

Создание математической модели учета влияния эксплуатационных параметров на работоспособность автомобильных шин

В. В. МОЖАРОВСКИЙ

Разработана методика оптимального планирования эксперимента для определения срока службы автомобильной шины. Методика основана на построении математической модели с использованием уравнения регрессии 2-го порядка. Регрессионный анализ результатов испытаний массовых шин, в которых варьировались внешние факторы (давление в шине, нагрузка и скорость качения), выявил существенную нелинейную зависимость коэффициента, определяющего срок службы шины от давления [1, 2].

Известно, что срок службы автомобильной шины зависит от многих факторов, таких как: механические свойства материалов шины, условия работы, технологических и конструктивных особенностей изготовления. Многие исследователи автомобильных шин отмечают, что срок службы определяется в основном нагрузкой на колесо, давлением воздуха в шине и кинематическим параметром, таким как скорость движения. Кроме того, имеется масса еще других факторов, влияние которых в данный момент рассматривать не будем. Для того, чтобы выяснить влияние указанных факторов на срок службы автомобильной шины, построим математическую модель по аналогии с опубликованной научной работой в журнале «Трение и износ» [2], созданной на результатах экспериментальных исследований по определению сопротивления качению автомобильных шин на предприятии ОАО «Белшина».

Для построения математической модели, описания срока службы эксплуатации автомобильной шины, необходимо провести ряд экспериментальных исследований. Исследования такого рода являются дорогостоящими и длительными, необходим специальный стенд для ускоренных испытаний. С целью оптимального выбора экспериментов воспользуемся современным методом построением модели на основе теории планирования эксперимента. Применение этой теории значительно уменьшает число опытов и позволяет построить оптимальные инженерные математические модели. В дальнейшем, для апробации предложенной теории воспользуемся экспериментальными исследованиями, представленные в работах [1].

Методика решения задачи

На основании теории многофакторного планирования эксперимента строится алгоритм определения коэффициента, определяющего срок службы шины (для определения срока службы в процентах нужно коэффициент умножить 100). Создано программное обеспечение на основании описанной методики оптимального планирования эксперимента. На первом этапе исследования проводится полный факторный эксперимент типа 2^3 . Уровни факторов и интервалы варьирования выбраны по результатам предварительных поисковых экспериментальных данных. Факторы, уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице.

Таблица. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни			Интервалы варьирования
	верхний+1	основной 0	нижний -1	
x_1 -давление в шине ($P \times 10^5$ Па)	2,5	2	1,5	0,5
x_2 – нагрузка на шину (Н)	3700	2700	1700	1000
x_3 – скорость(км/ч)	100	80	60	20

Строится уравнение регрессии для полного факторного эксперимента, заданного таблицей значений (здесь введены безразмерные величины «+»это 1,а «-» -1).

Разработано программное обеспечение на основании описанной ранее методики оптимального планирования эксперимента [2]. На первом этапе исследования проводится полный факторный эксперимент. Уровни факторов и интервалы варьирования выбирают по результатам имеющегося опыта проведения испытаний. Варьирование давления, скорости и нагрузки выполняется путем увеличения или уменьшения на постоянную величину, значение которой указывают в главном окне программы в ячейках «Интервалы», показано на рисунке 1

Рисунок 1 – Главное меню программы расчета для коэффициента, определяющего срок службы шины

Коэффициенты уравнения регрессии определялись по формулам регрессионного анализа [1] тогда уравнение регрессии имеет вид

$$y = 0,74 + 0,00625x_1 - 0,106x_2 - 0,156x_3 + 0,031x_1x_2 + 0,043x_1x_3 + 0,0437x_2x_3 + 0,03125x_1x_2x_3. \quad (1)$$

Проверки адекватности полученного уравнения и определения дисперсий коэффициентов по методике [2-4] показало, что исследуемая зависимость не может быть с достаточной точностью аппроксимирована уравнением (1).

Переходим к модели 2-го порядка, считая, что эксперимент полностью проведен в нулевых и «звездных» точках (рисунок 1) (для полноты описания некоторые значения результатов в этих точках были получены с помощью экстраполяции и интерполяции).

При планировании второго порядка функция отклика аппроксимируется полиномом 2-го порядка

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^N b_{ii} x_i^2.$$

Используя известную методику построения математической модели [3-5], получаем уравнение регрессии

$$Y = 1,006 + 0,016x_1 - 0,136x_2 - 0,116x_3 + 0,031x_1x_2 - 0,044x_1x_3 + 0,044x_2x_3 + 0,031x_1x_2x_3 - 0,12x_1^2 - 0,029x_2^2 - 0,064x_3^2. \quad (2)$$

Вычислив дисперсии коэффициентов, определяем доверительные интервалы для коэффициентов и, выявив статистически незначимыми, получаем модель рототабельного планирования второго порядка в виде

$$Y = 1,006 - 0,136x_2 - 0,116x_3 - 0,12x_1^2. \quad (3)$$

Для проверки адекватности модели (2.3) определяется дисперсия адекватности.

