

Сасов О. Аналіз способів переробки зношених автомобільних пневматичних шин / О. Сасов // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. — Том 77. — № 1. — С. 161-167. — (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

УДК 658.567.3:629.3.027.514:504.054:504.064.4

**О. Сасов, канд. техн. наук**

*Дніпродзержинський державний технічний університет*

## **АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПЕРЕРОБКИ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН**

**Резюме.** *Наведено аналітичні дослідження прогресивних технологічних рішень утилізації відпрацьованих пневматичних автомобільних шин для визначення найефективнішого способу з точки зору енерговитрат, екологічності та отримання продуктів переробки.*

**Ключові слова:** *автомобільні шини, утилізація, подрібнення, гума крихта.*

**O. Sasov**

## **ANALYSIS OF METHODS OF WORN CAR PNEUMATIC TIRES RECYCLING**

**Summary.** *The level of utilization of pneumatic tires worldwide does not exceed 10% due to imperfection of these methods. Worn car tires are the source of valuable hydrocarbons, the scrap of alloyed steel and textile material as natural and synthetic fibers. Therefore the problem of disposal of worn tires and other rubber products is relevant to environmental and economic problems. With this in mind the researches and constructor development of advanced methods of automobile pneumatic tires processing are conducted worldwide.*

*The ways of recycling waste rubber products associated with their fragmentation seem to be the most promising as chemical methods, such as pyrolysis and combustion lead to the destruction of polymer base of the material. Various methods of grinding can be divided into cryogenic grinding and grinding at positive temperatures depending on the conditions of the process.*

*Recycling tires cryogenic technology has the highest performance is completely environmentally friendly. Car tires are frozen to state fragility and then crushed with subsequent separation of metal cord and textiles. As the refrigerant used cold air or liquid nitrogen. This technology allows to obtain rubber crumb with the settings and smooth surface particles, which significantly improves its physical and chemical properties and can be used to manufacture new rubber products including the number of 80%.*

*Cryogenic grinding technology of tires is based on the simultaneous use of physical phenomena that contribute to efficient flow of the process – that is the weakening of ties between the metal and rubber cord due to differences in their coefficients of thermal expansion leading to cracking and partial separation of rubber from metal. The resulting low-grit after grinding has the smallest size and most highly developed surface that allows you to actively use it in the future.*

*Other methods of recycling tires are a temporary solution to the problem of recycling tires.*

**Key words:** *car tires, recycling, grinding, rubber crumb.*

**Постановка проблеми.** Рівень утилізації пневматичних шин по всьому світу не перевищує 10% через недосконалість цих методів. Зношені автомобільні шини є джерелом цінної вуглеводневої сировини, лому легованої сталі й текстильного матеріалу у вигляді натуральних і синтетичних волокон. Тому проблема утилізації зношених шин та інших гумовотехнічних виробів актуальна з екологічної та економічної сторін. З урахуванням цього по всьому світу проводяться дослідження та конструкторські розробки досконалих способів переробки відпрацьованих автомобільних пневматичних шин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В багатьох роботах розглядаються проблеми переробки зношених пневматичних шин – М.М. Касаткіна, Е.С. Скорнякова, О.М. Коробочки, О.О. Сасова, В. Б. Рудасьова [1–4]. Роботи Е.М. Соловйова, Н.Д. Захарова, В.М. Макарова, [5,6] присвячені способам переробки та використання продуктів відходів шинної промисловості.

Роботи Е.М. Соколова, Б.Н. Оладова, Н.І. Володіна, Н.Г. Бекіна, Е.А. Пучина та інших [7–10] розглядають способи та обладнання для переробки шин.

**Метою роботи** є визначення переваг та недоліків існуючих способів переробки відпрацьованих пневматичних автомобільних шин для визначення найефективнішого способу отримання якісних продуктів переробки шляхом порівняння розглянутих технологій по виходу товарного продукту.

**Результати дослідження.** Подрібнення шин вважається найпривабливішим способом їх переробки, оскільки дозволяє максимально зберегти фізичні властивості гуми в продуктах переробки. Способи подрібнення прийнято розділяти на подрібнення при позитивних температурах і криогенне подрібнення.

