УДК 629.463; 629.4.027.35

Ольга Потапенко

(старший викладач, Східноукраїнський національний університет ім.
В.Даля, Сєвєродонецьк);

Юрій Щербина, к.т.н.

(старший викладач, Державний університет інфраструктури та
технологій, Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ РЕСОРНОГО ПІДВІШУВАННЯ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА

У статті вперше представлено та описано запропонований метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень для дослідження силової характеристики у вертикальному напрямку. Представлено вперше результати досліджень впливу елементів удосконаленої конструкції ресорного підвішування на її силову характеристику. Підтверджено доцільність та ефективність використання методу визначення інваріантної характеристики (прогину) пружин різних конструктивних моделей та їх силової характеристики у ресорному підвішуванні візків вантажних вагонів при дослідженні, вивченні та проектуванні сучасних перспективних конструкцій системи демпфірування коливань.

Ключові слова: вертикальна силова характеристика, ресорне підвішування, інваріантна характеристика комбінованих пружин, удосконалена конструкція, моделювання.

Вступ. Однією з головних характеристик пружинних елементів ресорного підвішування є вертикальна силова характеристика, яка показує залежність прогину від дії вертикального навантаження. Пружні властивості елементів характеризуються коефіцієнтами жорсткості (жорсткістю) чи гнучкості (гнучкістю). Щоб забезпечити повне прилягання пружини до опорної площини, кінці заготівки відтягують на довжині $\frac{3}{4}$ витка. Для зняття вертикальної пружинної характеристики елементів ресорного підвішування використовують спеціальні стенди. Зазвичай він являє собою гвинтовий прес, який складається з рами та має зверху гайку і гвинт з рукояткою [1 – 5].

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. Інженерні методи вибору жорсткості та демпфірування у вертикальному напрямку відпрацьовані В.І. Варавою, С.В. Вершинським, І.І. Челноковим, Л.О. Кальницьким, Г.В. Левковим, Л.Л. Осинівським, Ю.С. Роменом та А.В. Біловусовим, С.Л. Самошкіним, М.М. Соколовим; вибору горизонтальної жорсткості першого ступеня підвішування – А. Вікенсом та Г. Шефелем.

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-6

При отриманні на стенді вертикальної характеристики комбінації різних за силовими характеристиками пружин ресорного підвішування візків вантажних вагонів виникає ряд проблем та похибок. У випадку комбінування різного типу конструкції пружин з різними силовими вертикальними характеристиками (лінійною та нелінійною), даний метод не є актуальний, так як не дає можливості детально та більш точно оцінити результат дослідження змін характеристик пружин різного конструктивного виконання в комбінованому поєднанні зі значною різницею в жорсткості, після прикладення вертикального навантаження. Поєднати теорію з практикою складно так, як не існує такого методу, який би дав можливість визначити, розібратися і зрозуміти, що насправді відбувається у конструкції.

Мета і завдання дослідження. Метою і завданням дослідження було визначення вертикальної силової характеристики комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень з використанням програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes) та середовища MathCAD 15 з побудовою результуючої діаграми переміщення.

Матеріали та методи дослідження. Для дослідження вертикальної силової характеристики запропоновано метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень, так як пропонується конструкція підклинової пружини [6] виконана методом комбінування зовнішньої вкороченої циліндричної винтової пружини, яка має лінійну вертикальну силову характеристику та пакету тарілчастих пружин, комбінація якого має нелінійну вертикальну силову характеристику [7, 8].

Ця комбінація дозволяє отримати силову характеристику – ламану пряму, яка має свої характеристики та геометричну форму. Запропонований метод дає можливість розібратися з питаннями: які типи тарілчастих пружин в залежності від їх геометрії можна використовувати на практиці та які жорсткісні характеристики потрібні для забезпечення необхідних функціональних можливостей самої системи ресорного підвішування. Від матеріалу і товщини тарілчастих пружин буде залежати характеристика комбінованої пружини. Характеристику можна отримати завдяки запропонованому методу з застосуванням програмного забезпечення і цілком адекватно оцінити. Метод залежить від вхідних параметрів: навантаження, геометрії, матеріалу. В даному випадку, оцінка адекватності проведена, так як перед проведенням роботи було встановлено діючі навантаження, які припадають на фрикційний клин, котрий переміщується на певну величину у системі [9 – 11]. Показано величину переміщення при різних навантаженнях.

Адаптивна модель прогнозування – це самоналагоджувальна рекурентна модель, здатна відображати яким чином змінюються у часі динамічні властивості часового ряду і враховувати інформаційну цінність його членів [12, 13].

