Дамзен В.А., Елистратов С.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

Рассматриваются основные причины, определяющие надежность автомобильных шин. На основании статистических данных определены значения основных измерителей долговечности шин.

Ключевые слова: *автомобильные шины, надежность шин, ресурс автомобильных шин.*

Автомобиль представляет собой сложную систему, состоящую из множества элементов. Каждый из элементов вносит свой вклад в надежность всей системы. Одним из таких элементов являются автомобильные шины. И хотя процесс замены неисправного элемента на исправный не представляет больших трудностей, автомобиль выходит из строя. Следовательно, происходит снижение показателей надежности транспортного средства. При отдельном рассмотрении автомобильных шин к ним применимы все свойства надежности: безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость. В большинстве случаев надежность шин оценивают по совокупности показателей. Показателями, определяющими надежность шины, могут быть износ протектора (до минимально допустимой величины протектора), пробои и порезы, усталостные дефекты каркаса или все показатели сразу. Так, в [1] представлены функции вероятности безотказной работы грузовых шин по перечисленным показателям. Примеры распределения партии восстановленных шин, снятых с эксплуатации по пробегу и определение ожидаемого пробега шин представлены в [2].

На основании статистических данных по обращениям в шиномонтажную мастерскую проведен анализ надежности автомобильных шин. В качестве показателей надежности предлагается использовать вероятность безотказной работы шин, вероятность отказов, частоту отказов, интенсивность отказов, гамма-процентный ресурс шин, закон распределения выхода шин из строя по пробегу. Такие свойства надежности, как ремонтопригодность и сохраняемость автомобильных шин, в данной работе не рассматривались. При сборе информации о ресурсе шин фиксировался факт снятия шин с эксплуатации, и ремонтные операции в статистических данных не отражались. В соответствии с нормативной документацией завод-изготовитель автомобильных шин гарантирует их сохраняемость в течение 5 лет с даты изготовления.

По исходным данным было проведено распределение шин по пробегу со следующими параметрами: количество интервалов разбиения $m = 15$; длина интервалов $\Delta t = 11334$ км. В результате получена гистограмма частот распределения отказов шин по пробегу (рис. 1).

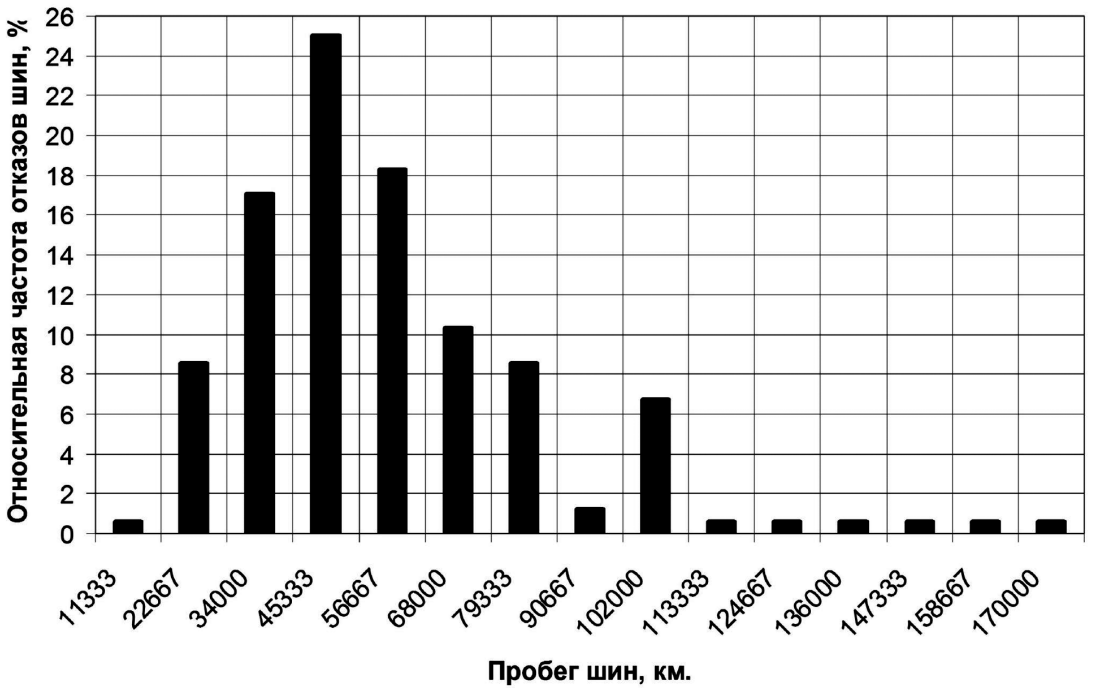

Рис. 1. Гистограмма частот распределения отказов шин по пробегу

В соответствии с [3] вероятностью безотказной работы называется количественная мера того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа, и определяется по формуле:

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \tag{1}$$

где: N – число испытываемых объектов; n(t) – число отказавших элементов за время t.