Перша установка з отримання гумової крихти криогенним методом у США почала функціонувати в компанії «МЗС-Вест Еластомерікс» у штаті Огайо в 1979 р. У Великобританії фірмою «Мірен Інвестмент корпорейшн» повинні бути побудовані 3 заводи з подрібнення шин, на яких перероблятиметься 12 млн. штук щорічно. Заводи забезпечуватимуться сировиною через пункти збору і сортування шин. У Німеччині в 1979 р. були 2 установки з дроблення шин при низьких температурах (у м. Брауншвейг і в м. Ессене). Фірма «Хельдт» в 1987 р. щодоби переробляла в гумову крихту близько 20 т шин із застосуванням криогенної технології. В даний час в Німеччині працюють 2 заводи, на яких застосовують криогенну технологію подрібнення шин, при цьому потужності використовуються неповністю. Японською компанією «Осака газ інжинірінг» в 1977 р. був розроблений криогенний спосіб дроблення шин. Недоліком способу виявилися великі експлуатаційні витрати на рідкий азот. Експлуатаційні витрати при дробленні при позитивних температурах невеликі, але вартість устаткування вища, ніж при використанні низькотемпературного дроблення. У зв'язку з цим фірма пізніше розробила комбінований спосіб: грубе дроблення при позитивних температурах, а подальше подрібнення в порошок при низьких температурах і побудувала відповідну компактну і повністю автоматизовану установку з річною продуктивністю 7000 т. У Японії отримують гумову крихту з шин (при звичайних і низьких температурах). Якість крихти регламентується стандартом Японського наукового суспільства (5ГШ8), відповідно до якого визначаються фракційний склад, щільність, зміст золи, а їх величини залежать від вимог споживачів. У колишньому СРСР було розроблено й упроваджено кілька технологій і технологічних ліній подрібнення зношених шин тільки з текстильним кордом. До 1990 року функціонувало понад 10 заводів із виробництва регенерату зі зношених шин, при цьому кожен завод мав у своєму складі лінію подрібнення. Для переробки шин використовували технологію подрібнення при позитивних температурах на валковому і млиновому устаткуванні.

Необхідно відзначити, що всі перераховані вище зарубіжні технології отримали практичне (промислове) освоєння в одному – двох виробництвах. При, здавалося б, масовій наявності сировини тиражування виробництв не відбулося. Головні причини – тривалість окупності виробництв, обмеженість ринків збуту продуктів переробки, у тому числі й гумової крихти розміром 3–8 мм.

За останні 10 років в Росії накопичений великий науково-технологічний досвід в області переробки зношених шин з металокордом і вивченням ринків збуту продуктів переробки шин. На початку 2000 року гумова крихта розміром 3–8 мм широко використовувалася у виробництві регенерату, попит на який був досить стійкий і мав тенденцію до зростання. Більше того, періодично мав місце дефіцит цього товару на ринку із-за різкого скорочення його виробництва в країнах СНД та східної Європи. В даний час з'явився попит на якісний регенерат, який виробляється з використанням не 3–8 мм гумової крихти з домішкою 7–10% текстилю, а тонкодисперсних гумових порошоків з розмірами

частинок менше 0,7 мм (Японія, Росія, США та ін. країни). Наприклад, в Китаї йде перехід на використання в цих цілях порошоків з дисперсністю менше 0,45 мм (попит 50 тис. тонн в рік). Вартість регенерату підійшла впритул до вартості первинної сировини (каучуків), що, у свою чергу пояснюється високою вартістю гумових порошоків у порівнянні з крихтою. За наявними даними на ринку Німеччини вартість гумових порошоків складає: розмір гумової крихти до 1мм – 350 євро за тонну; від 1 до 3 мм – 200 євро за тонну; від 3 до 5 мм – 150 євро за тонну.

Розробленням устаткування для виробництва тонкодисперсних порошоків з полімерних матеріалів і гум в останні 2–3 роки активно займаються фірми США, Англії, Швейцарії, Італії, Німеччини та інших країн. Проте створити ефективне устаткування для отримання порошоків у промислових обсягах вдалося тільки російській фірмі «Рекрія Інжинірінг»®, м. Москва.

Розроблені ТОВ «Рекрія Інжинірінг»® технологічні лінії подрібнення екструзії зношених автомобільних шин при підвищених температурах різною продуктивністю (3–13 тис. тонн за рік по сировині) дозволяють отримати тонкодисперсні 0,5–2,0 мм гумові порошки з високорозвиненою питомою поверхнею частинок 2500–3500 см<sup>2</sup>/г.

Ці порошки володіють доброю сорбційною здатністю й підвищеною сумісністю з еластомерами та термопластами, що робить їх незамінними для отримання нових матеріалів – гумопластів і нових нафтових сорбентів широкого застосування. Попит на такі порошки тільки на німецькому ринку складає 20 000 тонн щорічно за ціною 1500 євро за тонну.