Суть запропонованого методу полягає в адаптивному підборі оптимального варіанта конструктивного виконання комбінованих пружин ресорного підвішування напіввагона з визначенням інваріантних характеристик окремих елементів системи при вирішенні задач оптимізації роботи, тобто визначення раціональних параметрів силових характеристик ресорного підвішування візків вантажних вагонів. Він дає повне уявлення про те, як відбувається переміщення пружинних елементів системи.

Метод базується на використанні програмно-апаратного забезпечення SolidWorks (Dassault Systèmes) з використанням нелінійного динамічного аналізу (Nonlinear Dynamic Analysis) [14] та розрахунку в середовищі MathCAD 15 [15] з

побудовою результуючої діаграми переміщення. Даний аналіз виконується, коли залежні від часу навантаження поєднуються з нелінійними ефектами – як геометричною, так і фізичною нелінійністю. Нелінійний динамічний аналіз доступний для опрацювання нелінійних матеріалів, умов контакту і великих переміщень. Метод засновано на прямому інтегруванні рівнянь руху, який не супроводжується розкладом за власними частотами.

Метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих пружин під впливом зовнішніх навантажень включає: проектування елементів досліджуваної моделі ресорного підвішування візка напіввагона; розрахунок і визначення переміщень в окремих вузлах елементів з урахуванням діючих навантажень; створення діаграм переміщень і оцінка ефективності застосування досліджуваних елементів конструкції.

Результати дослідження. Навантаження, що припадає на ресорний комплект, розраховано раніше та представлено у статтях [9 – 11].

На рис. 1 показано модель досліджуваної конструкції фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплекту з зазначенням досліджуваних вузлів. Вузол 63150 (0,18906; - 0,967742) відповідає зовнішня циліндрична вита пружина, вузлу 4700 (0.219535; 0.000100806) – тарілчаста пружина. Кожні з них окремо вибрані у якості верхніх вузлів, розташованих в моделі. Сама модель включає близько 80 тисяч вузлів.

Рис.1. Модель досліджуваної конструкції фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплекту з зазначенням досліджуваних вузлів

Діаграма залежності прогину зовнішньої вкороченої підклинової витой циліндричної пружини та пакету тарілчастих пружин від часу (рис. 2, рис. 3) є результатом, який було отримано завдяки модулю нелінійного динамічного аналізу (Nonlinear Dynamic Analysis) SolidWorks (Dassault Systèmes). Даний модуль дозволив отримати нелінійну реакцію в кількості п'яти точок, які на графіку позначені червоними крапками. UY (mm) – переміщення, мм. Покрокова зміна часу (час дискретизації) склала від 0,2 до 1 сек.

На рис. 4 показано фрагмент отриманих результатів розрахунку прогинів окремих вузлів від часу імпортованих до Microsoft Office Excel 2013. За цими даними побудовано діаграму накладання прогинів окремих елементів системи ресорного підвішування (рис. 5).

Рис. 2. Діаграма залежності прогину зовнішньої вкороченої підклинової витієї циліндричної пружини від часу

Рис. 3. Діаграма залежності прогину пакету тарілчастих пружин від часу

Нелинейная реакция		Нелинейная реакция	
17:36, воскресенье, Февраль 24, 2019		12:40, воскресенье, Февраль 24, 2019	
Название X: Время (сек)		Название X: Время (сек)	
Название Y: UY (mm)		Название Y: UY (mm)	
Точка, X, Y1 (Узел 63150)		Точка, X, Y1 (Узел 4700)	
1, 0.2, 3.5273 ,		1, 0.2, 0.00077713 ,	
2, 0.4, 7.0592 ,		2, 0.4, 0.0015685 ,	
3, 0.6, 10.596 ,		3, 0.6, 0.0023747 ,	
4, 0.8, 14.137 ,		4, 0.8, 0.0031963 ,	
5, 1, 17.683 ,		5, 1, 0.0040336 ,	
0.2 3.5273		0.2 0.000777	
0.4 7.0592		0.4 0.001569	
0.6 10.596		0.6 0.002375	
0.8 14.137		0.8 0.003196	
1 17.683		1 0.004034	

