

УДК 629.11.012.55

Ю. В. АРЕФІН, викладач ДІТ, Донецьк;

В. П. ВОЛКОВ, д-р техн. наук, завідувач кафедри, ХНАДУ, Харків;

О. О. ЛАРІН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;

О.М. ЛАРІН, д-р техн. наук, завідувач кафедри, НУЦЗУ, Харків

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВТОМИ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ПО ЗМІНІ ВИБІГУ АВТОМОБІЛЯ

Представлено теоретичні дослідження по визначенню залежності опору кочення пневматичної шини від її швидкості із різними ступенями накопиченої втоми. Розглянуто математичне моделювання процесу вибігу автомобіля з урахуванням різного опору кочення колеса. Побудовано залежність між вибігом автомобіля та ступенем накопиченої втоми в шині, що може використовуватись як номограма для раннього діагностування цих дефектів.

Ключові слова: пневматична шина, ресурс, втома, момент опору кочення.

Вступ. В процесі експлуатації пневматичних шин в матеріалах її шарів і між шарами накопичуються мікропошкодження. Цей процес поступове зниження надійності експлуатації пневматичних шин. Ресурс шин легкового автомобіля, завдається заводом-виробником на основі статистичної інформації, що є в наявності по шинам-аналогам. Разом із тим експлуатаційні фактори здатні суттєво впливати на значення проектного ресурсу, тобто в залежності від умов експлуатації пневматичні шини можуть з більшою інтенсивністю відпрацьовувати свій ресурс [1].

Таким чином важливою науково-практичною задачею стає питання формування методик для діагностування фактичного технічного стану пневматичних шин в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В літературі широко представлені результати досліджень експлуатаційних характеристик шин, аналіз їх міцності та довговічності, підходи та методи до діагностування пошкодженості в шинах. Аналіз даних, що наведені в літературі по статистиці відмов дозволяє визначити, що найбільш характерні причиною виходу пневматичних шин експлуатації [1-4]: це механічні пошкодження 20% (проколи, розриви тощо), знос (стирання) протектора 28% та втомленеві пошкодження у плечовій та бортовій зонах до 50%.

В сучасній практиці в якості задачі технічної діагностики, як правило, вирішується проблема ідентифікації «крупного» внутрішнього дефекту в шині [3,4]: розшарування, тріщина та інш. При цьому застосовуються методи рентгеноскопії, ультразвукової діагностики, методи аналізу нерівномірності теплового стану. В результаті за визначеними параметрами дефекту прогнозується час його росту до критичних розмірів. Такий підхід не може вважатись вдалим, оскільки за наявності «великого» дефекту, надійність визначається не тільки швидкістю його росту, але й ризиком миттєвих відмов на нестационарному режимі експлуатації. Крім того методи діагностики, які при цьому використовуються потребують унікального обладнання та, як правило, можуть бути реалізовані тільки в спеціалізованих лабораторіях [3-5].

Мета роботи. Дана робота має за мету теоретичні дослідження, що направлені на формування методики ранньої діагностики зародження в шинах внутрішніх дефектів в процесі експлуатації

Матеріали і результати дослідження. В даній роботі в основу діагностики покладені, визначені авторами у попередніх роботах [6], закономірності зміни характеру деформування пневматичних шин від ступеня деградації властивостей її матеріалів (при незмінному внутрішньому тиску та вертикальному навантаженні). Таким чином, за характером деформації можна встановити ступінь поточного технічного стану та діагностувати залишковий ресурс. Разом із тим, зміна деформації шини відбивається на процесі формування її моменту опору кочення. В роботі проведено відповідні дослідження та отримані закономірності між приростом моменту опору коченню та величиною накопиченої за час експлуатації в шині пошкоджувальності втоми. При цьому в роботі використовуються результати теоретичний підхід, що запропонований авторами у роботі [7] та дозволяє визначити опір коченню як функцію швидкості його лінійного руху. У роботі [7] запропоновано апроксимацію опору кочення від швидкості у вигляді експоненціального закону. Відповідна апроксимація наведена формулою (1), А самі залежності побудовані у вигляді графіків та представлені на рис. 1.

$$M_t = a \cdot e^{\alpha \cdot v}, \quad (1)$$

де M_t – момент опору кочення; a , α – параметри апроксимації v – лінійна швидкість руху (задана у км/год).

