

УДК 629.113

З.А. Кострова, А.В. Михеев, М.Е. Бушуева, В.В. Беляков, С.Н. Митяков

УТИЛИЗАЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И БЕЗВОЗДУШНЫХ ШИН

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведены причины необходимости переработки и утилизации пневматических шин, их состав и свойства, рассмотрены примеры регулирования вопросов утилизации в разных странах, расчет дохода от переработки одной тонны шин, представлены способы восстановления шин и экономический эффект от использования восстановленных шин, а также их потребление в ряде стран. Описаны способы переработки изношенных шин, приведен пример полуавтоматической линии переработки пневматических шин, а также направления вторичного использования резиновой крошки и шин, вышедших из употребления. Рассмотрены конструкционные особенности непневматических (безвоздушных) шин и способы их переработки и утилизации. Целью статьи является сравнение утилизации и способов вторичного использования пневматических и непневматических шин.

Ключевые слова: пневматические шины, непневматические (безвоздушные) шины, утилизация шин, переработка шин, Риф Осборна, свалки шин, состав шин, налоговые и утилизационные сборы использованных автомобильных покрышек, состав и структура пневматической и непневматической (безвоздушной) шины, восстановление шин, переработка шин, экономический эффект от использования восстановленных шин, полуавтоматическая линия по переработке шин, резиновая крошка, полиуретаны.

В мире ежегодно образуются до 10 млн т использованных автопокрышек, что соответствует почти миллиарду изношенных шин. В 1999 г. Европейский союз утвердил закон, согласно которому с 2003 г. запрещено сжигание использованных покрышек, а также захоронение целых шин, а с 2006 г. был введен запрет и на захоронение шин, разрезанных на куски. Перед мировым сообществом встал вопрос о способах утилизации, переработки и методах вторичного использования шин. На сегодняшний день количество не переработанных изношенных покрышек составляет: в США – 2,8 млн т, в Европе – 2,5 млн т, в России – 1 млн т [1].

Изношенные шины – источник длительного загрязнения окружающей среды. Целесообразность утилизации и переработки шин связана с рядом факторов:

1. Шины не подвергаются биологическому разложению в естественных условиях. Примером может служить разработанный в 1972 г. проект по утилизации старых покрышек путем создания из них искусственного рифа (площадью 150 тысяч квадратных метров) у берегов Южной Флориды – Рифа Осборна. Целью проекта было: утилизировать использованные шины, расширение среды обитания морских животных, создание альтернативных мест для дайвинга (рис. 1, а). Последствия – разрушение естественной среды обитания и экосистемы в целом (рис. 1, б), разрушение естественных рифов (во время штормов и ураганов шины поднимают со дна, они налетают на коралловые рифы и уничтожают их), загрязнение береговой полосы (рис. 1, в) и т.д. Подобные проекты разрабатывались и в ряде других стран. Ежегодно волонтеры в рамках программ по очистке прибрежных зон убирают с пляжей почти 12 тыс. старых шин;

2. Скопление старых покрышек – это благоприятное место для обитания грызунов и насекомых, которые являются переносчиками инфекционных заболеваний (рис. 1, г);

3. Свалки шин – это потеря полезных площадей, шины занимают большой объем (рис. 1, д);

4. Около 80% шины – не возобновляемые природные ресурсы;

5. Шины обладают высокой пожароопасностью, при горении выделяют ядовитые вещества (рис. 1, е).



Рис. 1. Свалки шин:

а – шины Рифа Осборна; *б* – Риф Осборна по прошествии 30 лет; *в* – шины, выброшенные на берег ураганом; *г* – скопление старых покрышек; *д* – свалка использованных шин; *е* – горение свалки шин

Здесь представлены только основные причины необходимости утилизации шин.

Жесткая конкурентная борьба за качество и надежность привела к тому, что состав и свойства каучуков, каркасных материалов, а также технология производства этих изделий весьма схожи у разных производителей. В результате современные шины представляют собой сложное композитное изделие из разнородных материалов, обладающее большой устойчивостью к механическим повторно-переменным нагрузкам и разрушающим факторам внешней среды. Эти свойства шин, крайне необходимые для обеспечения безопасной эксплуатации колесной техники, становятся крайне неприятными при решении проблемы их ликвидации после завершения жизненного цикла [2]

В странах ЕС обращение с изношенными шинами контролируется следующим образом [8]:

1. Установлен запрет на захоронение целых шин;
2. Утилизации подлежит до 85% общего объема вышедшего из употребления транспортного средства (ТС);
3. Запрет на сжигание шин.

