115.
  93. Самойленко А. Ю., Тужиков О. И. Сорбирование газообразного сероводорода измельченной протекторной резины // Проблемы освоения прикаспийской впадины: сборник статей. Вып. 60. Волгоград, 2002. С. 199–205.
  94. Матвеев К. С., Солтовец Г. Н., Буркин А. Н. Рециклинг интегральных полиуретановых композиций // Пластические массы. 2002. № 10. С. 46–48.
  95. Миронович Л. М., Павленко А. А. Интерполимерная композиция на основе отходов зонтичной ткани, содержащих поликапроамид и полиэтилентерефталат // Пластические массы. 2007. № 9. С. 48–49.
  96. Болдырев В. С. Способы разрушения изношенных резиновых изделий // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Наука–производство–технологии–экология» (21–24 марта 2004 г.). Киров, 2004. С. 161–162.
  97. Долинская Р. М., Кудинова Г. Д., Щербина Е. И. Использование отходов переработки торфа в резинах. // Производство и использование эластомеров. 1992. Вып. 1. С. 37–39.
  98. Долинская Р. М., Кудинова Г. Д., Щербина Е. И. Исследование цинксодержащего отхода в качестве вулканизующего агента хлоропренового каучука // Труды Белорусского технологического института. Серия IV. Химия и технология органических веществ. 1993. Вып. 1. С. 3–8.
  99. Карманова О. В., Попова Л. В., Тарасова А. А., Осошник И. А. Новые технологические добавки к резиновым смесям // Тезисы докладов X научно-практической конференции «Шины, РТИ и каучуки» (13–14 марта 2007 г.). М., 2007. С. 54–57.
  100. Жураев А. Б., Адиллов Р. И., Алимухамедов М. Г., Магруппов Ф. А. Пути утилизации отходов полиэтилентерефталата // Пластические массы. 2005. № 3. С. 47–51.
  101. Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Влияние размера резиновой крошки на свойства эластомерных композиций // Технология органических веществ: тезисы докладов 82-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (1–14 февраля 2018 г.). Минск: БГТУ, 2018. С. 74–76.
  102. Polyester: Fifty Years of Achievement: Tomorrow's Ideas and Profits / eds.: Brunndschweiler D. and Hearle J. UK: The Textile Institute, 1993. 368 p.
  103. Долинская Р. М., Щербина Е. И., Виноградова Л. М. Изучение свойств мелкодисперсного фосфоангидрита как наполнителя резиновых смесей // Производство и использование эластомеров. 1991. Вып. 5. С. 30–32.
  104. Долинская Р. М., Евсей А. В., Щербина Е. И., Прокопчук Н. Р. Новое – это хорошо переработанное старое. Композиционные материалы на основе отходов полимеров // Химия и бизнес. 2008. № 6–7. С. 30–41.
  105. Долинская Р. М., Свицерская Т. Д., Щербина Е. И., Прокопчук Н. Р., Марусова С. Н., Русецкий Д. В. Отходы резиновых производств – перспективный материал для создания новых изделий // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2013. № 160. С. 45–47.

106. А. с. 1219549 СССР, МКИ С04 В 18/04, С08 В 25/00. Состав для получения шумопоглощающего материала / Р. М. Долинская, Е. И. Щербина, И. Я. Качур, В. Ф. Воронкова, Л. Д. Архипенко. N 36238/29-33; заявл. 15.07.83; опубл. 23.03.86, Бюл. N 11.
107. Вольфсон С. А., Никольский В. Г. Твердофазное деформационное разрушение и измельчение полимерных материалов. Порошковые технологии // Высокомолекулярные соединения. 1994. № 6. С. 1040–1056.
108. Филонычев А. А., Акшинская В. В. Использование глубокого охлаждения для повышения энергоэффективности технологии переработки изношенных автомобильных шин // Вестник Казанского технологического университета. 2014. С. 139–140.
109. Долинская Р. М., Сви́дерская Т. Д. Возможность использования отходов для получения изделий конструкционного назначения. // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы IX-ой Международной научно-практической конференции (21–23 ноября 2012 г.). Гродно, 2012. С. 357–364.
110. Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р., Сви́дерская Т. Д., Русецкий В. В. Использование полимерных отходов как вторичного сырья // Тезисы докладов IX-ой Международной научно-технической конференции «Эластомеры: материалы, технологии, оборудование, изделия» (24–28 сентября 2012 г.). Днепрпетровск, 2012. С. 155–156.
111. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R., Rusetskiy D. V., Marusova S. N., Shcherbina Y. I., Sviderskaya T. D. The Development of new Products using Recycled Materials Belorussian // Belarusian-German “Scientific and Technical cooperation and Technology transfer in the sphere of power efficiency and waste processing” (10–12 December 2012). Minsk: Belorussian National Technical University, 2012, pp. 47.
112. Долинская Р. М., Сви́дерская Т. Д., Прокопчук Н. Р., Русецкий Д. В. Использование полимерных отходов как вторичного сырья // Вопросы химии и химической технологии. 2013. № 1. С. 81–83.
113. Gent A. N. Engineering with Rubber. How to Design Rubber Components. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. 447 p.
114. Кострыкина Г. И., Цветков М. В., Карвонен С. Н. Влияние модифицированного измельченного вулканизата на прочностные свойства резин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2009. Т. 52, № 10. С. 131–133.
115. Бордунов, В. В., Бордунов С. В., Леоненко В. В. Получение волокнистых материалов из отходов термопластов // Пластические массы. 2005. №9. С. 38–39.
116. Донцов А. А. Процессы структурирования эластомеров. М.: Химия, 1978. 288 с.
117. Христофорова А. А., Соколова М. Д. Механохимическая активация резиновой крошки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2009. № 6. С. 30–33.
118. Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Модификация поверхности измельченного вулканизата для его использования в составе эластомерных материалов / Материалы LVII отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2018 г.: в 3 ч. Ч. 1. Воронеж, 2019. С. 143
119. Долинская Р. М., Прокопчук Н. Р. Изучение совместимости композиции эластомер–регенерат–модификатор / Тезисы докладов 81 научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (1–12 февраля 2017 г.). Минск, 2017. С. 64–66.
120. Fang Y., Zhan M., Wang Y. The status of recycling of waste rubber // Material and Design, 2000, no. 22, pp. 123–127.
121. Fukumori K., Matsushita M. Material Recycling Technology of Crosslinked Rubber Waste // Recycle and Design Review of Toyota CRDL, 2003, vol. 38, no. 1, pp. 39–47.
122. Sombatsompop N., Kumnuantip C. Rheology, Cure Characteristics, Physical and Mechanical Properties, Properties of Tire Tread Reclaimed Rubber/Natural Rubber Compounds // Journal of Applied Polymer Science, 2003, vol. 87, pp. 1723–1731.
123. Пат. 2096180 РФ, МПК 6 В 60С 9/06. Покрышка пневматической шины диагональной конструкции / Грошков В. В., Носов В. И., Глазков В. А., Франков Н. А., Торхунов В. В., Воронина Г. В.; заявитель и патентообладатель ТОО «Ярославский шинный завод». N 95119145/11; заявл. 09.11.1995г.; опубл. 20.11.1997, Бюл. N12. 7с.
