

УДК 629. 11. 012.55

О.Ларін, канд.техн.наук; О.Яковлев, канд.техн.наук; В. Коханенко
Академія пожежної безпеки України

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ШИНИ З ПОВЕРХНЕЮ ДОРОГИ

У статті порушується питання обчислення ресурсу шини за критерієм втомної витривалості з використанням лише її температури. Подано результати експериментів визначення деформацій та температур у бортовій частині і боковині шини 205/70R14 легкового автомобіля.

Умовні позначення:

R_k	- радіус кочення шини;
N	- кількість циклів до руйнування шини;
N_b	- базова кількість циклів руйнування;
W_b	- енергія руйнування при базовій кількості циклів;
W_p	- енергія деформації за цикл деформування;
n_w	- коефіцієнт втомної витривалості;
K_u	- коефіцієнт, що враховує форму циклу навантаження;
E	- модуль Юнга гуми;
μ	- коефіцієнт Пуасона для гуми;
$\varepsilon_x, \varepsilon_y$	- головні деформації в меридіональному й екваторіальному напрямках, відповідно;
$\varepsilon_{x0}, \varepsilon_{y0}$	- головні деформації, визначені при коченні колеса рівною поверхнею з малою швидкістю руху;
K_d	- коефіцієнт, що враховує швидкість руху автомобіля і стан дорожнього покриття;
K_m	- коефіцієнт, що враховує температуру на розігрів шини;
K_c	- коефіцієнт, що враховує вплив навколишнього середовища;
W_t	- теплова енергія, що виділяється за Δt часу;
ν	- частота обертання шини;
$\Delta \tau$	- збільшення часу;
C	- питома теплоємність матеріалу шини;
ρ	- щільність матеріалу шини;
ΔT	- збільшення температури на даному відрізку часу;
ε_j	- ефективна деформація;
K	- модуль внутрішнього тертя гуми.

За період експлуатації шини загалом вона не тільки обертається, але й перебуває у нерухомому стані. Протягом цього часу сумарна робота у вигляді пробігу не зростає, однак на шину діє навколишнє середовище, статичне навантаження і, внаслідок старіння, зміна фізико-механічних властивостей матеріалу, з якого вона виготовлена. Названі фактори зменшують загальний ресурс роботи шини, однак у даній статті їх вплив не враховується.

На стадії проектування шини проводиться її розрахунок на міцність і проводиться оцінка ресурсу роботи на основі розрахункової схеми. Однак використані дані про матеріал шини, особливості навантаження, впливи умов експлуатації шин-аналогів та інші фактори у багатьох випадках вимагають уточнення.

Ресурс роботи конкретної шини характеризується випадковими величинами, що залежить від умов експлуатації, отже, усереднений ресурс моделі шини і параметри його розподілу і характеризують загальний ресурс роботи шини.

Фактичне зношення шини за зношенням рисунка протектора має узгоджуватися з оптимальним значенням терміну служби шини за критерієм

тривкості шини як оболонки. Переважно ресурс роботи шини за зношенням не досягає оптимальних значень, виходячи з економічних міркувань.

На сучасному рівні проектування можна значно підвищити ресурс роботи шини за рахунок більш ефективного підходу до технічного обслуговування при її експлуатації.

Прогноз ресурсу роботи шини на стадії проектування, від прогнозування на стадії експлуатації відрізняється тим, що виконують для конкретних моделей шин, враховується залишковий ресурс її роботи.

Прогнозування ресурсу роботи кожної шини, зокрема, виявити додаткові резерви для підвищення експлуатаційних властивостей. Цей захід дозволяє не тільки попереджувати можливі виходи з ладу шини, але й правильніше планувати режими експлуатації та проведення профілактичних заходів.

Відомо, що у багатьох випадках ефективність експлуатацій шини можна підвищити за рахунок зниження навантажень або швидкостей руху транспортного засобу.

Якщо вилучити з аналізу виходи з ладу шин внаслідок екстремальних перевантажень, природніх впливів, які трудно врахувати, або помилки при проектуванні, чи поєднання перелічених факторів, то інші випадки виходу шин з ладу можна віднести до однієї з двох основних груп.

Першу групу утворюють граничні стани шини, що настають внаслідок поступового нагромадження в матеріалі шини так званих внутрішніх розсіяних дефектів, що призводять до зародження і розвитку макротріщин.