Также, в странах Европейского союза на сегодняшний день существуют три системы налогообложения, организации и финансирования сбора и утилизации использованных автомобильных покрышек:

1. Система налоговых сборов: производители шин выплачивают специальные налоги, которые в дальнейшем служат дотациями для перерабатывающих производств (Дания, Словакия, Латвия);

2. Производители и поставщики новых шин несут ответственность за утилизацию. Производители перечисляют средства (пропорционально объему выручки) в специальный фонд, который служит источником финансирования заводов по переработке шин, пунктов приема шин (Швеция, Норвегия, Финляндия, Португалия, Польша, Франция, Великобритания, Испания, Венгрия);

3. Каждый участник рынка переработки шин самостоятельно выбирает контрагента (Германия).

Следует отметить, что утилизация во всех европейских странах платная: тот, кто сдает шины, обязан оплатить так называемый экологический взнос. В зависимости от типа шины экологический взнос может достигать 110 евро. Величины экологического взноса в процентном соотношении в зависимости от величины и массы шины приведены в табл. 1 [15].

Таблица 1
Величина экологического взноса в зависимости
от величины и массы шины в странах Европейского союза

Тип шин	Масса, кг	Стоимость, %
Мотоциклы	3-5	1
Легковые авто	5-15	1,5
Грузовые авто	15-60	10
Спецтехника	-	Индивидуально
Сельскохозяйственная, дорожностроительная техника	60-130	23
	130-200	38
	200-450	59
	Более 450	100
Скутеры, мотороллеры, автокамеры	Менее 3	0,55
Коммерческий авиа- транспорт	Около 77	18
Общественный авиа- транспорт	Около 6	1,6
Военный авиатранспорт	Около 16	3,3

В США финансирование утилизационных программ происходит за счет налогов и сборов, взимаемых при продаже шин, либо при регистрации ТС.

В Японии действует «Закон о переработке отходов», на основании которого каждый гражданин обязан самостоятельно доставить старые шины на пункты сбора и заплатить за утилизацию.

В Финляндии в цену шины для легкового автомобиля входит стоимость утилизации и 24% НДС на эту сумму. Такой же сбор платится при покупке нового автомобиля. За счет растущей выручки от продажи вторичных ресурсов, получаемых при утилизации, снижается величина утилизационных сборов, которые платит покупатель [10].

В Российской Федерации вопрос утилизации регламентируется Статьей 51 п.2 Федерального закона об охране окружающей среды, Статьей 8.2 «Кодекса РФ об административных правонарушениях». Государство лицензирует деятельность фирм, работающих с опасными отходами (к которым относятся и отработанные шины).

Шина, которая поступает на утилизацию, состоит из ряда элементов (рис. 2).

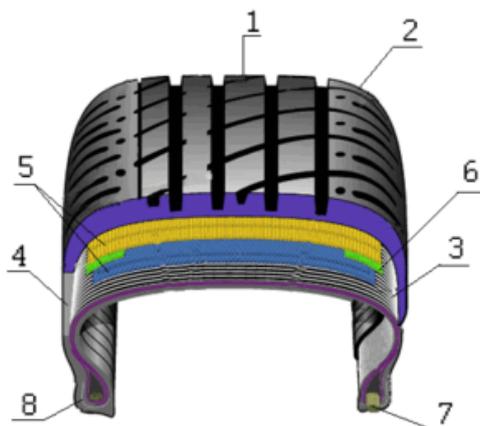


Рис. 2. Общие элементы в структуре пневматической шины:

1 - протектор; 2 - плечо покрышки; 3 - капроновый корд; 4 - боковина покрышки; 5 - брекер (стальной корд); 6 - резиновая прослойка; 7 - кольцо из металлокорда; 8 - посадочный борт

Исходя из приведенного описания, все элементы в составе шины можно разделить на резиновые составляющие, металл, текстильные нити армирования и прочие составляющие (например, клей). Примерный, среднестатистический состав шины приведен на рис. 3.

