

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАТЕРІАЛУ ЗНОШЕНИХ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН НА ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ СИЛ ПРИ ЇХ РОЗРІЗАННІ. СТВОРЕННЯ АДАПТИВНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ШИН

У ході даного дослідження було визначено критерій, що визначає зміну сил різання на величину, пропорційну коефіцієнту, – межу міцності при розтягуванні – B_p , МПа. Використовуючи розривну машину «УПМ РИИЖТ», були проведені експериментальні дослідження для визначення межі міцності матеріалу, з якого виготовлені обрані дослідні зразки автомобільних шин. Було вирішено позначити коефіцієнт корекції рівняння регресії математичної моделі як « K_σ ». Базовим коректувальним коефіцієнтом було обрано коефіцієнт корекції для шин Bridgestone 7.1/11.0-5, $K_\sigma = 1$, оскільки для створення математичної моделі [1] експериментальні дослідні проводилися, саме, над цим типом шин. Коректувальні коефіцієнти для інших типів шин були визначені, як відношення межі міцності на розрив матеріалу, з якого виготовлена шина, до межі міцності матеріалу шин Bridgestone 7.1/11.0-5. Для підтвердження адекватності впливу коректувальних коефіцієнтів були проведені додаткові експерименти з визначення сил різання. На основі отриманих дани, були побудовані графіки та рівняння цих залежностей. Математична модель [1] була уточнена, з урахуванням отриманого рівняння залежностей сил різання від межі міцності матеріалів автомобільних шин. Адекватність уточненої моделі була підтверджена оцінкою однорідності дисперсій розрахункових та експериментальних значень сил різання за допомогою статистичного критерію Фішера.

Ключові слова: коректувальні коефіцієнти рівняння регресії, модель оптимізації процесу різання зношених шин., межа міцності матеріалу шини на розрив, утилізація шин, обробка різанням гум, перевірка на адекватність математичної моделі процесу різання шин.

Постановка проблеми. Головною проблемою, яка виникає під час вивчення процесу обробки різанням зношених пневматичних шин є невизначеність матеріалів та конструкцій шин, що оброблюються. Саме це призводить до неоднозначності під час математичного опису процесу різання шин. Для створення дійсно адекватної математичної моделі необхідно провести детальне вивчення впливу різних матеріалів пневматичних шин на зміну у процесі формування сил різання: обрати та визначити параметр, який характеризує вплив матеріалу шин на процес різання; провести вимірювання сил різання при обробці шин з різних складових, яким відповідають визначені параметри; графічно та математично описати отримані дані; провести інтеграцію отриманої функції впливу матеріалів на процес різання в наявну математичну модель [1]; провести перевірку модифікованої моделі на адекватність.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Проаналізувавши сучасні літературні джерела, були виявлені публікації, які безпосередньо або опосередковано стосуються оптимізації процесу різання зношених пневматичних шин. Оптимізацією режимних параметрів процесу різання зношених пневматичних шин, вибором оптимального матеріалу та геометричних параметрів ріжучого інструменту при визначених умовах займалися Соколов А.Д., Сасов О.О., Авер'янов В.С., Коржавін Ю.А.[2]. Аналіз методів і розгляд типових задач оптимізації режимних параметрів, математичні основи оптимізації та керування режимними параметрами механічної обробки наведені у роботі Грубого С.В. [3]. Математичні моделі та методи оптимізації основних процесів різання з використанням програмних продуктів CAD/CAM/CAE/PDM - систем описуються у роботі Пестрецова С.І. [4]. Оптимізацією режимів різання при обробці тонкостінних циліндричних виробів займалися Таровик А.Б. та Михайлов О.М. [5].

Мета роботи. Визначити коректувальні коефіцієнти рівняння регресії формування сил при розрізанні різних типів пневматичних шин. Створити адаптивну математичну модель процесу формування сил при різанні різних типів шин. Провести перевірку моделі на адекватність.