Рис. 4. Фрагмент результатів розрахунку прогинів вузлів від часу

Рис. 5. Діаграма накладання прогинів елементів ресорного підвішування

Для того ж щоб зрозуміти в якому місці відбувається перетин цих двох ліній, данні лінії було виражено через окремі функції у середовищі MathCAD, використовуючи систему матриць. tA , tB , $tA1$, $tB1$ – точки через які проходить функція; $k1$ і $k2$ – коефіцієнти, власне це кути нахилу. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15 з побудовою результуючої діаграми переміщення (рис. 6, рис. 7) має наступний вигляд.

$$\begin{aligned}
 & tA(0.2, 3.52) & tA1(0.2, 0.00078) \\
 & tB(1, 17.68) & tB1(1, 0.00403) \\
 & A := \begin{pmatrix} 0.2 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad B := \begin{pmatrix} 3.5273 \\ 17.68 \end{pmatrix} & A1 := \begin{pmatrix} 0.2 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad B1 := \begin{pmatrix} 0.00078 \\ 0.00403 \end{pmatrix} \quad (1) \\
 & X := A^{-1} \cdot B & X1 := A1^{-1} \cdot B1 \quad (2) \\
 & X := \begin{pmatrix} 17.690875 \\ -0.010875 \end{pmatrix} & X1 := \begin{pmatrix} 0.004062 \\ -0.000032 \end{pmatrix} \quad (3) \\
 & f(x) := 17.691x - 0.011 & f4(x) := 0.004x - 0.00002 \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & x1 := 0.2 \quad y1 := 3.5273 & x21 := 0.2 \quad y21 := 0.00078 \\
 & x2 := 1 \quad y2 := 17.68 & x22 := 1 \quad y22 := 0.00403 \\
 & k1 := \frac{y2 - y1}{x2 - x1} \quad k1 = 17.690875 & k2 := \frac{y22 - y21}{x22 - x21} \quad k2 = 0.004062 \quad (5) \\
 & f1(x) := k1 \cdot (x - x1) + y1 & f2(x) := k2 \cdot (x - x21) + y21 \quad (6)
 \end{aligned}$$

Рис. 6. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15

На рис. 7 показано знаходження точки перетину двох функцій, тобто шукана сходінка. Червона та синя лінії дуже близько проходять від нуля, отже, величина шуканої сходінки буде незначною. Для визначення її величини, графічно представлено функції з відображенням «ламаної» лінії переміщення пружинних елементів системи (рис. 8). Жирні лінії зверху та знизу перетворюються в

нескінченні прямі, які перетинаються в точці F четвертого квадранту, що пов'язано з глобальною системою координат в якій відбудовувалася модель комбінованої пружини. Штрихпунктирна лінія – ламана лінія шуканої силової характеристики досліджуваної конструкції. KF – відрізок шуканої сходитки.

Рис. 7. Знаходження точки перетину двох функцій

Рис. 8. Графічне представлення функцій з відображенням «ламаної» лінії переміщення пружинних елементів системи

Для знаходження точки перетину двох функцій – F було вирішено систему рівнянь і визначено довжину відрізків KF та FN. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15 знаходження координат точки перетину та значення точки перетину наступний (рис. 9):

$$\begin{aligned}
 f1(x) &:= k1 \cdot (x - x1) + y1 & (7) \\
 f2(x) &:= k2 \cdot (x - x21) + y21 \\
 c &:= 0 \quad d := 0 \\
 \text{Given} \\
 17.691c - d &= 0.011 & (8) \\
 0.004c - d &= 0.00002 \\
 \text{Find}(c, d) &= \begin{pmatrix} 0.000621 \\ -0.000018 \end{pmatrix} \\
 fx2 &:= 0.000621 \\
 kx1 &:= 0 \\
 fy2 &:= -0.000018 \\
 ky1 &:= 0.00002 \\
 Nx3 &:= 1 \\
 Ny3 &:= 17.68 \\
 r1 &:= \sqrt{(fx2 - kx1)^2 + (fy2 - ky1)^2} & (9) \\
 r1 &:= 0.000621 \text{ mm} \\
 r2 &:= \sqrt{(Nx3 - fx2)^2 + (Ny3 - fy2)^2} \\
 r2 &:= 17.708241 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Рис. 9. Фрагмент розрахунку в середовищі MathCAD 15 знаходження координат точки перетину та їх значення

Координати точки F (0.000621; - 0.000018);

Довжина відрізка KF – 0.000621 мм, FN – 17.708241 мм.

Пропонована конструкція фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплексу має білінійну характеристику. Білінійність підтверджується отриманими результатами – діаграмами, розрахунками та графіками, в ході проведених досліджень.

