

УДК 629.017:629.083

О.П.Сакно

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

ПРОГНОЗУВАННЯ РЕСУРСУ ШИН ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ З УРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Виконано аналіз існуючих аналітичних та статистичних методів прогнозування ресурсу автомобільних шин. Запропоновані шляхи підвищення точності прогнозування за рахунок удосконалення системи призначення коригуючих коефіцієнтів та впровадження прогнозу на підставі контролю інтенсивності зносу протектора шини в процесі експлуатації.

Ключові слова: *автомобіль, шина, ресурс, прогнозування, коригуючий коефіцієнт*

Постановка проблеми. Важливим питанням забезпечення ефективної експлуатації автомобілів є прогнозування ресурсу шин та можливість передбачати термін виходу їх з експлуатації. Завищення нормативного ресурсу над фактичним призводить до вимушених простоїв, або експлуатації автомобілів з підвищеним ризиком щодо безпеки руху. Навпаки, заниження нормативного ресурсу викликає вимивання оборотних коштів, збільшує запаси шин на складах та витрати на їх утримання, втрату частини ресурсу під час зберігання. Основна проблема – це пошук нових і адаптаційних існуючих методик щодо визначення ресурсу пневматичних шин автотранспортних засобів (АТЗ). Вирішення даної задачі дозволить підвищити ефективність роботи технічної служби автотранспортних підприємств (АТП) та точність обліку їх фондів. Проведене експериментальне дослідження процесу зносу шин за рахунок контролю його інтенсивності та статистичне дослідження ресурсу шин дозволяє вибрати найбільш точний метод прогнозування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій свідчить, що є актуальною проблема підвищення якості автомобільних шин, а значить точність визначення їх ресурсу з урахуванням реальних умов експлуатації. Багато робіт Богомолова В.О., Варченко В.Г., Волкова В.П., Ларіна А.М., Літвінова А.С., Макарова В.А., Морозова А.В., Певзнера Я.М., Подригало М.А., Сахно В.П., Туренка А.М. та інших присвячено процесам взаємодії шини з дорогою, їх надійності та довговічності, зносу шин в процесі експлуатації. Проблема полягає в недостатній точності розрахунку ресурсу автомобільних шин, та їх здібності зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують необхідні функції шини протягом всього терміну експлуатації.

Метою дослідження є порівняльний аналіз аналітичних та статистичних методів прогнозування ресурсу шин з результатами експериментальних досліджень в реальних умовах експлуатації, а також підвищення точності прогнозу за рахунок більш точного урахування умов експлуатації шин конкретного підприємства.

Мета статті. Метою дослідження є прогнозування ресурсу шин вантажних автомобілів з урахуванням фактичних умов експлуатації АТП.

Матеріали і результати дослідження.

Одночасно з появою пневматичної шини з'явилась необхідність визначення її ресурсу. На підставі вирішення контактної задачі удосконалювались розрахункові методи визначення ресурсу шин, а також статистичні методи на підставі статистичної інформації. Розроблено ряд розрахункових методик і математичних моделей, які виникли на базі узагальнених теорій та постійно поповнюваних практичних експериментів. Виділилися два підходи до вирішення завдання, які значно розрізняються.

Аналітичні методи. Виникли на основі рішення контактної задачі тертя й чисельних лабораторних випробувань. За основу приймаються принципи опору матеріалів, аналіз фізико-хімічних параметрів шин і опорних поверхонь, що створює якісно інший підхід з використанням математичного моделювання. Вирішення подібних завдань зводиться, як правило, до обчислення інтенсивності зносу або ж обчислення циклів навантаження до досягнення критичної величини зносу.

Статистичні методи поправочних коефіцієнтів. Ця методика найбільш вживана для визначення ресурсів в різних областях техніки. Вона полягає в множенні базового середнього пробігу шин певної моделі на сукупність поправочних коефіцієнтів, які враховують різні чинники, що впливають на роботу шини, як наприклад наведено в [1].