При уровне значимости 5% и, используя критерий Фишера, получаем, что модель (3) адекватна. Кодированные значения факторов связаны с натуральными следующими зависимостями

$$x_1 = \frac{p - p_0}{\Delta p}, \quad x_2 = \frac{Q - Q_0}{\Delta Q}, \quad x_3 = \frac{v - v_0}{\Delta v},$$

где p_0 , Q_0 , v_0 – основные уровни факторов в натуральных выражениях, Δp , ΔQ , Δv – интервалы варьирования. Программное обеспечение для расчетов зависимости коэффициента, определяющего срок службы шины от факторов при эксплуатации, представлено на рисунке 1.

Пример расчета и анализ результатов

Используя математическую модель в виде регрессионного уравнения, можно оценить влияния и тенденцию изменения коэффициента, определяющего срок службы шины от исследуемых факторов. Так, на рисунке 2 представлена кривая зависимости f (ККС-коэффициент срока службы) от скорости при условии, что остальные факторы постоянны.

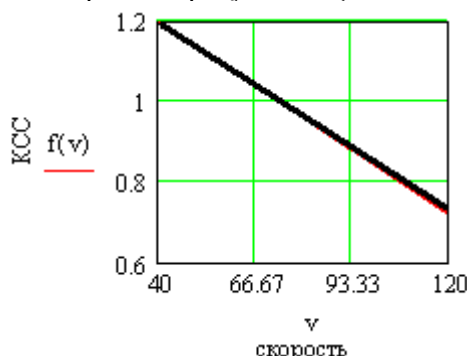


Рисунок 2– Влияние изменения скорости v на f : $p = 2$, $Q = 3000$ н

Из рисунка 2 видно, что f изменяется линейно и очень резко уменьшается с увеличением скорости. Такой характер изменения коэффициента подтверждают и результаты, представленные в работе [1]. На рисунке 3 показано влияние давления воздуха на коэффициент f .

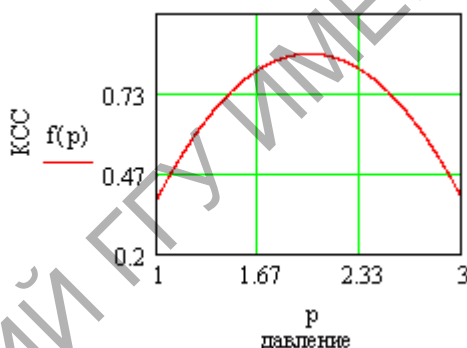


Рисунок 3 – Влияние изменения давления p на f : $v = 80$, $Q = 3700$ н

Увеличение давления приводит к увеличению f до определенного предела, а затем уменьшение. Зависимость f от давления в шине p имеет нелинейный характер и наблюдается плавное снижение f с увеличением давления p , что согласуется с [1]. Оценка влияния действующей нагрузки на коэффициент, определяющий срок службы шины, представлена на рисунках 4.

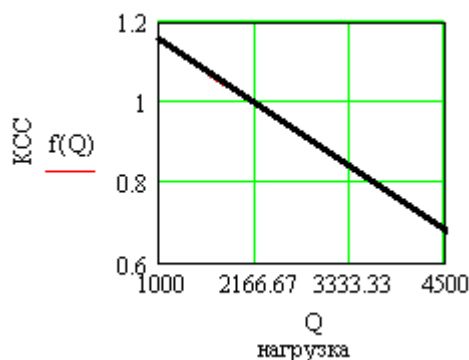


Рисунок 4 – Влияние нагрузки Q на f , $v = 90$, $p = 2,2$

Для начала работы с программой необходимо запустить исполняемый файл – “ККС.exe”, исходными данными которой являются вышеназванные параметры. Для получе-

ния искомого значения предполагаемого коэффициента f необходимо указать в ячейках “Значения” величину факторов P , v и Q .

Расчетное значение коэффициента сопротивления качению выводится в ячейке “ Y ” меню, показанного на рисунке 5.

Приложение расчета срока службы автомобильной шины

i	1	2	3	4	5
b	0,7437	0,03625	0,1063	-0,1562	0,0

i	1	2	3	4	5
b ₂	1,006	0,01598	-0,1361	0,1161	0,03122

i	1	2	3	4	5
f	1	1,1	0,7	0,8	0,7

i	1	2	3	4	5
f	1	1,1	0,7	0,8	0,75

Погрешность эксперимента: 0,14703

Количество значимых коэффициентов: 4

F_p : 0,44611

Y : 0,907701

Значимые и незначимые b

i	1	2	3	4	5
b	1	0	1	1	0

Зеленая кнопка: Модель адекватна

Рисунок 5 – Результаты расчета промежуточных параметров и для коэффициента, определяющего срок службы шины

Таким образом, разработана методика и программный комплекс расчета промежуточных параметров (коэффициентов), определяющих срок службы шины, которые найдут применение при проектировании и создании автомобильных шин.

Abstract. The paper presents the methods and software for calculating the dependence of the coefficient determining tire life on the factors of its using.

Литература

1. Кнороз, В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз. – М.: Транспорт, 1976.
2. Можаровский, В.В. Применение теории многофакторного эксперимента для определения сопротивления качению автомобильных шин в зависимости от условий эксплуатации / В.В. Можаровский // Трение и износ. – 2007. – Т. 28, № 2. – с. 151-157.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский, 1976. – М.: Наука. – 279с.
4. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов, 1982. – М.: БГУ.
5. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов, 1971 – М.: Наука. – 207 с.