124. Полова Л. В., Карманова О. В., Тихомиров С. Г., Корыстин С. И. Использование сопутствующих продуктов маслоложировой промышленности в рецептурах резиновых смесей // Каучук и резина. 2008. № 4. С. 45–46.
125. Корыстин С. И., Попова Л. В., Тарасевич Т. В. Исследование состава отходов производства растительных масел // Материалы XLIV отчетной научной конференции преподавателей и научных сотрудников ВГУИТ за 2005 год. Ч. 1. Воронеж: ВГТА, 2006. С. 192.
126. Ayilimis N., Buyuksari U. Umit, Avcı E. Utilization of waste tire rubber in manufacture of oriented strandboard // Waste Management, 2009, vol. 29, pp. 2553–2557.
127. Scheirs J. Polymer Recycling: Science, Technology and Applications. UK: John Wiley & Sons, 1999, pp. 187–189.
128. Долинская Р. М., Щербина Е. И., Гугович С. А. Использование полимерных отходов для производства изоляционных материалов // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: материалы IX-ой Международной научно-практической конференции (21–23 ноября 2012 г.). Гродно, 2012. С. 353–357.
129. Пат. 17991 РБ, МПК С08 L 23/16, С08 K 13/02. Способ изготовления полимерной композиции для производства резинотехнических изделий / Долинская Р. М., Сви́дерская Т. Д., Гугович С. А., Прокопчук Н. Р.; заявитель и патентообладатель БГТУ, Минск. N a20111572; заявл. 23.11.2011г.; опубл. 30.06.2013. Бюл. N 4. 5 с.
130. Пат. 17992 РБ, МПК С08 L 9/06, С08 L 17/00. Способ изготовления резиновой смеси / Долинская Р. М., Щербина Е. И. Сви́дерская Т. Д., Русецкий Д. В., Марусова С. Н., Прокопчук Н. Р.; заявитель и патентообладатель БГТУ, Минск. № a20111573; заявл. 23.11.2011; опубл. 30.06.2013. Бюл. N 5. 4 с.
131. Ягун А. В., Коновалов П. Н., Коновалов Н. П. Газообразные продукты пиролиза автомобильных покрышек под действием сверхвысоких частот // Химия твердого топлива. 2008. № 3. С. 70–75.
132. Пат. 2383562 РФ, МПК С08J11 / 04, С08J13/ 20. Способ получения резиновой крошки / Соколова М. Д., Христофорова А. А., Морова Л. Я., Рубанов П. А.; заявитель и патентообладатель Институт проблем нефти и газа СО РАН. Заявл. 31.03.2008; опубл. 10.03.2010. Бюл. N 1. 3 с.
133. Мазубай Л. В., Амерханов Т. Б. Расчет и проектирование оснастки оборудования для экструзии труб из композиции «полиэтилен–резиновая крошка» // Наука и Техника Казахстана. 2019. № 2. С. 86–94.
134. Серенко О. А., Гончарук Г. П., Ракитянский А. Л., Караева А. А., Оболонков Е. С., Баженов С. Л. Влияние температуры на деформационное поведение композита на основе полипропилена и частички резины // Высокомолекулярные соединения. 2007. Т. 49, № 1. С. 71–78.
135. Долинская Р. М., Щербина Е. И., Прокопчук Н. Р., Русецкий В. В. Применение переработанных изношенных шин в новых резинотехнических изделиях // Мир шин. 2008. № 10. С. 43–45.
136. Горбань Т. В., Журавлев В. А., Онорина Л. Э., Кожина Т. В., Рак И. А. Утилизация и вторичная переработка отходов производства полиуретанов // Пластические массы. 2001. № 4. С. 39–40.
137. Пат. 18380 РБ, МПК С04 В 14/46, С04 В 18/16, С04 В 28/26. Сырьевая смесь на основе отходов базальтовой ваты для получения теплоизоляционного материала / Леонович С. Н., Сви́ридов Д. В., Щукин Г. Л., Беланович А. Л., Савенко В. П., Карпушенков С. А.; заявитель и патентообладатель БГУ, Минск. N a20120926; заявл. 14.06.2012; опубл. 30.06.2014. Бюл. N 3. 5 с.
138. Фролов В. А., Меркулов С. А., Селезнев К. А. Влияние условий обработки резиновой крошки на степень ее девулканизации // Молодой ученый. 2014. № 3. С. 362–364.

## References

1. Tehnologija utilizacii avtomobil'nyh shin, a takzhe ih vosstanovlenie [Technology for the disposal of car tires, as well as their restoration]. JekoRezina, 2013. Available at: <http://www.ecorezina.ru/information> (accessed 14.04.2019).
2. Samojlenko A. Ju., Tuzhikov O. I. Poluchenie sufgidril'nyh kationitov na osnove izmel'chenoj protektojnnoj reziny [Getting Sulfhydryl Cation Exchangers Based on Ground Protective Rubber]. Povolzhskij jekonomicheskij vestnik [Volga Economic Journal], 2000, vol. 7, pp. 69–71.

3. Ahmethanov R. M., Kadyrov R. G., Minsker K. S. Vtorichnaja pererabotka polivinilhlorida s ispol'zovaniem metoda uprugodeformatsionnogo dispergirivaniya [Recycling of polyvinyl chloride using the method of elastic-strain dispersion]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2002, no. 4, pp. 45–46.
4. Drozdovskij V. F., Razgon D. R. Pererabotka i ispol'zovanie iznoshennykh shin (napravleniya, ekonomika, ekologiya) [Recycling and use of used tires (directions, economics, ecology)]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 1995, no. 2, pp. 2–8.
5. Noskov, L. V., Ovchinnikova G. P., Artemenko S. E. Ocenka prigodnosti k reciklingu vtorichnykh polimerov [Evaluation of recyclability of secondary polymers]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2002, no. 8, pp. 45–46.
6. Nikulina N. S., Sedyh V. A. Otkhod sernokislotochnogo proizvodstva vulkanizujushchij agent rezinovykh smesey na osnove butadienstirolnogo kauchuka [Waste sulfuric acid production vulcanizing agent of rubber mixtures based on styrene-butadiene rubber]. *Materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Promyshlennost' i nauka»* [Proceedings of the V Interregional Scientific and Practical Conference "Industry and Science"]. Voronezh, 2009, pp. 96–98.
7. Semenov G. V., Anan'ev V. V., Kirsh I. A., Gerasimov A. I., Starostin N. P. Pererabotka polimernykh otkhodov pri vliyani na nikh ultrazvuka. [Recycling of polymer waste under the influence of ultrasound]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2008, no. 10, pp. 41–44.
8. Shapovalov A. B. Recikling otkhodov nanodestrukciej v tovarnye produkty [Waste recycling by nanodestruction into commercial products]. *Spravochnik jekologa* [Handbook of ecologist], 2015, no. 3, pp. 82–90.
9. Nikulina N. S., Verezhnikov V. N., Nikulin S. S. Perspektiva primeneniya otkhoda sveklosakharnogo proizvodstva – melassy v tekhnologii vydeleniya kauchuka iz lateksa [The prospect of using beet sugar production waste – molasses in the technology of rubber isolation from latex]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology], 2018, vol. 61, no. 11, pp. 109–115.