Вказані вище причини змусили зарубіжних і вітчизняних розробників технологій і устаткування переглянути свої підходи до створюваних технологічних ліній [11].

До недоліків переробки шин механічним способом при підвищених температурах відноситься:

1. Форма частинок гуми, що отримуються даним способом, абсолютно довільна, а їх поверхня рвана («кошлата»), що підсилює процес оксидування в умовах високих температур, які виникають при подрібненні гуми. При цьому змінюються властивості початкового матеріалу, що призводить до зниження якості отримуваної гумової крихти і виключає можливість її застосування у високотехнологічних гумотехнічних виробництвах.
2. Виключається можливість 100%-вої сепарації гумової крихти від залишків текстилю і металевого корду, навіть за наявності спеціальних магнітних сепараторів і пристроїв типу «циклон». Це призводить до зниження якості отриманого продукту і до збільшення зносу устаткування через наявність металевих включень.
3. Унаслідок запилювання і високих температур, що виникають при подрібнюванні гуми, а також активних хімічних виділень в атмосферу це виробництво відноситься до розряду екологічно небезпечних.
4. Має місце значний знос різального інструменту та іншого устаткування (ножів, шнеків і тому подібне), що призводить до додаткових витрат на його обслуговування.

Переробка шин за криогенною технологією має найвищу продуктивність, є абсолютно екологічно чистою. Автомобільні покришки заморожуються до стану крихкості й подрібнюються з подальшим відділенням металевих кордів і текстилю. В якості холодагента використовується холодне повітря або рідкий азот. Ця технологія дозволяє отримувати гумову крихту із заданими параметрами і гладкою поверхнею частинок, що значно покращує її фізико-хімічні властивості й дозволяє використовувати для виготовлення нових гумових виробів з кількістю включень до 80%.

Аналіз основних способів утилізації зношених автомобільних шин представлено в табл.1.

З табл.1 бачимо, що найпривабливішим здається метод подрібнення шин при низьких температурах. Не зважаючи на високу вартість обладнання, необхідно звернути увагу на якість отримання гумової крихти. Отримана крихта після низькотемпературного подрібнення має найменші розміри й найбільш високорозвинену поверхню, що дозволяє активно використовувати її у подальшому.

На сьогодні час існує три технології подрібнення шин механічним способом: з використанням каскаду з 5-ти дробарок; спосіб безупинного стиску і зрушення в замкненому просторі черв'ячно-кулачковою машиною (бародеструкційна технологія); криогенним способом із використанням рідкого азоту чи холодного повітря з каскадом дробарок).

Кожна з цих технологій обов'язково тією чи іншою мірою включає типовий набір устаткування: дробарки грубого дроблення на шматки 50–100 мм; дробарки другої стадії здрібнювання з метою відділення металокорду і текстилю; магнітні сепаратори; аеросепаратори для відділення текстилю; сита для фракціонування порошку; бункери – нагромаджувачі; рукавні фільтри – пилозбірники; пневмотранспортні системи; транспортери; вентиляційні системи.

Розходження, в основному, полягає в апаратурному оформленні кінцевих стадій здрібнювання, температурних режимах, необхідних виробничих площах і енерговитратах на 1 тону кінцевого продукту.

Інші способи переробки шин являють собою тимчасове вирішення проблеми утилізації шин. При піролізі й спалюванні використовується тільки сировинний чи енергетичний потенціал автопокришки. При вивезенні на смітник ресурси шини не використовуються.