Переважаю, зародки таких тріщин викликане недосконалістю технологічного процесу виготовлення шини і наявні в ній ще до початку експлуатації. Якщо дефект не виявлено на стадії виготовлення, то його розвиток може спричинити аварійну ситуацію. З імовірністю того, що в межах заданого пробігу шини відмови не буде, тісно зв'язане поняття імовірності безвідмовної роботи. В даний час набуло широкого визнання поняття умовного ресурсу роботи шини для конкретного дефекту або групи дефектів.

До другої групи відносяться граничні стани шин, зв'язані з повним зношенням рисунку протектора. Оскільки автомобільна шина працює під дією циклічних навантажень з великою амплітудою і частотою, то причиною зародження і розвитку дефектів є втомне руйнування.

Для вирішення поставленої задачі прогнозування залишкового ресурсу роботи шини з урахуванням умов експлуатації використовується механіка руйнування. У багатьох випадках шини тривалий час успішно функціонують, незважаючи на наявність у них втомних тріщин. Дефекти в шинах у такому випадку можуть бути стійкими, а кінетика розвитку контролюється і прогнозується.

З метою розробки математичної моделі процесу прогнозування залишкового ресурсу шини у роботі застосовується напівемпіричний підхід. Напівемпіричні моделі порівняно зі структурними більш прості і, в даному випадку виступають як результат узагальнення експериментальних даних, тому більш пристосовані до опрацювання експериментальних результатів і їхніх значень для аналітичної форми.

До втомного руйнування шин відносяться розриви і злами кордних шарів, розшарування гуми, відшарування гуми від корду, розтріскування. Призупинка експлуатації шин через це не можна вважати нормальним явищем. По-перше, руйнування шин призводить до аварійної ситуації. По-друге, шини що зруйнувалися не можна відремонтувати.

Ресурс шини до появи втомних тріщин між шарами брекера і каркаса, що виникли в результаті втоми, можна визначити такою залежністю

$$L = 2\pi R_k N. \quad (1)$$

Визначення числа циклів, при яких виникають втомні тріщини, можна виконати за такою залежністю, запропонованою в роботі [1]

$$N = N_b \left(K_u \frac{W_b}{W_p} \right)^{n_w} . \quad (2)$$

З огляду на гіпотези Кіргофа, енергія деформації для плоского напруженого стану дорівнює

$$W = 0,5(\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y) . \quad (3)$$

Напруги у зонах на вісі X та Y визначаються за формулами

$$\sigma_x = \left[\frac{E(\varepsilon_x + \mu \varepsilon_y)}{(1 - \mu^2)} \right]; \quad \sigma_y = \left[\frac{E(\varepsilon_y + \mu \varepsilon_x)}{(1 - \mu^2)} \right] . \quad (4)$$

Підставляючи вираз (4) у вираз (3), одержимо енергію деформування за цикл

$$W = \frac{E}{2(1 - \mu^2)} (\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + 2\mu \varepsilon_x \varepsilon_y) . \quad (5)$$

Розмір основних деформацій залежить від множини експлуатаційних чинників, таких, як навантаження на колесо, внутрішній тиск повітря в шині, стан дорожнього покриття, температура шини, вплив навколишнього середовища і та ін. Для того, щоб врахувати всі ці чинники, впроваджуються відповідні коефіцієнти. Тоді основні деформації обчислюються за залежностями:

$$\varepsilon_x = K_D K_T K_C \varepsilon_{x0}; \quad \varepsilon_y = K_D K_T K_C \varepsilon_{y0} . \quad (6)$$

Одержання експериментальних значень основних деформацій пов'язане з певними труднощами. По-перше, вимірювання внутрішніх деформацій у шині зв'язане з необхідністю впровадження в них датчиків деформацій, що можливо лише на стадії виготовлення шини. По-друге, для даного вимірювання потрібен громіздкий комплекс вимірювальної апаратури, а сам процес вимірювання вимагає багато часу для опрацювання й аналізу кінцевого результату. По-третє, знижується достовірність інформації, оскільки вимірювання відбуваються при малій швидкості і на прямолінійній ділянці дороги.

Встановлено, що температура автомобільної шини в експлуатації є одним із показників, що характеризують її працездатність. Ця температура залежить не тільки від конструкції шини, але й від режимів її роботи на автомобілі. Критичною температурою для шин є температура їхньої вулканізації 130...145 °С, тому що при цій температурі рекристалізуються молекули гуми і порушуються їхні міжмолекулярні зв'язки.

