

**ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАДНЬОЇ ПІДВІСКИ
НА ДИНАМІКУ ГІБРИДИЗОВАНОГО АВТОМОБІЛЯ**

Т.П. Бас¹, В.В. Проців¹

¹ Україна, Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**INFLUENCE OF PROPERTIES OF MATERIALS OF REAR SUSPENSION ELEMENTS
ON THE DYNAMICS OF HYBRIDED VEHICLE**

T. Bass¹, W. Protsiv¹

¹ Ukraine, Dnipro, Dnipro university of technology

Мета. Розробити метод для розрахунку параметрів задньої підвіски гібридизованого автомобіля і визначення її раціональних параметрів. Виконати аналіз хімічного складу пружинних сталей та визначитись з компонентами, які впливають на жорсткість пружин.

Методика дослідження. Для дослідження вертикальних і поперечно-кутових коливань кузова було розроблено математичну модель системи підресорювання автомобіля та застосовано методи чисельного аналізу для розв'язання отриманої системи диференціальних рівнянь.

Для визначення впливу змісту легуючих компонентів у сталі на жорсткість виготовленої з неї пружини використовувалися методи збору, вибору, аналізу інформації та системний підхід.

Результати досліджень. В результаті досліджень було встановлено, що збільшення невідресореної маси автомобіля при збереженні стандартних параметрів підвіски автомобіля призводить до негативних наслідків – коливання зростають за амплітудою і процес їх затухання більш тривалий. Використання пружин з більшою (до базових зразків) жорсткістю, призводить до покращення експлуатаційних показників підвіски гібридизованого автомобіля. Вміст марганцю в хімічному складі пружинних сталей впливає на жорсткість пружин. Встановлено, що в сталях, які використовуються для виготовлення пружин підвіски автомобілів, вміст марганцю дорівнює 0,8 – 1,2 %.

Наукова новизна. Розроблено математичну модель, яка дозволяє моделювати вертикальні і поперечно-кутові коливання кузова легкового автомобіля із залежною, або напівзалежною підвіскою заднього мосту, і спроможна враховувати вплив профілю дороги та пошкоджень її дорожнього одягу. Визначено, що в сталях пружин підвіски гібридизованого автомобілю, який оснащений мотор-колесами, вміст марганцю повинний бути не меншим, ніж 1 %.

Практичне значення. Розроблена математична модель зручна для використання і дозволяє на стадії проектування обґрунтовано вибирати параметри задньої підвіски автомобіля. Через це забезпечується підвищення технічного рівня автомобілів, а також зниження витрат і часу на доведення нових або модернізованих систем підресорювання.

Ключові слова: підвіска, гібридизований автомобіль, математична модель, пружинні сталі, жорсткість.

Вступ. В наш час у зв'язку з погіршенням екологічного стану, в сучасному автомобілебудуванні простежуються тенденції розвитку автомобілів з комбінованою енергетичною установкою. Інтерес до таких автомобілів викликаний тим, що вони мають меншу витрату палива і меншу токсичність відпрацьованих газів, що є вельми актуальним для мегаполісів з великим автомобільним парком. Між тим, автомобілі з двигунами внутрішнього згорання є найбільш поширеними транспортними засобами в Україні.

Ідея переобладнання серійного автомобіля з двигуном внутрішнього згорання в гібридний є актуальною і затребуваною [1]. Але при переобладнанні транспортного засобу в гібридний шляхом установки мотор-колес, контролерів, системи керування електроприводу і елементів живлення призводить до значного збільшення маси задньої підвіски автомобіля, що суттєво впливає на його параметри стійкості та керованості. Отже, розробка ефективного методу, який би дозволяв розраховувати динамічні властивості задньої підвіски гібридизованого автомобіля є необхідною і важливою.

Постановка задачі. Розробити метод для розрахунку параметрів задньої підвіски гібридизованого автомобіля і визначення її раціональних параметрів. Виконати аналіз хімічного складу пружинних сталей та визначитись з компонентами, які впливають на жорсткість пружин.

