

УДК 622.684

## Прогнозирование ресурса крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов

Горюнов С.В. старший преподаватель, Хорешок А.А., д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Крупногабаритные шины (КГШ) карьерных автосамосвалов являются трудоемкой и достаточно дорогостоящей продукцией. Одним из основных показателей качества шин является их долговечность. Эксплуатационные затраты на КГШ составляют 25-30 % от суммы расходов на транспортирование горной массы автосамосвалами, поэтому прогнозирование ресурса с целью увеличения пробега шин, а также налаживание учета на предприятии имеет важное значение для сокращения затрат. Под долговечностью автомобильных шин обычно понимается срок их службы до полного износа рисунка протектора или выхода их из-за разрыва каркаса и расслоения протектора [1]. Так как единственным постепенным отказом шин является износ протектора, чаще всего именно этот параметр применяют для установления нормы эксплуатационного пробега.

Изнашивание - это процесс разрушения и отделения материала с поверхности протектора шины и накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении его размеров и формы.

Характерные причины отказов шин при эксплуатации на основе литературных данных и статистических данных с угледобывающих предприятий Кузбасса представлены на рисунке.

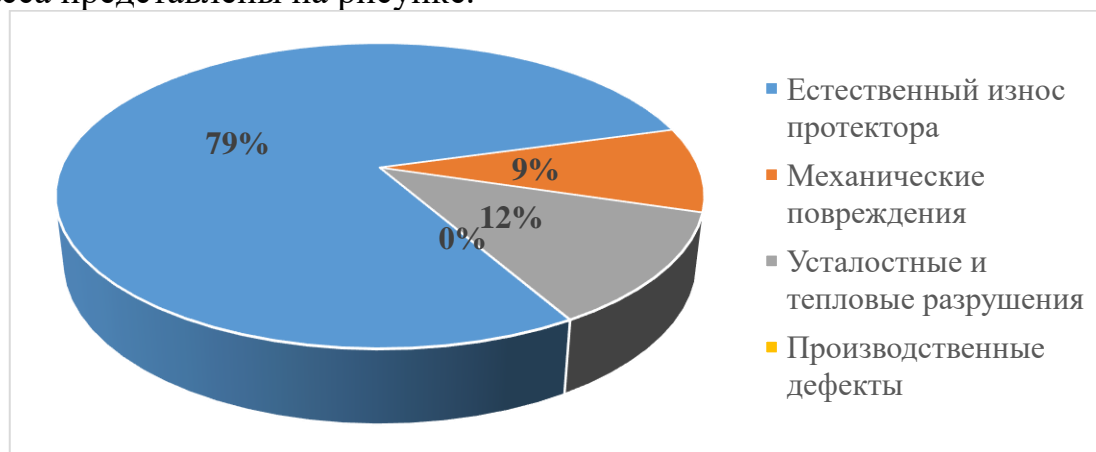


Рис. 1. Распределение отказов пневматических шин по видам дефектов

Производственные дефекты и механические повреждения, как правило, носят вероятностный характер. Проведенный статистический анализ показал, что максимальное количество отказов по порезам КГШ наблюдается весной,

когда дорожное покрытие в карьере находится в неудовлетворительном состоянии.

Фирмой Goodyear Tire and Rubber Co. приводится следующая информация по оценке долговечности шин [2], "... в настоящее время не существует абсолютно точного, надежного способа прогнозирования долговечности шин. Специалисты по шинам располагают множеством теоретических методов ..., однако, как правило они настолько сложны и трудоемки, что пользоваться ими в реальных условиях невозможно". "Однако в шинной промышленности существует множество обзоров по характеристикам шин и разработана система, которая позволяет получить грубую оценку долговечности шин. Исследования, проведенные главными изготовителями шин и по крайней мере двумя крупными изготовителями оборудования, хорошо согласуются друг с другом". Методики, приведенные ими, заключаются в определении пробега шин до списания на основе корректировки нормативного пробега в зависимости от условий эксплуатации.