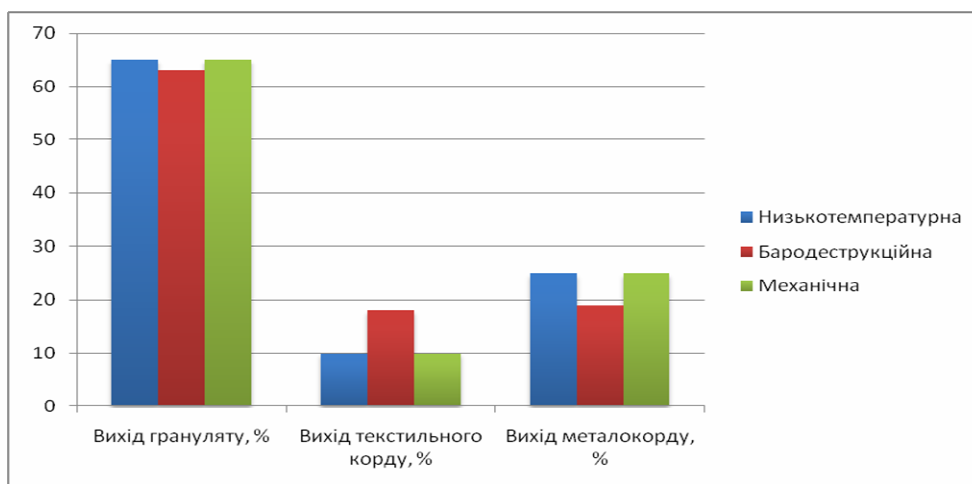
Таблиця 1

Аналіз основних способів утилізації зношених автомобільних шин

Спосіб	Сутність способу	Недоліки способу
1. Відновлення	Продовження терміну експлуатації автопокришки; екологічний; дуже ефективний щодо великих шин та машин бюджетного класу	Не може повторюватися скільки завгодно разів без впливу на її якість та безпеку експлуатації; тимчасове, а не комплексне вирішення проблеми утилізації
2. Вивезення шин на звалище	Перевезення та складання шин	Екологічне та фізичне забруднення; шини практично не підлягають розкладанню; вогнебезпечне; утворюють ідеальне місце для розмноження паразитів; дефіцит площі для смітників; великі екологічні санкції; шини витягаються з економічного обороту
3. Використання цілих шин	Будова штучних рифів; захист схилів від ерозії; звукоізолюючих загороджень уздовж автострад; використання на спортмайданчиках	Не є комплексним вирішенням проблеми; екологічна небезпека, пов'язана з виходом ядовитих хімічних сполук; вогнебезпечність
4. Спалювання шин	Отримання теплової енергії, $ККД_{шин} \approx ККД_{вугілля}$	Велике екологічне забруднення, викид ядовитих сполук; великі затрати на очищення продуктів згоряння; знищуються хімічно коштовні речовини, що містяться в матеріалі зношених шин
5. Піроліз	Отримання великої кількості мастильних речовин та пального	Низька якість продуктів; високі витрати; екологічна небезпека
6. Технологія озонного руйнування	Швидке розростання тріщин та розпад матеріалу на шматки; малі енергозатрати, якісний вихід металу та текстилю	Незадовільні показники за формою і поверхнею часток; гума змінює свої первісні властивості; екологічно небезпечний, тому необхідна рекуперация відпрацьованого озону
7. Подрібнення зношених шин	Переробка у кінцевий продукт; дозволяє максимально зберегти фізичні властивості гуми в продуктах переробки	Велика вартість обладнання; залежно від методу подрібнення; можливе екологічне забруднення (залежно від методу)

Діаграма порівняння розглянутих технологічних ліній по виходу товарного продукту наведена на рис. 1.

По виходу гумової крихти (більше 60%) і металокорду (більше 20%) бародеструкційна і низькотемпературна технологія рівні, однак по виходу текстилю бародеструкційна перевершує інші на 7%.



**Рисунок 1.** Діаграма порівняння технологічних ліній по виходу товарного продукту

**Figure 1.** Diagram of comparing production lines at the yield of market product

Нижче наведено порівняльні дані (табл.2) трьох параметрах виробництва тонкодисперсійних гумових порошоків для установки середньої потужності: 10 000 тонн у рік по зношених шинах (6–7 тис. т/рік по порошках).

Дуже важливим показником якості отриманого гумового порошку є фактор розвиненості питомої поверхні часток порошоків однієї і тієї ж дисперсності, найкращими якостями отриманих порошоків і металокорду має криогенна технологія [12].

**Таблиця 2**

Порівняння параметрів виробництва тонкодисперсійних гумових порошоків

№ з/п	Параметр	Порошок з дисперсністю менше 1 мм		
		Механічна	Бародеструкційна	Низько-температурна
1	Кількість додаткових стадій подрібнювання	3	3	2
2	Виробнича площа, м (крім складів)	1500–2000	1500–2000	750–1200
3	Енерговитрати, кВт·год/т	1400–1700	500–600	400–450
4	Додаткові вентиляційні системи	3	3	–
5	Додаткові викиди в атмосферу	Так	Так	Ні
6	Холодоагенти	–	Охолоджена вода при $t^{\circ} \leq 18^{\circ} \text{C}$ 24 м <sup>3</sup> /год в закритій системі	До 2 кг рідкого азоту на 1 кг подрібненої гуми
7	Вартість устаткування з урахуванням переробки шин діаметром до 1400 мм, тис. дол. США	2500–2800	2800–4000	1600
	Рентабельність виробництва без	22	17	37

8	обліку держдотаций, %			
---	-----------------------	--	--	--

Як бачимо з табл.2, криогенний спосіб утилізації зношених автомобільних шин є найпрогресивнішим.

