

УДК 629.11.012.552.6.001.4

В.В. Кармазина, А.А. Сасов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ХАРАКТЕРНЫХ ЗОНАХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Введение. Анализ конструктивных и эксплуатационных параметров, влияющих на ресурс пневматических шин показал что, одной из основных причин его уменьшения является повышенная температура разогрева каркаса, подканавки и протектора. При нормативных режимах эксплуатации температура в шине не должна превышать 130°C [1]. Повышенная температура приводит к термодиструкции материала, из которого изготовлена шина. По статистике большинство шин выходит из строя в результате термического разрушения в зоне стыка протектора с подканавочным слоем и каркасом. Если не принять конструктивных или технологических мер, то ресурс шины может быть исчерпан задолго до достижения заданной величины. Для этого необходимо при конструировании шин определение эффективных режимов эксплуатации, позволяющих получить максимальный их ресурс при заданной допустимой температуре.

Основной материал исследований. Для определения температур исследовалась шина сверхнизкого давления модели 67Ч43.00LR25. Проведена оценка ее теплового состояния, которая позволила в качестве основных факторов, в наибольшей степени влияющих на тепловое состояние крупногабаритных шин, выбрать: внутреннее давление P ; радиальную нагрузку Q , скорость движения V ; время движения t [2].

Для определения математической зависимости температур от времени движения t , радиальной нагрузки Q , скорости движения V , внутреннего давления P в характерных зонах (центральная зона, подканавочная и плечевая зона) шин сверхнизкого давления на грунт использованы полученные нами ранее данные [таблица 4.3., 2].

Статистический анализ [3, 4] парных зависимостей температуры от времени движения при фиксированной нагрузке на шину равной 27000 Н показал, что коэффициент парной корреляции изменяется в

диапазоне $r_{xy} = 0,7368-0,7550$, и зависимость температуры от времени движения может быть описана логарифмической или линейной зависимостью:

$$y_{c1} = 7,9 \ln t + 7,9; y_{c2} = 8,02 \ln t + 10,87; y_{c3} = 8,36 \ln t + 12,49, \quad (1)$$

где y_{c1} - температура в центральной зоне шины;

y_{c2} – температура в подканавочной зоне шины;

y_{c3} – температура в плечевой зоне шины.

Или

$$y_{c1} = 0,36t + 21,44; y_{c2} = 0,36t + 24,61; y_{c3} = 0,38t + 26,88. \quad (2)$$

Для исследуемого интервала времени зависимость изменения температуры носит линейный характер. Однако в процессе эксплуатации пневматических шин температура после определенного времени движения подвижного состава стабилизируется. Поэтому в соответствии с реальными условиями эксплуатации данная зависимость является нелинейной.

При фиксированной нагрузке 32000 Н коэффициент парной корреляции $r_{xy} = 0,7077-0,7053$, а зависимость температуры от времени движения будет иметь вид:

$$y_{c1} = 8,03 \ln t + 6,68; y_{c2} = 7,07 \ln t + 16,22; y_{c3} = 7,85 \ln t + 15,44. \quad (3)$$

При фиксированной нагрузке равной 38000 Н коэффициент парной корреляции $r_{xy} = 0,8062-0,7102$, а зависимость температуры от времени движения будет иметь вид:

$$y_{c1} = 5,67 \ln t + 11,56; y_{c2} = 4,29 \ln t + 23,98; y_{c3} = 4,82 \ln t + 23,61. \quad (4)$$

Полученные результаты анализа зависимостей температуры от времени движения при различных фиксированных нагрузках и в разных конструктивных зонах шины свидетельствуют о том, что стабильно наблюдается увеличение температуры шины при увеличении времени движения. Учитывая величину коэффициента корреляции и проверки его на значимость при уровне ошибки 0,05 можно утверждать, что проведенные экспериментальные исследования подтверждают теоретические предпосылки.

Аналогичные исследования зависимости температуры шины от внутреннего давления при различных фиксированных нагрузках свидетельствуют об уменьшении температуры, что подтверждается результатами известными в литературе [1, 5, 6].