Интенсивность усталостного изнашивания шин при действии на колесо касательных нагрузок любого направления принято оценивать, используя следующую зависимость [1, 3]:

$$I = \frac{C_1 S_{\pi} \tau^{1+\beta t}}{2 \pi r_c a (2 + \beta t)} \left( \frac{k}{C_2 \sigma_0} \right)^t \left( \frac{E f}{1 - \mu^2} \right)^{t-\beta t-1} \quad (1)$$

где  $C_1, C_2, \beta$  - константы, зависящие от шероховатости опорной поверхности;  $S_{\pi}$  - проскальзывание;  $\tau$  - касательные напряжения;  $t$  - коэффициент усталости резины;  $r_c$  - статический радиус шины;  $a, k$  - опытные коэффициенты;  $\sigma_0$  - сопротивление разрыву;  $E$  - модуль упругости;  $f$  - коэффициент трения;  $\mu$  - коэффициент Пуассона.

Данную зависимость можно использовать при оценке влияния различных факторов на интенсивность износа и ресурс шин, но в практическом применении она достаточно сложна.

Так в многочисленных экспериментах Кубраков В.П. [4] получил зависимость интенсивности износа протектора шин основного ассортимента как легковых, так и грузовых шин, которая представлена следующей формулой:

$$I = I_0 + B_1 \left( \frac{P_x}{P_z} \right)^n + B_2 \left( \frac{P_y}{P_z} \right)^m + B_3 \left( \frac{P_x P_y}{P_z} \right)^k, \quad (2)$$

где  $I_0$  - интенсивность износа протектора шин при качении колеса в ведомом режиме при отсутствии продольных и боковых сил;  $P_x, P_y, P_z$  - значения величин действующих в контакте нормальных, продольных и боковых сил;  $B_1, B_2, B_3$  - коэффициенты, обусловленные условиями нагружения и конструкций шины;  $n, m, k$  - показатели степени влияния продольной и боковой сил на изменение интенсивности износа протектора шин.

Данная зависимость так же не дает возможности практического применения без предварительного проведения научных изысканий.

Однако шины выходят из строя не только из-за износа протектора. В работе [5] предлагается расчетная модель долговечности шин при наличии ряда причин выхода их из строя. Автор выдвигает гипотезу о независимости

различных механизмов разрушения шин и вводит понятие о функции надежности шин при наличии только одной группы дефектов. Согласно [10] «...шина рассматривается как система, состоящая из  $n$  частей, причем принимается, что каждой части соответствует свой механизм разрушения». Функцией надежности в зависимости от пробега по данному дефекту автор называет вероятность того, что шина не выйдет из строя из-за этого дефекта при пробеге не превышающем  $s$  —  $P_k(s)$ . Средний вероятный пробег шин  $\bar{S}$  связан с функцией надежности:

$$\bar{S} = \int_0^{\infty} P(s) ds, \quad (3)$$

где  $P(s)$  - произведение вероятностей неразрушения по всем дефектам.

В работе [3] вводится понятие условного среднего пробега -  $S_k$ , т.е. вероятного пробега если бы шины могли разрушиться только из-за какого-то одного дефекта, а все остальные кроме  $k$ -го, отсутствовали:

$$S_k = \int_0^{\infty} P_k(s) ds, \quad (4)$$

На основании выше сказанного можно сделать следующий вывод, что используемые методики прогнозирования ресурса КГШ либо сложны для применения в условиях предприятия, либо носят приблизительный характер, основанный лишь на условиях эксплуатации. Отсутствуют эффективные методики прогнозирования теплового разрушения КГШ в условиях эксплуатации. Представленные выводы позволяют сформулировать задачу по разработке методики прогнозирования ресурса КГШ для предприятий.