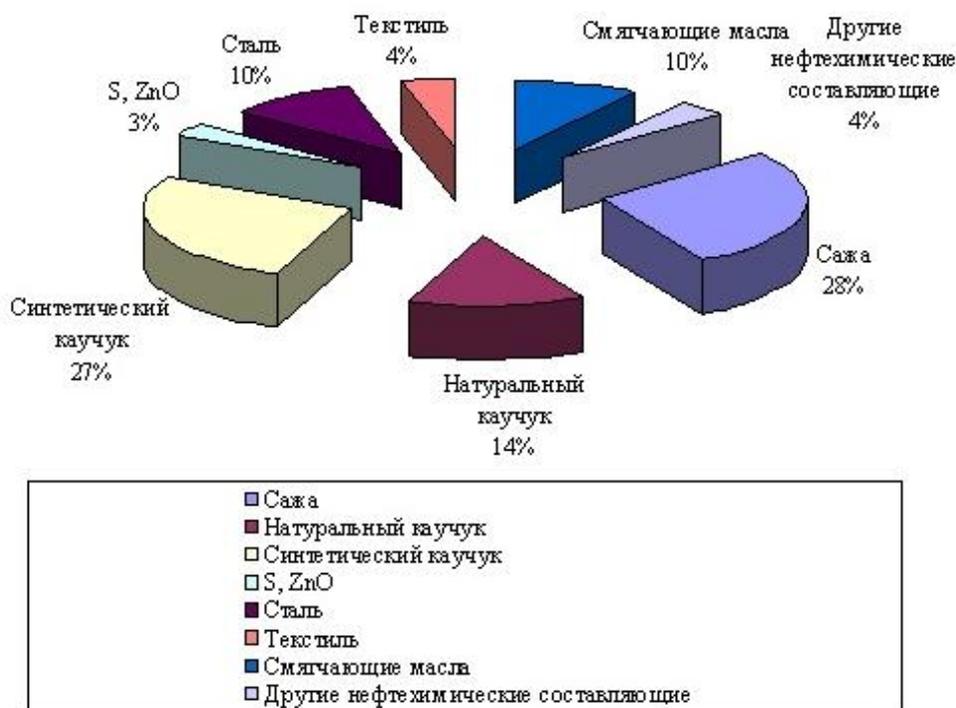


Рис. 3. Среднестатистический состав шины легкового автомобиля
 [http://drimer.pro/catalog/kompaniia-tamanno]

Из одной тонны резины [9] могут быть получены следующие продукты: бензиновая фракция – 325 кг, мазут – 175 кг, технический углерод – 300 кг, металлокорд – 200 кг. Рентабельность действующего предприятия [9] по переработке шин составляет примерно 78%. Несколько источников приводят примеры экономического расчета дохода от переработки одной тонны покрышек [10].

Вес одной покрышки ≈ 6 кг.

Одну покрышку можно продать для утилизации в виде топлива ≈ 1,86 евро за одну покрышку:

$$1000 \text{ кг} / 6 \text{ кг} \cdot 1,86 \text{ евро} = 310 \text{ евро.}$$

При применении установок (для переработки резинотехнических и полимерных отходов) с одной тонны покрышек получается:

Печное топливо – 315 кг при стоимости - 0,15 евро/кг;

Печная сажа (технический углерод) – 400 кг при стоимости – 0,40 евро/кг;

Высокооктановая добавка в топливо – 135 кг при стоимости 0,55 евро/кг;

Металл – 100 кг при стоимости – 0,11 евро/кг.

Итого получаем с одной тонны переработанных покрышек

$310 + 315 \text{ кг} \cdot 0,15 + 400 \text{ кг} \cdot 0,4 + 135 \text{ кг} \cdot 0,55 + 100 \text{ кг} \cdot 0,11 = 602,5$ евро.

На сегодняшний день можно выделить два основных способа работы с изношенными шинами: восстановление шин (наложение нового протектора) и переработка шин, не подлежащих использованию по прямому назначению.

Существуют два способа восстановления шин [11]: холодное восстановление и горячее восстановление. При холодном восстановлении происходит наложение тонкой невулканизированной резины, а сверху еще и вулканизированной протекторной ленты, далее проводится вулканизация при температуре 100 °С. Физические свойства каркаса остаются неизменными, возможно трехкратное восстановление. При горячем восстановлении проводится вулканизация и формирование рисунка протектора в пресс-форме при температуре более 150°С. При данном способе восстановления происходит ослабление связей между металлокордом и резиной из-за воздействия высоких температур, повреждается структура каркаса шины, восстановление возможно только один раз.

Экономический эффект от использования восстановленных шин можно рассмотреть на следующем примере. Рыночная стоимость новой грузовой шины Michelin 275/70 R 2.5 протектор X INCITY XZU на 23.04.2016 [12] составляет 28 300 руб. Цена аналогичной восстановленной шины [13] составляет 14 000 руб. Стоимость восстановления у различных поставщиков данной услуги варьируется, но в среднем составляет менее 50% от стоимости новой шины. Таким образом, если шина восстанавливается трижды, снижение затрат на одну шину за три цикла восстановления составит:

$$28\,300 \cdot 3 - 14\,000 \cdot 3 = 42\,900 \text{ руб.}$$

Авторами статьи «Восстановленные шины в России» [14] была проведена оценка относительной стоимости одного километра пробега «новых» и «восстановленных» шин (на примере шин Marangoni), которая показала, что для восстановленных шин эта величина составила: для шин, эксплуатировавшихся на задней оси, около 70% от стоимости новых и 80% для шин, эксплуатировавшихся на передней оси. Таким образом, экономия использования восстановленных шин в приведенном примере составляет 30% и 20% соответственно.