Аналіз аналітичних методів прогнозування ресурсу шин

Розглядаються деякі аналітичні методи:

- загальна втомна модель;
- втомна модель з врахуванням дотичної напруги;
- розрахунок ресурсу шини з урахуванням еволюції її контактних характеристик.

Теоретичні уявлення про втомне зношування мають загальний характер і експериментально підтверджені при стиранні різних матеріалів [2, 3]. Загальне рівняння для обчислення інтенсивності зношування в пружному контакті має вигляд:

$$I_{h(1)} = k \cdot \left(\frac{p_a}{E} \right)^{1+\alpha} \cdot \mu^t \cdot \left(\frac{E}{\sigma_z} \right)^t, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні й властивостей втомного руйнування матеріалу; p_a/E – безрозмірний контактний тиск; α – параметр закону зношування; σ_z – межа міцності; μ – коефіцієнт тертя ковзання; t – параметр фрикційної втоми матеріалу.

Рівняння (1) для шин підтверджено багатьма роботами (наприклад, зразки гуми, що рухаються по металу зі зміною швидкості й температури) [4].

Втомна модель з врахуванням дотичної напруги є досконалішим продовженням попередньої моделі. До числа її компонент входить розгорнута форма представлення дорожнього покриття, реалізована через чисельне вираження шорсткості поверхні й константи шорсткості, а також введено значення прослизання [5]:

$$I_{h(2)} = \frac{C_1 \cdot S \cdot \tau^{1+\beta t}}{2\pi \cdot R_c \cdot (2 + \beta t)} \cdot \left(\frac{k}{C_2 \cdot \sigma_z} \right)^t \cdot \left(\frac{E \cdot \mu}{1 - \nu^2} \right)^{t - \beta t - 1}, \quad (2)$$

де I_h – інтенсивність зносу; C_1, C_2 – константи шорсткості поверхні; β – шорсткість поверхні; S – прослизання; τ – величина дотичних напружень; t – параметр фрикційної втоми матеріалу; μ – коефіцієнт тертя ковзання; ν – коефіцієнт Пуассона; k – коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні й властивостей втомного руйнування; R_c – статичний радіус шини; σ_z – межа міцності матеріалу шини; E – модуль пружності матеріалу.

Головною відмінною особливістю алгоритму розрахунку зношування шини з урахуванням еволюції її контактних характеристик [5] є урахування мінливості контактних характеристик у парі шина – дорожнє покриття; знос за один цикл представляється:

$$h = a \cdot K \cdot |\psi - 1| \cdot p_0^a \cdot C(\alpha, q^*), \quad (3)$$

де h – знос, що виражений товщиною шару, стертого за 1 цикл; a – напівширина майданчику контакту; K – параметр фрикційної втоми; ψ – відносна швидкість тіл, що контактують; p_0^a – максимальний контактний тиск напівширини майданчика; $C(\alpha, q^*)$ – коефіцієнт, що залежить від параметра закону зношування й координати зони зчеплення-прослизання.

Результати розрахунку ресурсу шин за наведеними формулами та фактичний ресурс наведені на рис. 1.

Подібні результати підтверджують, що контактні методи розрахунку ресурсу не можуть повною мірою відповісти вимогам виробництва. Це пояснюється складністю залежностей, неможливістю достовірно визначити всі параметри, що впливають на ресурс, закритістю виробником багатьох характеристик шин, а застосування узагальнених характеристик призводить до значної похибки кінцевого результату. Уточнення розрахункових методів представляється в умовах виробництва важким завданням, що вимагає вивчення властивостей гум кожної з моделей шин окремо. Це свідчить не стільки про недосконалість моделей, скільки про складності з визначенням вихідних даних. Рішення контактної задачі при невизначеності й випадковій змінності основних характеристик двох контактуючих тіл: колеса й дороги, а також нерозголошенні фірмами-виробниками більшості параметрів шин, дуже складно. Крім того умови експлуатації істотно відрізняються від умов випробувальних полігонів та лабораторій.