10. Volodina D. A., Azarova S. V., Peregudina E. V. Recikling otkhodov plastmass [Recycling plastic waste]. *Molodoy uchenyj* [Young scientist], 2015, no. 11, pp. 535–537.
11. Davidjuk A. A., Ivashchenko A. S., Odnovorov E. P. Issledovanie primeneniya materialov, poluchennykh putem vtorichnoj pererabotki syrja [Study of the use of materials obtained by recycling of raw materials]. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific review], 2017, no. 18, pp. 19–21.
12. Trofimenko Yu. V., Vorontsov Yu. M., Trofimenko K. Yu. Pererabotka i ispol'zovanie iznoshennykh shin [Recycling and use of worn tires]. *Tverdye bytovye otkhody* [Municipal solid waste], 2014, no. 3 (93), pp. 42–49.
13. Pererabotka i ispol'zovanie polimernykh, shinnykh i rezinotekhnicheskikh otkhodov v mirovoy praktike [Recycling and use of polymer, tire and rubber waste in world practice] Moscow: CNIIITJenesthim Publ., 2002. 160 p.
14. Dolinskaya R. M. Ne v otkhody, a v dokhody ili kak razrabotki belorusskikh khimikov neozhidanno reshili zastarelye problemy [Not to waste, but to income or as the development of Belarusian chemists unexpectedly solved old problems]. *Khimiya i biznes* [Chemistry and Business], 2008, no. 4, pp. 52–53.
15. Belyaev P. S., Zabavnikov M. V., Malikov O. G., Volkov D. S. Issledovanie vliyaniya rezinovy kroschki na fiziko-mekhanicheskie pokazateli neftyanogo bituma v protsesse ego modifikatsii [Investigation of the effect of crumb rubber on the physicomechanical indicators of petroleum bitumen in the process of its modification]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik TSTU], 2005, vol. 11, no. 4, pp. 923–930.
16. Ruikun Dong, Mengzhen Zhao. Research on the pyrolysis process of crumb tire rubber in waste cooking oil. *Renewable Energy*, 2018, vol. 125, pp. 557–567. doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.133
17. Pugacheva I. N., Chernykh O. N., Nikulin S. S. Vliyanie prirody koaguliruyushchikh agentov i voloknistogo napolnitelya na svoystva rezinovykh smesey i vulkanizatorov na osnove kauchuka SKS-30 ARK [The influence of the nature of coagulating agents and fibrous filler on the properties of rubber mixtures and vulcanizates based on SKS-30 ARK rubber]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Vestnik VSUIT], 2013, no. 2, pp. 153–155.
18. Ponomareva V. T., Likhacheva N. N., Tkachik Z. A. Ispol'zovanie plastmassovykh otkhodov za rubezhom [The use of plastic waste abroad]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2002, no. 5, pp. 44–48.
19. Fomin V. A., Guzeev V. V. Biorazlagaemye polimery, sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya [Biodegradable polymers, state and prospects of use]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2001, no. 2, pp. 42–48.
20. Serenko O. A., Muradova U. A., Meshkov I. B., Obolonkova E. S., Zelenetskiy S. N., Muzafarov A. M. Izmel'chenie otkhodov siloksanovoy reziny metodom uprugodeformatsionnogo vozdeystviya [Grinding of siloxane rubber wastes by the method of elastic deformation action]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2008, no. 3, pp. 24–27.
21. Sviderskaya T. D., Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I. Ispol'zovanie vtorichnykh elastomernykh materialov dlya izgotovleniya izdeliy [Use of secondary elastomeric materials for the manufacture of products]. *Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energo- i materialosberegayushchie ekologicheski chisty tekhnologii»* [Materials of the X International Scientific and Technical Conference "Energy- and material-saving environmentally friendly technologies"]. Minsk: Belaruskaja navuka, 2014, pp. 344–347.
22. Belyaev P. S., Malikov O. G., Merkulov S. A., Polushkin D. L., Belyaev V. P. K voprosu o kompleksnom reshenii problem ekologii i kachestva dorozhnykh pokrytiy [On the issue of a comprehensive solution to the problems of ecology and quality of road surfaces]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki Universitet im. V. I. Vernadskogo* [Issues of modern science and practice. V.I. Vernadsky University], 2012, no. S(39), pp. 184–189.
23. Bitumnozrezinovoe kompozitsionnoe vyazhushcheye Bitrek, ego svoystva i osobennosti [Bitumen-rubber composite binder Bitrek, its properties and features]. Available at: <http://www.bittrack.ru> (accessed 14.04.2019).
24. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Izuchenie sovmestimosti komponentov v kompozitsii elastomer–regenerat [Studying the compatibility of components in an elastomer–regenerate composition]. *Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya* [Proceedings of BSTU. 2: Chemical technologies. Biotechnology. Geoecology], 2017, no. 199, pp. 55–59.
25. Prokopchuk N. R., Shcherbina E. I., Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D. Razrabotka tekhnologii ispol'zovaniya otkhodov rezinovy promyshlennosti s tsel'yu polucheniya novykh izdeliy [Development of technology for the use of waste rubber industry in order to obtain new products]. *Trudy BGTU. Seriya 4. Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv, materialov i izdeliy* [Proceedings of BSTU. Ser. 4], 2007, vol. 1, no. 4, pp. 121–123.
26. Frolov I. A., Zvereva U. G., Dudareva T. V., Krasotkina I. A., Nikol'skiy V. G., Lyusova L. R., Naumova Yu. A. Ispol'zovanie mnogotonnazhnykh tekhnogennykh otkhodov dlya sozdaniya bitumnykh kompozitov s uluchshennymi pokazatelyami dolgozhestnosti [The use of large tonnage industrial waste to create bitumen composites with improved durability]. *Tonkie khimicheskie tekhnologii* [Thin chemical technology], 2018, vol. 13, no. 2, pp. 64–71.
27. Guz' R. V., Kudryavtseva Yu. S., Ermakova L. S. Teoreticheskie aspekty ispol'zovaniya rezinovy kroschki v kachestve svyazuyushchego komponenta v bitumnykh emul'siyakh dlya dorozhnogo stroitel'stva [Theoretical aspects of using crumb rubber as a binder in bitumen emulsions for road construction]. *Novaya nauka v interpretatsii sovremenno obrazovatel'nogo protsessa* [A new science in the interpretation of the modern educational process]. Kazan', 2017, pp. 275–277.
28. Amaeva F. Sh., Aligadzhiev M. M., Abdurakhmanov A. A. O razmeshchenii iskusstvennogo rifa v Kaspiyskom more [On the placement of an artificial reef in the Caspian Sea]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems], 2016, vol. 22, no. 2, pp. 87–92.
29. Yang Li, Shuai Zhang, Ruijun Wang, Fanning Dang. Potential use of waste tire rubber as aggregate in cement concrete – A comprehensive review. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 225, pp. 1183–1201.
30. Dobrotā Dan, Dobrotā Gabriela. An innovative method in the regeneration of waste rubber and the sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 172, pp. 3591–3599.