На рис. 4 приведено потребление восстановленных шин в общем объеме покупаемых шин в ряде стран.

Известны два принципиально различных вида технологических процессов переработки изношенных шин: с разрушением и без разрушения их резиновой составляющей. Методы переработки изношенных шин с разрушением резиновой составляющей основаны на процессах сжигания, термического и каталитического крекинга, пиролиза, разложения резины под действием озона, кислорода и других химических реагентов. Применение этих методов приводит к глубокой деструктуризации полимера, в большинстве случаев – к распаду молекулярной цепи. Получаемые продукты горения или разложения можно рассматривать как возможное сырье для органического и нефтехимического синтеза. Протекание таких процессов требует больших затрат энергии и наличия достаточно сложного оборудования. Поэтому для того, чтобы оправдать все затраты, ценность полученных в результате такой переработки продуктов должна быть очень высокой [3] и на сегодняшний день в основном применяются методы переработки резины, которые обеспечивают максимальное сохранение химической составляющей, с целью производства резиносодержащих изделий из восстановленной резины.

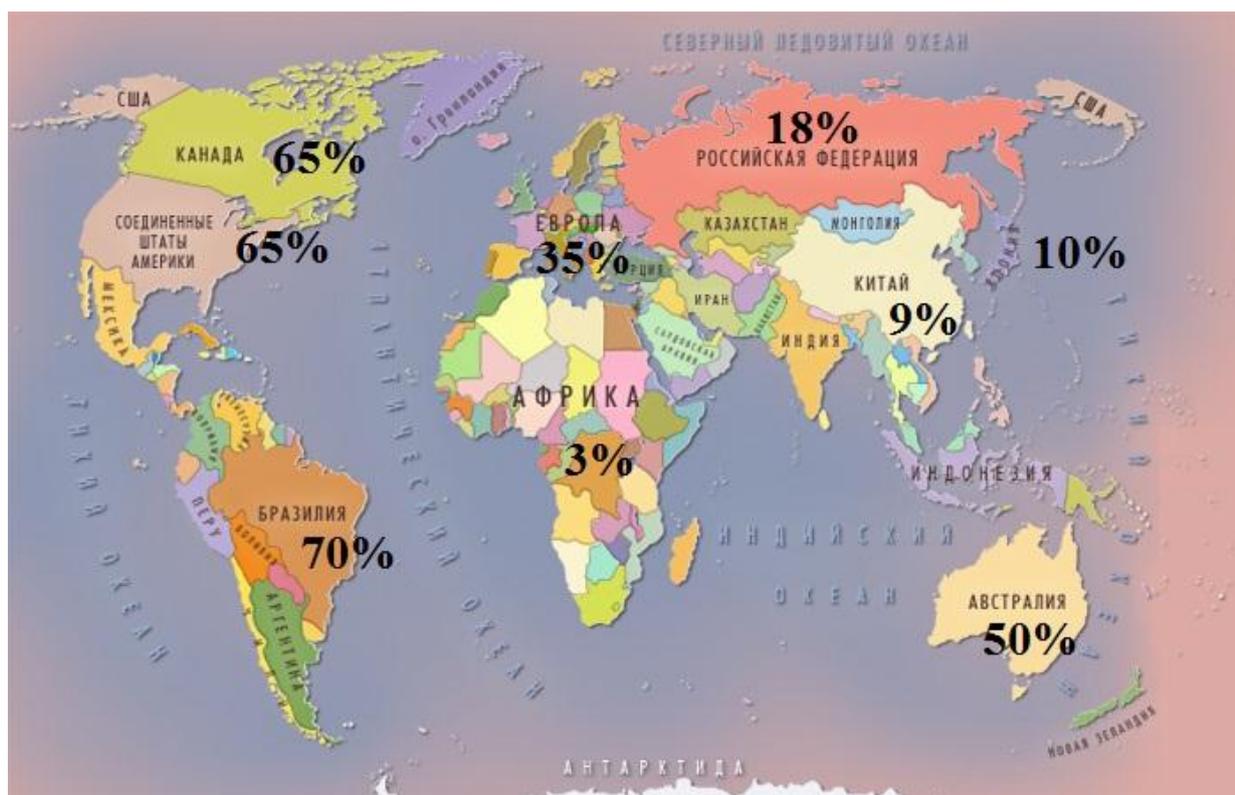


Рис. 4. Потребление восстановленных шин в общем объеме приобретаемых шин

ООО «Н.Т.Д ТАМАННО» [4] предлагает технологию растворения автошин в органическом растворителе. Авторы проекта предлагают метод материального рециклинга, в результате которого образуется бензиновая фракция (используется на предприятиях нефтехимии, а также НПЗ при производстве высокооктанового экологически чистого бензина.), мазут (по своим показателям соответствует ГОСТ 1058-99 (М-40)) и технический углерод (направляется на облагораживание, в результате чего получают углерод-углеродные материалы или электропроводный техуглерод) [4]. Созданная технологическая линия растворения автопокрышек и облагораживания техуглерода является поточной, т.е. непосредственно весь технологический процесс не будет иметь контакта с атмосферой вплоть до вывода готовых продуктов в накопители (резервуары, склады хранения продукции) и перегрузки для дальнейшей транспортировки к потребителю. Растворитель циркулирует в замкнутой системе и не имеет контактов с атмосферой. Для нагрева растворителя применяется трубчатая печь с огневым нагревом. Печь типичная для установок нефти и газопереработки. Нагрев электроэнергией нерентабелен. Дымовые газы образуются при сгорании топлива в печи. В качестве топлива используется углеводородный газ (газ, получаемый в процессе переработки автошин, природный газ) [4].