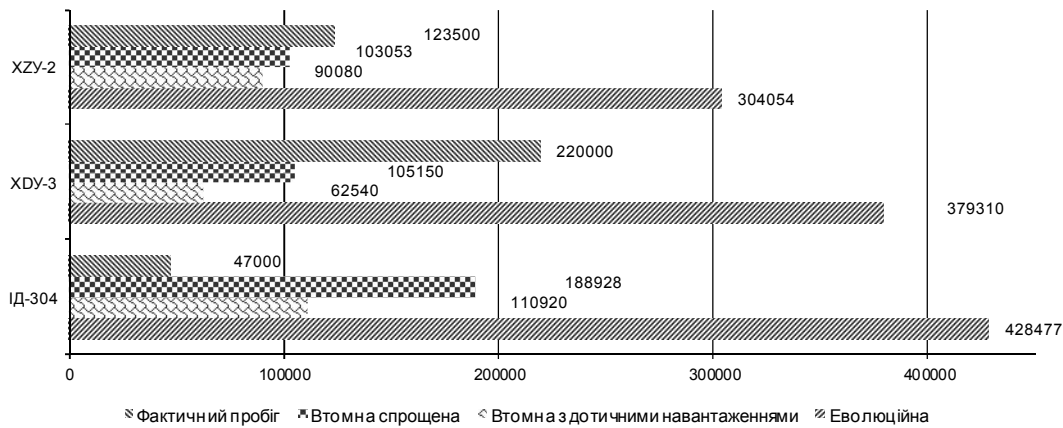


Рис. 1. Порівняння результатів розрахунку ресурсу шин за контактними методиками з фактичним пробігом, км

Аналіз статистичних методів прогнозування ресурсу шин

Серед статистичних методів прогнозування ресурсу найчастіше на АТП використовуються:

- державна розрахункова методика ресурсу шин;
- призначення ресурсу шин за даними виробників;
- призначення ресурсу за власними статистичними даними підприємства по фактичному пробігу.

Державна розрахункова методика щодо автомобільних шин полягає в до множенні базового середнього пробігу шин певної моделі на сукупність поправочних коефіцієнтів, що враховують різні чинники, які впливають на роботу шини. Ресурс виробника найчастіше використовується при експлуатації шин закордонних виробників, але умови експлуатації в Україні відрізняються від загальноєвропейських.

Використання статистичних даних дозволяє збільшити точність прогнозування ресурсу, але результати сильно узагальнені та усереднені без урахування конкретних умов експлуатації.

Удосконалення методів прогнозування ресурсу шин на АТП

Розроблено декілька удосконалених методів прогнозування ресурсу шин:

- удосконалений метод поправочних коефіцієнтів;
- призначення ресурсу за статистичними даними підприємства з заданою вірогідністю відмови [6];
- прогнозування ресурсу по фактичній інтенсивності зносу на підставі контролю остаточної висоти протектора шин [7].

Розглядається перший з цих методів.

Результатом розрахунку є пробіг автомобільної шини до моменту списання, за умови природного зносу. Але є випадки списання, що не охоплюються розрахунковою методикою: вихід з експлуатації внаслідок руйнування, пошкоджень, що не підлягають ремонту; експлуатація шин в умовах, що не передбачені виробником; передчасне списання з експлуатації на АТП.

Розрахункова методика ресурсу (N) ґрунтується на методі поправочних коефіцієнтів базового пробігу ($N_{ну}$), для якого є заявлений виробником, у разі шин закордонних виробників, і базовий середній – відповідно до [1] для шин виробництва СНГ. Пропонується розраховувати ресурс шин вантажних автомобілів за формулою:

$$N = N_{ну} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7. \quad (4)$$

Інтенсивність зносу протекторного шару, величина зносу за цикл приймаються постійними й залежать безпосередньо від умов експлуатації шин. Кількість циклів навантаження за одиницю пробігу приймається постійною для кожної моделі шини, відповідною до початкового статичного радіусу в навантаженому стані.