При работе КГШ подвергается воздействию различных нагрузок и условий эксплуатации. Выявить и оценить влияния множества факторов практически очень сложно. Поэтому, для изучения вопроса долговечности КГШ карьерных автосамосвалов была использована методология структурного анализа SADT (Structured Analysis & Design Technique) [6, 7]. Результатом применения методологии, на основе литературных данных, является функциональная модель прогнозирования долговечности КГШ, которая состоит из диаграмм, фрагментов текстов и глоссария, имеющих ссылки друг на друга [8]. Функциональная модель позволила выявить и проанализировать факторы, влияющие на ресурс КГШ. Было выявлено значительное влияние температуры шины на износ протектора.

Для разработки методики прогнозирования ресурса КГШ в условиях эксплуатации воспользовались мощностным методом, который заключается в определении мощности, затрачиваемой на качение колеса (мощности потерь). Работа автомобильной шины в различных условиях эксплуатации сопровождается потерями мощности, которая затрачивается на нагрев шины и работу трения в контакте. Ранее выполненными исследованиями доказано, что чем выше рабочая температура шины и работа трения в контакте, тем короче срок службы шины в эксплуатации [9]. Мощность потерь на качение колеса будет складываться из потери мощности на гистерезис и трение, что хорошо согласуется с разработанной функциональной моделью.

$$N_n = N_{\text{гист}} + N_{\text{тр}}, \quad (5)$$

где  $N_{\text{гист}}$  - мощность расходуемая на гистерезис, Вт;  $N_{\text{тр}}$  - мощность расходуемая на трение элементов протектора о дорожное покрытие, Вт.

Мощность гистерезисных потерь можно определить при некоторых допущениях из выражения:

$$N_{\text{гист}} = \sigma A_{\text{по}} T_{\text{ш}}, \quad (6)$$

где  $\sigma$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup> °С;  $A_{\text{по}}$  - площадь поверхности отвода теплоты от шины, м<sup>2</sup>;  $T_{\text{ш}}$  - температура шины, °С.

Для определения температуры КГШ воспользуемся зависимостью выведенной профессором А.Г. Козловым [12]:

$$T_{\text{ш}} = \frac{2 \varphi V G_{\text{ш}}}{\sigma A_{\text{по}} R_{\text{ш}}} \sqrt[3]{\frac{H}{R_{\text{ш}}}} \sqrt{\frac{G_{\text{ш}} R_{\text{ш}}}{b_{\text{ш}} E_p}} + T_0, \quad (7)$$

где  $\varphi$  - коэффициент внутреннего трения резины;  $V$  - средняя скорость движения, м/с;  $G_{\text{ш}}$  - статическая нагрузка на шину, Н;  $R_{\text{ш}}$  - наружный радиус шины, м;  $H$  - высота шины, м;  $b_{\text{ш}}$  - ширина шины, м;  $E_p$  - модуль упругости резины, Па;  $T_0$  - температура окружающей среды, °С.

Для использования представленной зависимости, встает задача по определению коэффициента теплоотдачи. Анализ литературных источников показывает линейную зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости движения транспортного средства. Коэффициент теплоотдачи определим расчетно-экспериментальным методом, воспользовавшись следующей зависимостью:

$$Q = \sigma \cdot A_{\text{по}} \cdot (T_{\text{ш}} - T_0), \quad (8)$$

где:  $Q$  - тепловой поток, отводимый от шины конвекцией, Вт.

Мощность, расходуемую на трение элементов протектора о дорожное покрытие, выразим из выражения (5) с учетом выражения (6):

$$N_{\text{тр}} = N_n - \sigma A_{\text{по}} T_{\text{ш}}, \quad (9)$$

Работа трения выражается следующей зависимостью:

$$A = P_{\text{тр}} S, \quad (10)$$

где  $P_{\text{тр}}$  - сила трения, Н;  $S$  - путь, м.

Естественный износ протектора можно определить по предложенной зависимости:

$$I = \alpha A, \quad (11)$$

где  $\alpha$  - износ материала, отнесенный к единице работы трения, мм / Н м.