31. Kushkimbaeva I. N., Kunavina E. A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya otkhodov reziny dlya izgotovleniya shumozhigatelnogo materiala [Investigation of the possibility of using waste rubber for the manufacture of sound-absorbing material]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Vestnik VSUIT], 2013, no. 2, pp. 153–155.

- izoliruyushchego materiala [The study of the possibility of using rubber waste for the manufacture of soundproofing material]. *Aktual'nye voprosy v nauke i praktike. Chast' 1(3)* [Actual issues in science and practice. Part 1(3)]. Ufa: Dendra Publ., 2019, pp. 9–12.
32. Kushkimbaeva I. N., Kunavina E. A. Fiziko-khimicheskoe obosnovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya otkhodov reziny s drevesnym napolnitelem dlya izgotovleniya shumozoliruyushchego materiala [Physico-chemical substantiation of the possibility of using rubber waste with wood filler for the manufacture of soundproofing material]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya: teoriya, metodologiya, praktika* [Modern scientific research: Theory, methodology, practice]. Ufa, 2019, pp. 35–38.
  33. Abramova N. L., Zobina M. V., Akopyan L. A. Relaksatsionnye svoystva gidrirovannykh butadien-nitril'nykh elastomerov [Relaxation properties of hydrogenated butadiene-nitrile elastomers]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2006, no. 6, pp. 5–9.
  34. Il'yasov R. S., Dorozhkin V. P., Minigaliev T. E. Vliyanie myagchitelya RO na relaksatsionnye i termomekhanicheskie kharakteristiki rezinovykh smesey i rezin [The influence of the softener RO on the relaxation and thermomechanical characteristics of rubber mixtures and rubber]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2006, no. 3, pp. 27–30.
  35. Shishlyannikov V. M., Korchagin P. A., Tankov D. Yu., Pi-chkhidze S. Ya. Rezinovye smesi dlya shlangov s ponizhennoy toplivopronitsaemost'yu [Rubber compounds for hoses with low fuel permeability]. *Sbornik dokladov XI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Shiny, RTI i kauchuki»* [Collection of reports of the XI international scientific-practical conference “Tires, rubber and rubber”]. Moscow, 2008, pp. 38–39.
  36. Laptieva V. S., Pugacheva I. N. Sozdanie perspektivnykh elastomernykh kompozitsiy na osnove vtorykhnykh polimer-nykh materialov [The creation of promising elastomeric compositions based on secondary polymeric materials]. *Mezhdunarodnyy studentcheskiy nauchnyy vestnik* [International Student Science Journal], 2017, no. 4-2, pp. 145–148.
  37. Porfir'eva S. V., Petrov V. G., Pavlova N. V., Kol'tsov N. I. Utilizatsiya otkhodov polikaproamida pri poluchenii poliuretanov [Utilization of polycapramide wastes upon receipt of polyurethanes]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2008, no. 4, pp. 55–56.
  38. Gang Liu, Yangshi Liang, Hao Chen, Hao Wang, Xin Gu. Influence of the chemical composition and the morphology of crumb rubbers on the rheological and self-healing properties of bitumen. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 210, pp. 555–563.
  39. Ayman Abdelmonem, M. S. El-Feky, El-Sayed A. R. Nasr, Mohamed Kohail. Performance of high strength concrete containing recycled rubber. *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 227, article 116660.
  40. Farhad Aslani, Guowei Ma, Dominic Law Yim Wan, Vinh Xuan Tran Le. Experimental investigation into rubber granules and their effects on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Journal of Cleaner Production*, 2018, vol. 172, pp. 1835–1847.
  41. Achkasov M. A., Nemahov I. V., Goncharova M. A. Issledovanie stoykosti rezinovoy kroschki k nabukhaniyu v razlichnykh sredakh [Investigation of the resistance of crumb rubber to swelling in various environments]. *Molodezhnyy nauchnyy vestnik* [Youth Scientific Herald], 2017, no. 2 (14), pp. 114–116.
  42. Beirach L. Ya. Crucial outbreak in the field of recycling of rubber wastes. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2016, no. 4, pp. 52–55.
  43. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I. Utilization of Fine-Dispersion Phosphoanhydrite in Rubber-Technical Products Manufacturing. *Paper of 3-rd World Congress on Desalination and Water Reuse*. France, 1987, pp. 234–236.
  44. Girshik R. L. Nizkotemperaturnaya ekologicheskii chistaya ustanovka dlya pererabotki iznoshennykh shin [Low-temperature environmentally friendly installation for the processing of worn tires]. Nizhnekamsk, 2000. 50 p.
  45. Makarov V. M., Drozdovskiy V. F. *Ispol'zovanie amortizirovannykh shin i otkhodov rezinovykh izdeliy* [The use of depreciated tires and waste rubber products]. Leningrad: Khimiya Publ., 1986. 248 p.
  46. Vashchenko Yu. N., Golub L. S., Zakharov Yu. I., Manuilova S. A., Savel'ev V. V., Chepurny V. V. Primenenie modifitsirovannogo izmel'chennogo vulkanizata v rezinakh dlya shin i RTI [Application of modified crushed vulcanizate in rubber for tires and rubber goods]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology], 2004, no. 5, pp. 73–80.
  47. Novakov I. A., Novopoli'tseva O. M., Krakshin M. A. *Metody otsenki i regulirovaniya plastoelasticheskikh i vulkanizatsionnykh svoystv elastomerov i kompozitsiy na ikh osnove* [Methods for assessing and regulating the plastoelastic and vulcanization properties of elastomers and compositions based on them]. Moscow: Khimiya Publ., 2000. 239 p.
  48. Drozdovskiy V. F. Primenenie modifitsirovannykh i nemo-difitsirovannykh izmel'chennykh vulkanizatorov [The use of modified and unmodified crushed vulcanizates]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 1997, no. 2, pp. 48–50.
  49. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. New Rubber Products made on the Basis of Recycled scrap Tires. *Materials of the 6th Russian Rubber Conference “Materials Rubber 2016: Traditions and Innovations”*. Moscow, 2016, pp. 99–100.
  50. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Vinogradova L. M., Triputi-na Ya. I. Sostav dlya polucheniya rulonnogo izolyatsionnogo materiala [Composition to obtain a roll of insulating material]. Patent SSSR, no. 925920, 1982.
  51. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Vinogradova L. M., Triputi-na Ya. I. Sostav dlya polucheniya rulonnogo izolyatsionnogo materiala [Composition to obtain a roll of insulating material]. Patent SSSR, no. 925921, 1982.
  52. Gordeeva I. V., Lyusova L. R., Naumova Yu. A., Nikol'skiy V. G., Zvereva U. G. Binarnyy modifikator asfal'tobetonov serii «POLIEPOR–RP», poluchaemyy metodom vysokotemperaturnogo sdvigovogo soizmel'cheniya rezinovoy kroschki i termoplastoplasta [Binary modifier of asphalt concrete of the POLIEPOR-RP series, obtained by high-temperature shear co-grinding of crumb rubber and thermoplastic elastomer]. *Materialy VI Vserossiyskoy konferentsii «Kauchuk i rezina. 2016: traditsii i innovatsii»* [Materials of the VI All-Russian Conference “Rubber and Rubber-2016: traditions and innovations”]. Moscow: Kir Publ., 2016, pp. 65–66.