Исследования при фиксированном внутреннем давлении 0,35 МПа и при внутреннем давлении 0,6 МПа зависимостей температуры от времени движения шины во всех трех точках носит аналогичный

характер. При этом изменения можно описывать как логарифмической зависимостью, так и линейной.

При $P = 0,35$ МПа:

$$y_{c1} = 10,17 \ln t + 5,25; y_{c2} = 10,06 \ln t + 7,58; y_{c3} = 9,73 \ln t + 10,4. \quad (5)$$

При $P = 0,6$ МПа:

$$y_{c1} = 12,86 \ln t - 1,71; y_{c2} = 12,84 \ln t + 1,76; y_{c3} = 13,76 \ln t + 1,34. \quad (6)$$

Полученные результаты согласуются с положениями, изложенными в литературе [1, 5] и не противоречат физическим законам процесса эксплуатации шин.

Выше приведенный анализ позволяет предположить, что зависимость температуры шины от времени движения, внутреннего давления, скорости движения и радиальной нагрузки линейна:

$$\hat{y}_{c_i} = a_{1i} \cdot t + a_{2i} Q + a_{3i} V + a_{4i} P, \quad (7)$$

где $i=1,2,3$ – номер точки измерения температуры.

Коэффициенты зависимости определяем из условия

$$\sum_{j=1}^n (y_{j c_i} - \hat{y}_{j c_i})^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

или

$$\sum (y_{j c_i} - (a_{1i} \cdot t_j + a_{2i} \cdot Q_j + a_{3i} \cdot V_j + a_{4i} \cdot P_j))^2 \rightarrow \min. \quad (9)$$

Коэффициенты a_1, a_2, a_3, a_4 этих зависимостей для каждой из характерных точек шины определяем с помощью метода наименьших квадратов [3, 7]. Для реализации этого метода использованы электронные таблицы программы MS Excel, в частности - функция ЛИНЕЙН. С помощью этой функции определен ряд дополнительных статистических характеристик:

- коэффициента детерминации (R^2);
- расчетное значение критерия Фишера (F – критерий);
- среднее квадратическое отклонения коэффициентов зависимости;
- остаточная сумма квадратов отклонений полученной зависимости от экспериментальных данных.

В каждой из исследуемых точек получены зависимости:

$$y_{c1} = -14,75P + 0,64V + 0,0057Q + 0,35t \quad (R^2=0,98); \quad (10)$$

$$y_{c2} = -11,41P + 0,57V + 0,0074Q + 0,32t \quad (R^2=0,98); \quad (11)$$

$$y_{c3} = -7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34t \quad (R^2=0,98). \quad (12)$$

Полученные зависимости проверены на адекватность по критерию Фишера. Для этого получены расчетные значения критерия:

$$F_{c_i} = \frac{(n - m - 1) \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{c_i} - \bar{y}_{c_i})^2}{m \sum_{i=1}^n (y_{c_i} - \hat{y}_{c_i})^2}, \quad (13)$$

где $n=135$; $m=4$; $i=1,2,3$.

Тогда $F_{c1}=1453$; $F_{c2}=2157$; $F_{c3}=1798$.

Критическое значение критерия F определено по таблицам распределения Фишера или используя встроенную функцию MS Excel ФРАСПОБР:

$$F_{\text{крит}} = F(\alpha; k_1; k_2) = F(0,07; 4; 130) = 2,22, \quad (14)$$

где α - уровень ошибки;

$$k_1 = m = 4;$$

$$k_2 = n - m - 1 = 130.$$

Так как расчетные значения в каждой из точек больше критического значения, то можно утверждать, что полученные зависимости адекватны экспериментальным данным. Следовательно, полученные зависимости температуры от времени движения, внутреннего давления, скорости движения и радиальной нагрузки можно использовать для анализа процесса нагрева шины и для прогнозирования их ресурса.

Для оценки степени влияния параметров P , V , Q , t на температуру шины рассмотрим построение зависимостей для нормируемых данных типа:

$$t_i^* = \frac{t_i}{t_{\max}}; \quad Q_i^* = \frac{Q_i}{Q_{\max}}; \quad V_i^* = \frac{V_i}{V_{\max}}; \quad P_i^* = \frac{P_i}{P_{\max}}, \quad (15)$$

где $t_{\max}=60$; $Q_{\max}=3800$; $V_{\max}=32$; $P_{\max}=1,1$.

