

ВЛИЯНИЕ НА НЯКОИ КОНСТРУКТИВНИ ПАРАМЕТРИ НА РАДИАЛНАТА ПНЕВМАТИЧНА ГУМА ВЪРХУ НЕЙНАТА ВИБРАЦИОННА АКТИВНОСТ

Пенко Цветков Петков
ppetkov@vtu.bg

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,
Гео Милев 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** радиална пневматична гума; вибрационна активност; усилваща лента в страницата; ъгъл на наклона на кордоните нишки в усилващата лента; планиране на експеримента*

***Резюме:** Развитието на автомобилната техника е свързано с нарастващи по сложност проблеми за осигуряване на висока надеждност, безопасност, енергийна икономичност и екологичност, съчетани едновременно с повишаване на функционалния комфорт. Пневматичната гума (ПГ) като съставен елемент от ходовото колело осъществява непосредствената функционална връзка на системата «пътна повърхност – автомобил – водач (пътници)». При движение ПГ е подложена на свързани механични въздействия, една част от които чрез елементите на окачването се предават към каросерията на автомобила и са причина за генериране на трептения в широк честотен обхват. От нивата на трептенията и шума в пътническия салон (кабината) се определя механичният и виброакустичен комфорт на автомобила.*

Конструкциите и технологията на ПГ се развиват паралелно с тези на механизмите, уредбите и възлите на автомобилната техника. Независимо от предимствата на ПГ с радиална конструкция, при движение на автомобила върху пътища с микронеравности, те са източник на интензивни вибрации в определена честотна област. Една възможност за подобряване на вибрационните свойства на радиалната ПГ се основава на правилно избиране параметрите на основните и допълнително вградени елементи в нейната конструкция. В работата се изследва влиянието на някои от тези параметри върху вибрационна активност на ПГ. За получаване на практически резултати, достатъчни за обективна оценка на вибрационното поведение на изследвания обект е приложен експериментално-аналитичен подход на базата на метода на факторния анализ и математическото планиране на експеримента.

УВОД

Чрез пневматичната гума (ПГ) като елемент от ходовото колело се осъществява взаимодействието на транспортното средство с пътната повърхност. В тази връзка от изходните характеристики на ПГ практически зависят показателите на

експлоатационните свойства на автомобила. ПГ се отнасят към т. нар. многопластови гуменокордни композитни структури, които се характеризират с анизотропните си свойства. Независимо, че ПГ обикновено не се разглеждат като самостоятелен технически обект, конструкциите и технологиите на производството им се развиват паралелно с това на автомобилната техника. С цел повишаване на виброакустичния комфорт на автомобилите, създаването на ПГ с радиална конструкция с подобрени вибрационни свойства е актуален проблем.

1. Състояние на проблема и цел на изследването

ПГ съвместно с еластичните елементи и амортизьорите от окачването представляват съставна част от еластичната система, отделяща каросерията на автомобила от пътната повърхност. При периодично възбуждане от пътните неравности с честоти до 50 Hz радиалните и диагоналните гуми предават към каросерията трептения практически с еднаква интензивност. В областта на високите честоти (50 - 250 Hz) съществува разлика във вибрационното поведение на ПГ с радиална и диагонална конструкция. Основният резонанс при радиалните ПГ се проявява при честоти на смущение 80 - 100 Hz, а при диагоналните резонансът е изместен в областта на по-високите честоти - 140 - 170 Hz [1], [7], [8], [11].

Повишената вибрационна активност на радиалните ПГ в зоната на основния резонанс се обяснява с по-голямата динамична маса на ходилото и особената форма на радиалните трептения. Като основни причини се посочват твърдостта на брекера, пониските демпфиращи свойства на страниците и по-голямата маса на протектора. При движение те предизвикват по-твърд удар на ходилото върху микронеравностите на пътя и по-интензивно предаване на смущаващата сила към оста на колелото в активната резонансна зона 80 – 100 Hz. Вибрациите, генерирани от ПГ в тази зона, независимо, че са с малка амплитуда не се поглъщат от еластичните елементи и амортизьорите в окачването, а чрез контактните точки се предават към каросерията и имат основна роля при формирането на акустичните ефекти в пътническия салон на автомобила [6], [12]. Водачът и пътниците възприемат това въздействие като вибрации на пода, тавана, капачите и други елементи от каросерията, т. е. ефектът предизвиква вторично излъчване на звук в пътническия салон. Проблемът е актуален при леки автомобили окомплектовани с радиални ПГ, работещи в състава на независими окачвания и каросерии "самоносещ" тип. Това явление е съществен недостатък на радиалните ПГ и е известно като т. нар. "твърда езда" – съвкупно субективно усещане на условията при пътуване (повишено ниво на вибрациите и шума), което водачът и пътниците изпитват по време на движение на автомобила.