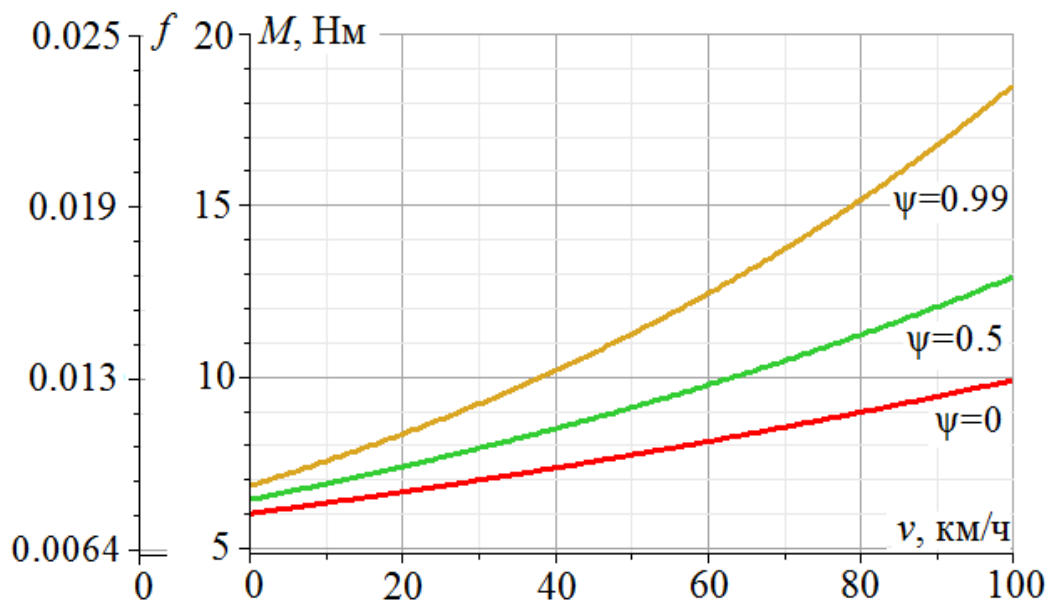


Рисунок 1 – Момент опору коченню M і f - коефіцієнт опору коченню) шини з послабленою пошкоджуваністю втоми

Зміна опору кочення пневматичних шин суттєво впливає на динамічні та експлуатаційні характеристики транспортного засобу. Найбільш простим засобом діагностування зміни опору кочення в шинах на автомобілі в дорожніх умовах є визначення зміни вибігу автомобіля. Це режим прямолінійного руху по горизонтальній дорозі з вимкненим двигуном із заданої початкової швидкості до повної зупинки. На рисунку 2 представлено схеми сил, що діють на автомобіль під час його прямолінійного руху.

Відповідно до схеми рівняння руху визначаються у такий спосіб:

$$-m \cdot \frac{dV}{dt} = C_w \cdot F \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V - V_w)^2 - (B + C \cdot V + D \cdot (V)^2 + G \cdot (V)^3) - 4 \frac{a}{R} \cdot \exp(\alpha \cdot V), \quad (2)$$

де m – маса автомобіля; V – швидкість руху автомобіля.

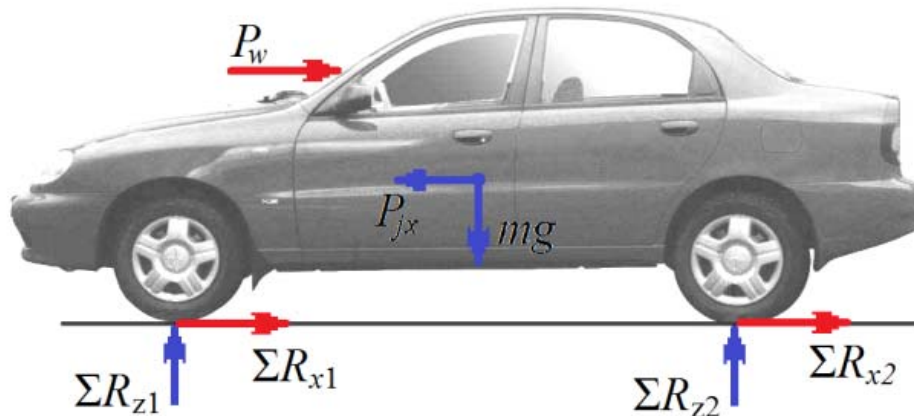


Рисунок 2 – Система сил та реакцій, які діють на автомобіль при вибігу

У формулі (2) враховувалось, що сила аеродинамічного опору визначається класично [1] пропорційно квадрату швидкості руху автомобіля:

$$F_{aero} = C_w \cdot F \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V - V_w)^2, \quad (3)$$