Вирішення задачі. Зазвичай, розрахунок параметрів підвіски автомобіля роблять виходячи з забезпечення необхідних норм плавності ходу для вертикальних коливань кузова. Проте норми плавності хо-

ду також передбачають обмеження поперечних і поздовжніх прискорень. Збільшення жорсткості підвіски автомобіля призводить до росту поперечних прискорень кузова, і як наслідок, до зниження плавності ходу. Таким чином, при розрахунку параметрів підвіски автомобіля потрібно враховувати не лише вертикальні коливання, а і поперечно-кутові коливання підресореної маси [2].

Для визначення вертикальних і поперечно-кутових коливань кузова було розроблено математичну модель системи підресорювання автомобіля, розрахункова схема якої надана на рисунку 1. Ця модель враховує кінематичну дію на колеса (нерівності дороги). З огляду прийнятого при створенні моделі припущення, що розподіл підресореної маси автомобіля симетричний відносно поздовжньої осі, коливання в поперечній площині є незалежними від коливань в поздовжній площині.

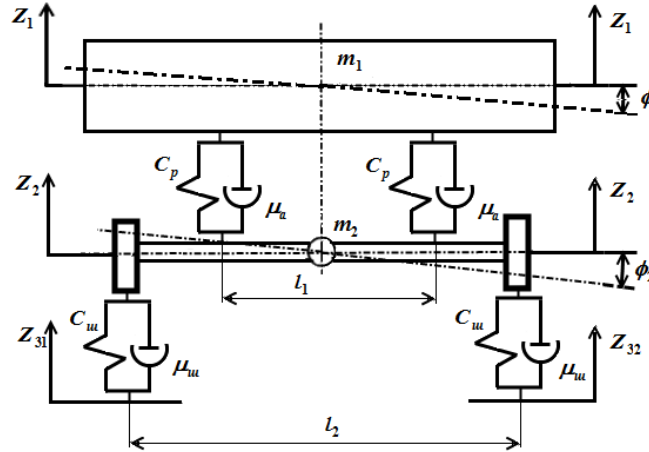


Рис. 1. Розрахункова схема задньої підвіски гібридизованого автомобіля

На рисунку 1 прийняті такі позначення:

- m_1 – підресорена маса;
- m_2 – невідресорена маса;
- $C_p, C_{ш}$ – коефіцієнти жорсткості ресори та шини відповідно;
- $\mu_a, \mu_{ш}$ – коефіцієнти дисипації амортизатора та шини відповідно;
- ϕ_1, ϕ_2 – кути поворотів підресореної і невідресореної мас відносно центрів ваги відповідно;
- z_1 – вертикальні переміщення підресореної маси;
- z_2 – вертикальні переміщення невідресореної маси;
- z_{31}, z_{32} – висоти профілю дороги під лівим і правим колесами відповідно;
- l_1 – відстань між стояками;
- l_2 – колія (відстань між колесами).

Для опису руху задньої підвіски гібридизованого автомобіля (мається на увазі вертикальні та поперечно-кутові коливання системи) використаємо рівняння Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W_k}{\partial \xi_i} \right) - \frac{\partial W_k}{\partial \xi_i} + \frac{\partial W_n}{\partial \xi_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \xi_i} = Q_i, \quad (1)$$

де W_k, W_n – кінетична і потенційна енергії відповідно; Φ – дисипативна функція; ξ_i – узагальнені координати; Q_i – узагальнена сила, що відповідає i -й узагальненій координаті.