Матеріали досліджень. Оскільки усі дослідні, на яких заснована математична модель [1], проводилися на одному типі шин, а саме Bridgestone 7.1/11.0-5, рівняння регресії є справедливими тільки для процесу різання цих шин. Щоб забезпечити адекватність рівнянь регресії, необхідно визначити коректувальні коефіцієнти для різних типів шин.

Перш за все, для того, щоб провести розрахунки з визначення коректувальних коефіцієнтів, необхідно визначитися з критерієм, який буде визначати зміну сил різання на

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

величину, пропорційну коефіцієнту, який досліджується. У ролі даного критерію було обрано межу міцності при розтягуванні – σ_p , МПа.

Для визначення межі міцності матеріалу, з якого виготовлені шини, які досліджувалися, було використано розривну машину УПМ РИИЖТ.

Для розривання були використані зразки розміром 30×120 мм товщиною 7 мм. Результати міцнісних досліджень наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати досліджень з визначення міцності матеріалів різних шин

Найменування шини	Товщина шини (без протектору), мм	Межа міцності – σ_p , МПа
Bridgestone 7.1/11.0-5 (картингові)	7	4,6
Vega 7.1/11.0-5 (картингові)	7	4
Hankook Ventus Prime 2 K115 195/55R15 (літні)	10	22
Hankook Ventus Prime 2 K115 195/55R15 (зимні)	10	27
Michelin X MultiWay 3D XDE 315/70R22.5 (всесезонні)	16	115
Michelin XDW ice grip green 315/70R22.5 (зимні)	16	121

Позначимо коефіцієнт корекції як K_σ , а межу міцності шин Bridgestone 7.1/11.0-5, на яких проводилися досліди з отриманням даних для математичної моделі – $\sigma_{p \text{ мод.}}$.

Виразимо коефіцієнти корекції через значення меж міцності шин. Формула визначення коефіцієнту корекції для різних шин отримає вигляд:

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{p \text{ шини}}}{\sigma_{p \text{ мод.}}}, \quad (1)$$

де $\sigma_{p \text{ шини}}$ – межа міцності на розрив матеріалу типу шини, для якої визначається коефіцієнт.

Для шин Bridgestone 7.1/11.0-5 K_σ , відповідно, дорівнює 1.

Для підтвердження валідності впливу корегувальних коефіцієнтів необхідно провести додаткові експериментальні дослідження з визначення сили різання. У якості дослідних зразків, обираємо шини: Hankook Ventus Prime 2 K115 195/55R15 (літні) та Michelin XDW ice grip green 315/70R22.5 (зимні). Результати досліджень з визначення сил при розрізанні шин, межі міцності та коректувальні коефіцієнти наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати досліджень з визначення сил при розрізанні шин, їх межі міцності та коректувальні коефіцієнти

Найменування шини	Межа міцності – σ_p , МПа	Сила різання – P_r , Н	Коректувальний коефіцієнт – K_σ рівняння регресії
Bridgestone 7.1/11.0-5 (картингові)	4,6	14	1,000
Vega 7.1/11.0-5 (картингові)	4	12	0,869
Hankook Ventus Prime 2 K115 195/55R15 (літні)	22	69	4,783
Hankook Ventus Prime 2 K115 195/55R15 (зимні)	27	82	5,869
Michelin X MultiWay 3D XDE 315/70R22.5 (всесезонні)	115	350	25,000
Michelin XDW ice grip green 315/70R22.5 (зимні)	121	365	26,300

За допомогою програми Microsoft Excel 2013 побудуємо графік залежностей сили різання від межі міцності матеріалів різних шин (рисунок 1).