Ряд авторов [5] предлагают технологии, при которых составляющие извлекаются из покрышки без нарушения физико-химических свойств, чтобы была возможность их повторного использования, например, при производстве новых автомобильных покрышек. Бортовые кольца редко получают повреждения ввиду своей прочности и вполне пригодны для повторного использования. Усилитель борта также является достаточно прочным элементом, число поврежденных в ходе эксплуатации нитей невелико и их также можно использовать повторно. Брекер подвергается деформации при движении - механические повреждения брекера в процессе его эксплуатации часто приводят к нецелесообразности его повторного использования. К тому же извлечение нитей брекера (доли миллиметра) - достаточно сложная техническая задача. Однако извлеченный брекер, даже в виде пучка стальных нитей, нашел применение, например, в строительстве - при производстве фибробетонов. Сталь, используемая в покрышках, имеет высокое качество, поэтому актуальность вторичного использова-

ния стальных элементов не вызывает сомнений. Таким образом, на первом этапе из покрышки удаляют бортовые кольца, затем брекера, а затем отделяется беговая дорожка (протектор). Удаление нейлоновых нитей бандажа возможно как в целом, так и измельченном виде [5].

Ряд компаний – производителей [16] предлагают технологическую схему и оборудование для переработки шин в крошку – на рис. 5 представлен один из вариантов такой линии.



Рис. 5. Полуавтоматическая линия по переработке шин в крошку
[\[http://www.import-terminal.ru/raznoe/128-oborudovanie-dlya-pererabotki-shin.html\]](http://www.import-terminal.ru/raznoe/128-oborudovanie-dlya-pererabotki-shin.html)

По данным поставщика [16], производительность такой линии составляет 200 кг/ч, стоимость – 387 000 юаней (по курсу на 29.05.2016 это составит 3 896 199,90 руб.).

Резиновая крошка используется во многих областях. Из нее изготавливают новые автомобильные покрышки, РТИ для автомобилей, техпластины, водоотталкивающие покрытия для крыш, ж/д шпалы и подрельсовые прокладки, напольные коврики и подошвы для обуви, колеса для инвалидных колясок и коек. Также этот материал используют для покрытия дорог, футбольных полей, теннисных кортов и детских площадок. Из резиновой крошки изготавливают плитки, и добавляют её в бетон для строительства [6]. Преимущества применения резиновой крошки: долговечность: срок службы изготовленного по всем правилам продукта может варьироваться от 20 до 40 лет и основные показатели, которыми обладает резиновая крошка, во многом превосходят аналогичные показатели керамической плитки, асфальта, бетона, песчаной брусчатки, линолеума и других; резиновые покрытия могут поглощать уровень шума до 28 децибел; резиновое покрытие является отличным амортизирующим материалом, а также отличным противоскользящим средством; не задерживает на себе снег, наледь и другие осадки; высокий уровень износоустойчивости позволяет резиновым покрытиям препятствовать вредным воздействиям окружающей среды [7]. На рис. 6 представлены некоторые направления вторичного использования шин и резиновой крошки, полученной от переработки пневматических шин.