Слід також зазначити ряд переваг, які має криогенна технологія утилізації шин:

- не залежить від конструкції й габаритних розмірів шин;
- виключається небезпека додаткового перегріву гуми, а також її осмолення, у результаті – відмінна якість кінцевого продукту – гумової крихти (частки кубічної форми з розвиненою гладкою поверхнею зламу, і, як наслідок, гарна сипкість і висока насипна щільність);
- оскільки подрібнюванню піддають тендітний матеріал, доведення його до порошкоподібного стану здійснюється протягом одного процесу, витрата енергії скорочується, продуктивність зростає;
- такі компоненти, як тканина і металокорд легко відокремлюються;
- відсутнє окислювання й зберігається структура полімеру;
- знижена пожежонебезпека процесу;
- відсутній запах, пил, знижений виробничий шум;
- поліпшені санітарно-гігієнічні умови праці в цілому.

**Висновки.** Найперспективнішими є способи переробки відходів гумових виробів та зношених пневматичних автомобільних шин, пов'язані з їх подрібненням, оскільки хімічні методи, такі як піроліз і спалювання призводять до знищення полімерної основи матеріалу.

**Conclusions.** The analysis made showed that the most promising methods are the ones recycling rubber products and worn pneumatic tires related to their grinding, because chemical methods such as pyrolysis and combustion lead to the destruction of polymer base material.

#### Список використаної літератури

1. Касаткин, М.М. Проблемы переработки амортизированных автомобильных шин и резино-технических изделий [Текст] / М.М. Касаткин. – М., 1998. – 64 с.
2. Скорняков, Е.С. Проблемы переработки зношених автомобільних шин [Текст] / Е.С. Скорняков, О.М. Коробочка, О.О. Сасов // Математичні проблеми технічної механіки-2009. Міжнародна наукова конференція 20–23 квітня. – Дніпродзержинськ-Дніпропетровськ. – 2009 – С.185–187.
3. Перспективы развития в Украине технологии переработки изношенных автомобильных и тракторных шин [Текст] / А.А. Сасов, Э.С. Скорняков, А.Н. Коробочка, В.Б. Рудасев // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2009. – №4. – С.122–126.
4. Сасов, О.О. Дослідження обсягу виникнення і вторинного використання зношених автомобільних шин [Текст] / О.О. Сасов, О.М. Коробочка, Е.С. Скорняков // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2010. – №6(148). – С.20–24.
5. Соловьёв, Е.М. Переработка и использование отходов шинной промышленности: тем. обзор. [Текст] / Е.М. Соловьёв, Н.Д. Захаров. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1983. – 66 с.
6. Макаров, В.М. Использование амортизированных шин и отходов производства резиновых изделий [Текст] / В.М. Макаров, В.Ф. Дроздовский. – Л.: Химия, 1986.
7. Переработка изношенных шин [Текст] / Э.М. Соколов, Б.Н. Оладов, Н.И. Володин, В.А. Тимофеев, Н.М. Качурин, В.А. Иваницкий. – Тула: Тульск. ГУ, 1999. – 115 с.
8. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности: учеб. пособие для вузов [Текст] / Н.Г. Бекин, Н.Д. Захаров, Г.К. Пеунков, А.В. Попов, Н.П. Шанин. – Л.: Химия, 1985. – 504 с.;
9. Эксплуатация, ремонт, хранение и утилизация шин автотранспортных средств [Текст] / Е.А. Пучин, О.Н. Дидманидзе, В.Н. Корнеев, М.Ю. Конкин, Г.Е. Митягин, О.А. Иващук. – М.: УМЦ ТРИАДА, 2005.
10. Вострокнутов, Е.Г. Реологические основы переработки эластомеров [Текст] / Е.Г. Вострокнутов, Г.В. Виноградов. – М.: Химия, 1988. – 232 с.;
11. Пат. № 56698 України. Спосіб переробки зношених шин загального призначення та великогабаритних автомобільних шин [Текст] / Е.С. Скорняков, О.М. Коробочка, О.О. Сасов, В.С. Авер'янов; власник – Дніпродзержинський державний технічний університет. – № у 2010 08087; заяв. 29.06.2010; публ. 25.01.2011, Бюл. №2.
12. Переработка изношенных шин: монография [Текст] / Э.М. Соколов и др. – 1999. – 134 с.

Отримано 15.12.2014