Отриманий графік залежностей (рисунок 1) описується наступним рівнянням:

$$y = 3,0264 \cdot x + 0,4068. \quad (2)$$

Підставивши у рівняння (2) замість x межу міцності на розрив матеріалу шини – $\sigma_{p \text{ шини}}$, отримаємо рівняння залежностей сили різання від межі міцності матеріалів різних шин:

$$y = 3,0264 \cdot \sigma_{р \text{ шини}} + 0,4068.$$

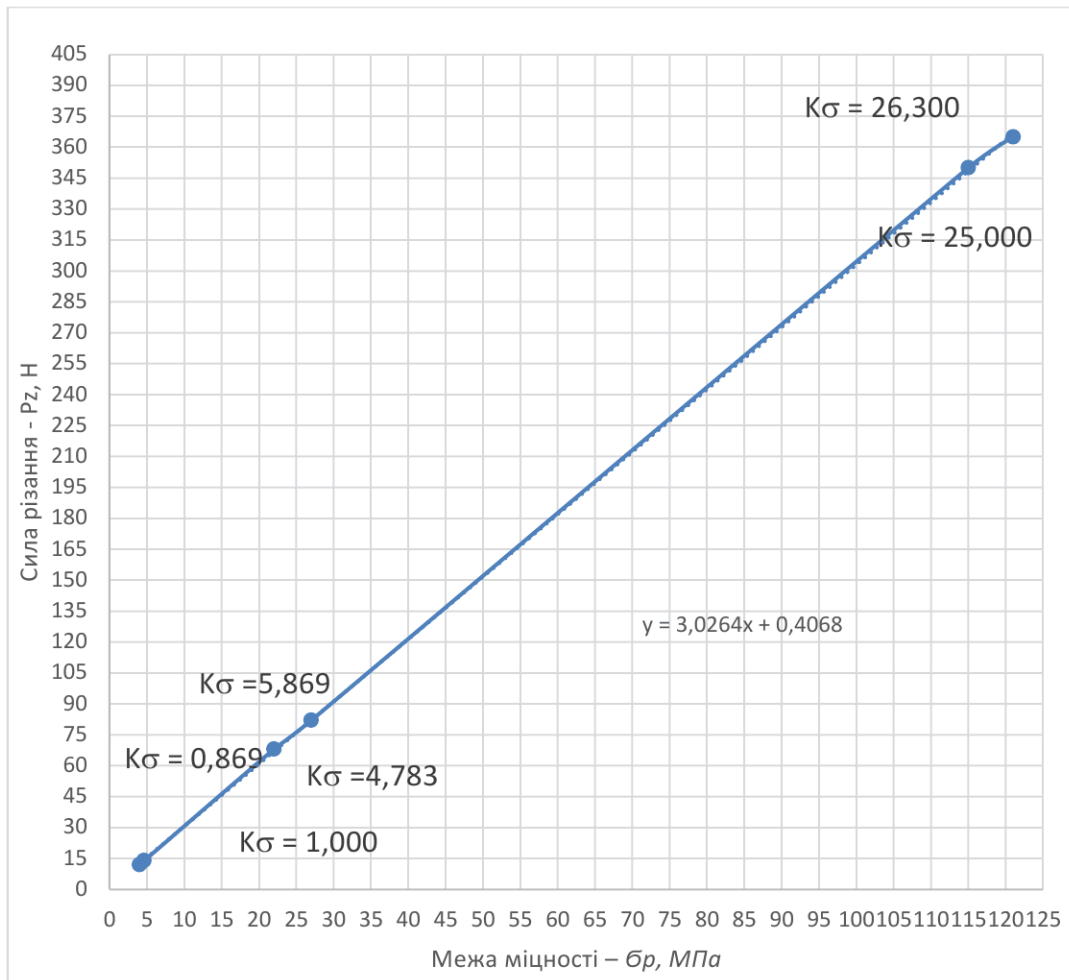


Рис. 1 – Графік залежностей сили різання від межі міцності матеріалів різних шин

Рівняння регресії [1] з урахуванням рівняння залежностей сили різання від межі міцності матеріалів різних шин (3) набуває наступного вигляду:

$$\begin{aligned}
 P_z = & 0,0000403 \cdot n^2 + 0,0505698 \cdot \varepsilon^2 + 0,0290778 \cdot HRA^2 + \\
 & + 310,072 \cdot S^2 - 0,0400291 \cdot \alpha^2 + 0,2163249 \cdot HRA^2 \cdot \sigma + \\
 & + 2306,7893333 \cdot S^2 \cdot \sigma - 0,2977978 \cdot \alpha^2 \cdot \sigma + 0,3762151 \cdot \sigma \cdot \varepsilon^2 + \\
 & + 0,0003 \cdot \sigma \cdot n^2 - 5,2672918 \cdot HRA - 242,3767976 \cdot S + \\
 & + 2,2427734 \cdot \alpha + 3187,482288 \cdot \sigma - 6,0076408 \cdot \varepsilon - 0,0362999 \cdot n + \\
 & + 4,036389 \cdot HRA \cdot S + 0,0196499 \cdot HRA \cdot \alpha - 39,1861647 \cdot HRA \cdot \sigma + \\
 & + 0,0092188 \cdot HRA \cdot \varepsilon + 5,0740781 \cdot S \cdot \alpha - 1803,168978 \cdot S \cdot \sigma + \\
 & + 3,5178199 \cdot S \cdot \varepsilon + 0,0001407 \cdot HRA \cdot n - 0,2515932 \cdot S \cdot n + \\
 & + 16,6851752 \cdot \alpha \cdot \sigma + 0,0005049 \cdot \alpha \cdot \varepsilon - 44,6940123 \cdot \sigma \cdot \varepsilon - \\
 & - 0,0044167 \cdot \alpha \cdot n - 0,2700543 \cdot \sigma \cdot n - 0,0003627 \cdot \varepsilon \cdot n + \\
 & + 37,7487464 \cdot S \cdot \alpha \cdot \sigma - 0,0758154 \cdot S \cdot \alpha \cdot \varepsilon + 26,1709194 \cdot S \cdot \sigma \cdot \varepsilon + \\
 & + 0,0000175 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot n + 0,0010464 \cdot HRA \cdot \sigma \cdot n - \\
 & - 0,0000039 \cdot HRA \cdot \varepsilon \cdot n + 0,0164698 \cdot S \cdot \alpha \cdot n - 1,8717344 \cdot S \cdot \sigma \cdot n + \\
 & + 0,0028187 \cdot S \cdot \varepsilon \cdot n + 0,0037561 \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \varepsilon - 0,0328581 \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot n + \\
 & + 0,0000453 \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot n - 0,002698 \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot n - 0,2640395 \cdot HRA \cdot S \cdot \alpha + \\
 & + 30,0288288 \cdot HRA \cdot S \cdot \sigma - 0,0725813 \cdot HRA \cdot S \cdot \varepsilon + \\
 & + 0,0004061 \cdot HRA \cdot S \cdot n + 0,1461858 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot \sigma - \\
 & - 0,0004909 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot \varepsilon + 0,0685837 \cdot HRA \cdot \sigma \cdot \varepsilon - \\
 & - 1,964329 \cdot HRA \cdot S \cdot \alpha \cdot \sigma + 0,0037818 \cdot HRA \cdot S \cdot \alpha \cdot \varepsilon - \\
 & - 0,5399703 \cdot HRA \cdot S \cdot \sigma \cdot \varepsilon + 0,0030212 \cdot HRA \cdot S \cdot \sigma \cdot n - \\
 & - 0,0036522 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \varepsilon - 0,5640308 \cdot S \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \varepsilon + \\
 & + 0,0001304 \cdot HRA \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot n - 0,0000288 \cdot HRA \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot n + \\
 & + 0,1225278 \cdot S \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot n - 0,0002379 \cdot S \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot n + \\
 & + 0,0209696 \cdot S \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot n + 0,0003369 \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot n +
 \end{aligned}$$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

$$+0,0281346 \cdot HRA \cdot S \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \varepsilon - 0,0017695 \cdot S \cdot \alpha \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot n + 428,4522187 \tag{4}$$

Для підтвердження адекватності рівняння (4) проведемо оцінку однорідності дисперсій розрахункових та експериментальних значень сил при розрізанні шин за допомогою статистичного критерію Фішера. Аналіз проводимо у двох точках плану: $K_\sigma = 4,783$ (Hankook Ventus Prime 2 K115 195/55R15 – літні), та $K_\sigma = 26,300$ (Michelin XDW ice grip green 315/70R22.5 – зимні), у кожній точці оцінюються шість значень сил (три експериментальних, три дослідних), які чергуються через одне значення.

