

Гусев А. Д., канд. техн. наук, ст. преп.,  
Петухова Н. А., канд. техн. наук, доц.,  
Карпухин Г. А., студент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

## К ВОПРОСУ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Naderevnydeduschke@yandex.ru

*Изучен процесс переработки изношенных автомобильных шин механическим упруго-деформированным способом на установке КПШ-1. Приведены количественные характеристики продуктов переработки, установлены оптимальные параметры переработки изношенных автомобильных шин предложено математическое описание эксплуатационных характеристик установки по переработке резины в зависимости от технологических факторов (частоты вращения фрезы и срока ее службы) полиномиальной зависимостью второго порядка.*

**Ключевые слова:** переработка изношенных автомобильных шин, резиновая крошка, характеристики, технологические факторы

Сегодня в России объем образования изношенных автомобильных шин значительно превышает объем переработки и утилизации. Это обстоятельство приводит к значительному их децентрализованному накоплению и загрязнению окружающей среды, что обусловлено высокими транспортными расходами при транспортировке на значительные расстояния, высокой стоимостью энергоносителей, отсутствием перерабатывающих предприятий, работающих механизмов на законодательном уровне и т.д. Вместе с тем, в настоящее время существует ряд технологий по переработке отходов резинотехнических изделий и использованных автомобильных шин, различающихся методом получения крошки: криогенный; способ высокоскоростного реза; упруго-деформационный. Перечисленные методы измельчения различаются температурными режимами, характером воздействия на материал, что в свою очередь обуславливает различия в свойствах получаемой крошки [1, 2, 3]. В результате этого резиновые гранулы, полученные разными способами механической переработки, отличаются формой, удельной поверхностью, степенью окисленности поверхности, а также дисперсионным составом. В результате, получаемая различными методами переработки, резиновая крошка обладает характерными физико-механическими свойствами, что в дальнейшем влияет на эксплуатационные и эстетические показатели изготавливаемой из нее конечной продукции [3, 4, 5].

Авторами [6] установлено, что при производстве отечественной резиновой гибкой черепицы с использованием в качестве вторичного ресурсного компонента резиновой крошки (РК), продукта переработки изношенных шин, наиболее эффективным является упруго-деформационный способ изготовления резиновой крошки. В динамично меняющемся мире,

когда на протяжении одного строительного сезона спрос на отдельные виды фракций РК может изменяться диаметрально противоположно, в зависимости от требуемых свойств конечной продукции, необходим различный фракционный состав получаемого вторичного сырья. В связи с этим, сегодня требуются мобильные установки с малым потреблением энергии, простым управлением свойств конечного сырья и, позволяющие переработчикам устанавливать их в небольших населенных пунктах при достаточно низких затратах. Примером подобного оборудования, используемого в России и ближнем зарубежье является установка КПШ-1 производства Пензенского завода ОАО «Пензмаш». Аналогом является установка УПШ-1, производства КНР (рис. 1).

Технологическая линия КПШ-1 по переработке изношенных шин основана на использовании упруго-деформированного способа измельчения старой резины.



Рис. 1. Камера загрузки линии по переработке изношенных автомобильных шин КПШ-1

Процесс переработки автошин заключается в следующем: Измельчение автомобильных шин производится вращательным движением фрезы, при этом продукты переработки по транспортеру перемещаются на прутковую решетку выб-

ратора, совершающую колебательные движения при помощи механизма экстринцикового типа. Куски металлического корда, перемещаясь по решетке, попадают в емкость для сбора металлокорда, а резиновый порошок с оставшимися мелкими частицами металлического корда просыпается сквозь решетку и подается норией на сито просеивателя, где происходит разделение его на фракции. Отделение текстильных приме-

сей осуществляется при помощи пневматического пылеуловителя, входной патрубком которого расположен над ситами просеивателя. Сита в количестве шести штук обеспечивают получение резиновой крошки следующих фракций: 0...0,5 мм; 0,5...1,2 мм; 1,2...2,2 мм; 2,2...3,2 мм; 3,2...4,2 мм (Рисунок 2). Последняя фракция свыше 4 мм подвергается доработке с помощью дробилки.



Рис. 2. Оборудование технологической линии по переработке изношенных автомобильных шин:

- а – решетка вибратора для отделения текстиля и крупных включений из общей массы продуктов переработки;
- б – механизм подачи резиновой крошки для последующего разделения по фракциям;
- в – сита просеивателя;
- г – пылеуловитель с системой сит

В среднем данная установка позволяет получать до 300 кг/ч резиновой крошки различной фракции, 100 кг/ч высококачественного металлокорда и текстильного корда. Нами установле-

ны качественные характеристики резиновой крошки, полученной вышеуказанным методом на установке КПШ-1 [6].