Вероятностью отказа называется количественная мера того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ. Отказ и безотказная работа являются событиями несовместными и противоположными. Следовательно, вероятность отказа определяется по формуле [3]:

$$Q(t) = 1 - P(t). \tag{2}$$

Расчетные значения по формулам (1) и (2) представлены в виде графиков на рис. 2.

По графику можно определить гамма-процентный ресурс шин. Он определяется как суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью гамма, выраженной в процентах [4]. Тогда 90 % гамма-процентный ресурс составит 23000 км пробега, что соответствует вероятности безотказной работы шин равной 0,9. Кроме того, из анализа интегральных функций (рис. 2) видно, что 50 % вероятность безотказной работы шин составляет 45000 км пробега.

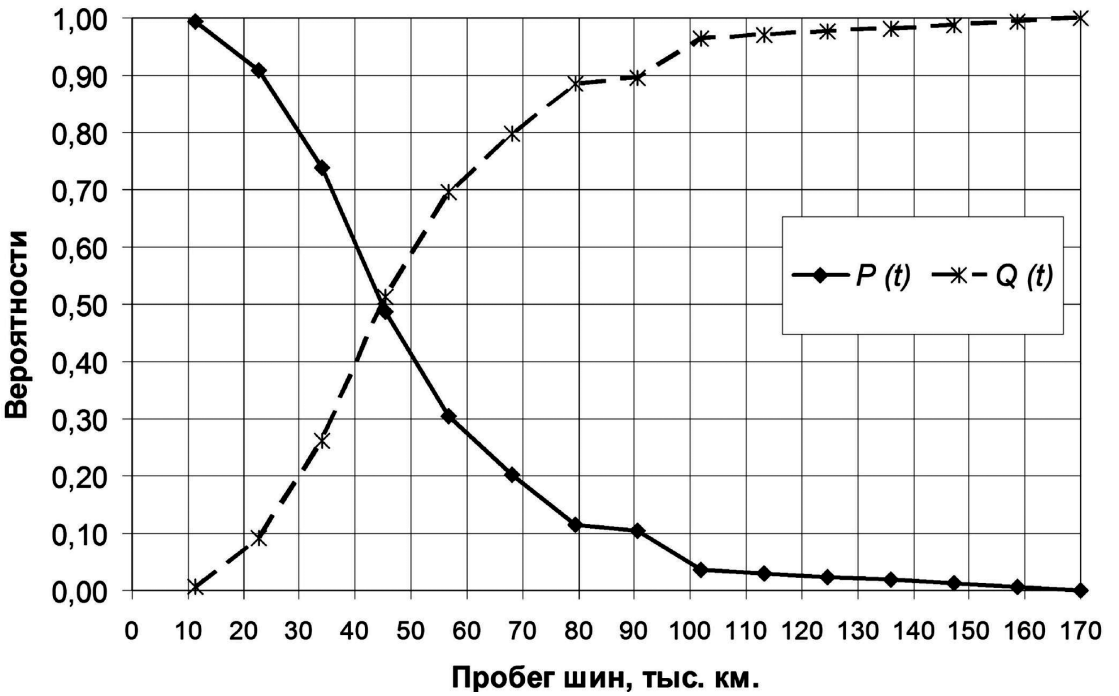

Рис. 2. Интегральные функции безотказной работы P(t) и отказов Q(t)

Частота отказов по статистическим данным – отношение числа отказавших элементов в единицу времени к первоначальному числу работающих (испытываемых), которая определяется по формуле [3]:

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \tag{3}$$

где: n(Δt) – число отказавших элементов в интервале времени от (t – Δt)/2 до (t + Δt)/2.

Интенсивностью отказов по статистическим данным называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени[3].

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\varphi} \cdot \Delta t}, \tag{4}$$

где: $N_{ср}$ – среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt.

Величины частоты и интенсивности отказов имеют одинаковый порядок значений и размерность, поэтому могут изображаться в одних координатах. Результаты расчетов по формулам (3) и (4) представлены на рис. 3.