Тепловий стан шини визначається сукупністю значень температури у всіх її точках і в кожний момент часу. Якщо знехтувати меридіональним потоком тепла, то двомірна задача розподіляється на ряд одномірних, що дозволяє обчислити ресурс шини за критерієм втомної витривалості, з використанням лише температури шини.

Теплотворення в гумі в період саморозігрівання шини вилучає ряд чинників, не зв'язаних із режимом навантаження й гістерезисними властивостей матеріалу. Вважається, що усе тепло йде на розігрівання шини, а частка втрати тепла загалом у тепловому балансі незначна.

За один цикл навантаження шини виділиться тепла енергія деформації

$$W = W_t / \Delta \tau v . \quad (7)$$

Теплова енергія тіла дорівнює

$$W_t = C \rho \Delta T . \quad (8)$$

Підставивши вираження (8) у (7), отримаємо

$$W = \frac{C \rho \Delta T}{\Delta \tau v} . \quad (9)$$

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

Підставивши енергію деформації, виражену через температуру (9), у вираження (2), маємо

$$N = N_b \left(K_{II} \frac{W_{b\Delta} \tau \nu}{C \rho_{\Delta} T} \right)^{n_w} \quad (10)$$

Підставивши вирази (10) у (1), отримаємо

$$L = 2\pi R_k N_b \left(K_{II} \frac{W_{b\Delta} \tau \nu}{C \rho_{\Delta} T} \right)^{n_w} \quad (11)$$

За даною залежністю можна обчислити ресурс шини за критерієм втомної витривалості.

Енергію деформації можна визначити за залежністю [2] у початковій стадії розігрівання шини

$$W = 0,5 \varepsilon_j^2 K \quad (12)$$

Порівнявши праві частини виражень (9) і (12), одержимо вираження, що визначає значення поданої деформації

$$\varepsilon_o = \sqrt{\frac{2C \rho_{\Delta} T}{\Delta \tau \nu K}}$$

Таблиця 1

Головні деформації в шині 205/70R13

Деформації	Місце встановлення датчиків			
	Каркас	1 шар	2 шар	3 шар
ε_1	21,0	6,0	20,4	14,1
ε_2	-11,5	-20,5	-5,0	-3,0
Подані деформації				
ε_0	18,8	21,1	21,3	14,9
Деформації, визначені через вимірну температуру				
ε_0	19,2	20,5	19,5	14,5

Результати експерименту (табл.1) виявляють, що похибка між прямим і непрямим методом дослідження становить відповідно на каркасі - 2,3 %; на першому шарі - 3,4 %; на другому шарі - 8,5 %; на третьому шарі - 3,8 %.

У таблиці 2 наведені результати підвищення внутрішньої температури шини 10,00R20/280P508 моделі И-309 вантажного автомобіля під час її руху. У середині шини були розміщені датчики деформації

Таблиця 2

Підвищення температури шини під час руху та її деформація

Місце Розташування Термопар	Збільшення часу руху шини, хвилини					
	2		4		6	
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon, \%$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon, \%$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon, \%$
Каркас	11,25	32	19,5	29,5	29,5	29,5
1 шар	12,5	34	22,5	32	28,0	33,5
2 шар	12,5	34	22,5	32	26,25	33,0
3 шар	11,25	32	20,0	30	26,5	27,5
4 шар	11,25	32	18,75	29	26,0	27,5

Поверхнева температура шини реєструвалася за допомогою дистанційного приладу для вимірювання температури пірометра "Смотрич 4П-03". Результати вимірювання температури охолодження шини наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Температура шини вантажного автомобіля на її поверхні

Температура на поверхні зупиненої шини після Δt , хвилин	Місця виміру температури			
	протектор	плече	боковина	борт
20	65	55	48	44
35	60	50	41	39

In article disturbs question of tire resources computation, for criterion of tiredness endurance making use of only her temperature. Helped into experiments results on determination of deformations and temperatures in side part and tire 205/70R14 of car.

Література

1. Хромов М.К. Усталостное разрушение шинных резин в режимах циклического нагружения: Дис... докт. техн. наук: 05.17.12. - М., 1987. – 390 с.
2. Кваша Э.Н. Термонапряженное состояние металлокордных пневматических шин // Сборник науч. трудов «Численные методы и математическое моделирование тепломассопереноса» - Днепропетровск. – ДГУ. - 1991 - С. 101 – 106.

Одержано 03.06.2000 р.