В някои експериментални изследвания се достига до извода, че еластичността на страниците е основна причина за разликата във вибрационните характеристики на диагоналните и радиалните ПГ [2], [6]. Не е изследвано подробно обаче влиянието на конструктивните параметри на страницата върху вибрационната активност на радиалната ПГ. Конструкцията и материалите, от които са изработени протекторът, брекерът и бортовете на ПГ не оказват съществено влияние върху вибрационните характеристики [4], [5].

Целта на работата е, чрез използване на експериментално-теоретичен подход да се изследва относителното влияние на параметрите на някои основни и допълнително вградени елементи и техните съотношения върху вибрационната активност на модифицирани варианти радиална ПГ.

2. Изходни предпоставки и обект на изследването

При проектиране на ПГ се прилагат съвременни инженерни методи за анализ и оценка на влиянието на различни параметри върху изходните им характеристики.

Особеностите на вибрационното поведение на радиалните ПГ налага да се търсят по експериментално-теоретичен път подходящи съотношения за съгласуване на изходните вибрационни характеристики на гумите с радиална конструкция с входните характеристики на окачването. Такъв подход предоставя възможност да се управлява вибрационното поведение на ПГ чрез промяна на конструктивните параметри и съотношенията на нейните основни и допълнително вградени елементи. Прилагането на подхода включва използването на метода на факторния анализ и математическото планиране на експеримента [9], [10].

Обект на изследване са модифицирани варианти на ПГ с радиална конструкция от съвременен тип, типоразмер 245/70 R 16 Н. На фиг. 1 е представен сегмент от профила на гумата, върху който са означени нейни основни конструктивни елементи.



1 - металокордна усилваща лента; 2 - каркас; 3 - страница; 4 - металокорден брекер; 5 - протектор; 6 - напълнителен шнур; 7 - бортови обръч; 8 - борт

Фиг. 1. Изглед на сегмент от радиална пневматична гума

Базовата радиална ПГ се състои от трислоен текстилен каркас 2 с ъгъл на наклона на кордните нишки β_K спрямо равнина, лежаща в меридианното сечение, равен на 0° . Брекерът 4 е съставен от двуслоен гумиран метален корд, като краищата на първия слой са загънати около втория. В бортовата зона е вградена металокордна усилваща лента 1 с височина h_C от петата на борта 8 до работния участък на страницата. Кордните нишки в слоя на усилващата лента са разположени на ъгъл β_C спрямо меридиана на гумата. Основните геометрични размери на базовата ПГ са запазени. Модифицираните варианти се основават на изменения в конструкцията и параметрите на някои от съставните елементи на серийната ПГ. Най-съществени са комбинираните изменения в страниците на ПГ.

При съставяне плана на експеримента първоначално са определени нивата, стъпката и границите на изменение на трите конструктивни параметъра на страницата. Като се имат предвид изискванията и възможностите, предявявани към управляемите параметри, за съставяне на модела са избрани следните независими фактори: x_1 - ъгъл на наклона на кордните нишки в каркаса β_K ; x_2 - височина на усилващата лента в страницата h_C ; x_3 - ъгъл на наклона на кордните нишки в усилващата лента β_C . Нивата, интервалът и границите на изменение на конструктивните параметри на страницата са представени в таблица 1.

Таблица 1. Изменение на конструктивните параметри на страницата на ПГ

№ по ред	Параметър	Условн о означение	Код	Нива на изменение на параметрите				
				мини-мално $x_i = -2$	ниско $x_i = -1$	основно $x_i = 0$	високо $x_i = 1$	макси-мално $x_i = 2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Ъгъл в каркаса $\beta_K, ^\circ$; стъпка 3°	K	x_1	0	3	6	9	12
2.	Височина на усилващата лента $h_C, \%$; стъпка 25%	U	x_2	0	25	50	75	100
3.	Ъгъл в усилващата лента $\beta_C, ^\circ$; стъпка 15°	C	x_3	0	15	30	45	60

Избраните фактори са количествени, имат физически смисъл и могат да бъдат променяни в процеса на производството на ПГ.

В качеството на целева функция е прието изменението на честотата на основния резонанс $\Delta f_p, \%$ при радиалните трептения на ПГ. Изменението на резонансната честота се определя от зависимостта

$$(1) \quad \Delta f_p = \frac{f_p - f_{p,B}}{f_{p,B}} \cdot 100, \%$$

където $f_{p,B}$ е честотата на основния резонанс на базовата ПГ, Hz ; f_p - честотата на основния резонанс на модифицирания вариант ПГ, Hz .

