



© В.В. Смільський, канд. техн. наук, доцент (Тернопільський НПУ ім. В. Гнатюка),
© А.О. Шарибура, канд. техн. наук, доцент (Львівський ДАУ)

АКТУАЛЬНЕ ПИТАННЯ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ АВТОМОБІЛЬНОГО КОЛЕСА

Анотація. Пропонується комплексний критерій вантажопідйомності автомобільного колеса, у якому пов'язані внутрішній тиск повітря в шині, жорсткість її каркаса та площа контакту з опорною поверхнею.

Ключові слова: пневматична шина, каркас, колесо, автомобіль, жорсткість.

Аннотация. Предлагается комплексный критерий автомобильного колеса, в котором связаны внутреннее давление воздуха в шине, жесткость ее каркаса и площадь контакта с опорной поверхностью.

Ключевые слова: пневматическая шина, каркас, колесо, автомобиль, жесткость.

Summary. The complex criterion of wheel carrying capacity is offered. There are such aspects as intrinsic pressure of air in a tire, framework inflexibility and contact area are considered in it.

Keywords: pneumatic, framework, wheel, car, inflexibility

Вступ

Пневматична шина набула заслуженої популярності та широко застосовується у колісних машинах завдяки своїй здатності прогинатися під дією ваги автомобіля та утворювати площину контакту з дорогою. Тягові та гальмівні властивості, керованість, стійкість, плавність ходу та опір коченню реалізуються на цій площині. У статичному положенні шина прогинається доти, доки не настане рівновага між реакцією дороги R_z та вагою G_k автомобіля, що припадає на колесо. Елементарні реакції опорної поверхні симетрично розподілені відносно центральної вертикальної осі колеса (але нерівномірно по площині контакту!), а їх рівнодіюча R_z проходить через точку O (рис. 1-а). Прогин шини визначають як різницю між вільним радіусом колеса та відстанню від центра колеса до опорної поверхні $h_z = r_k - r_h$. Щоб прогин не перевищував деяке допустиме значення $[h_z]$, і шина могла нести задане навантаження якнайдовше, її наповнюють стиснутим повітрям. Відношення навантаження до нормального прогину G_k/h_z називають коефіцієнтом нормальної жорсткості шини C_z [1, 2, 3]. Нормальний прогин є інтегральним показником деформації декількох елементів шини: бокових стінок, коронної частини та протектора [2, 3].

Як тільки колесо починає котитися під дією сили P , рівнодіюча реакцій R_z зміщується вперед на деяку відстань a (рис. 1-б). Відношення цього зміщення до радіуса колеса a/r_k називають коефіцієнтом опору коченню f . Частина енергії, затраченої на деформування шини у передній частині контакту, повертається у задній частині, а решта перетворюється у тепло.

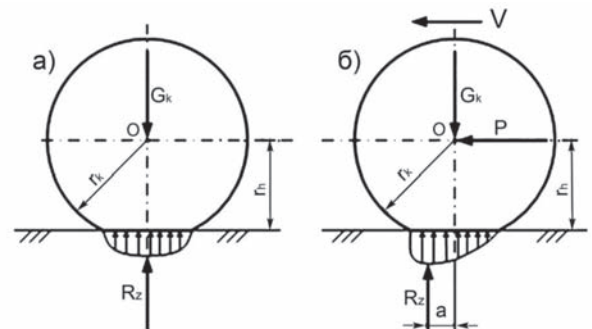


Рис. 1. Схема сил і реакцій дорожнього полотна на автомобільну шину:

а) колесо нерухоме; б) колесо котиться



Отже, від форми та розмірів контактної площі залежить опір коченню колеса, на який припадає біля 20 % енергії споживаної легковим автомобілем, а у великовантажного ця частка може сягати 30 % [2, 3]. Звідси витікає висновок: домінуючим силовим чинником колеса є жорсткість каркаса шини, яка є її індивідуальною характеристикою, а внутрішній тиск повітря є регулюючим параметром, який обмежує його прогин.