Для розрахунку енергетичної ефективності конструкції [9 – 11] дане значення шуканої сходинок, яка показує білінійність не враховувалося, так як воно незначне і не впливає на розрахунок.

Висновки. 1. Запропоновано метод визначення інваріантної характеристики (прогину) комбінованих підклинових пружин під впливом зовнішніх навантажень для дослідження вертикальної силової характеристики. Він дозволяє вибрати оптимальний варіант конструктивного виконання комбінованих пружин ресорного підвішування напіввагона з визначенням інваріантних характеристик окремих елементів системи при вирішенні задач оптимізації роботи, тобто визначення раціональних параметрів силових характеристик ресорного підвішування візків вантажних вагонів.

2. Запропонований метод дозволить: розібратися з питанням використання на практиці тарілчастих пружин в залежності від їх геометрії та жорсткості, визначати характеристики потрібні для забезпечення певних функціональних можливостей самої системи, отримати повне уявлення про те, як відбувається переміщення пружинних елементів системи.

3. Досліджувана конструкція фрикційного клинового гасителя коливань та підклинового пружинного комплекту має білінійну характеристику. Білінійність підтверджується отриманими результатами – діаграмами, розрахунками та графіками, в ході проведених досліджень. Шукані значення: координати точки F (0.000621; – 0.000018); довжина відрізка KF – 0.000621 мм та FN – 17.708241 мм. Для розрахунку енергетичної ефективності конструкції дане значення шуканої сходинок, яка показує білінійність не враховувалося, так як воно незначне і не впливає на розрахунок.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Мінсєва Ю.В.* Транспортні засоби: метод. вказ. до вик. лаб. робіт. Х.: ХНАМГ, 2010. 44 с.
2. *Коваленко А.В., Скуріхін І.Л.* Механічне обладнання транспортних засобів: конспект лекцій: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2008. 123 с.
3. *Лосев Д.Н.* «Анализ существующей нормативно-технической документации по изготовлению и ремонту пружин. Разграничение гарантийной ответственности при изготовлении, ремонте и эксплуатации пружин». Заседание Союза «Объединение вагоностроителей» и Подкомитета по вагоностроению НП «ОПЖТ»: «Жизненный цикл пружин подвижного состава железнодорожного транспорта. Современные методы повышения эксплуатационного срока», ООО «Уральский Пружинный Завод», 16 ноября. Россия, Республика Башкортостан, г. Белорецк, 2017.
4. *ГОСТ 14959-2016.* Металлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2017. 28 с.
5. *Марков А.М., Габец А.В., Габец Д.А., Гавриков Д.В.* Пружины рессорного комплекта тележек грузовых вагонов. Материалы Международной научно-практической конференции: «Актуальные проблемы в машиностроении», 2016, № 3 (3). С. 194 – 197.
6. *Фрикційний клиновий гаситель коливань візка вантажного вагона:* пат. № 126619 Україна. № u 2018 01143; заяв. 06.02.18; опубл. 25.06.2018. Бюл. № 12 (кн. 1). 298 с.
7. *ГОСТ 14952-2011.* Пружины цилиндрические винтовые тележек и ударно-тяговых приборов подвижного состава железных дорог. Технические условия. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартинформ, 2011. 20 с.
8. *ГОСТ 3057 – 90.* Пружины тарельчатые. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. ИПК Изд-во стандартов, 2003. 37 с.
9. *Потапенко О.О., Могіла В.І.* Результати досліджень роботи фрикційного гасителя коливань серійної та удосконалених конструкцій візка вантажного вагону. Вісник СНУ ім. В. Даля. Северодонецьк, 2018, № 2 (243). С. 184 – 192.
10. *Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser.* Analysis and Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon. Book of abstracts of XVI International Conference «Dynamics of Rigid and Deformable Bodies 2018», 17 – 19 October. Ústí nad Labem, Czech republic, 2018.
11. *Потапенко О.О., Могіла В.І.* Результати комп'ютерного моделювання роботи гасителя коливань візка вантажного вагону. Збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення», Северодонецьк – Одеса – Вільнюс – Київ, травень 23 – 25. Одеса: КУПРІСНКО СВ, 2018. С. 106 – 108.
12. *Камінська Н.І.* Адаптивні методи у соціально-економічному прогнозуванні. Тези доповідей VII Міжнародної науково-метод. конф. Форум молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід», жовтень 21 – 22. Тернопіль: МП «Тайп», 2016. С. 83 – 84.
13. *Лукашин Ю.П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. М.: Статистика, 1979. 254 с.
14. *Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В.* SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике: практ. пособ. СПб: БХВ-Петербург, 2008. 1038 с.
15. *Кириянов Д.В.* Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.