По нормированным данным зависимость температуры в трех характерных зонах имеет вид:

$$y_{c1} = -16,23P^* + 20,25V^* + 21,46Q^* + 21,18t^* \quad (R^2=0,98); \quad (16)$$

$$y_{c2} = -12,56P^* + 18,29V^* + 28,05Q^* + 18,92t^* \quad (R^2=0,98); \quad (17)$$

$$y_{c3} = -8,63P^* + 21,14V^* + 23,17Q^* + 20,58t^* \quad (R^2=0,98). \quad (18)$$

Величина коэффициентов при t_i^* , Q_i^* , V_i^* , P_i^* свидетельствуют о том, что влияние этих параметров на температуру почти равнозначное. Это говорит о значимости влияния перечисленных параметров на температуру нагрева шины. Проверка значимости по t

– критерию Стьюдента подтверждает, что все эти параметры значимы.

При увеличении скорости, нагрузки и времени движения температура шины во всех трех точках (C_1 , C_2 , C_3) увеличивается. При увеличении внутреннего давления в шине температура шины уменьшается. Причем наибольшее уменьшение наблюдается в точке C_1 . В точке C_3 уменьшение температуры меньше по сравнению с точками C_1 и C_2 . Из этого следует, что точка C_3 , которая соответствует плечевой зоне, находится в большем термонапряженном состоянии по сравнению с зоной подканавки и центральной зоной шины.

При сравнении характера зависимости температуры в трех характерных точках шины в зависимости от скорости движения наименьшая ее величина наблюдается в точке C_2 (подканавочная зона шины).

Аналогичные сравнения по нагрузке в трех точках показывают, что наибольшее увеличение температуры в шине наблюдается в точке C_2 . Сравнение температур в трех точках шины от времени движения свидетельствует, что увеличение времени движения в наименьшей мере оказывает влияние в точке C_2 .

Точечный прогноз температуры нагрева шины можно выполнить, подставляя значения времени движения t , внутреннего давления P , скорости движения V и радиальной нагрузки Q в уравнения (1), (2) или (3) в зависимости от исследуемой зоны шины. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Прогнозируемая температура шины 67Ч43.00LR25 в центральной зоне (точка 1)

Исходные данные для прогноза				Прогнозируемая температура, доверительный интервал и истинная температура			
t , мин	Q , т	V , км\ч	P , МПа	U_{c1} , °C	U_{c1} ниж, °C	U_{c1} верхн, °C	$U_{истин}$, °C
5	2700	32	0,6	28	20	37	25
20	2700	32	0,6	33	25	42	34
60	2700	24	0,35	48	38	55	46
10	3200	24	1,1	21	12	29	24
20	3800	16	0,9	25	17	34	26

Выводы. Выполнен статистический анализ для определения математической зависимости температур от времени движения,

радиальной нагрузки, скорости движения, внутреннего давления в характерных зонах пневматических шин сверхнизкого давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скорняков Э.С. Крупногабаритные шины автомобилей и тракторов: Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2000. – 263с.
2. Сасов А.А. Прогнозирование выходных характеристик шин сверхнизкого давления для автомобилей и тракторов. Дис... канд.техн. наук.- Киев, 2007.- 210 с.
3. Джонсон Дж. Эконометрические методы.-М.: Статистика, 1980.- 437с.
4. Клас А., Герли К., Колек Ю., Шуян И. Введение в эконометрическое моделирование. - М.: Статистика, 1978.- 123с.
5. Суворова Ю.В., Кваша Э.Н., Чупилко Т.А. Расчет напряженно-деформированного состояния крупногабаритных шин с учетом вязких эффектов и температуры // Механика композитных материалов. - 1991. - Т. 4. - с. 677 - 682.
6. Шершнев А.А. и др. Температура шины при качении автомобильного колеса.- Красноярск, 1972.- С.55-61.
7. Толбатов Ю.А. Математична статистика та задачі оптимізації в алгоритмах і програмах: Навч. посібник. - К.: Вища шк., 1994. - 399с.

Получено 14.09.2007 г.