На основании выше приведенного выше, получаем:

$$I = \alpha \frac{N_n - \sigma A_{\text{по}} T_{\text{ш}}}{V_a} S \quad (12)$$

Потеря энергии в любом механизме оценивается КПД. Коэффициент полезного действия колеса представляет собой отношение мощности, которую развивает толкающая сила, преодолевая внешнее сопротивление, к мощности, подведенной к колесу. Причем коэффициент полезного действия можно определить через коэффициент сопротивления качению шины ( $f$ ).

$$\eta = 1 - f \quad (13)$$

Мощность потерь на качение колеса можно определить как разность между подводимой к нему ( $N_{\text{под}}$ ) и отводимой от него ( $N_{\text{отв}}$ ) мощностями.

$$N_n = N_{\text{под}} - N_{\text{отв}} = M_k \omega - P_k V_a, \quad (14)$$

где  $M_k$  - момент, подводимый к колесу, Нм;  $\omega$  - угловая скорость вращения колеса, рад/с;  $P_k$  - продольная сила приложенная к колесу со стороны автомобиля, Н;  $V_a$  - линейная скорость движения автомобиля в продольном направлении, м/с.

Мощность отводимая, т.е. отдаваемая шиной автосамосвалу определится как:

$$N_{\text{отв}} = V_a \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad (15)$$

где  $R_x$  - продольная реакция в контакте шины с дорогой, Н;  $R_y$  - боковая реакция в контакте шины с дорогой, Н.

Проведя преобразования получим следующую зависимость естественного износа протектора КГШ:

$$I = \alpha \left( \frac{f \sqrt{R_x^2 + R_y^2}}{(1-f)} - \frac{\sigma A_{\text{по}} T_{\text{ш}}}{V_a} \right) S \quad (16)$$

Краевой задачей исследования ставится задача определения расчетно-экспериментальным методом интенсивность износа шин карьерных автосамосвалов.

Представленная методика позволяет прогнозировать ресурс КГШ с учетом условий эксплуатации. Практическое применение данной методики на горнодобывающих предприятиях позволит наладить учет ресурса шин, потребность КГШ для карьерных автосамосвалов на конкретную дату, возможность анализа эксплуатационных факторов для продления ресурса что в итоге может сократить эксплуатационные затраты на транспортирование горной массы.

#### Список литературы:

1. В.И. Кнороз, Е. В. Кленников Шины и колеса. М.: "Машиностроение", 1975 г.-184 с.
2. Техничко-эксплуатационные характеристики машин компании CATERPILLAR / Справочник / Издание №37 CAT Caterpillar Inc., Пеория, Иллинойс, США, февраль 2007
3. Работа автомобильной шины / Под ред. В.И. Кнороза. - М.: Транспорт, 1976.-238 с.
4. Кубраков В.П. Влияние режимов нагружения и дорожных факторов на износ шин. //Волгоград, 1995. / Диссертация канд. тех. наук - 177 с.
5. Г.И. Бродский, В.Ф. Евстратов, Н.Л. Сахновский, Л.Д. Слюдииков Истирание резин. М., "Химия",1957. - 240 с.
6. Дэвид А. Марка и Клемент Мак Гоуэн Методология структурного анализа и проектирования SADT. -М., 1999. - 231с.
7. Маклаков С.В. ERwin b BPwin. CASE - средства разработки информационных систем.-М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. - 256с.

8. Горюнов С.В. Функциональная модель прогнозирования долговечности шин карьерных автосамосвалов // Известия МГТУ «МАМИ». 2013 № 2(16). Т. 1 С. 149-153.
9. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов/ Кузнецов Е.С., Воронов В.П., Болдин А.П. и др.; Под ред. Кузнецова Е.С. -3-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1991. - 413 с.
10. Горюнов С.В., Шарипов В.М. Исследование теплового состояния пневматических шин карьерных автосамосвалов // Журнал автомобильных инженеров. 2015 № 3(92). С. 6-10.
11. Шарипов В.М., Горюнов С.В. Прогнозирование долговечности пневматических шин карьерных автосамосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015 № 11. С. 127-129.
12. Конструирование и расчет тракторов: учебник для студентов вузов/ Шарипов В.М. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2009. -752 с: ил.