От проведени изследвания, отнасящи се за конкретен типоразмер радиална ПГ е установено, че влиянието на фактора K върху изменението на резонансната честота Δf_p има определено линеен характер [2], [6]. На базата на получените резултати изменението на честотата на основния резонанс може да се представи чрез функционалната зависимост

$$(2) \quad \Delta f_p = f(K, C, U).$$

Анализът на опитните резултати показва, че при произволно избрани, но фиксирани стойности на параметрите C и U функцията Δf_p има приблизително линеен характер на изменение спрямо параметъра K . Следователно тя може да се представи във вида

$$(3) \quad \Delta f_p = \alpha K + \varphi(C, U),$$

където $\alpha = 6/1,5 = 4,0$ е константа

Функцията $\varphi(C, U)$ от зависимостта (3) характеризира взаимодействието между факторите C и U . По всяка от независимите променливи величини C и U

функцията има нелинеен характер на изменение. Сравнително ограниченият брой опитни данни за тази част дава възможност да се направи приближение от вида

$$(4) \quad \varphi(C, U) = a(C)U + b(C)U^2.$$

В най-общия случай зависимостите $a(C)$ и $b(C)$ се изразяват чрез уравненията

$$(5) \quad \begin{cases} a(C) = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 C^2 \\ b(C) = \gamma_0 + \gamma_1 C + \gamma_2 C^2 \end{cases}.$$

За определяне на коефициентите $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ и $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2$ на полиномите (5) се използва интерполационната формула на Нютон за функции с две променливи величини [9]. Изчисленията са извършени чрез компютърна програма Microsoft Excel 2003, при което изразите (5) имат вида

$$(6) \quad \begin{cases} a(C) = -0,486 + 0,2429 C + 0,2962 C^2 \\ b(C) = 0,8371 - 0,2473 C - 0,2108 C^2 \end{cases}.$$

3. Резултати от изследването

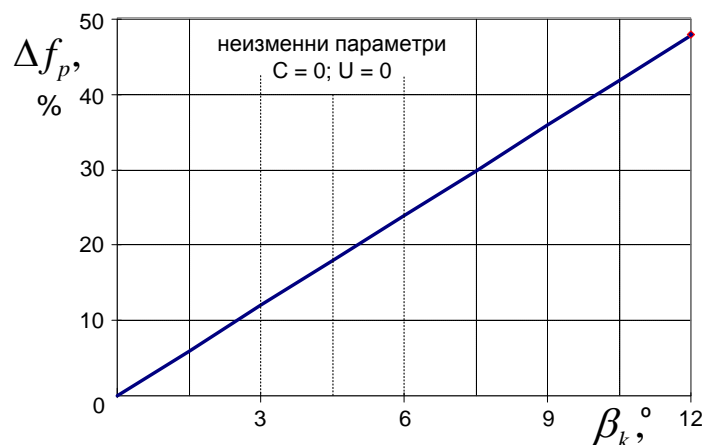
За оценка на валидността на приетото приближение в таблица 2 са представени изчислени и експериментални стойности на честотата на основния резонанс, както и определените стойности на изменение на честотата на основния резонанс. Стойностите на параметъра C при провеждане на изчислителната процедура са приети в радиани. Точността е оценена чрез разликата между изчислените и експерименталните стойности на изменението на честотата на основния резонанс на ПГ. Максималното получено отклонение е 9,6 %, което се отнася за ПГ от вариант № 9 . Това вероятно се дължи на материала, използван за изработване на усилващите ленти, вградени в страниците на ПГ [3] . Средната абсолютна стойност на разликата между изчисленото и експерименталното изменение на честотата на основния резонанс е $\delta f_p = 4,6 \%$, което показва добро съвпадение на приближението с експеримента.

Таблица 2. Сравнение на експериментални и изчислени стойности на резонансната честота на варианти на ПГ 245/70 R 16 Н