Необхідні складові рівнянь вертикальних та поперечно-кутових коливань системи отримаємо з виразів (2 – 4), що визначають кінетичну, потенційну енергії і дисипативну функцію:

$$W_k = \frac{m_1 \dot{z}_1^2}{2} + \frac{m_2 \dot{z}_2^2}{2} + \frac{l_1 \dot{\phi}_1^2}{2} + \frac{l_2 \dot{\phi}_2^2}{2}; \quad (2)$$

$$W_n = \frac{C_p (z_1 - z_2 + \frac{l_1}{2} \phi_1 - \frac{l_2}{2} \phi_2)^2}{2} + \frac{C_p (z_1 - z_2 - \frac{l_1}{2} \phi_1 + \frac{l_2}{2} \phi_2)^2}{2} + \frac{C_{ш} (z_2 - z_{31} + \frac{l_2}{2} \phi_2)^2}{2} + \frac{C_{ш} (z_2 - z_{32} - \frac{l_2}{2} \phi_2)^2}{2}; \quad (3)$$

$$\Phi = \frac{\mu_a (\dot{z}_1 - \dot{z}_2 + \frac{l_1}{2} \dot{\phi}_1 - \frac{l_2}{2} \dot{\phi}_2)^2}{2} + \frac{\mu_a (\dot{z}_1 - \dot{z}_2 - \frac{l_1}{2} \dot{\phi}_1 + \frac{l_2}{2} \dot{\phi}_2)^2}{2} + \frac{\mu_{ш} (\dot{z}_2 + \frac{l_2}{2} \dot{\phi}_2)^2}{2} + \frac{\mu_{ш} (\dot{z}_2 - \frac{l_2}{2} \dot{\phi}_2)^2}{2}. \quad (4)$$

Диференціюючи вирази (2 – 4) за змінними z_1, z_2, ϕ_1 та ϕ_2 і підставляючи отримані похідні в рівняння (1) отримаємо систему диференціальних рівнянь (5), що описують рух задньої підвіски гібридизованого автомобіля.

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 + 2C_p(z_1 - z_2) + 2\mu_a(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) = 0; \\ m_2 \ddot{z}_2 + C_{ш}(z_2 - z_{31}) + C_{ш}(z_2 - z_{32}) + 2\mu_{ш}\dot{z}_2 = 2C_p(z_1 - z_2) + 2\mu_a(\dot{z}_1 - \dot{z}_2); \\ I_1 \ddot{\phi}_1 + C_p \frac{l_1}{2}(\phi_1 l_1 - \phi_2 l_2) + \mu_a \frac{l_1}{2}(\dot{\phi}_1 l_1 - \dot{\phi}_2 l_2) = 0; \\ I_2 \ddot{\phi}_2 + C_{ш} \frac{l_2^2 \phi_2}{2} + \mu_a \frac{l_2^2 \dot{\phi}_2}{2} = C_p \frac{l_2}{2}(\phi_1 l_1 - \phi_2 l_2) + \mu_a \frac{l_2}{2}(\dot{\phi}_1 l_1 - \dot{\phi}_2 l_2). \end{cases} \quad (5)$$

На підставі цієї моделі було запропоновано методику розрахунку параметрів задньої підвіски гібридизованого автомобіля з урахуванням як вертикальних коливань так і поперечно – кутових коливань кузова.

Методика розрахунку параметрів задньої підвіски автомобіля з урахуванням вертикальних і поперечно – кутових коливань кузова розглянуто на прикладі серійного автомобіля ЗАЗ «Сенс», який було переобладнано в гібридний, шляхом установки мотор-колів, контролерів і системи управління електроприводу з синхронізацією від дросельної заслінки, а також елементів живлення. Вихідні дані, що необхідні для розрахунку надано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані

Параметр	Значення параметра
Повна підресорена маса, що приходить на задню вісь базового автомобіля m_1 , кг	618
Повна підресорена маса, що приходить на задню вісь гібридизованого автомобіля m_1^* , кг	818
Непідресорена маса задньої осі базового автомобіля m_2 , кг	80
Непідресорена маса задньої осі гібридизованого автомобіля m_2^* , кг	120
Момент інерції повної підресореної маси, що приходить на задню вісь базового автомобіля I_1 , кг·м ²	227,7
Момент інерції повної підресореної маси, що приходить на задню вісь гібридизованого автомобіля I_1^* , кг·м ²	301,43
Момент інерції непідресореної маси базового автомобіля I_2 , кг·м ²	24,4
Момент інерції непідресореної маси гібридизованого автомобіля I_2^* , кг·м ²	45
Жорсткість ресори задньої підвіски C_p , Н/м	$2,94 \cdot 10^4$
Жорсткість шин $C_{ш}$, Н/м	$3,4 \cdot 10^5$
Коефіцієнт дисипації амортизатора задньої підвіски μ_a , Н·с/м	$2,3 \cdot 10^3$
Коефіцієнт дисипації шини $\mu_{ш}$, Н·с/м	$1,064 \cdot 10^3$
Відстань між стояками l_1 , мм	1200
Колія задніх колів l_2 , мм	1425

В результаті проведеного чисельного експерименту отримано залежності вертикальних переміщень і поперечних кутів повороту підресорених і непідресорених частин автомобіля.

Як видно з рисунку 2, збільшення непідресореної маси автомобіля при збереженні стандартних параметрів підвіски автомобіля призводить до негативних наслідків – коливання зростають за амплітудою і процес їх затухання більш тривалий рисунку 2, б.

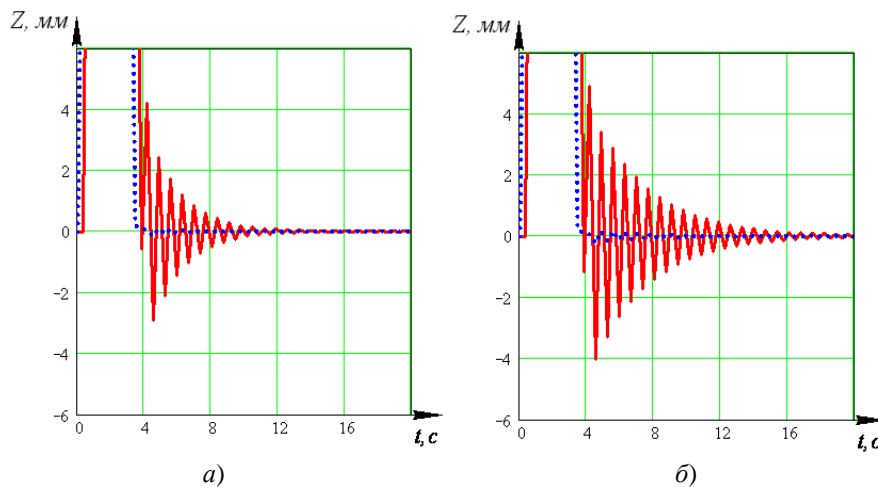


Рис. 2. Вертикальні коливання підресореної та непідресореної мас: а) базового та б) гібридизованого автомобіля у випадку безударного наїзду на перешкоду висотою 0,1 м одним колесом без змін параметрів підвіски

Це видно у порівнянні з коливаннями, що виникають на екіпажі звичайної маси (рисунк 2, а).

Подолати ці негативні наслідки можливо за допомогою правильно підібраних елементів підвіски із відповідними властивостями, серед яких основною є пружність.

За пружність підвіски автомобіля відповідають пружини. Багато факторів (розміри, форма, кількість витків, тощо) впливають на їхню пружність. Але всі вони мають значення за умов використання відповідних матеріалів для виготовлення пружин. Для виготовлення пружин використовуються спеціальні сталі, що розроблені для термічної обробки з метою досягнення необхідних властивостей, які називаються «пружинними». Види сталей, що використовують для виготовлення автомобільних пружин, наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Сталі, які використовують для автомобільних пружин