Але тягові властивості колеса, стійкість і керуваність автомобіля залежать не від того, як переміщується центр колеса, а від того, як деформується шина в місці контакту з дорогою. Споживачу про це невідомо, йому пропонуються значення індексів навантаження та швидкості, а відомості про характеристики, що безпосередньо визначають експлуатаційні якості шини, зокрема опорні властивості, тут відсутні [4]. Тож за якими показниками вибрати шину, щоб отримати помітне зменшення витрати палива? Не всі шини однакові, навіть ті, які вже встановлені на автомобілі. Різниця між новими шинами може здатися незначною, але стане відчутною через деякий час їх використання. Виявлення частки участі каркаса шини у несучій здатності та опорі коченню колеса може стати тим регулятивним чинником, який підвищить рівень детермінованості опису його впливу на переміщення автомобіля.

Мета роботи – з'ясувати вплив жорсткості каркаса пневматичної шини на несучу здатність автомобільного колеса.

Основна частина

Опір прогину шини чинять чотири джерела: стискання елементів протектора, ковзання його елементів по опорній поверхні, згинання коронної частини та бокових стінок [2, 3, 5]. З'ясуємо роль цих складових окремо.

Деформація протектора. Опір протектора стисканню залежить від насиченості його рисунка, висоти виступів і властивостей гуми, з якої він виготовлений. Досліджено, що збільшення висоти

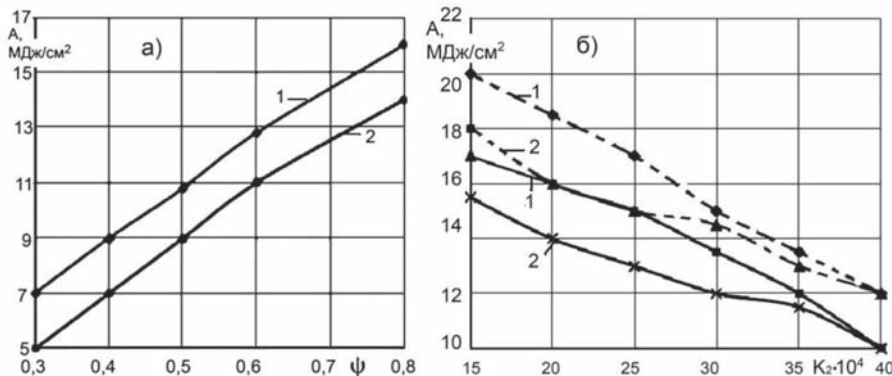


Рис 2. Вплив коефіцієнта зчеплення (а) та жорсткості каркаса шини (б) на роботу тертя у контакті з дорогою: 1 – БЦ-16; 2 – БЦ-11; а) протектор зношений; б) протектор незношений

протектора на 50 % призводить до збільшення опору коченню на 12 %, а в кінці експлуатаційного терміну цей опір зменшується на 25 % порівняно з новою шиною.

Прогин бокових стінок каркаса. Збільшення жорсткості бокових стінок каркаса шини у два рази призводить до зменшення дії тертя у контакті з дорогою на 40 %. При цьому тут має значення ступінь зношення протектора (рис. 2) [6].

Прогин коронної частини. Деформація коронної частини залежить від радіуса кривизни протектора та жорсткості брекера, який визначає жорсткість шини в поздовжньому напрямку. Від деформації коронної частини також залежить інтенсивність ковзання елементів протектора по опорній поверхні. Ковзання зростає зі збільшенням кривизни контактної частини протектора [1, 2]. На рис. 3 показано як впливає тиск повітря в шині на роботу тертя в контакті [6].