  53. Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D., Shcherbina E. I. Modifitsirovannyye elastomernyye kompozitsii – energosberegayushchiy kompozitsionnyy material [Modified elastomeric compositions - energy-saving composite material]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energ- i materialosberegayushchie ekologicheskii chistyie tekhnologii»* [Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference “Energy and materials saving environmentally friendly technologies”], Grodno, 2010, vol. 1, pp. 292–299.
  54. Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D., Shcherbina E. I. Energosberegayushchiy material dlya izgotovleniya shpritsovannykh izdeliy [Energy-saving material for the manufacture of extruded products]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energ- i materialosberegayushchie ekologicheskii chistyie tekhnologii»* [Proceedings of the VIII International Scientific and Technical Conference “Energy and materials saving environmentally friendly technologies”], Grodno, 2010, vol. 1, pp. 284–292.
  55. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Krut'ko E. T., Galieva Zh. N. Ispol'zovanie otkhodov proizvodstva v sostave elastomernykh kompozitsiy [Use of production wastes in the composition of elastomer compositions]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology], 2008, vol. 13, no. 6, pp. 59–60.
  56. Sviderskaya T. D., Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Marusova S. N., Rusetskiy V. V., Prokopchuk N. R. Utilizatsiya otkhodov rezinovoy promyshlennosti [Disposal of rubber industry waste]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie, ekologicheskii bezopasnyie tekhnologii»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference “Resource and energy saving technologies and equipment, environmentally friendly technologies”]. Minsk: BGTUS Publ., 2010, vol. 1, pp. 42–44.
  57. Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D., Shcherbina E. I. Resurso-sberegayushchaya tekhnologiya pererabotki otkhodov rezinovykh proizvodstv s tsel'yu polucheniya novykh materialov [Resource-saving technology for processing rubber waste to produce new materials]. *Materialy I Mezhdunarodnoy konferentsii Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva imeni D. I. Mendeleeva*



- «Resurso- i energo-sberegayushchie tekhnologii v khimicheskoy i neftekhimicheskoy promyshlennosti» [Materials of the First International Conference of the Russian Chemical Society named after D. I. Mendeleev "Resource- and energy-saving technology in the chemical and petrochemical industries"]. Moscow, 2009. pp. 114.
58. Rusetsky V. V., Shcherbina E. I., Dolinskaya R. M. Progressive technologies recycling wastes rubber in qualitative industrial goods. Materials of International Conference sustainable waste management and recycling: Challenges and opportunities (14–15 September 2004). London: Kingston University, 2004, pp. 98–103.
  59. Dolinskaya R. M., Bomber O. V., Prokopchuk N. R. Ispol'zovanie otkhodov khimicheskoy promyshlennosti v proizvodstve rezinotekhnicheskikh izdeliy [Use of chemical industry waste in the production of rubber products]. *Sbornik nauchnykh trudov 27-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Problemy shin, RTI i elastomernykh kompozitsiy»* [Collection of scientific papers of the 27th international symposium "Problems of tires, rubber goods and elastomeric compositions"]. Moscow, 2016, pp. 122–131.
  60. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Zelenskiy A. I., Suzanskiy V. G., Kovalerchik V. P., Voronkova V. F. Kompozitsiya dlya rulonnogo gidrozolyatsionnogo materiala [Composition for rolled waterproofing material]. Patent SSSR, no. 812808, 1981.
  61. Kosior E., Forrest A. Durable Pipe Compounds from High Density Polyethylene. Available at: [www.ecorecycle.vic.gov.au](http://www.ecorecycle.vic.gov.au) (accessed 23.04.2019)
  62. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Alekseev N. G. Sostav dlya polucheniya rulonnogo izolyatsionnogo materiala [Composition to obtain a roll of insulating material]. Patent SSSR, no. 857191, 1981.
  63. Dolinskaya R. M., Kachan V. A. Rulonnyy gidrozolyatsionnyy material [Rolled waterproofing material]. Patent RB, no. 2705, 1998.
  64. Dolinskaya R. M., Kudinova G. D., Shcherbina E. I. Ispol'zovanie otkhodov khimicheskoy promyshlennosti Belorussii v proizvodstve rezinotekhnicheskikh izdeliy [Waste from the chemical industry of Belarus in the manufacture of rubber products]. Minsk, 1990. 36p.
  65. Vvedenskiy P. S. Izucheniye mekhanicheskikh svoystv distraktsionnogo regenerata [The study of the mechanical properties of distraction regenerate]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2013, no. 9-6, pp. 1172–1178.
  66. Khristoforova A. A., Filippov S. E., Lebedev A. V., Gogo-lev I. N., Sokolova M. D., Zarovnyaev B. N. Perspektivy primeneniya rezinovoy kroschki v sostave dorozhnykh pokrytiy glubokikh kar'erov [Prospects for the use of crumb rubber in the composition of paving deep quarries]. *Nauchnyy zhurnal KubGA* [Scientific journal KubGA], 2011, no. 74(10), pp. 12–22.
  67. Yatsun A. V., Konovalov N. P., Efimenko I. S. Zhidkie produkty piroliza otrabotannykh avtomobil'nykh shin pod vozdeystviem SVCh [Liquid pyrolysis products of used car tires under the influence of microwave]. *Khimiya tverdogo topliva* [Synthetic rubber industry], 2013, no. 4, pp. 60–62.
  68. Rivin E. M. Noveye napravleniya ispol'zovaniya otkhodov neftekhimii [New directions in the use of petrochemical waste]. Moscow: TsNIITeneftkhim Publ., 1994. 16 p.
  69. Babash S. E., Mukhina T. N. Vozmozhnye napravleniya razvitiya tekhnologii i konstruktivnogo oformleniya protsessa piroliza uglevodородного syr'ya [Possible directions of technology development and design of the process of pyrolysis of hydrocarbons]. *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya* [Chemical industry today], 1998, no. 11, pp. 12–14.
  70. Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D., Shcherbina E. I., Prokopchuk N. R., Tsybul'skaya E. I. Ispol'zovanie otkhodov rezinovoy promyshlennosti dlya sozdaniya novykh rezinotekhnicheskikh izdeliy [Using waste rubber industry to create rubber products]. *Trudy BGTU. Seriya IV. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya organicheskikh veshchestv* [Proceedings of BSTU. Series IV. Chemistry and chemical technology of organic substances], 2008, is. XVI, pp. 100–102.
  71. Yampol'skiy V. B., Sechina G. Yu. Sposob pererabotki otkhodov proizvodstva lit'evykh poliuretanov v kleevye kompozitsii [A method of processing waste production of molded polyurethanes in adhesive compositions]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2001, no. 5, pp. 41–42.
  72. Shakhovets S. E., Bogdanov V. V. *Kompleksnaya regeneratsiya shin* [Integrated tire regeneration]. Saint-Petersburg: Prospekt nauki Publ., 2008. 191 p.
  73. Shakhovets S. E., Smirnov B. L. Ispol'zovaniye tekhnologiya regeneratsii rezin [Intensive technology of rubber regeneration]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2006, no. 1, pp. 34–36.