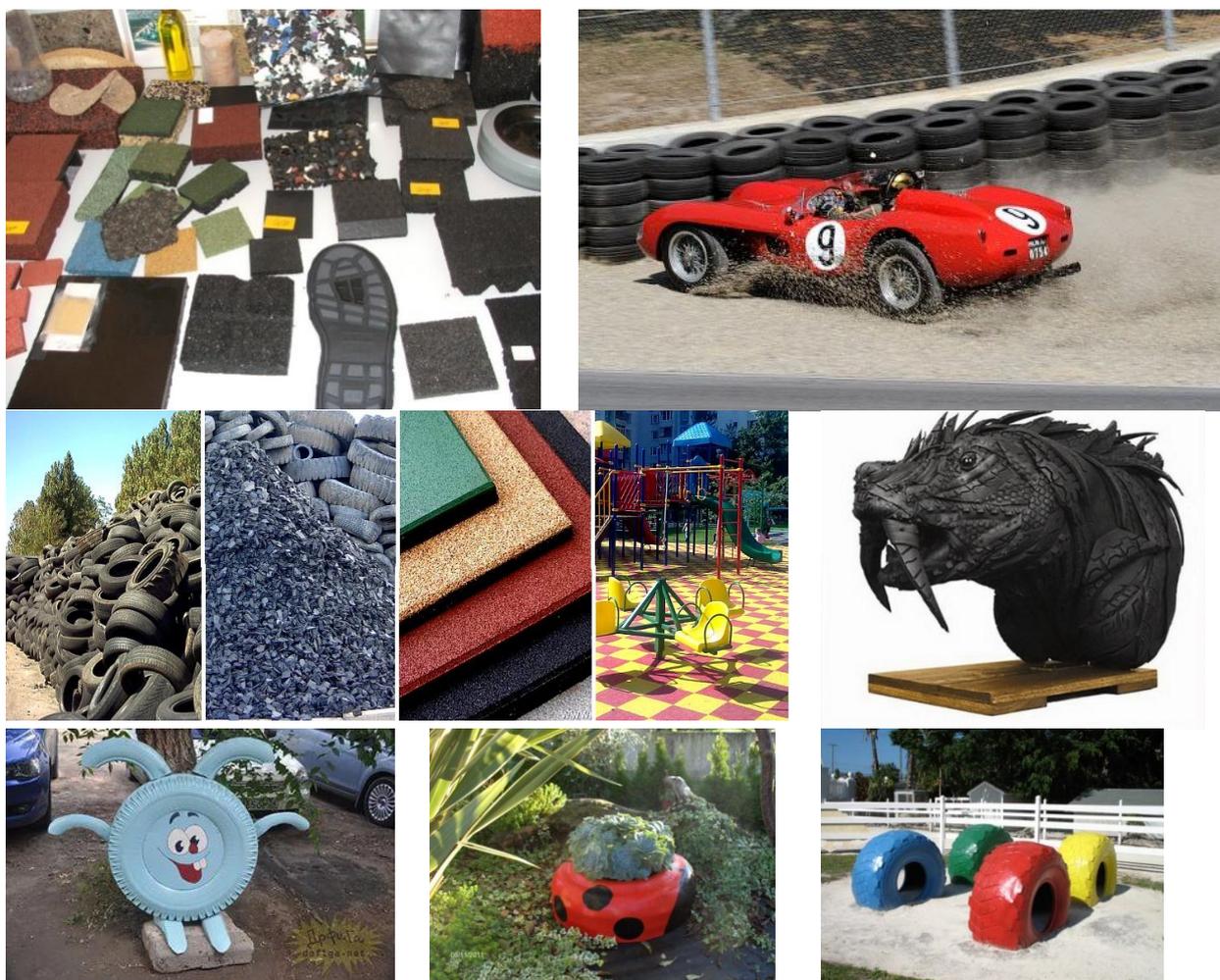


Рис. 6. Вторичное использование пневматических шин и резиновой крошки

В 2004 году компания Michelin продемонстрировала мировому рынку автомобильные шины без воздуха с упругими деформируемыми спицами из полиуретана Tweel (рис. 7, а). Конструктивно Tweel представляют собой систему цельных внутренних ступиц, прикреплённых к полуоси. Вокруг них расположены полиуретановые спицы, соединенные в определенной последовательности. Через спицы проходит растяжной хомут, формируя внешний край шины [16]. Компания Bridgestone представила конструкцию непневматической шины AirFree – колесо состоит из металлического диска и шины, которая представляет собой два кольца, соединенные упругими элементами (рис. 7, б) [17]. Безвоздушные покрышки Air Free имеют три основных конкурентных преимущества: улучшенные ездовые характеристики, повышенную грузоподъемность и бесспорную экологичность. Материалы, применяемые в новых шинах, подлежат утилизации и повторной переработке. За счет этого достигается дополнительная экономия на ресурсах (и снижение стоимости для покупателей). Компания Polarix продемонстрировали своё видение безвоздушных шин, заменив систему спиц на систему сот (рис. 7, в). Компания Hankook (рис. 7, г) создала шины, в которой собственно шина и обод - одно целое [17-19].