REFERENCES

1. Mineeva, Ju.V. (2010). Transportni zasobi [Vehicles]. H.: HNAMEG [in Ukraine].
2. Kovalenko, A.V., Skurihin, I.L. (2008). Mehanichne obladnannja transportnih zasobiv [Mechanical operation of vehicles]. Harkiv: HNAMEG [in Ukraine].
3. Losev, D.N. (2017). Analiz sushhestvujushhej normativno-tehnicheskoy dokumentacii po izgotovleniju i remontu pruzhin. Razgranichenie garantijnoj otvetstvennosti pri izgotovlenii, remonte i jekspluatacii pruzhin [Analysis of the existing regulatory and technical documentation for the manufacture and repair of springs. Differentiation of warranty liability in the manufacture, repair and operation of springs]. Zhiznennyj cikel pruzhin podvizhnogo sostava zheleznodorožhnogo transporta. Sovremennye metody povyshenija jekspluatacionnogo sroka: Zasedanie Sojuza «Objedinenie vagonostroitelej» i Podkomiteta po vagonostroeniju NP «OPZhT» (16 nojabrja 2017 hoda) – The meeting of the Union "Association railcar" and Railroad car NP "OPZHT" Subcommittee, OOO «Ural'skij Pруzhinnyj Zavod». Rossiya, Respublika Bashkortostan, g. Beloreck [in Russian].
4. Metaloprodukcija iz resorno-pruzhinnoj nelegirovannoj i legirovnoj stali. Tehnicheskie uslovija [Metal products from spring-spring alloyed and alloyed steel. Technical conditions]. (2017). GOST 14959-2016 from 01st january 2018. M.: Standartinform [in Russian].
5. Markov, A.M., Gabec, A.V., Gabec, D.A., Gavrikov, D.V. (2016) Pруzhiny resornogo komplekta telezhek gruzovyh vagonov [Springs of a spring set of carriages of freight wagons]. Materials of the Actual problems in mechanical engineering'16: Mezhdunarodnoja nauchno-prakticheskaja konferencija – International scientific-practical conference (pp. 194 – 197), № 3 (3) [in Russian].
6. Frikcijnij klinovij gasitel' kolivan' vizka vantazhnogo vagona [Friction wedge damper for fluctuations of the trolley of a freight wagon] (2018): pat. № 126619 of Ukraine from 25.06.2018. Bjul. № 12 (kn. 1) [in Ukraine].
7. Pруzhiny cilindricheskie vintovye telezhek i udarno-tjagovyh priborov podvizhnogo sostava zheleznyh dorog. Tehnicheskie uslovija [The springs are cylindrical screw carts and shock-traction devices of rolling stock of railways. Technical specifications] (2011). GOST 1452-2011 from 01st january 2012. M.: Standartinform [in Russian].
8. Pруzhiny tarel'chatye. Obshhie tehnicheskie uslovija [Spring springs. General specifications] (2003). GOST 3057 – 90 from 07th january 1990. IPK Izd-vo standartov [in Russian].
9. Potapenko, O.O., Mogila, V.I. (2018). Rezul'tati doslidzhen' roboti frikcijnogo gasitelja kolivan' serijnoi ta udoskonalenih konstrukcij vizka vantazhnogo vagonu [Results of researches of work of the frictional quencher of fluctuations of serial and advanced designs of the cart of the freight car]. Visnik SNU im. V. Dalja – Visnik V. Dahl EUNU, 2 (243), 184 – 192 [in Ukraine].
10. Olha Potapenko, Nikolay Gorbunov, Valentin Mogyla, Yuriy Shcherbina, Vladimir Hauser (2018). Analysis and Function Evaluation of Common and Proposed Friction Shock Absorbers for Open Box Wagon. Book of abstracts of XVIth International Conference «Dynamics of rigid and deformable bodies 2018», 17 – 19 October. Ústí nad Labem, Czech republic [in English].
11. Potapenko, O.O., Mogila, V.I. (2018) Rezul'tati komp'juternogo modeljuvannja roboti gasitelja kolivan' vizka vantazhnogo vagonu [Results of computer simulation of the work of the vibration damper of the freight car trolley]. Zbirnik naukovih prac' za materialami «Transport i logistika: problemi ta rishennja» Severodonec'k – Odesa – Vil'njus – Kiïv: VIII-ja Mizhnarodna naukovopraktichna konferencija (23 – 25 travnja 2018 hoda) – VIIIth International scientific and practical conference (pp. 106 – 108). Odesa: KUPRIENKO SV [in Ukraine].
12. Kamins'ka, N.I. (2016). Adaptivni metodi u social'no-ekonomichnomu prognozuvanni [Adaptive Methods in Socio-Economic Forecasting]. Abstracts from "Modeling of the economy: problems, tendencies, experience'16": VII Mizhnarodna naukovopraktichna konf. Forum molodih ekonomistiv-kibernetikiv (21 – 22 zhovtnja 2016 hoda) – VIIth International scientific and methodical conference Forum of young economists-cybernetics (pp. 83 – 84). Ternopil: MP «Tajp» [in Ukraine].
13. Lukashin, Ju.P. (1979). Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija [Adaptive short-term forecasting methods]. M.: Statistika [in Russian].
14. Aljamovskij, A.A., Sobachkin, A.A., Odincov, E.V. (2008). SolidWorks 2007/2008. Komp'juternoe modelirovanie v inženernoj praktike [Computer modeling in engineering practice]. SPb: BHV-Peterburg [in Russian].
15. Kir'janov D.V. (2012). Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. SPb.: BHV-Peterburg [in Russian].