  74. Kasatkin M. M. *Pererabotka amortizirovannykh avtomobil'nykh (aviatsionnykh) shin i otkhodov reziny* [Recycling of depreciated automobile (aircraft) tires and rubber waste]. Moscow: Signal' Publ., 2000. 29 p.
  75. Kornev A. E., Bukanov A. M., Sheverdyayev O. M. *Tekhnologiya elastomernykh materialov* [Technology elastomeric materials]. Moscow: Khimiya Publ., 2000. 288 p.
  76. Solov'ev M. E., Zakharov N. D., Solov'ev E. M., Kolkir K. F., Saprnov V. A., Shvarts A. G., Drozdovskiy V. F. Sposob izmel'cheniya rezin [The method of grinding rubber]. Patent SSSR, no. 956297, 1982.
  77. Beloborodova T. G., Panov A. K., Minsker K. S. Universal'naya ustanovka izmel'cheniya «myagkikh» polimernykh otkhodov [Universal installation for grinding "soft" polymeric waste]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2002, no. 7, pp. 46–48.
  78. Shakhovets S. E., Buzid Kh., Bogdanov V. V. Malozatratnaya regeneratsiya otkhodov rezinotekhnicheskogo i shinnogo proizvodstva [Low-cost regeneration of waste rubber and tire production]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2006, no. 2, pp. 30–31.
  79. Shapovalov A. B. Ustanovka dlya pererabotki rezinosoderzhashchikh otkhodov [Installation for processing rubber waste]. Patent RF, no. 70659, 2008.
  80. Aoudia K., Azem S., Aft Hocine N., Gratton M., Pettarin V., Seghar S. Recycling of waste tire rubber: microwave devulcanization and incorporation in a thermoset resin. *Waste Management*, 2017, vol. 60, pp. 471–481.
  81. Zhenzhen Cheng, Mengwen Yan, Liming Cao, Jiarong Huang, Xianwu Cao, Daosheng Yuan, Yukun Chen. Design of nitrile rubber with high strength and recycling ability based on Fe<sup>3+</sup>-catechol group coordination. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2019, vol. 58, no. 9, pp. 3912–3920. doi:10.1021/acs.iecr.8b05993
  82. Meng Chen, Wei Chen, Hui Zhong, Dong Chi, Yuhan Wang, Mingzhong Zhang. Experimental study on dynamic compressive behaviour of recycled tyre polymer fibre reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2019, vol. 98, pp. 95–112.
  83. Shutilin Yu. F. *Spravochnoe posobie po svoystvam i primeneniyu elastomerov* [Reference manual on the properties and use of elastomers]. Voronezh: Voronezhskaya gosudarstvennaya tekhnicheskaya akademiya Publ., 2003. 871 p.
  84. Golub L. S., Soldatova T. A., Vashchenko T. V., Sirchenko I. A., Zakharov Yu. I., Vashchenko Yu. N. Aspekty primeneniya izmel'chennykh vulkanizatsiy v sostave kompozitsionnykh elastomernykh materialov [Aspects of the use of crushed vulcanizates in the composition of composite elastomeric materials]. *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii po kauchuku i rezine* [Abstracts of the International Conference on Rubber and Rubber]. Moscow, 2004, pp. 77–78.
  85. Adov M. V., Krasnov P. L., Pichkhidze S. Ya., Panova L. G. Primeneniye melkodispersnogo poroshka reziny na osnove etilenpropilenovogo kauchuka v retsepture rezinovykh smesey na osnove etogo kauchuka [The use of fine rubber ethylene propylene powder in the composition of rubber compounds based on ethylene propylene rubbers]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2009, no. 6, pp. 32–34.
  86. Semenov G. V., Anan'ev V. V., Kirsh I. A., Koz'min D. V., Gubanov M. I. Pererabotka polimernykh otkhodov pri vliyani-nii na nikh ul'trazvuka [Polymer waste recycling with the influence of ultrasound on them]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2008, no. 10, pp. 41–44.
  87. Savchenko B. M., Grinen'ko V. M., Pakharenko A. V., Kostritskiy V. V., Pakharenko V. A. Vliyaniye otkhodov reziny na svoystva polipropilenovykh kompozitsiy [The effect of rubber waste on the properties of polypropylene compositions]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2007, no. 1, pp. 31–33.
  88. Adov M. V., Zuev A. V., Pichkhidze S. Ya., Yurovskiy V. S. Primeneniye melkodispersnogo poroshka reziny na osnove khlороpropenovogo kauchuka v retsepture rezinovykh smesey na osnove etogo kauchuka [Application of fine rubber powder based on chloroprene rubber in the formulation of rubber compounds based on this rubber]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and Rubber], 2010, no. 4, pp. 25–27.
  89. Petukhova N. A., Gusev A. D., Karpukhin G. A., Zaytsev I. I. Sravnitel'nyy analiz kachestva travmобезопасnykh pokrytiy v zavisimosti ot metoda pererabotki rezinotekhnicheskikh izdeliy

- [A comparative analysis of the quality of safety coatings depending on the method of processing rubber products]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 1-1, pp. 583–586.
90. Usachev S. V., Solov'ev O. Yu., Voronov V. N., Galybin G. M., Sergeeva N. L. Osobennosti vtorichnoy pererabotki amortizirovannykh vtorichnykh kamer i diafragm [Features of the recycling of shock-absorbed secondary chambers and diaphragms]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2005, no. 1, pp. 24–31.
  91. Serenko O. A., Muzafarov A. M., Meshkov I. B., Bazhenov S. L. Sposob aktivatsii izmel'chennykh otkhodov vulkanizovannoy reziny i material na ikh osnove [The method of activation of crushed waste vulcanized rubber and material based on them]. Patent RF, no. 22966780, 2007.
  92. Shapovalov A. B. Retsikling iznoshennykh shin nanodestruktsiy [Recycling of worn tires by nanodestruction]. *Ekologicheskij vestnik* [Ecological Bulletin], 2011, no. 11, pp. 108–115.
  93. Samoylenko A. Yu., Tuzhikov O. I. Sorbirovanie gazoobraznogo serovodoroda izmel'chennoy protektornoy reziny [Sorption of gaseous hydrogen sulfide crushed tread rubber]. *Problemy osvoeniya prikaspiyskoy vpadiny* [Problems of development of the Caspian basin]. Volgograd, 2002, vol. 60, pp. 199–205.
  94. Matveev K. S., Soltovets G. N., Burkin A. N. Retsikling integral'nykh poliuretannyykh kompozitsiy [Recycling of integral polyurethane compositions]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2002, no. 10, pp. 46–48.
  95. Mironovich L. M., Pavlenko A. A. Interpolimernaya kompozitsiya na osnove otkhodov zontichnoy tkani, sodержashchikh polikaproamid i polietilenterefalata [Composition Based on Umbrella Fabric Waste Containing Polycapraamide and Polyethylene Terephthalate]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2007, no. 9, pp. 48–49.