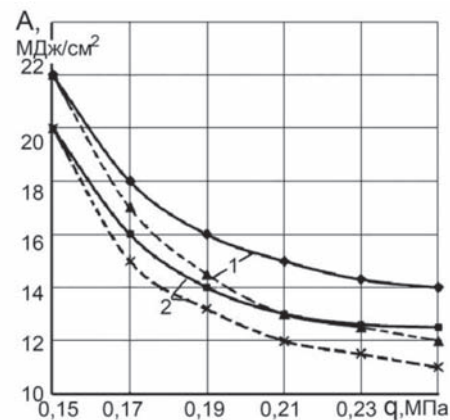


Рис. 3. Вплив тиску повітря в шині на роботу тертя у контакті з дорогою: 1 – БЦ-16; 2 – БЦ-11; - - з врахуванням жорсткості каркаса; - - - без врахування жорсткості каркаса

Із рис. 3 видно, що зі збільшенням тиску повітря у шині БЦ-11 від 0,15 до 0,25 МПа, затрати на тертя в контакті зменшуються майже вдвічі. Такі зміни автори пояснюють зменшенням площі контакту і зони ковзання.

Залежно від конструкції каркаса, брекерного поясу та протектора внесок кожного джерела опору деформуванню в окремих шинах може виявитися суттєво різним. На відміну від тиску повітря, який легко поміряти, чинники опору каркаса приховані від дослідника, а тому

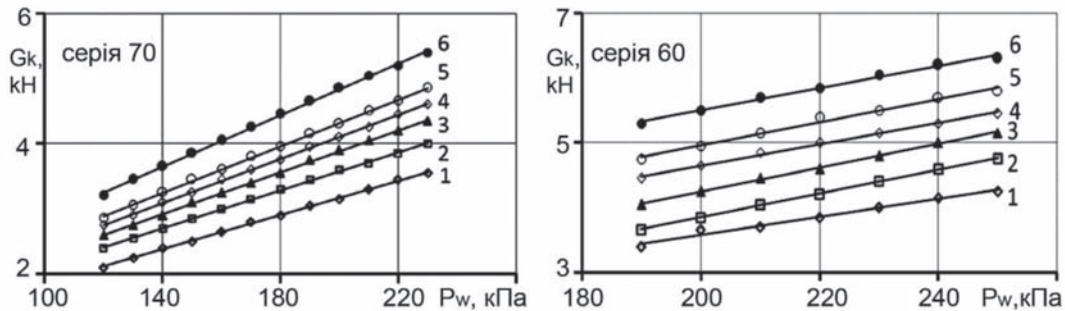


Рис. 4. Навантажувальні характеристики автомобільних шин: нумерація графіків відповідає номеру шини у таблиці

в експериментальних дослідженнях увага зосереджена лише на практичному результаті, а не на суті механізмів, що лежать в основі процесу деформування пневматичної шини. Пневматичне колесо подають як модель “чорного ящика”, властивості якого визначаються за його зовнішніми реакціями, не вникаючи у внутрішні зв’язки та структуру каркаса шини [5-8]. Щоб виявити частку каркаса у несучій здатності колеса необхідно знайти показник його жорсткості, який би мав розмірність внутрішнього тиску повітря, а його числове значення було б легко визначити.

Отже, навантаження на колесо G_k сприймають два чинники: несуча здатність каркаса G_q та внутрішній тиск повітря в шині G_w .

$$G_k = G_q + G_w \quad (1)$$

Обидві складові працюють синхронно, але вони нерівноцінні. Повітря, як абсолютно пружне тіло, повертає енергію затрачену на його стискання, а в матеріалі каркаса мають місце незворотні втрати енергії [2, 3]. Очевидно, що кращою буде та шина, у якій більшу частину ваги автомобіля сприймає стиснуте повітря.

На рис. 4 зображені залежності нормативного навантаження G_k на колесо від внутрішнього тиску повітря P_w для автомобільних шин двох серій – “70” і “60” за відношенням висоти і ширини профілю, запозичені з таблиць 5.10 і 5.13 в [11]. Як видно з рисунка кут нахилу графіків до осі абсцис, який відображає приріст навантаження на одиницю тиску повітря $\Delta G/\Delta P_w$, навіть у шин однієї серії різний. Наприклад, у шини 155/70R13 цей показник рівний 0,013 кН/кПа, а у шини 195/70R13 – 0,020 кН/кПа. Задля об’єктивного оцінювання несучої здатності шин цей факт варто враховувати.