Среднее время (пробег) безотказной работы вычисляется по формуле [3]:

$$T_1 \approx \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i \cdot t_{cpi}}{N}, \tag{5}$$

где: t_{cpi} находится по следующей формуле: $t_{cpi} = (t_{i-1} + t_i)/2$

где: t_{i-1} – время начала i-го интервала; t_i – время конца i-го интервала.

В результате расчетов по формуле (5) получаем, что средний пробег безотказной работы шин составляет $T_1 = 50790$ км.

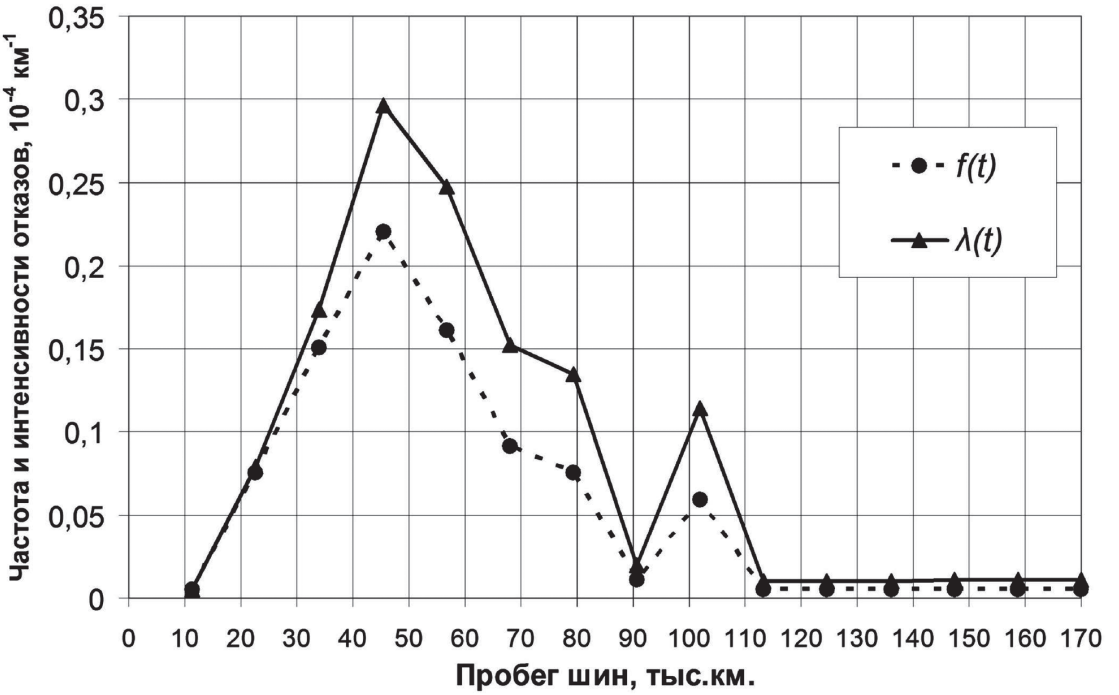

Рис. 3. График зависимости частоты f(t) и интенсивности λ(t) отказов автомобильных шин от пробега

В общем случае результаты наблюдений выхода шин из строя (рис. 1) могут подчиняться некоторому теоретическому закону распределения. Проверка соответствия теоретического распределения результатам наблюдений проводится с помощью критерия соответствия χ^2. Выбранное теоретическое распределение подтверждается, если выполняется условие [5]:

$$\chi^2 < \chi^2_{\alpha}, \tag{6}$$

где: χ^2 – расчетное значение параметра; χ^2_{α} – теоретическое значение параметра.

Для 10 %-ного уровня значимости и числа степеней свободы равном 6, табличное значение $\chi^2_{\alpha} = 10{,}645$ [5]. При подборке теоретических распределений получены следующие результаты:

1. Нормальное распределение – $\chi^2 = 39{,}16$
2. Гамма-распределение – $\chi^2 = 14{,}97$
3. Логарифмически нормальное распределение – $\chi^2 = 9{,}26$

Условие (6) выполняется только для логарифмически нормального распределения:

$9{,}26 < 10{,}645$.

Следовательно, при определении надежности шин принимается логарифмически нормальный закон распределения. На рис. 4 представлены кривые теоретического распределения и экспериментальных данных.

Соответствие экспериментальных данных логарифмически нормальному закону распределения означает, что случайная величина (пробег шины) зависит от большого числа независимых факторов [6]. Действительно, на надежность автомобильных шин влияют многие факторы: качество шин, состояние дороги, скорость автомобиля, мастерство водителя, давление в шинах, углы установки колес и другие.