Таблица 1

**Качественные характеристики резиновой крошки**

Наименование показателя	Вид резиновой крошки				
	РК-0	РК-1	РК-2	РК-3	РК-4
Фракционный состав РК, мм	0-0,5	0,5-1,2	1,2-2,2	2,2-3,2	3,2-4,2
Содержание воды, %, не более	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
Присутствие частиц чёрных металлов (после магнитной сепарации), %, не более	0,1	0,3	0,4	0,4	0,6
Содержание остатков кордного волокна (вискозного и капронового), %, не более	0,4	0,8	1,2	1,2	1,5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	410,0	405,0	403,0	395,0	390,0

Установлено, что производительность и показатели дисперсного состава резиновой крошки зависят от ряда технологических факторов: частоты вращения фрезы (об/мин.), времени замены или расточки зубьев фрезы, вида изношенных автомобильных шин и т.д. Частота вращения фрезы влияет на количество производимой крошки и ее дисперсный состав. При увеличении частоты, возрастает количество более мелкой фракции, при этом ухудшается качество за счет присутствия значительного количества пыли. Снижается срок службы зубьев фрезы, происходит их затупление, появляются сколы, что негативно влияет на качество и количество конечной продукции.

Для выявления оптимальных технологических параметров производства резиновой крошки проводилось математическое планирование эксперимента с последующей обработкой данных на ПК

В качестве варьируемых переменных были приняты:

$x_1$  – частота вращения фрезы, об/мин;

$x_2$  – время службы фрезы до замены, мес.

Для определения функциональной зависимости типа

$$V=f(X_1;X_2)$$

было использовано ортогональное центральное композиционное планирование эксперимента с варьированием каждой независимой переменной на трех уровнях.

В качестве ядра планирования принят полный факторный план типа  $2^k$ , где  $k$  – число независимых переменных. При этом число опытов  $n$  определялось из выражения

$$n = 2k + 2k + 1 = 9$$

В таблице 2 представлена матрица планирования в кодировом и натуральном выражениях. В качестве выходных параметров была исследована максимальная производительность установки КПШ-1 (т/год.) в зависимости от технологических факторов.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№ п/п	Наименование переменных				Выходные параметры	
	в кодировом выражении		в натуральном выражении		Производительность S, т/год	Кол-во бракованной продукции т/год
	$x_1$	$x_2$	Частота вращения n, об/мин	Срок эксплуата- ции фрезы T, мес.		
1	-1	-1	2000	4	389,2	16,6
2	-1	0	2000	6	369,9	22,1
3	-1	1	2000	8	332,2	49,3
4	0	-1	3000	4	438,8	14,8
5	0	0	3000	6	409,1	20,4
6	0	1	3000	8	376,5	32,1
7	1	-1	4000	4	441,2	43,5
8	1	0	4000	6	406,4	78,1
9	1	1	4000	8	373,5	152,6

Данная матрица пригодна для построения модели в виде полинома второй степени:

$$y = A_0 + A_1 n + A_2 t + A_3 n^2 + A_4 t^2 + A_5 n \cdot t,$$

$A_0 \dots A_5$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Расчет коэффициентов уравнения регрессии  $Y=f(X_1;X_2)$  и их статистический анализ проводился на ПК.

После обработки экспериментальных данных на ПК получена математическая модель изменения производительности установки КПШ-1 по переработке изношенных автошин в зависимости от частоты вращения фрезы и времени ее использования.

$$S = 406,21 + 20,04 \cdot n - 26,458 \cdot t - 25,25 \cdot n^2,$$

Приемлемость полученной модели подтверждена проверкой гипотезы адекватности по критерию Фишера:

Проведенные экспериментальные исследования и полученное уравнение регрессии позволяют дать количественную и качественную оценку влияния каждого изучаемого фактора, а

также их совокупности на производительность установки КПШ-1. На рис. 3 представлена графическая интерпретация полученной модели.