Марка сталі	Закордонний аналог		
	США	Германія	Японія
50ХГА	5147 5147Н 5150 5150Н	1.7176 55Cr3	SUP9 SUP9A
50ХГФА	6145 6150 6150Н	1.8159 50CrV4 51CrV4	SUP10 SUP10- CSP
55С2	9255 G92550	1.0904 1.5026 55Si7	SUP7
60С2А	9260 G92600	60MnSiCr4 60SiCr7 65Si7	SUP6
60Г	1060 1064 G10600 G10640	1.0601 1.1221 C60E C61	S58C S60C-CSP S65C-CSP
65Г	1066 1566 G15660	66Mn4 Ck67	–
75	1074 1075 1078 G10740 G10750	1.0605 1.1248 C75 C75-2	–

За відповідної технології виготовлення, на жорсткість пружини впливає хімічний склад матеріалу, до якого обов'язково входить марганець. Як видно з таблиці 3, збільшення вмісту марганцю призводить до зростання модуля зсуву та відповідно з [3], до зростання жорсткості матеріалу.

Таблиця 3 – Залежність модулю зсуву та жорсткості від вмісту марганця в сталі

Марка сталі	Mn	Модуль зсуву G, МПа	Жорсткість C _p , Н/м
50ХГА	0,8-1,0	85000	15971,6
50ХГФА	0,8-1,0	85000	15971,6
55С2	0,6-0,9	78000	14656,2
60С2А	0,6-0,9	78500	14750,2
60Г	0,7-1,0	81000	15219,9
65Г	0,9-1,2	84000	15783,6
75	0,5-0,8	78000	14656,2

Якщо в підвісці автомобіля застосувати пружини, що виготовлені зі сталей 50ХГА або 50ХГФА, то це призведе до покращення параметрів підвіски гібридизованого автомобіля до рівня базового автомобіля (рис. 3).

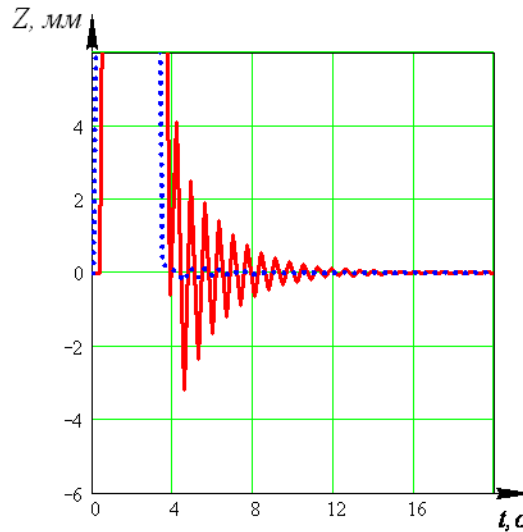


Рис. 3. Вертикальні коливання підресореної та непідресореної мас гібридизованого автомобіля у випадку безударного наїзду на перешкоду висотою 0,1 м одним колесом із пружинами збільшеної жорсткості

Висновки.

1. Розроблена математична модель дозволяє чисельно визначити раціональні параметри залежної, або напівзалежної підвісок автомобілів, зокрема масу та моменти інерції елементів підвіски.
2. Використання пружин з більшою (до базових зразків) жорсткістю, призводить до покращення експлуатаційних показників підвіски гібридизованого автомобіля.
3. Вміст марганцю впливає на жорсткість пружин, і визначення його вмісту в сталях, які можна використовувати в автомобільних пружинах є актуальною науковою задачею. Слід вважати за потрібне в сталях пружин підвіски гібридизованого автомобіля, що оснащений мотор-колесами, вміст марганцю не меншим, ніж 1 %.

Список літератури

1. Hasser, H. Vehicle Dynamics Conversion into Power (Dynapower) / Hasser H.// AASRI Conference on Power and Energy Systems, 2014. - pp 32-37.
2. Семенов, Н.В. (2011). *Расчет параметров подвески автомобиля с учетом поперечно – угловых колебаний кузова*. Научно – технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки.
3. Драгунов, А.С. (2015). *Марочник сталей и сплавов*. Машиностроение, 1216 с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Кравцем В.В.