Вибіркова оцінка дисперсії в u -му досліді розраховується за формулою (5) зі ступенями свободи (6). Середнє арифметичне значення відгуку в u -й точці плану визначається за формулою (7). Значення статистичного критерію Фішера розраховується за формулою (8) [6]:

$$S_{yu}^2 = \frac{1}{\gamma_u - 1} \sum_{1 \leq i \leq \gamma_u} (y_{ui} - \bar{y}_{ui})^2. \tag{5}$$

$$f_u = \gamma_u - 1. \tag{6}$$

$$\bar{y}_{ui} = \frac{1}{\gamma_u} \sum_{1 \leq i \leq \gamma_u} y_{ui}. \tag{7}$$

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}. \tag{8}$$

Результати розрахунків приведені у таблиці 2.

Знаючи середні арифметичні значення відгуку в u -х точках плану та ступені свободи, для рівня значимості 0,05 виберемо табличне значення критерія Фішера, $F_{\text{табл}}$. Порівняємо розрахункове значення критерія Фішера з табличним.

В таблиці 3 можна побачити, що F при значимості $\alpha = 5\%$ менше табличних допустимих значень $F_{\text{табл}}$, відповідно:

$$0,350 < 0,507,$$

що свідчить про однорідність оцінок дисперсій та адекватність рівняння (5).

Таблиця 3

Оцінка однорідності дисперсій розрахункових та експериментальних значень сил при розрізанні шин за допомогою статистичного критерію Фішера.

Номер досліду	γ_u	y_u, H	\bar{y}_u, H	S_{yu}^2	F	$F_{\text{табл}}$ при значимості $\alpha = 5\%$ [20]
1	1	69	68,7	3,22	1,349	4,280
	2	66	68,7			
	3	69	68,7			
	4	71	68,7			
	5	69	68,7			
	6	68	68,7			
2	1	365	365,7	2,39	1,349	4,280
	2	368	365,7			
	3	365	365,7			
	4	364	365,7			
	5	365	365,7			
	6	367	365,7			

Висновки. Отримана в результаті дослідження адаптивна математична модель формування сил при різанні зношених пневматичних шин, дозволяє провести повну оптимізацію процесу різання, відповідно до матеріалу шин: визначити оптимальні матеріал, кути ріжучого інструмента, режимні параметри обробки, що дасть змогу зробити процес різання заданих шин максимально енергоефективним, а також економічно доцільним.

Інформаційні джерела

1. Сасов О.О. Отримання математичної моделі формування сил різання при розрізанні напіл зношених автомобільних шин: стаття [Текст] / Сасов О.О., Авер'янов В.С., Коржавін Ю.А., Соколов А.Д. // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади»//м. Луцьк грудень 2017 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017. – С.104-107.
2. Соколов А.Д. Оптимізація режимних параметрів процесу різання зношених пневматичних шин, вибір оптимального матеріалу та геометричних параметрів ріжучого інструменту при визначених умовах: стаття / Соколов А.Д., Коробочка О.М., Сасов О.О. // Науковий журнал «Математичне моделювання»//м. Кам'янське березень 2017 р. – Кам'янське: ДДТУ, 2016 –

№2(35). – С.53-56.

3. Грубый С.В. «Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами» - М. Машиностроение. 2014. 422 с
4. Пестрецов С.И. «Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания» - Уч. пособие для вузов – М. Машиностроение. 2008. 342 с.
5. Таровик А.Б. Оптимизация режимов резания при обработке тонкостенных цилиндрических изделий: стаття/ Таровик А.Б., Михайлов А.Н.// Збірник наукових праць «Прогресивні технології і системи машинобудування»//м. Донецьк червень 2014 р. – Луцьк: Донецький НТУ, 2014. №3(49)-4(50).
6. Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Наука, 1976. - 280 с.