Таким образом, непневматические шины – «спицевые» или «состовые» - конструктивно функционируют как единое целое. Среди преимуществ iFlex корейцы называют упрощённую утилизацию, благодаря особому материалу, из которого они изготовлены (синтетический полиуретан). 95% I-Flex – это переработанные материалы.

Методы вторичной переработки продуктов из полиуретана включают процессы регенерации энергии, такие как сжигание и использование выделяемого тепла для производства электроэнергии. Другой способ заключается в механической переработке, включая измель-

чение и повторное использование отходов полиуретана в качестве наполнителя формованной продукции. Третий способ представляет собой химическое разделение полиуретана на его мономерные составляющие с последующим повторным использованием мономеров для производства новой полиуретановой продукции [20].



Рис. 7. Непневматические (безвоздушные) шины:

а - шины Michelin Tweel; б – шины Bridgestone AirFree; в – шины Polaris; г – шины Hankook iFlex

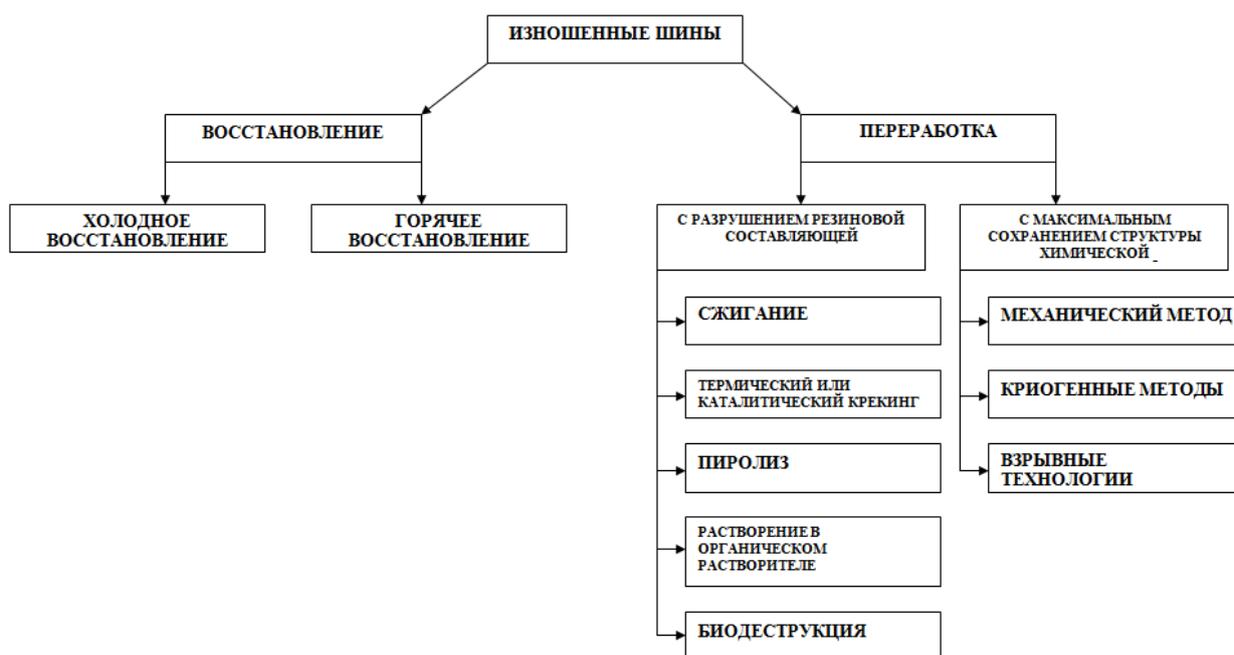


Рис. 8. Классификация способов работы с шинами, вышедшими из употребления

Таким образом, на сегодняшний день возможны следующие варианты переработки вышедших из употребления шин, классификация которых представлена на рис. 8.

Из изложенного можно сделать вывод, что утилизация непневматических шин значительно упрощается по сравнению с переработкой пневматических шин за счет изменения конструкции колеса (нет необходимости дополнительного извлечения металлических и других составляющих), а также материала покрышки.