Выявлено, что наиболее производительным является режимы №4 и №7, выход крошки при которых составляет 438,8 и 441,2 т/год. Однако при работе установки в режиме №4, на единицу продукции приходится 3,4% брака, в то время как в режиме №7 количество брака составляет 9,9%. С технико-экономической точки зрения, наиболее выгодными режимами переработки являются режимы №5 и №8, производительность которых уступает рассмотренным выше режимам, но при этом срок нормальной службы фрезы составляет 6 месяцев, что позволяет в значительной степени снизить издержки производства. Наиболее оптимальным режимом переработки изношенных автошин на установке КПШ-1, исходя из наилучших технико-экономических показателей, является режим с частотой вращения фрезы 3200...3300 об/мин.,

при котором производительность достигает 404,1 т/год готовой продукции, при этом на единицу продукции образуется 4,9 % брака. Ниже представлен дисперсионный состав РК, полученной при данном режиме переработки и определяемый методом автоматического рассева с использованием различных сит в соответ-

ствии с ГОСТ 3826-82\*. Метод основан на просеве РК, с использованием нестандартного набора сит, установленных на линии КПШ-1 (рис. 4).

Полученная гистограмма фракционного состава РК приведена на рис. 5.

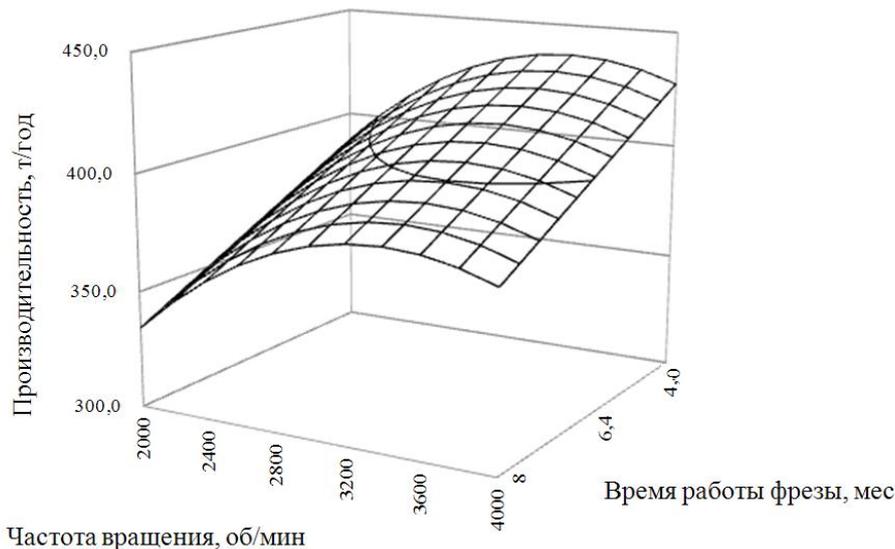


Рис. 3. Производительность установки КПШ-1 в зависимости от частоты вращения фрезы и срока ее эксплуатации



Рис. 4. Рассев резиновой крошки по фракциям

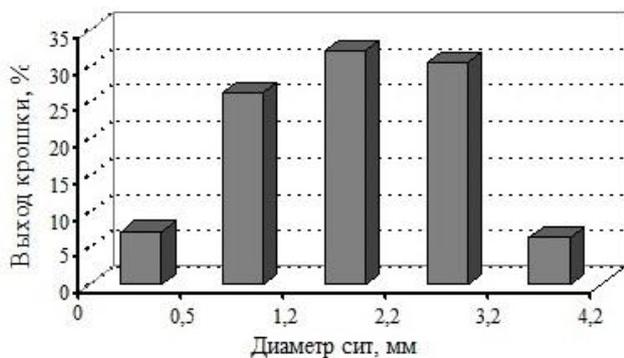


Рис. 5. Гистограмма распределения фракционного состава РК после механической переработки на установке КПШ-1

Проведенные исследования позволяют спрогнозировать качественные и количественные характеристики резиновой крошки, что в

значительной степени позволит снизить издержки перерабатывающих предприятий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агаянц И.М., Оськин В.М., Корнев А.Е. Альбом технологических схем переработки эластомерных материалов (часть 2) // Учебно-методическое пособие. М.: ИПЦ МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2010, с. 84
2. Аминов О.А. Технологии переработки шин: перспективы применения // Твердые бытовые отходы. 2009. №3. С. 46-48.
3. Блинков Е.Л., Ляпин А.Г. Криотехнология переработки покрышек и бескамерных автомобильных шин // Экологические системы и приборы. 1999. № 5. С. 20-22.
4. Комаров С.А., Кокин Н.С. Переработка изношенных покрышек // Твердые бытовые отходы». 2008. №3. С. 34-35.
5. Демьянова В.С., Дярькин Р.А., Гусев А.Д. Обеспечение техносферной безопасности предприятий автотранспортного комплекса// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010.№ 2. С. 169-171.
6. Демьянова В.С., Гусев А.Д., Симакина Г.Н. Основные направления рынка черепицы в строительном комплексе Пензенской области // Региональная архитектура и строительство, Пенза. 2012. №1(12). С.193-196