де C_w та F – параметри апроксимації аеродинамічного опору (для автомобіля АвтоЗАЗ Сенс $F=1.873$ и $C_w=0.3$); ρ – густина повітря; V_w – швидкість зустрічного вітру (м/с).

Сили опору кочення за умов вибігу можна вважати однаковими по передньому та задньому мостам та визначити через момент опору кочення та радіус колеса R , а момент опору кочення складається з опору, що існує у трансмісії M^{trans} та моменту опору кочення шини M_t . В даній роботі для врахування моменту опору кочення шини використовувався вираз (1) із різними параметрами, що відображені на рис. 1, а для визначення опору трансмісії відома [1] кубічна залежність

$$M_r^{tran} = R \cdot \left((B + C \cdot V + D \cdot (V)^2 + G \cdot (V)^3) \right), \quad (4)$$

де B та C – параметри апроксимації (для АвтоЗАЗ Сенс $B=1.72$ и $C=0.071$).

Для перевірки можливості оцінки опору коченню по вибігу автомобіля проводилися розрахунки процесу вибігу з шинами, що мають різну жорсткість. В якості способу зменшення жорсткості використовувалося зниження тиск повітря всередині шин. Порівняння відповідних теоретичних і експериментальних результатів приведено на рис. 3.

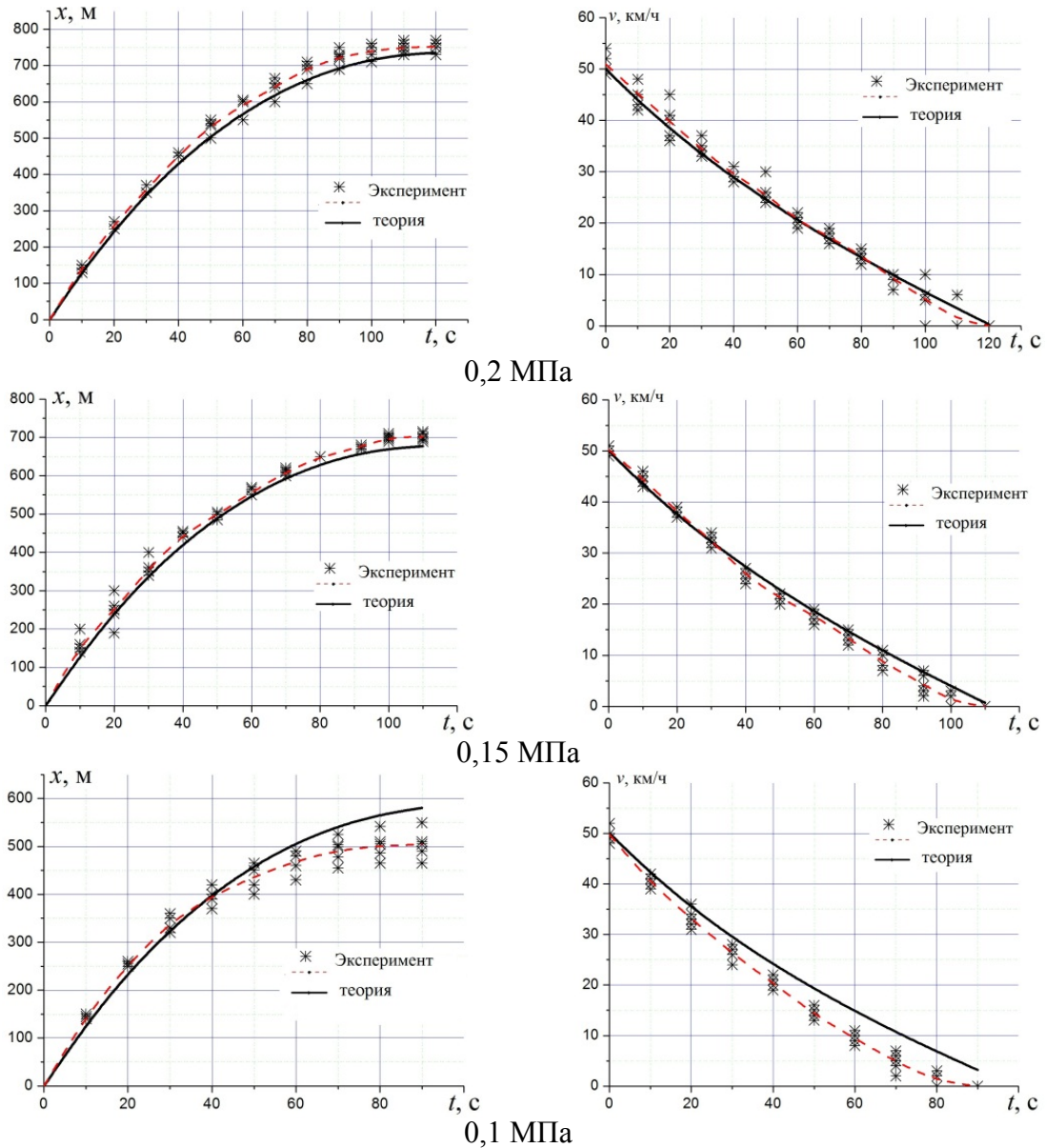


Рисунок 3 – Процес вибігу автомобіля з швидкості 50 км/год для шин з різним внутрішнім тиском

Теоретично розглянуті процеси вибігу автомобіля з урахуванням різного опору кочення колеса має збіжність з аналогічними даними отриманими при дорожніх випробуваннях [8] в межах 3%.

Отримані в попередніх роботах [6] залежності по напруженому стану шини, що знаходяться під впливом експлуатаційних навантажень дозволяють оцінити ресурс шини по втомній міцності. Для даної оцінки в роботі використовується рівняння Веллера, яке пов'язує амплітуди напружень і число циклів деформації до зародження тріщини. З даного рівняння знаходиться пробіг шини до відмови