Библиографический список

1. Утилизация и вторичное использование резины. URL: <http://vtorothodi.ru/pererabotka/pererabotka-rezinovux-pokryshek>. Дата доступа 15.05.2016.
2. **Пармухина, Е.Л.** Как склад для изношенных шин превратить в прибыльное предприятие // Экологический вестник России. – 2010. – №3. – С. 22–24.
3. **Ветошкин, А.Г.** Утилизация резинотехнических изделий. Защита литосферы от отходов: учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 189 с.
4. **Старков, С.В.** Технология переработки автошин путем растворения в органическом растворителе, предлагаемая ООО «Н.Т.Д. ТАМАННО» г. Москва. URL: <http://drimer.pro/catalog/kompaniia-tamanno>.
5. **Куракова, П.А.** К вопросу о выборе способа переработки автомобильных покрытий / П.А. Куракова, М.М. Макаров, Ю.В. Родионов // Автотранспортное предприятие. – 2008. – №12. – С. 23–25.
6. Переработка покрышек. URL: <http://mmgazeta.ru/06.07.2012/pererabotka-pokryshek.htm>. Дата доступа 05.05.2016.
7. Новая жизнь старой покрышки. URL: <http://lenoblnews.info/ecology/item/8009-novaya-zhizn-staroy-pokryshki.html>. Дата доступа 30.04.2016.
8. «Сибур» проанализировал проблему утилизации шин в России. URL: <http://colesa.ru/news/10449>. Дата доступа 18.05.2016.
9. **Старков, С.В.** Анализ технологий переработки автошин. URL: <http://www.newgarbage.com/?id=12808&page=1&part=27>. Дата доступа 25.04.2016.
10. **Ростарчук, М.** Как утилизируют старые покрышки в Финляндии. URL: <http://xn--80aafn3bdn2bw.xn--p1ai/stati/kak-utiliziruyut-starye-pokryshki-v-finljandiii.html>. Дата доступа 18.05.2016.
11. О восстановлении шин. URL: http://www.rktp-trade.ru/?page_id=1719. Дата доступа 18.05.2016.
12. Грузовые шины Michelin. URL: http://www.td-dsm.ru/goods/40401418-gruzovyye-shiny_michelin_275_70_r_22_5_protector_x_incity_xzu. Дата доступа 25.05.2016.
13. Шины автомобильные восстановленные. URL: <http://nizhniy-novgorod.regmarkets.ru/shiny-avtomobilnye-vosstanovlennye-43055/> Дата доступа 25.05.2016.
14. **Виколов, М.П.** Восстановленные шины в России. URL: <http://xn--80aplfcfh0e.xn--p1ai/tekhnicheskaia-informatciia/> Дата доступа 15.05.2016.
15. **Веселов, И.В.** Переработка использованных шин: международный опыт / И.В. Веселов [и др.] // Твердые бытовые отходы. – 2012. – №12. – С. 58–63.
16. **Мазур, В.В.** Способы повышения живучести и безопасности автомобильных шин // Системы. Методы. Технологии. – 2009. – №1. – С. 41–45.
17. **Михеев, А.В.** Оценка деформации колеса, оснащенного непневматической шиной при компьютерном моделировании вертикального статического нагружения / А.В. Михеев [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – №2 (109). – С. 162–169.
18. **Беляков, В.В.** Статистическая модель выбора геометрических параметров, массоинерционных, мощностных и скоростных характеристик многоосных колесных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2015. – №4(111). – С. 136–147.
19. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 3 (100). – С. 145–174.

20. **Михеев А.В.** Анализ возможностей применения безвоздушных шин на автотракторной технике и сельхозмашинах / А.В. Михеев [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 5. – С. 21–26.

*Дата поступления
в редакцию 22.06.2016*

Z.A. Kostrova, A.V. Miheev, M.E. Bushueva, V.V. Belyakov, S.N. Mityakov

THE UTILIZATION OF PNEUMATIC AND AIRLESS TIRES

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeyev

This article describes some reasons for the need of processing and recycling of pneumatic tires, their composition and properties, examples of regulation of recycling in different countries, the calculation of income from the processing of 1 ton of tires, the methods of recovery of tires and the economic effect from using retreaded tires, as well as their consumption in several countries. Described some methods of processing of worn tires, shows an example of semi-automatic processing line of pneumatic tires, as well as the direction of the use of secondary crumb rubber and tires. Also, the design features non-pneumatic (airless) tires and their recycling and disposal. The purpose of this article is to compare the utilization and ways of reusing of non-pneumatic and pneumatic tires.

Key words: pneumatic tire, non-pneumatic (airless) tires, recycling tire, tire recycling, Osborne Reef, dumping of tires, composition of tires, tax and recycling fees, used tires, composition and structure of non-pneumatic (airless) and pneumatic tires, retreading, tire recycling, the economic effect from the use of retreaded tires, semi-automatic line for processing of tires, crumb rubber, polyurethanes.