Коефіцієнт k_1 враховує пробіг вантажних автомобілів в особливих умовах, під якими розуміються будівельні майданчики та кар'єрні розробки. Значення коефіцієнту нараховується у відповідності з часткою пробігу транспортного засобу по шляхах в особливих умовах від загальної здоланої відстані (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнт коригування k_1 від особливих умов експлуатації

Умови експлуатації		Співвідношення пробігів в особливих і загальних умовах						
		<0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	>0,6
Будівництво		0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5
Кар'єрні розробки	Пісок	0,9	0,87	0,84	0,81	0,77	0,74	0,7
	Щебінь	0,9	0,86	0,82	0,78	0,74	0,69	0,65
	Легкі скельні породи	0,85	0,8	0,76	0,72	0,68	0,64	0,6
	Важкі скельні породи	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5

Значення коефіцієнту k_2 запозичені з стандартної версії розрахункової методики [1] та залишені незмінними (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнт коригування k_2 за сукупністю дорожньо-кліматичних умов

Кліматична зона	Коефіцієнт коригування залежно від типу дорожнього покриття в задовільному (незадовільному) технічному стані (k_{21})			Коефіцієнт коригування залежно від поздовжнього похилу дороги (k_{22})			Коефіцієнт коригування залежно від ступеня хімічного забруднення (k_{23})		
	асфальтобетон	цементобетон	брущатка, кологий камінь	не більше 40%	від 40 до 60%	понад 60%	I	II	III, IV
Північна	1,0 (0,96)	0,88 (0,80)	0,84 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,98	0,96
Центральна	1,0 (0,96)	0,88 (0,80)	0,84 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,98	0,96
Південна	0,95 (0,90)	0,79 (0,76)	0,76 (0,73)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,97	0,95
Гірська	0,97 (0,93)	0,82 (0,78)	0,80 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	1,0	1,0

Практикою доведено, що шини підвищеного ресурсу проявляють диференціацію інтенсивності зношування в залежності від позиції на вантажних автомобілів, та конструкції транспортного засобу [8]. Відтак, шини, що встановлені на керовані вісі самоскидів, показали вищу інтенсивність зношування, ніж шини ведучих коліс при однаковій заявленій виробником базовій інтенсивності зношування (табл. 3.).

Таблиця 3

Коефіцієнт коригування k_3 від позиції шини на АТЗ

Позиція шини, спосіб встановлення	Кількість осей		
	2	3	4
Керовані	1	1	0,9
Не керовані	1	1	1
Провідні поодинокі	0,95	0,97	-
Провідні подвоєні	0,98	1	1,15

Відомо, що швидкісний індекс є основним параметром, поряд з індексом вантажності, що обумовлює використання шини на конкретних транспортних засобах, що не обладнані обмежниками швидкості (табл. 4).

Таблиця 4

Коефіцієнт коригування k_4 від швидкісного перевантаження шин

Швидкісне перевантаження, %	Ділянки маршруту			
	Прямолінійна	Поворот $r > 200\text{м}$	Поворот $r = 100 \dots 200\text{м}$	Поворот $r \leq 50\text{ м}$
<5	1	0,98	0,96	0,95
10	0,97	0,97	0,94	0,93
15	0,96	0,95	0,93	0,92
20	0,95	0,93	0,92	0,9

Важливим експлуатаційним параметром є внутрішній тиск в шині. Коефіцієнт k_5 враховує можливість зниження внутрішнього тиску в шині під дією природних витоків, або його підвищення у разі перегріву шин, підвищення середньодобової температури. На значущості даного параметра наголошує фірма Michelin [9] (табл. 5).