$$N = \tilde{N} \cdot 2\pi \cdot R = \frac{\sigma_{-1}^m \cdot N_0}{\sigma_a^m} \cdot 2\pi \cdot R, \quad (5)$$

де σ_a – амплітуди напруження; N – пробіг шини до відмови; σ_{-1} – межа витривалості матеріалу; N_0 – базове число циклів до руйнування (10 млн.); m – показник кривої Веллера (для шинних матеріалів $m = 6$); R – статичний радіус колеса.

Слід зазначити, що накопичення втомних мікро-пошкоджень послаблює властивості матеріалу (модуль пружності). Вводячи параметр, що характеризує міру накопичених пошкоджень втоми ψ , знаходимо оцінку для ступеня деградації модуля пружності

$$\psi = \frac{\sigma_a^m}{\sigma_{-1}^m \cdot N_0 \cdot 2\pi \cdot R} \cdot n \quad E_{eff}(n) = (1 - \psi(n)) \cdot E \quad (6)$$

Наведені положення дозволяють виявити закономірність між характером деформування пневматичної шини, які були отримані в попередніх роботах [6] для моделі шини з ослабленою бортовою і плечовою зоною і фактичним ресурсом (пробігом). Отже, можна вирішувати зворотну задачу тобто визначити ступінь накопиченої пошкоджуваності і по ній виявити ступінь відпрацьованого ресурсу у відносних величинах. Така інформація дозволить через пропорцію виявити залишковий ресурс шини.

Було проведено серію розрахункових досліджень, щодо визначення впливу накопиченої втоми в матеріалах шини на вибіг автомобіля. Внаслідок чого було отримано залежність відносного залишкового втомленого ресурсу шини в залежності від величини вибігу автомобіля (рис. 4).