Ольга Потапенко
(старший преподаватель, Восточноукраинский национальный университет
им. В. Даля, Северодонецк);
Юрий Щербина, к.т.н.
(старший преподаватель, Государственный университет инфраструктуры
и технологий, Киев)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В статье впервые представлен и описан предложенный метод определения инвариантной характеристики (прогиба) комбинированных пружин под воздействием внешних нагрузок для исследования силовой характеристики в вертикальном направлении. Метод основан на использовании программно-аппаратного обеспечения SolidWorks (Dassault Systèmes) с использованием нелинейного динамического анализа (Nonlinear Dynamic Analysis) и расчета в среде MathCAD 15 с построением результирующей диаграммы перемещения.

Представлены впервые результаты исследований влияния элементов усовершенствованной конструкции рессорного подвешивания на её силовую характеристику. При исследовании силовой характеристики, усовершенствованной конструкции рессорного подвешивания с применением метода определения инвариантной характеристики комбинированных пружин, под воздействием внешних нагрузок: спроектированы элементы исследуемой модели рессорного подвешивания тележки полувагона; рассчитаны и определены перемещения в отдельных узлах элементов с учетом действующих нагрузок; созданы диаграммы перемещений и оценена эффективность применения исследуемых элементов конструкции.

Подтверждена целесообразность и эффективность использования метода определения инвариантной характеристики (прогиба) пружин различных конструктивных моделей и их силовой характеристики в рессорного подвешивания тележек грузовых вагонов при исследовании, изучении и проектировании современных перспективных конструкций системы демпфирования колебаний.

Ключевые слова: вертикальная силовая характеристика, рессорное подвешивание, инвариантная характеристика комбинированных пружин, усовершенствованная конструкция, моделирование.

Olha Potapenko
(Senior Lecturer, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University,
Severodonetsk);
Yuriy Shcherbina, Ph.D. in Technical Sciences
(Senior Lecturer, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv)

DEFINITION OF THE POWER CHARACTERISTICS OF THE ELEMENTS OF SPRING SUSPENSION OF THE CARGO WAGON

In the article, the offered method of definition of invariant characteristic (deflection) of the combined springs under the influence of external loadings for a research of power

characteristic in the vertical direction is for the first time presented and described. The method is based on the use of hardware-software providing SolidWorks (Dassault Systèmes) with the use of Nonlinear Dynamic Analysis and calculation in the environment of MathCAD 15 with creation of the resultant chart of movement.

The results of studies of the influence of elements of the improved spring suspension design on its power characteristic are presented for the first time. At a research of power characteristic of advanced construction of spring suspension using a method of definition of invariant characteristic of the combined springs under the influence of external loading the following results are achieved: the elements of the studied model of spring suspension of the cart of the gondola car is designed; movements in separate nodes of elements taking into account actual loads are calculated and defined; charts of movements are created and the efficiency of application of the studied structural elements is estimated.

The expediency and efficiency of use of a method of definition of invariant characteristic (deflection) of springs of different constructive models and their power characteristic in spring suspension of carts of freight cars is confirmed at the research, studying and design of modern perspective constructions of a system of vibration damping.

Keywords: *vertical power characteristic, spring suspension, invariant characteristic of combined springs, advanced design, modeling.*