Таблиця 5

Коефіцієнт коригування k_5 від відхилення внутрішнього тиску від нормативних значень

Відхилення від нормального внутрішнього тиску						
-30%	-20%	-10%	0%	+10%	+20%	+30%
0,5	0,75	0,9	1	0,9	0,85	0,75

До розрахункового методу залучений коефіцієнт коригування k_6 у залежності від співвідношення пробігу у межах міста до загального, що дозволить врахувати інтенсифікацію зношування за рахунок прискорень та гальмувань. Він запозичений з стандартної версії розрахункової методики [1] та залишений незмінним (табл. 6).

Таблиця 6

Коефіцієнт коригування k_6 від відношення пробігу в містах і населених пунктах до загального пробігу дорожньою мережею загального користування

Відношення пробігу вулично-дорожньою мережею загального користування в місті до загального пробігу, %	0	20	40	60	80	100
Значення коефіцієнта k_6	1,04	1,02	1,00	0,99	0,98	0,97

В характеристиках АТЗ підприємства в оригінальній специфікації від виробника вказується два значення вантажності – оптимальне, за якого економічні показники експлуатації знаходяться у найвигіднішому балансі з динамікою вичерпання ресурсу вузлів і агрегатів, та максимальне, за якого природний знос вузлів та агрегатів переходить до фази відмов із втратою працездатності. Окрім того, шасі та підвіска вантажного автомобіля має за розрахунковий параметр саме оптимальну вантажність, а за максимальної - працює на межі вичерпання запасу міцності. Цей факт можна врахувати коефіцієнтом k_7 (табл. 7).

Таблиця 7

Коефіцієнт коригування k_7 від коефіцієнта використання вантажності k_b відносно оптимальної вантажності АТЗ

АТЗ	Значення коефіцієнта використання вантажності k_b								
	до 0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0
	Значення коефіцієнта k_7								
Автомобілі вантажні бортові, причеи, сідельні тягачі, напівпричеи	1,03	1,03	1,0	1,0	1,0	0,98	0,98	0,97	0,97
Автомобілі-самоскиди	1,04	1,04	1,03	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	0,98
Автомобілі-бетонозмішувачі	1,03	1,03	1,02	1,02	1,0	1,0	1,0	0,98	0,96
	Значення коефіцієнта використання вантажності k_b								
	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45
	Значення коефіцієнта k_7								
Автомобілі вантажні бортові, причеи, сідельні тягачі, напівпричеи	0,96	0,94	0,93	0,92	0,9	0,89	0,87	0,86	0,85
Автомобілі-самоскиди	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88
Автомобілі-бетонозмішувачі	0,95	0,93	0,92	0,9	0,88	-	-	-	-

Результати розрахунків ресурсу шин вантажних автомобілів різними методами, а саме: державний норматив, нормативний пробіг, розрахункова методика (формула 4) та фактичний середній пробіг до списання наведені на рис. 2.