Сасов А.А., к.т.н., Соколов А.Д., магистрант, Коробочка А.Н., д.т.н.

Днепропетровский государственный технический университет

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАТЕРИАЛА ИЗНОШЕННЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СИЛ ПРИ ИХ РАЗРЕЗАНИИ. СОЗДАНИЕ АДАПТИВНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ШИН.

Поскольку опыты, на которых основана математическая модели [1] проводились на одном типе шин, а именно Bridgestone 7.1/11.0-5, уравнение регрессии справедливо только для процесса резки этих шин. В ходе данного исследования был определен критерий, определяющий изменение сил резания на величину, пропорциональную искомому коэффициенту, – предел прочности при растяжении – σ_p , МПа. Используя разрывную машину «УПМ РИИЖТ», были проведены экспериментальные исследования для определения предела прочности материала, из которого изготовлены выбраны опытные образцы шин. Было решено обозначить коэффициент коррекции уравнения регрессии математической модели как « K_σ ». Базовым коррекционным коэффициентом был избран коэффициент коррекции для шин Bridgestone 7.1/11.0-5, $K_\sigma = 1$, поскольку для создания математической модели [1] экспериментальные опыты проводились, именно над этим типом шин. Корректировочные коэффициенты для других типов шин были определены, как отношение предела прочности на разрыв материала, из которого изготовлена шина, к пределу прочности материала шин Bridgestone 7.1/11.0-5. Для подтверждения адекватности воздействия коррекционных коэффициентов были проведены дополнительные эксперименты по определению сил резания, на основе полученных данных, были построены график и уравнение этих зависимостей. Математическая модель [1] была изменена с учетом полученного уравнения зависимостей сил резания от предела прочности материалов шин. Адекватность новой модели была подтверждена оценкой однородности дисперсий расчетных так экспериментальных значений сил резания с помощью статистического критерия Фишера.

Ключевые слова: *корректировочные коэффициенты уравнения регрессии, модель оптимизации процесса резания изношенных шин., предел прочности материала шины на разрыв, утилизация шин, обработка резанием резин, проверка на адекватность математической модели процесса резания шин.*

A. Sasov, A. Sokolov, A. Korobochka

Dneprovskiy State Technical University

STUDYING THE INFLUENCE OF MATERIAL OF WEARED PNEUMATIC TIRES ON THE PROCESS OF FORMING FORCES AT THEIR DISTRIBUTION. CREATION OF ADAPTIVE MATHEMATICAL MODEL OF TIRES CUTTING PROCESS

Since the experiments on which the mathematical model was based [1] were carried out on the same type of tires, namely Bridgestone 7.1/11.0-5, the regression equation is valid only for the process of cutting these tires. In the course of this study, a criterion determining the change in the cutting forces by an amount proportional to the desired coefficient was determined: the ultimate tensile strength is – σ_p , MPa. Using a rupture machine «UPM», experimental studies were carried out to determine the ultimate strength of the material from which the prototypes of tires were selected. It was decided to designate the correction coefficient of the regression equation of the mathematical model as « K_σ ». The correction factor for Bridgestone 7.1/11.0-5, $K_\sigma = 1$ was chosen as the basic correction factor, since experimental experiments were conducted on this type of tire to create a mathematical model [1]. Correction factors for other types of tires have been defined as the ratio of the tensile strength of the material of the tire to the ultimate strength of the Bridgestone 7.1/11.0-5 material. To confirm the adequacy of the effect of the correction coefficients, additional experiments were carried out to determine the cutting forces, based on the data obtained, a plot and an equation for these dependences were plotted. The mathematical model [1] was changed taking into account the obtained equation of the cutting force dependences on the tensile strength of tire materials. The adequacy of the new model was confirmed by an estimate of the homogeneity of the variances of the calculated experimental values of the cutting forces using the Fisher statistical test.

Keywords: *correction coefficients of the regression equation, model of optimization of the cutting process of worn-out tires., Ultimate tensile strength of the tire material, tire utilization, cutting of rubbers, verification of the adequacy of the mathematical model of the tire cutting process.*