  96. Boldyrev B. S. Sposoby razrusheniya iznoshennykh rezinovykh izdeliy [Ways of destruction of worn-out rubber products]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Nauka-proizvodstvo-tekhnologii-ekologiya»* [Materials of the All-Russian scientific and technical conference "Science-production-technology-ecology"]. Kirov, 2004, pp. 161–162.
  97. Dolinskaya R. M., Kudinova G. D., Shcherbina E. I. Ispol'zovanie otkhodov pererabotki torfa v rezinakh [The use of waste peat processing in rubber]. *Proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov* [Production and use of elastomers], 1992, vol. 1, pp. 37–39.
  98. Dolinskaya R. M., Kudinova G. D., Shcherbina E. I. Issledovanie tsinksoderzhashchego otkhoda v kachestve vulkanizuyushchego agenta khloroprenovogo kauchuka [Study of zinc-containing waste as a vulcanizing agent of chloroprene rubber]. *Trudy Belorusskogo tekhnologicheskogo instituta. Seriya IV. Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv* [Proceedings of the Belarusian Technological Institute. Series IV. Chemistry and technology of organic substances], 1993, vol. 1, pp. 3–8.
  99. Karmanova O. V., Popova L. V., Tarasova A. A., Ososhnik I. A. Novye tekhnologicheskie dobavki k rezinovym smesyam [New technological additives to rubber compounds]. *Tezisy dokladov X nauchno-prakticheskoy konferentsii «Shiny. RTI i kauchuki»* [Abstracts of the X scientific and practical conference "Tires, RTIs and rubbers"]. Moscow, 2007, pp. 54–57.
  100. Zhuraev A. B., Adilov R. I., Alimukhamedov M. G., Magrupov F. A. Puti utilizatsii otkhodov polietilenterefalata [Ways of recycling polyethylene terephthalate waste]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2005, no. 3, pp. 47–51.
  101. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Vliyaniye razmera rezino-voy kroshki na svoystva elastomernyykh kompozitsiy [Influence of crumb rubber size on the properties of elastomer compositions]. *Tezisy dokladov 82 nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorskoye-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov «Tekhnologiya organicheskikh veshchestv»* [Abstracts of the 82 scientific and technical conference of the faculty, researchers and graduate students "Organic matter technology"]. Minsk, 2018, pp. 74–76.
  102. *Polyester: Fifty Years of Achievement: Tomorrow's Ideas and Profits*. Eds.: Brunndchweiler D. and Hearle J. UK: The Textile Institute, 1993. 368 p.
  103. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Vinogradova L. M. Izucheniye svoystv melkdispersnogo fosfoangidrita kak napolnitelya rezinovykh smesey [The study of the properties of fine phosphoanhydrite as a filler for rubber compounds]. *Proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov* [Production and use of elastomers], 1991, vol. 5, pp. 30–32.
  104. Dolinskaya R. M., Evsey A. V., Shcherbina E. I., Prokopchuk N. R. Novoe – eto khorosho pererabotannoe staroe. Kompozitsionnye materialy na osnove otkhodov polimerov [New is a well-processed old. Composite materials based on waste polymers]. *Khimiya i biznes* [Chemistry and business], 2008, no. 6–7, pp. 30–41.
  105. Dolinskaya R. M., Marusova S. N., Rusetskiy D. V. Otkhody rezinovykh proizvodstv – perspektivnyy material dlya sozdaniya novyykh izdeliy [Waste rubber production – a promising material for the creation of new products]. *Trudy BGTU. Seriya 4. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* [Proceedings of BSTU. 4: Chemistry, technology of organic substances and biotechnology], 2013, no. 4, pp. 45–47.
  106. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Kachur I. Ya., Voronkova V. F., Arkhipenko L. D. Sostav dlya polucheniya shumopogloshchayushchego materiala [Composition to obtain noise absorbing material]. Patent SSSR, no. 1219549, 1986.
  107. Vol'fon S. A., Nikol'skiy V. G. Tverdogaznoye deformatsi-onnoye razrusheniye i izmel'cheniye polimernyykh materialov. Poroshkovyye tekhnologii [Solid-phase deformation destruction and grinding of polymeric materials. Powder technology]. *Vysokomolekulyarnyye soedineniya* [Polymer Science], 1994, no. 6, pp. 1040–1056.
  108. Filonychev A. A., Akshinskaya V. V. Ispol'zovanie glubokogo okhlazhdeniya dlya povysheniya energoeffektivnosti tekhnologii pererabotki iznoshennykh avtomobil'nykh shin [The use of deep cooling to improve energy efficiency of technology for processing used tires]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2014, pp. 139–140.
  109. Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D. Vozmozhnost' ispol'zovaniya otkhodov dlya polucheniya izdeliy konstruktivnogo naznacheniya [The possibility of using waste to obtain products for structural purposes]. *Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energo- i materialosberegayushchie ekologicheski chistyye tekhnologii»* [Materials of the IX International Scientific and Practical Conference "Energy and Material Saving Environmentally Clean Technologies"]. Grodno, 2012, pp. 357–364.
  110. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R., Sviderskaya T. D., Rusetskiy V. V. Ispol'zovanie polimernyykh otkhodov kak vtorichno-go syr'ya [Use of polymer waste as a secondary raw material]. *Tezisy dokladov IX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Elastomery: materialy, tekhnologiya, oborudovanie, izdeliya»* [Abstracts of the IX International Scientific and Technical Conference "Elastomers: Materials, Technology, equipment, products"]. Dnepropetrovsk, 2012, pp. 155–156.
  111. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R., Rusetskiy D. V., Marusova S. N., Shcherbina E. I., Sviderskaya T. D. The Development of new Products using Recycled Materials Belorussian. *Belarusian-German "Scientific and Technical cooperation and Technology transfer in the sphere of power efficiency and waste processing"*. Minsk: Belorussian National Technical University Publ., 2012, pp. 47.
  112. Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D., Prokopchuk N. R., Rusetskiy D. V. Ispol'zovanie polimernyykh otkhodov kak vtorichnogo syr'ya [Use of polymer waste as a secondary raw material]. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Issues of Chemistry and Chemical Technology], 2013, no. 1, pp. 81–83.
  113. Gent A. N. Engineering with Rubber. How to Design Rubber Components. Munich: Carl Hanser Verlag, 2016. 447 p.
  114. Kostrykina G. I., Tsvetkov M. V., Karvonen S. N. Vliyaniye modifitsirovannogo izmel'chennogo vulkanizata na proch-nostnyye svoystva rezin [The effect of modified crushed vulcanizate on the strength properties of rubber]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Proceedings of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology], 2009, vol. 52, no. 10, pp. 131–133.
  115. Bordunov, V. V., Bordunov C. B., Leonenko V. V. Poluchenie voloknistyykh materialov iz otkhodov termoplastov [Obtaining fibrous materials from waste thermoplastics]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2005, no. 9, pp. 38–39.
  116. Dontsov A. A. *Protsessy strukturirovaniya elastomerov* [Structuring processes of elastomers]. Moscow: Khimiya Publ., 1978. 288p
  117. Khristoforova A. A., Sokolova M. D. Mekhanokhimicheskaya aktivatsiya rezinovykh kroshki [Mechanochemical activation of crumb rubber]. *Aktual'nyye problemy gumanitarnyykh i estestven-*

- rykh nauk [Actual problems of the humanities and natural sciences], 2009, no. 6, pp. 30–33.
118. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Modifikatsiya poverkhnosti izmel'chennogo vulkanizata dlya ego ispol'zovaniya v sostave elastomernykh materialov [Modification of the surface of crushed vulcanizate for its use as part of elastomeric materials]. *Materialy LVII otchetnoy nauchnoy konferentsii prepodavateley i nauchnykh sotrudnikov VGUIT za 2018 g.* [Materials of the LVII report of the scientific conference of teachers and researchers of VGUIT for 2018]. Voronezh, 2019, vol. 1, pp. 143.
  119. Dolinskaya R. M., Prokopchuk N. R. Izuchenie sovместимости kompozitsii elastomer–regenerat–modifikator [Study of the compatibility of the composition of elastomer–regenerate–modifier]. *Tezisy dokladov 81 nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Abstracts of the 81 scientific and technical conference of faculty, research staff and graduate students]. Minsk, 2017, pp. 64–66.
  120. Fang Y., Zhan M., Wang Y. The status of recycling of waste rubber. *Material and Design*, 2000, no. 22, pp. 123–127.
  121. Fukumori K., Matsushita M. Material Recycling Technology of Crosslinked Rubber Waste. *Recycle and Design Review of Toyota CRDL*, 2003, vol. 38, no. 1, pp. 39–47.
  122. Sombatsomporn N., Kumnuantip C. Rheology, Cure Characteristics, Physical and Mechanical Properties, Properties of Tire Tread Reclaimed Rubber/Natural Rubber Compounds. *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, vol. 87, pp. 1723–1731.
  123. Groshkov V. V., Nosov V. I., Glazkov V. A., Frankov N. A., Torkhunov V. V., Voronina G. V. Pokryshka pnevmaticheskoy shiny diagonal'noy konstruksii [Tire Pneumatic Tire]. Patent RF, no. 2096180, 1997.
  124. Popova L. V., Karmanova O. V., Tikhomirov S. G., Korystin S. I. Ispol'zovanie soputstvuyushchikh produktov mas-lozhirovoy promyshlennosti v reitsepturakh rezinovykh smesey The use of by products of the fat-and-oil industry in compounding rubber compounds]. *Kauchuk i rezina* [Rubber and rubber], 2008, no. 4, pp. 45–46.
  125. Korystin S. I., Popova L. V., Tarasevich T. V. Issledovanie sostava otkhodov proizvodstva rastitel'nykh masel [Study of the composition of vegetable oil production wastes]. *Materialy XLIV otchetnoy nauchnoy konferentsii prepodavateley i nauchnykh sotrudnikov VGUIT za 2005 god* [Materials of the XLIV reporting scientific conference for 2005]. Voronezh: VGTA Publ., 2006, vol. 1, pp. 192.
  126. Ayirmis N., Buyuksari U. Umit, Avci E. Utilization of waste tire rubber in manufacture of oriented strandboard. *Waste Management*, 2009, vol. 29, pp. 2553–2557.
  127. Scheirs J. *Polymer Recycling: Science, Technology and Applications*. UK: John Wiley & Sons, 1999, pp. 187–189.
  128. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Gugovich S. A. Ispol'zovanie polimernykh otkhodov dlya proizvodstva izolyatsionnykh materialov [The use of plastic waste for the production of insulation materials]. *Materialy IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energo- i materialosberegayushchie ekologicheskoye chistye tekhnologii»* [Materials of the IX International Scientific and Practical Conference “Energy and Material Saving Environmentally Clean Technologies”]. Grodno, 2012, pp. 353–357.
  129. Dolinskaya R. M., Sviderskaya T. D., Gugovich S. A., Prokopchuk N. R. Sposob izgotovleniya polimernoy kompozitsii dlya proizvodstva rezino-tekhnicheskikh izdeliy [A method of manufacturing a polymer composition for the manufacture of rubber products]. Patent RB, no. 17991, 2013.
  130. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Sviderskaya T. D., Rusetskiy D. V., Marusova S. N., Prokopchuk N. R. Sposob izgotovleniya rezinovoy smesi [A method of manufacturing a rubber mixture]. Patent RB, no. 17991, 2013.
  131. Yatsun A. V., Konovalov P. N., Konovalov N. P. Gazoobraznye produkty piroliza avtomobil'nykh pokryshek pod deystviem sverkhvysokikh chastot [Gaseous products of pyrolysis of car tires under the action of microwave frequencies]. *Khimiya tverdogo topliva* [Solid fuel chemistry], 2008, no. 3, pp. 70–75.
  132. Sokolova M. D., Khristoforova A. A., Morova L. Ya., Rubanov P. A. Sposob polucheniya rezinovoy kroschki [The method of obtaining rubber crumb]. Patent RF, no. 2383562, 2010.
  133. Mazubay L. V., Amerkhanov T. B. Raschet i proektirovanie osnastki oborudovaniya dlya ekstruzii trub iz kompozitsii «polietilen–rezinovaya kroschka» [Calculation and design of equipment for pipe extrusion from the composition “polyethylene–rubber crumb”]. *Nauka i Tekhnika Kazakhstana* [Science and Technology of Kazakhstan], 2019, no. 2, pp. 86–94.
  134. Serenko O. A., Goncharuk G. P., Rakityanskiy A. L., Karaeva A. A., Obolonkov E. S., Bazhenov S. L. Vliyaniye temperatury na deformatsionnoye povedeniye kompozita na osnove polipropilena i chastits reziny [The effect of temperature on the deformation behavior of a composite based on polypropylene and rubber particles]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya* [Polymer Science], 2007, vol. 49, no. 1, pp. 71–78.
  135. Dolinskaya R. M., Shcherbina E. I., Prokopchuk N. R., Rusetskiy V. V. Primeneniye pererabotannykh iznoshennykh shin v novykh rezinotekhnicheskikh izdeliyakh [The use of recycled used tires in new rubber products]. *Mir shin* [World of tires], 2008, no. 10, pp. 43–45.
  136. Gorban' T. V., Zhuravlev V. A., Onorina L. E., Kozhina T. V., Rakk I. A. Utilizatsiya i vtorichnaya pererabotka otkhodov proizvodstva poliuretanov [Utilization and recycling of polyurethane production waste]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 2001, no. 4, pp. 39–40.
  137. Leonovich S. N., Sviridov D. V., Shchukin G. L., Belanovich A. L., Savenko V. P., Karpushenkov S. A. Syr'evaya smes' na osnove otkhodov bazalt'ovoy vaty dlya polucheniya teploizolyatsionnogo materiala [The raw material mixture based on waste basalt wool for obtaining insulating material]. Patent RB, no. 18380, 2014.
  138. Frolov V. A., Merkulov S. A., Seleznev K. A. Vliyaniye usloviy obrabotki rezinovoy kroschki na stepen' ee devulkanizatsii [The effect of rubber crumb processing conditions on the degree of its devulcanization]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2014, no. 3, pp. 362–364.

Поступила в редакцию 15.07.2019

© Р. М. Долинская, Н. Р. Прокопчук, 2020