Для визначення показника жорсткості каркаса скористаємося рядом нормативного навантаження на шину залежно від тиску повітря, який наводиться у ГОСТ 4754-97 або різноманітних довідниках (рис. 5) [4].

Якщо графік продовжити вліво до перетину з віссю ординат у точці А, то отриманий відрізок G_0 у прийнятому масштабі буде відображати несучу здатність шини при $P_w = 0$. Далі з точки А, в гору по осі ординат відкладаємо ще один відрізок G_0 ,

а з отриманої точки А’ проводимо горизонтальну лінію до перетину з графіком у точку С.

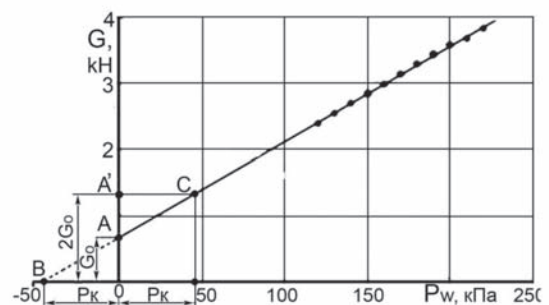


Рис. 5. Норми навантаження на шину для різного тиску повітря

Спроекувавши точку С на вісь абсцис, отримуємо значення внутрішнього тиску повітря P_k , еквівалентного несучій здатності каркаса G_0 . Точне значення P_k можна визначити аналітично. Для цього залежність $P_w - G$ описуємо рівнянням:

$$P_w = aG - P_k, \quad (2)$$

з якого отримуємо значення P_k , а обернена величина коефіцієнта пропорційності a відображає площу контакту шини F з твердою опоруною поверхнею.

Коректність продовження графіка навантаження шини до осі ординат підтверджують результати випробування двох шин вантажних автомобілів у всьому діапазоні тиску повітря, які запозичені у [2] та представлені на рис. 6. Як бачимо, навантажувальні характеристики обох шин лінійні у широкому діапазоні тиску повітря та радіального прогину.

У табл. 1 поданні числові значення жорсткості каркаса P_k і площі контакту F шин, запозичених у [11] при максимально допустимій радіальній деформації, які дають змогу порівняти між собою шини-аналоги та вибрати серед них найкращу, тобто з меншим P_k і більшою площею контакту F .

Наприклад, помітно низьку жорсткість каркаса має шина 185/60R13, і дуже високу – 215/60R13. Шина 235/60R13, маючи на 27 % більшу ширину профілю порівняно з шиною 185/60R13, водночас має з нею однакову площу контакту – 170 см².

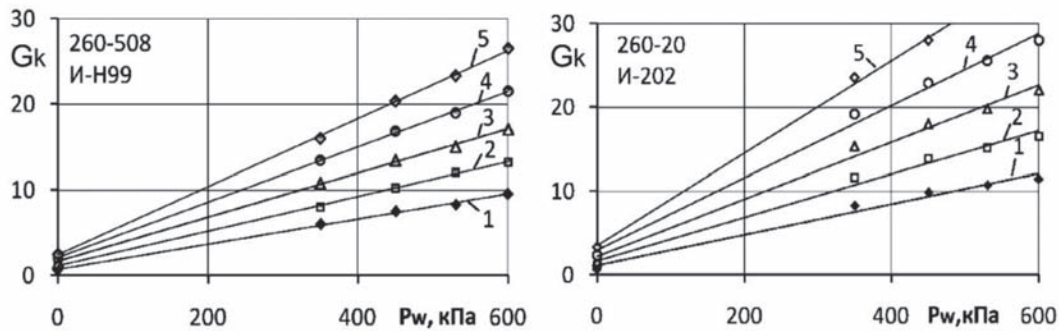


Рис. 6. Навантажувальні характеристики шин для вантажних автомобілів: нормальна деформація h_z , мм: 1 - 20; 2 - 25; 3 - 30; 4 - 35; 5 - 40