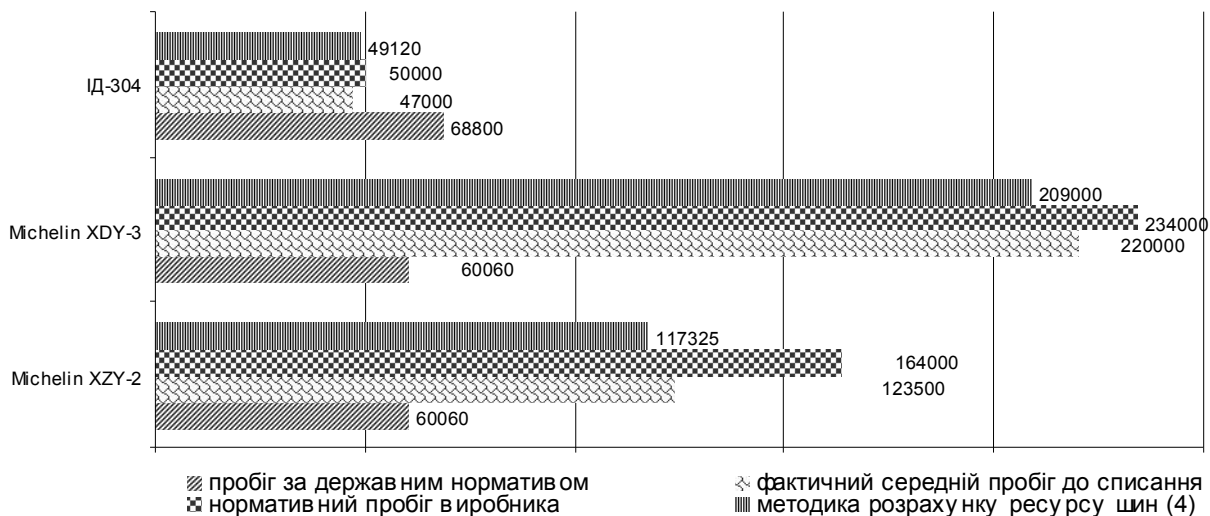


Рис. 2. Порівняння результатів розрахунку ресурсу шин з фактичним пробігом, км

Висновки

Порівняльний аналіз ресурсу пневматичних шин, що визначений різними аналітичними та статистичними методами, показав значне відхилення результатів розрахунків від фактичних пробігів. Це свідчить про недосконалість моделей з причини складності визначення вхідних даних. Похибка в розрахунку ресурсу приводить або до збільшення складських запасів і погіршення якості шин при зберіганні, або до простоїв вантажних автомобілів через відсутність шин. Пропонуються методи розрахунку ресурсу шин, що більш повно й точно враховують реальні умови експлуатації вантажних автомобілів. Точне встановлення ресурсу шин дозволить якісно керувати технологічним процесом обслуговування шин, їх заміною, списанням, що суттєво вплине на економічні показники роботи автотранспортного підприємства й на безпеку руху.

1. Норми витрат палива для автомобілів, норми ресурсу шин та акумуляторів / Уклад. В. Кузнецов. – Х.: Фактор, 2009. – 528 с.
2. Ратнер С. Б. ДАН СССР / С. Б. Ратнер, Е. Г. Лурье. – 1966, т. 166. – С. 909 – 912.
3. Rhee S. K., «Wear», 1970, v. 16, № 6. P. 431 – 445.
4. Крагельский И.В. Усталостный механизм износа протектора автомобильных шин / И.В. Крагельский, Е.Ф. Непомнящий // В сборнике «Фрикционный износ резин». – М. – Л.: Химия, 1964. – С. 9 – 20.
5. Морозов А. В. Теоретико-экспериментальное определение долговечности по износу массивных высокоэластичных шин : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.04, 01.02.04 / Морозов Алексей Владимирович. – Москва, 2007. – 131 с.
6. Ткаченко В.П. Порівняльне дослідження законів розподілу фактичного ресурсу пневматичних шин різних видів автотранспорту / В.П. Ткаченко, О.П. Сакно // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – Донецьк: ПП «Молнія», 2010, №4. – С. 84 – 94.
7. Захаров С.В. До аналізу надійності автомобільних шин в умовах експлуатації / С.В. Захаров, О.П. Кравченко, О.П. Сакно // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – № 2 (53). – С. 52 – 57.
8. Кравченко О.П. Аналіз чинників, що визначають інтенсивність і характер зносу протектора шин та його зв'язок з технічним станом елементів автомобіля / О.П. Кравченко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов, М.І. Гнатюк // Наукові нотатки. Вип. 31. – Луцьк: ЛНТУ, 2011. – С. 170 – 176.
9. Michelin truck tire service manual/ aug. 2009. – 150 p.