На основании представленных данных можно сделать следующие выводы. Статистические данные по пробегу шин легковых автомобилей соответствуют логарифмически нормальному закону распределения случайной величины. При этом теоретический пробег шин несколько ниже реаль-

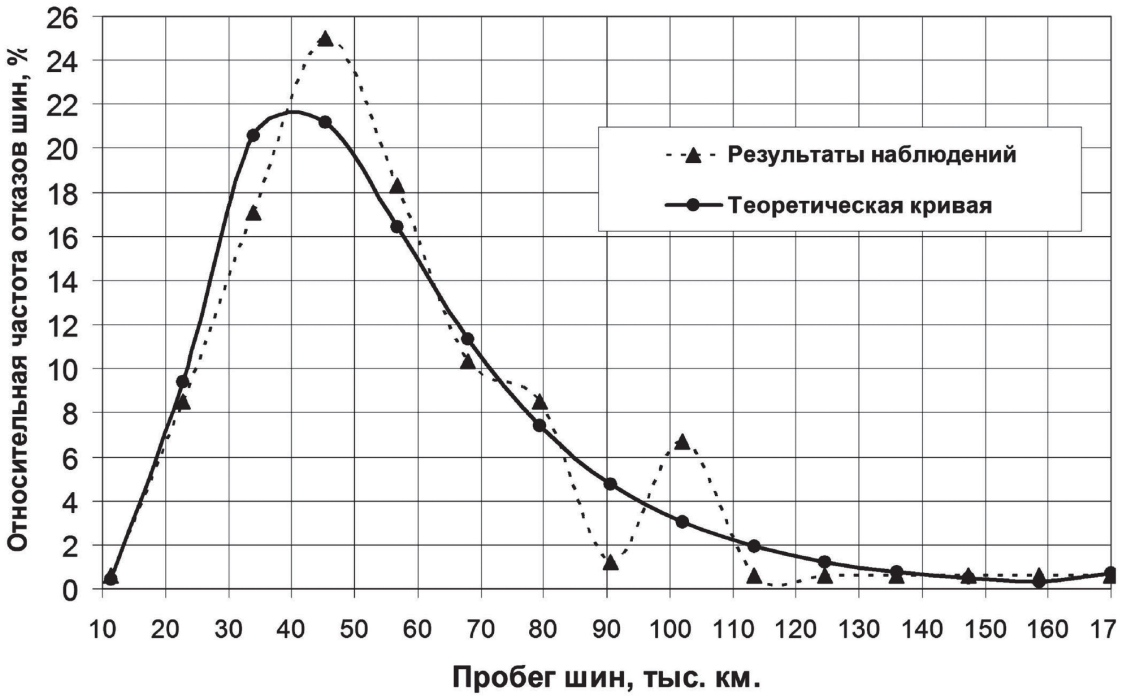

Рис. 4. Кривые теоретического распределения и экспериментальных данных отказов автомобильных шин

ного. В соответствии с гистограммой (рис. 1) наибольшее количество шин, примерно 42%, выходят из строя при пробеге 45-56 тысяч километров. А по теоретическому закону максимум выходов из строя шин (41,5 %) приходится на пробег 34-45 тысяч километров (рис. 4). Тогда теоретическая вероятность безотказной работы составляет 0,5-0,3, а экспериментальная вероятность безотказной работы – 0,74-0,5. Десятипроцентная вероятность отказа шин наступает при пробеге более 23000 километров. В то же время средний пробег безотказной работы составляет 50790 километров. Наибольший пробег шин доходит до 170000 километров. До пробега более 90000 километров «доживают» лишь 12 % шин и вероятность их отказа составляет 0,9. Однако это показывает, что имеется возможность увеличения надежности автомобильных шин в эксплуатации за счет повышения качества факторов, определяющих их ресурс.

Литература

1. **Третьяков О.Б.** Автомобильные шины. Конструкция, механика, свойства, эксплуатация / О.Б. Третьяков, В.А. Гудков, А.А. Вольнов, В.Н. Тарновский. – М.: КолосС, Химия, 2007. – 432 с.

2. **Евзович В.Е.** Восстановление изношенных пневматических шин / В.Е. Евзович – М.: Автополис-плюс, 2005. – 624 с.

3. **Корчагин А.Б.** Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие в двух частях. Часть 2. Практикум / А.Б. Корчагин, В.С. Сердюк, А.И. Бокарев. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2011. – 140 с.

4. **Курчаткин В.В.** Надежность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.

5. **Львовский Е.Н.** Статистические методы построения эмпирических формул / Е.Н. Львовский. Учебное пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 239 с.

6. **Айвазян С.А.** Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное издание / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.