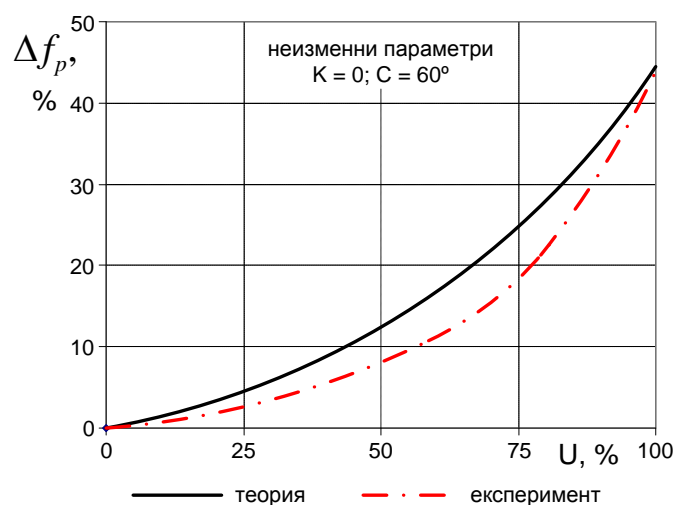
№ по ред	Параметри на страницата на ПГ			Изчислена честота на основния резонанс f_p , Hz	Експериментална честота на основния резонанс f_p , Hz [3]	Δf_p , % експериментално	Δf_p , % изчислено	Разлика, %
	K, °	C, °	U, %					
1	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	0	0	0	93	93	0	0	0
2.	3	0	0	104			12	
3.	6	0	0	115			24	
4.	9	0	0	126			36	
5.	12	0	0	138			48	
6.	0	0	70	99			7	
7.	0	60	20	96			3,2	
8.	0	60	50	105			13,3	
9.	0	60	70	115	106	13,9	23,5	+ 9,6
10.	0	60	100	134	133	43,0	44,0	+ 1,0
11.	3	45	50	111	113	21,5	19,2	- 2,3

12.	3	45	70	120	128	37,6	29,2	- 8,4
13.	3	60	50	117			25,3	
14.	6	30	50	118			26,4	
15.	6	30	60	121	123	32,2	30,7	- 1,5
16.	6	45	50	122			31,2	
17.	6	45	60	126	130	39,7	35,7	- 4,0
18.	6	60	20	119			27,2	
19.	6	60	50	128			37,3	
20.	6	60	70	137	142	52,7	47,5	- 5,2

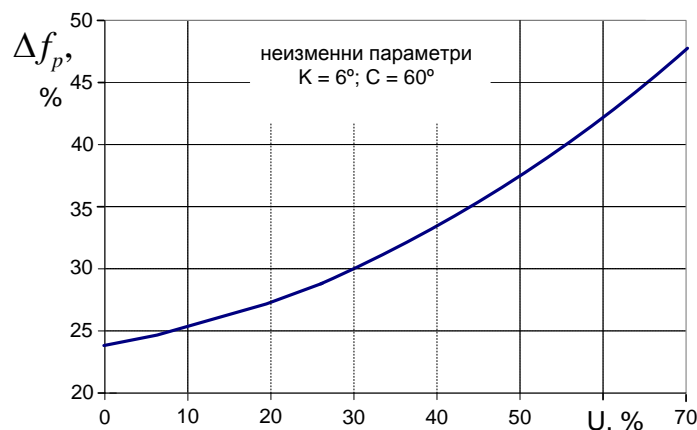
На фигури 2, 3 и 4 са изобразени графично получени резултати за няколко характерни случая на влияние на независими променливи параметри при неизменни стойности на други параметри на страницата върху изменението на честотата на основния резонанс на ПГ. Най-голямо нарастване на честотата на основния резонанс Δf_p на ПГ е получено при съчетание на ъгъла на наклона на кордните нишки в каркаса $\beta_K = 0$ и височина на усилващата лента в страниците $h_C = 100\%$, или при ъгъл $\beta_K = 6^\circ$ и височина $h_C = 70\%$. И в двата случая ъгълът на наклона на кордните нишки в усилващите ленти е $\beta_C = 60^\circ$.



Фиг. 2. Влияние на ъгъла на наклона на кордните нишки в каркаса върху изменението на честота на основния резонанс на ПГ



Фиг. 3. Влияние на височината на усилващата лента в страницата върху изменението на честотата на основния резонанс на ПГ



Фиг. 4. Изменение на честотата на основния резонанс на ПГ в зависимост от височината на усилващата лента в страницата

4. Изводи от изследването

1) Възможностите за намаляване на вибрационната активност на ПГ от радиален тип се състоят главно в промяна на честотата на трептенията, при която се изявяват основният резонанс и собствената форма на ходилото.

2) Основно средство за влияние върху вибрационната активност на ПГ е изменение на коефициента на еластичност на страниците, което се постига чрез промяна на техните конструктивни параметри.

3) Увеличаването на ъгъла на наклона на кордните нишки в каркаса β_K от 0 до 12° е свързано с линейно нарастване на честотата на основния резонанс на ПГ. Препоръчва се $\beta_K \leq 6^\circ$.