Таблиця 1

Геометричні параметри, жорсткість каркаса R_k і площа контакту F шин

№ п/п	Розмір шини	Індекс вантажності	D, мм	B, мм	$R_{ст}$, мм	R_k , кПа	F, см ²
Серія «70» (табл. 5.10 [11])							
1	155/70R13	72	550	156	252	41,61	130
2	165/70R13	76	568	165	259	47,85	150
3	175/70R13	80	580	176	264	41,75	160
4	175/70R13	82	606	176	277	45,38	170
5	185/70R13	84	598	186	271	43,12	180
6	195/70R13	88	608	197	275	45,53	200
Серія «60» (табл. 5.13 [11])							
1	175/60R13	76	540	177	246	47,37	140
2	185/60R13	80	552	184	250	14,95	170
3	195/60R13	83	564	196	255	32,57	170
4	205/60R13	85	576	203	260	77,09	160
5	215/60R13	88	588	216	264	155,96	140
6	235/60R13	92	612	235	274	124,41	170

Висновки

Нормальний прогин є інтегральним показником деформації декількох елементів шини: бокових стінок, коронної частини та протектора, а коефіцієнт нормальної жорсткості C_z лише характеризує її несучу здатність.

Тягові властивості колеса, стійкість і керованість автомобіля залежать не від прогину шини, а від того, як вона деформується в місці контакту з дорогою.

Для об'єктивного вибору тиску повітря у шині необхідно враховувати жорсткість її каркаса та його зміну в процесі експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

- Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. – М.: Химия, 1988. – 224 с.
- Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров и др.; под ред. В.И. Кнороза. – М.: Транспорт. 1976. – 238 с.
- Кнороз В.И., Кленников Е.В. Шины и колеса. – М.: Машиностроение. – 1975. – 184 с.
- ГОСТ 4754-97. Шины пневматические для легковых автомобилей, прицепов к ним, легких грузовых автомобилей и автобусов особо малой вместимости. Технические условия. – Минск, Издательство госстандартов. – 2003. – 25 с.

- Балабин И.В. Внутреннее давление воздуха в шине как силовой фактор, определяющий несущую способность автомобильного колеса / И.В. Балабин, В.А. Макаров, А.А. Писанец // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2012. – № 3. – С. 63-67.

- Буренніков Ю.Ю. Математичне моделювання взаємодії автомобільної шини з опорною поверхнею / Ю.Ю. Буренніков, О.Л. Добровольський, В.В. Степанов // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 1 (60). – С. 9-14.

- Сунцов Н. В. К оценке величины коэффициента сопротивления качению колеса автомобиля / Н.В. Сунцов, В.П. Шамота, В.А. Макаров, А.Н. Сунцов, А.Н. Ефименко // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2009. – № 2. – С. 75-78.

- Арефін Ю.В. Експериментально-дорожні дослідження впливу внутрішнього тиску в пневматичних шинах на вибіг автомобіля / Ю.В. Арефін, О.М. Ларін, О.О. Ларін, О.І. Субочев // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2011. – № 2 (13). – С. 88-91.

- Иванов В. Оценка контактных свойств шины с помощью неразрушающего анализа. Ч. 2. Экспериментальное определение и фаззи-модель площади пятна контакта в статическом состоянии / В. Иванов, К. Аугсбург, Б. Широков // Трение и износ. – 2008. Том 29. – № 6. – С. 613-620.

- Ларин А.А., Исследование закономерностей деформирования пневматических шин в контакте с дорогой с учетом наличия эксплуатационной деградации материала / А.А. Ларин, Ю.В. Арефин // Механіка та машинобудування. – 2011. – № 2. – С. 209-214.

- Раймпель Й. Шасси автомобиля: Амортизаторы, шины и колеса / Й. Раймпель // Пер. с нем. В.П. Агапова; под ред. О.Д. Златовратского. – М.: Машиностроение. 1986. – 320 с.