АННОТАЦИЯ

Цель. Разработать метод для расчета параметров задней подвески гибридного автомобиля и определения ее рациональных параметров. Выполнить анализ химического состава пружинных сталей и определить с компоненты, которые влияют на жесткость пружин.

Методика исследования. Для исследования вертикальных и поперечно-угловых колебаний кузова была разработана математическая модель системы поддресоривания автомобиля и применены методы численного анализа для решения полученной системы дифференциальных уравнений.

Для определения влияния содержания легирующих компонентов в стали на жесткость изготовленной из нее пружины использовались методы сбора, выбора, анализа информации и системный подход.

Результаты исследований. В результате исследований было установлено, что увеличение непдресоренной массы автомобиля при сохранении стандартных параметров подвески автомобиля приводит к негативным последствиям - колебания растут по амплитуде и процесс их затухание более длительный. Использование пружин с большей (относительно базовых образцов) жесткостью, приводит к

улучшению эксплуатационных показателей подвески гибридного автомобиля. Содержание марганца в химическом составе пружинных сталей влияет на жесткость пружин. Установлено, что в сталях, используемых для изготовления пружин подвески автомобилей, содержание марганца составляет 0,8 - 1,2%.

Научная новизна. Разработана математическая модель, которая позволяет моделировать вертикальные и поперечно-угловые колебания кузова легкового автомобиля с зависимой или полузависимой подвеской заднего моста, и способна учитывать влияние профиля дороги и повреждений ее дорожной одежды. Определено, что в сталях пружин подвески гибридного автомобиля, который оснащен мотор-колесами, содержание марганца должно быть не менее 1%.

Практическое значение. Разработанная математическая модель удобна для использования и позволяет на стадии проектирования обоснованно выбирать параметры задней подвески автомобиля. В результате обеспечивается повышение технического уровня автомобилей, а также снижение затрат и времени на доведение вновь спроектированных или модернизированных систем подвески.

Ключевые слова: подвеска, гибридный автомобиль, математическая модель, пружинная сталь, жесткость.

ABSTRACT

Objective. Development of a method for calculating the parameters of the rear suspension of a hybridized vehicle and determining its rational parameters. Analyze the chemical composition of spring steels and identify the components that affect spring stiffness.

Methodology. A mathematical model of the vehicle suspension system for the study of vertical and transverse-angular body vibrations has been developed. Numerical analysis methods for solving the resulting system of differential equations have been applied.

Methods for collecting, selecting, analyzing information and a systematic approach to determine the effect of the content of alloying components in steel on the stiffness of a spring made from it have been used.

Research results. As a result of the research, it was found that an increase in the unsprung mass of the car while maintaining the standard parameters of the car's suspension leads to negative consequences - the oscillations grow in amplitude and the process of their damping is longer. The use of springs with a higher (relative to the base samples) stiffness leads to an improvement in the performance of the hybrid vehicle suspension. The manganese content in the chemical composition of spring steels affects the stiffness of the springs. It has been established that the manganese content in steels used for the manufacture of car suspension springs is 0.8 - 1.2%.

Scientific novelty. The mathematical model that makes it possible to simulate the vertical and transverse-angular vibrations of a car body with a dependent or semi-independent rear axle suspension, and is able to consider the influence of the road profile and damage to its pavement has been developed. It was determined that the manganese content in the steels of the suspension springs of a hybridized car equipped with motor wheels should be at least 1%.

Practical value. The developed mathematical model is convenient for use and it allows you to reasonably choose the parameters of the rear suspension of the car at the design stage. As a result, an increase in the technical level of automobiles, as well as a reduction in costs and time for bringing newly designed or modernized suspension systems, is ensured.

Keywords: suspension, hybridized car, mathematical model, spring steel, hardness.