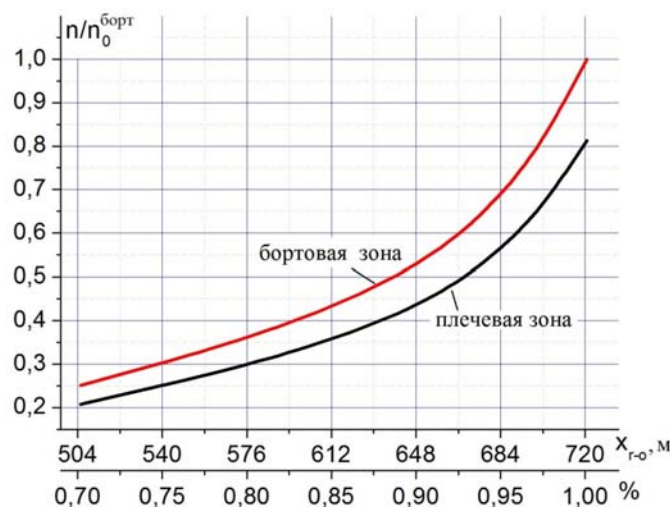


Рисунок 4 – Визначення залишкового відносного ресурсу по накопиченій втомленевій пошкоджуваності в залежності від величини вибігу автомобіля

Наведена залежність може використовуватись як діагностична діаграма. Так, наприклад, якщо радіальний прогин шини при незмінному внутрішньому тиску і зовнішній вертикальній силі збільшився на 40%, то це може свідчити про те, що шина відпрацювала близько 70% свого ресурсу до зародження втомної тріщини в плечовій зоні. Природно, що такий підхід є критерієм раннього діагностування і не може дати 100% рекомендації для списання шини. Проте отримана рекомендація повинна служити приводом для проведення детального обстеження шини на наявність внутрішнього прихованого дефекту.

Висновки

В роботі представлені результати розрахунків вибігу автомобіля, що оснащений шинами із різними характеристиками опору кочення. Теоретично встановлено залежність між ступеня відпрацьованого втомленевого ресурсу та величиною вибігу автомобіля.

Список літератури: 1. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин / Б.Л. Бухин. – М.: Химия, 1988. – 224с. 2. Сасов А.А. Прогнозирование выходных характеристик шин сверх низкого давления для автомобилей и тракторов. Дис... канд. техн. наук.-Днепродзержинск, 2007.-210с. 3. Ларін О.М. Теоретичні основи оцінки працездатності шин легкового автомобіля в експлуатації: Дис... докт. техн. наук: 05.22.20. – Харків, 2001. –312с. 4. Коханенко В.Б. Розробка методів діагностики внутрішніх руйнувань автомобільних шин в умовах експлуатації. Дис... канд. техн. наук.-Харків, 2005.-216с. 5. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Маш-ние, 1974. 240с. 6. Ларин А.А. Исследование закономерностей деформирования пневматических шин в контакте с дорогой у учетом наличия эксплуатационной деградации материала / А.А. Ларин, Ю.В. Арефин // Механіка та машинобудування, 2011.- №2. С.52-57. 7. Ларин А.А. Исследование деформирования шины при ее стационарном прямолинейном качении по дороге / А.А. Ларин, Ю.В. Арефин // Вестник ХНАДУ - Х.: ХНАДУ, 2011. – Вып. 55. – С. 45-50 8. Арефин Ю.В. Экспериментально-дорожні дослідження впливу внутрішнього тиску в пневматичних шинах на вибіг автомобілю / Арефин Ю.В., Ларін О.М., Ларін О.О., Субочев О.І. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту, 2011, № 2(11), С. 54-58

Поступила в редколлегию 25.12.12

УДК 629.11.012.55

Прогнозування залишкового ресурсу втомив пневматичних шин по зміні вибігу автомобіля / Ю. В. Арефин, В. П. Волков, О. О. Ларін, О. М. Ларін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 127–132. – Бібліогр.: 8 назв.

Представлены теоретические исследования по определению зависимости сопротивления качению пневматической шины от ее скорости с разными степенями накопленной усталости. Рассмотрено математическое моделирование процесса выбега автомобиля с учетом разного сопротивления качения колеса. Построена зависимость между выбегом автомобиля и степенью накопленной усталости в шине, которая может использоваться как номограмма для раннего диагностирования этих дефектов.

Ключевые слова: пневматическая шина, ресурс, усталость, момент сопротивления катания.

The theoretical studies are presented to determine the dependence of rolling resistance of pneumatic tires on its velocity, with varying of degrees of fatigue. Coasting car with a different rolling resistance of tires is carried out on the base of mathematic modelling. The relation between the coasting car tests results and the degree of fatigue has been obtained.

Keywords: pneumatic tire, life time, fatigue, rolling resistance of tires.