4) Значително нарастване на резонансната честота на радиалната ПГ, т. е. намаляване на нейната вибрационна активност се получава чрез вграждане на усилващи ленти в страниците. При избора на конструктивните параметри на усилващите ленти трябва да се спазват следните ограничителни условия: височина $h_c = 60 - 100\%$ и ъгъл на наклона на кордните нишки $\beta_c \leq 60^\circ$.

5) Оптимални резултати по отношение на вибрационната активност на радиалната ПГ се получават при комплексно изменение на параметрите на конструктивните елементи на страниците, като се спазват ограничителните условия при избиране на тези параметри.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Бухин Б. Л. Введение в механику пневматических шин. М., Химия, 1988. 223 с.
- [2]. Вылчев К. Е., Г. А. Терзийски и др. Влияние конструкции пневматических шин на их вибрационное поведение. Международная конференция по каучуку и резине. Москва, 1984. 6 с.
- [3]. Исследование вибрационных характеристик системы "шина – подвеска" с целью повышения комфортабельности легковых автомобилей высшего класса "ЗИЛ". Технически отчет по Договор №38 – 70/1116 – 22. Москва – София, 1988. 271 с.
- [4]. Лукомская А. И. Механические свойства резинокордных систем. М., Химия, 1981. 278 с.
- [5]. Петков П. Ц., Л. П. Кунчев. Конструктивни особености на радиална пневматична гума за леки автомобили с подобрени вибрационни свойства. Сборник доклади, XI научна конференция с международно участие ТЕМРТ 2001, ВТУ „Годор Каблешков”, 15 – 16 ноември, 2001. с. 201 – 207.

- [6]. Терзийски Г. А. Вибрации на пневматични гуми за леки автомобили при разнопосочни смущения (автореферат на дисертация за получаване на научната степен кандидат на техническите науки). С., ТУ, 1992. 36 с.
- [7]. Clark S. K. Mechanics of pneumatic tires. National Bureau of Standards. Washington, D. C., 1981. 931 p.
- [8]. Guan Y., G. Cheng, G. Zhao and H. Zhang. Investigation of the vibration characteristics of radial tires using experimental and numerical techniques. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 30 (24), © The Author(s), 2011. pp. 2035 - 2050.
- [9]. Jahn W., H. Vahle. Die Faktoranalyse und ihre Anwendung. Verlag Die Wirtschaft, Berlin, 1970. 204 s.
- [10]. Lopez A., F. Marzal and J. L. Olazagoitia. A Simple and Accurate Polynomial Tyre Model. Proceedings of the 4-th International Tyre Colloquium Tyre Models for Vehicle Dynamics Analysis, 20 – 21 April 2015/University of Surrey, Guildford, United Kingdom. pp. 208 – 217.
- [11]. The Pneumatic Tire. U. S. Department of Transport, National Highway Traffic Safety Administration DOT HS 810561, February, 2006. 699 p.
- [12]. Zegelaar P. W. A. The Dynamic Response of Tyres to Brake Torque Vibrations and Road unevennesses. Delft University of Technology, 1998. 316 p.

EFFECT OF SOME CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF THE RADIAL PNEUMATIC TYRE ON ITS VIBRATION ACTIVITY

Penko Tzvetkov Petkov

ppetkov@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport, 158 Geo Milev Str., 1574 Sofia,
BULGARIA*

Key words: *radial pneumatic tyre; vibration activity; reinforcement bar on the sidewall; angle of inclination of the cornice in the reinforcing strip; experiment planning*

Abstract: *The evolution of automotive engineering is associated with increasingly complex problems to ensure high reliability, safety, energy economy and environmental friendliness combined with increased functional comfort. The pneumatic tyre (PT) as a constituent element of the running wheel performs the immediate functional connection of the system «Road surface – Car – Driver (passengers)». When running PT is subjected to related mechanical influences, a part of which through the elements of the suspension is transmitted to the body of the car and cause the generation of oscillations in a wide frequency range. The mechanical and vibration acoustic comfort of the car is determined from the oscillation and noise levels in the cabin.*

The constructions and the technology of PT are developed in parallel with those of the mechanisms, systems, and nodes of the automotive equipment. Despite the advantages of PT with radial construction, when moving the vehicle on roads with fine irregularities, they are a source of intense vibrations in a certain frequency area. An opportunity to improve the vibration properties of the radial PT is based on an appropriate selection of the parameters of the main and additionally embedded elements in its construction. The work researches the effect of some of these parameters on the vibration activity of PT. To obtain practical results sufficient to objectively assess the vibration behaviour of the target of research, an experimental-analytical approach has been applied based on the method of factor analysis and the mathematical planning of the experiment.